

00344  
3  
cej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**LA ARIDEZ EN EL NOROESTE DE MEXICO. UN ANALISIS  
DE SU VARIABILIDAD EN FUNCION DE LA CONDICION  
TERMICA OCEANICA**

**FALLA DE ORIGEN**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Con Especialidad en Biología de Sistemas y

Recursos Acuáticos

**P R E S E N T A:**

**CESAR AUGUSTO SALINAS ZAVALA**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. DANIEL LLUCH BELDA**



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

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

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

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

## INDICE

<b>Dedicatoria</b> .....	<b>i</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>ii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>iii</b>
<b>Relación de figuras y tablas</b> .....	<b>v</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
El desierto del noroeste mexicano.....	<b>2</b>
<b>Antecedentes</b> .....	<b>7</b>
La definición de aridez.....	<b>7</b>
La vanguardia en el pronóstico de largo plazo.....	<b>10</b>
Otras explicaciones a los cambios en la cobertura vegetal.....	<b>13</b>
Indicadores de periodicidad.....	<b>14</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>17</b>
Importancia de la región noroeste de México.....	<b>18</b>
<b>Objetivo General</b> .....	<b>19</b>
Objetivos Específicos.....	<b>19</b>
<b>Metodología</b> .....	<b>21</b>
Datos climatológicos.....	<b>21</b>
Las estaciones climatológicas.....	<b>24</b>

Los datos oceanográficos.....	24
Indices atmosféricos.....	26
El índice de aridez utilizado.....	28
<b>Resultados.....</b>	<b>35</b>
El Índice de Cobertura Arida Anual (ICAA).....	35
La variación temporal del ICAA.....	35
La variación espacial del ICAA.....	36
Relación entre la temperatura superficial del mar (TSM) y el ICAA.....	40
Relación entre índice del pacífico de norteamérica (PNA) y el ICAA.....	42
Relación entre el índice de oscilación del sur (IOS) y el ICAA.....	43
Relación entre el ICAA, la TSM y el PNA.....	43
Relación entre el ICAA, la TSM y el IOS.....	43
Relación entre la TSM y el PNA.....	44
Relación entre la TSM y el IOS.....	45
Modelo de regresión lineal múltiple propuesto.....	47
<b>Discusión.....</b>	<b>48</b>
Los datos climáticos analizados.....	48
Los datos oceanográficos analizados.....	49
El índice de aridez propuesto y los cálculos derivados.....	51

<b>Sobre la variación temporal del ICAA.....</b>	<b>53</b>
<b>Sobre la relación entre los índices analizados y el ICAA.....</b>	<b>56</b>
La temperatura superficial del mar (TSM).....	56
El índice del pacífico de norteamérica (PNA).....	57
El índice del oscilación del sur (IOS).....	63
Los estudios fitodemográficos en la zona del desierto sonorense.....	65
<b>Sobre la variación espacial del ICAA.....</b>	<b>65</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>67</b>
La aplicación de este enfoque ecológico: La variación climática interanual y su efecto sobre algunos sistemas biológicos del noroeste de México.....	72
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>77</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>80</b>

***A mi familia***

***Nora, César y N. Sofía***

***A Roberto (D.P.)***

***A mi madre y hermanos***

## **Agradecimientos**

**Durante casi ocho años muchas personas brindaron su apoyo y dedicación para la realización del presente trabajo. La mayoría de ellas trabajan en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., a todos y cada uno de los empleados del CIBNOR, S.C. agradezco su contribución.**

**Quiero manifestar mi agradecimiento especial al Grupo de Fluctuaciones del CIBNOR, particularmente al Dr. Daniel Lluch Belda quien dió la idea central y dirigió esta tesis, a Sergio Hernández por su apoyo y orientación en los procesos informáticos y estadísticos, a Daniel por sus vallosos comentarios e incisivas, pero siempre constructivas críticas, a la Sra. Eulalia por permanecer siempre atenta en mantener las bases de datos, materia prima del Grupo.**

**Finalmente, al "chiquillaje": Salvador, Jesús, Edgar, Pablo y Juan Pedro, quienes al final del camino se involucraron con las ideas de este nuevo enfoque ecológico, el de las "fluctuaciones".**

## Resumen

Las civilizaciones humanas han estado siempre sujetas a la influencia de múltiples fenómenos meteorológicos y climáticos, condicionando en gran medida los asentamientos humanos, los movimientos masivos de personas y la colonización de nuevas tierras, (Gribbin, 1986; Oliver, 1991); pero no son las condiciones promedio del clima las que determinan la adaptación de los seres vivos en la naturaleza; sino también las variaciones que éste presente.

Dos factores climáticos se asocian principalmente a las zonas áridas en el mundo, uno atmosférico y otro oceánico (García, 1983). El primero se refiere a la influencia que el cinturón de las altas presiones de latitudes medias ejerce sobre las tierras emergidas; el segundo, oceánico, comprende la presencia de corrientes marinas que circulan en dirección hacia el Ecuador provenientes de los casquetes polares acarreado agua fría que, al interactuar con la atmósfera, produce una disminución en la convección, reduciendo la humedad y temperatura del aire que fluye encima de ellas. Este aire es llevado a tierra por las corrientes de vientos provenientes del oeste, ocasionando el carácter árido y de alta variabilidad climática a la porción de tierra firme adyacente a estas corrientes oceánicas, (Mosíño, 1966; García y Mosíño, 1968).

La región del noroeste mexicano donde se ubica el Desierto Sonorense cuenta con las influencias antes descritas; particularmente, de la celda semipermanente de alta presión del Pacífico nororiental y de la corriente oceánica fría de California, (Hastings y Turner, 1965; García y Mosíño, 1968; Salinas-Zavala, et al., 1990).

Esta región es una de las áreas más productivas de la República Mexicana. Sólo en el sector agrícola el último censo económico indica que el 32% de la producción nacional de los principales granos como el frijol, maíz, trigo, soya y sorgo provino de los cuatro estados que bordean el Mar de Cortés.

Considerando el sector pesquero, en esta región se capturan las especies marinas de mayor precio y volumen en el mercado, alcanzando el 45.5 % del valor del producto de la pesca y el 65% del volumen de la captura nacional de especies marinas.

Otros sectores como el ganadero y el turístico compiten también con otras regiones del país. Estas características le confieren al noroeste de México el carácter de estratégico en el contexto del desarrollo de la nación, (Plan Nacional de Desarrollo, 1989).

En el presente trabajo se define una metodología basada en el uso de imágenes en computadora y el índice de Aridez de Martonne (1926) para identificar

los cambios interanuales de la cobertura árida, denominándosele Índice de Cobertura Árida Anual (ICAA).

Este índice cuantitativo analiza la aridez meteorológica sobre una base anual. Los cálculos se efectuaron considerando un total de 181 estaciones climatológicas ubicadas en los cuatro estados que bordean el Golfo de California. El índice considera tanto las variaciones en el tiempo (1950-1990) como en el espacio (península de Baja California, Sonora y Sinaloa).

Los resultados muestran una tendencia a la disminución de la cobertura árida del orden del 37% en los 41 años analizados. Por otro lado, las fluctuaciones temporales del índice propuesto son descritas tanto en su variabilidad de alta como de baja frecuencia. Basándonos en un análisis de autocorrelación, se muestra una posible señal periódica en él de aproximadamente 18 años que coincide con otras descritas para la porción suroeste de los Estados Unidos.

Mediante el análisis del movimiento espacial de las zonas áridas extremas ( $\lambda \leq 5$ ) se identifican las zonas desérticas más persistentes en tiempo y espacio. De lo anterior se propone se replanteen los límites del área de lo que actualmente conocemos como Desierto Sonorense, ya que las áreas que ocupan el Desierto de Altar y la porción meridional de la península de Baja California son más persistentes en su condición árida, pudiendo ser consideradas como provincias biogeográficas diferentes.

En cuanto a la definición de las posibles causas que determinan esta variación ambiental se presentan relaciones entre el ICAA y la temperatura superficial del mar (TSM) de áreas oceánicas adyacentes al área de estudio, determinándose que las áreas que mejor se relacionan con las variaciones del ICAA ( $p < 0.01$ ) son las áreas que coinciden con la ubicación promedio de la Corriente de California. Del mismo modo, se efectuaron correlaciones con indicadores atmosféricos tales como el PNA (Pacific North American Index) y el IOS (Índice de Oscilación del Sur), los cuales no contribuyen significativamente en la explicación del fenómeno.

Finalmente, se propone un modelo de regresión múltiple en función de los elementos oceánicos (la TSM) y atmosféricos (el PNA y el IOS), que mejor se ajusta a los valores del ICAA observados, el cual explica el 52% de la variabilidad observada.

A manera de aplicación de este tipo de estudios se presentan algunos de los efectos de la variación climática interanual sobre dos de las pesquerías más importantes del noroeste de México.

## Relación de figuras y tablas

### Figuras

**Fig. 1. Áreas oceánicas analizadas. El achurado señala el Golfo de California no incluido en el análisis.**

**Fig. 2. Variación interanual del índice de Cobertura Árida anual (ICAA) en el noroeste de México.**

**Fig. 3. Cambio del ICAA de un año respecto al anterior.**

**Fig. 4. Promedios móviles de tres años centrados en el segundo de los valores del ICAA.**

**Fig. 5. Autocorrelograma del ICAA, (\*) =  $p < 0.05$**

**Fig. 6. Coeficientes de correlación por áreas oceánicas entre la TSM y el ICAA.**

**Fig. 7. Relación lineal entre el PNA 700 mb y el ICAA.**

**Fig. 8. Relación lineal entre el IOS y el ICAA.**

**Fig. 9. Coeficientes de correlación por áreas oceánicas entre la TSM y el PNA 700 mb.**

**Fig. 10. Coeficientes de correlación por áreas oceánicas entre la TSM y el IOS.**

**Fig. 11. Distribución de frecuencias del ICAA.**

**Fig. 12. Tendencia positiva del PNA 700 mb. Promedios móviles de cinco meses centrados en el tercero.**

**Figs. 13-53. Mapas de cobertura árida anual, (1950-1990)**

## Tablas

**Tabla 1. Características generales de las estaciones climatológicas utilizadas. La clave significa el nombre del archivo ASCII en el Anexo 1.**

**Tabla 2. Promedio anual de la temperatura superficial del mar (TSM) por áreas oceánicas. Los datos entre paréntesis son valores estimados.**

**Tabla 3. Número de datos de temperatura superficial del mar (TSM) por mes y por área oceánica.**

**Tabla 4. Valores de aridez calculados para el noroeste mexicano de 1950 a 1990.**

**Tabla 5. Coeficientes de determinación y correlación entre el ICAA y la TSM en las áreas oceánicas analizadas.**

**Tabla 6. Coeficientes de determinación y correlación entre combinación de áreas significativamente relacionadas con el ICAA. El sombreado indica la combinación utilizada en el Análisis de Regresión Múltiple.**

**Tabla 7. Coeficientes de determinación y correlación múltiples y, porcentaje de explicación promedio de las desviaciones del modelo respecto a las observaciones.**

## **Introducción**

**Desde sus albores las civilizaciones humanas han estado siempre sujetas a la influencia de múltiples fenómenos meteorológicos y climáticos. De hecho, las condiciones climatológicas imperantes en determinado momento de la historia, definieron en gran medida los asentamientos humanos, los movimientos masivos de personas y la colonización de nuevas tierras, (Gribbin, 1986; Oliver, 1991).**

**Pero no son tan sólo las condiciones promedio del clima de un lugar las que determinan la adaptación de los seres vivos en la naturaleza; sino también las variaciones que presenta. Los intemperismos o irregularidades climáticas pueden ser considerados más o menos severos en función de la fuerza, magnitud y frecuencia con que se presenten.**

**Entre los intemperismos severos que han determinado en la escala de tiempo que abarca una generación humana las costumbres y cultura de muchas razas humanas, se encuentran las inundaciones y las sequías. Estas últimas son de gran repercusión en la sobrevivencia humana; basta recordar las grandes hambrunas que se viven en la región de Sahel en Africa, o las grandes mortandades de ganado en el Desierto Central de Australia. A pesar del gran avance tecnológico, se han registrado por esta causa graves fracasos agrícolas en el principal proveedor de granos del planeta, las grandes planicies de los Estados**

## **Unidos de Norteamérica.**

**Los factores climáticos se asocian principalmente a las zonas áridas en el mundo, uno atmosférico y otro oceánico (García, 1983). El primero se refiere a la influencia que el cinturón de las altas presiones de latitudes medias ejerce sobre las tierras emergidas; estos centros de alta presión calientan el aire por compresión adiabática reduciendo su contenido de humedad relativa en superficie y disipando las formaciones nubosas, dándole el carácter seco a la atmósfera en estas regiones. El segundo, oceánico, comprende la presencia de corrientes marinas que circulan en dirección hacia el Ecuador provenientes de los casquetes polares acarreamos agua fría que, al interactuar con la atmósfera, produce una disminución en la convección, reduciendo la humedad y temperatura del aire que fluye encima de ellas. Este aire es llevado a tierra por las corrientes de vientos provenientes del oeste, ocasionando el carácter árido y de alta variabilidad climática a la porción de tierra firme adyacente a estas corrientes oceánicas, (Mosíño, 1966; García y Mosíño, 1968).**

### **El desierto del noroeste mexicano**

**La región del noroeste mexicano donde se ubica el Desierto Sonorense cuenta con las influencias antes descritas; particularmente, de la celda**

**semipermanente de alta presión del Pacífico nororiental y de la corriente oceánica fría de California, (Hastings y Turner, 1965; García y Mosiño, 1968; Salinas-Zavala, et al., 1990). Debido a que la porción septentrional del país se encuentra al norte del Trópico de Cancer y por lo tanto bajo la influencia del cinturón de altas presiones del hemisferio norte, una buena parte del territorio nacional, el 52% (Schmidt, 1989), se encuentra ubicado dentro de lo que se conoce como zonas áridas y semiáridas del planeta. Se identifican dentro de nuestro país las siguientes zonas áridas: el Desierto Sonorense, la porción sur del Desierto de Altar o Gran Desierto y la gran extensión que abarca el Desierto Chihuahuense.**

**Otros elementos del clima atmosférico que tienen influencia en el campo de agua precipitable en el noroeste son las tormentas extratropicales, los eventos ciclónicos de origen tropical y lo que se conoce como la circulación monzónica de verano, (Serra, 1971; Hales, 1974; Latorre y Penilla, 1988; Reyes y Mejía-Trejo, 1991).**

**Por otro lado, se ha postulado que los cambios del clima seco prevaleciente en la región noroeste de México se deben más a las progresiones que sufren los fenómenos meteorológicos de altura, tales como vaguadas y crestas que a los fenómenos meteorológicos característicos a nivel del mar tales como ondas y perturbaciones someras tropicales, (Mosiño, 1966).**

Incluso se ha escrito sobre la importancia que el Golfo de México puede tener en el aporte de humedad hacia esta región de país, (Reyes y Janowiak, 1986; Reyes-Coca *et al.*, 1991).

En la primera parte del presente trabajo se define una metodología basada en el uso de imágenes en computadora y el Índice de Aridez de Martonne (1926) para la identificación e interpretación de los cambios interanuales de la cobertura árida, denominándosele Índice de Cobertura Árida Anual (ICAA) y aplicándolo a los cuatro estados que bordean el Mar de Cortés: Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa.

Los primeros resultados que se describen en el presente trabajo, corresponden a las fluctuaciones temporales del ICAA, tanto en su variabilidad de alta como de baja frecuencia. También se muestra una posible señal periódica en el ICAA, basándose en un análisis de autocorrelación.

Se identifican después las zonas desérticas más persistentes en tiempo y espacio, mediante el análisis del movimiento espacial de las zonas áridas extremas.

Posteriormente, se presentan los resultados de las relaciones entre el ICAA y la temperatura superficial del mar (TSM) de quince áreas oceánicas localizadas

al oeste del área de estudio.

**Se ha discutido sobre el hecho de que los mecanismos que determinan las características y variaciones del clima son múltiples; por ello, el tratar de dar una explicación de los fenómenos climatológicos basada en el comportamiento de una variable en particular ha sido considerado simplista en la literatura especializada.**

Tratando de evitar este carácter simplista en la definición de las causas de la aridez (Namias, 1980; Miller et al., 1983; Namias, 1989a) y atendiendo los nuevos enfoques en el entendimiento de la dinámica atmosférica de latitudes medias (las teleconexiones), (Namias y Born, 1972; Wallace y Gutzler 1981; Diaz y Namias, 1983; Leathers et al., 1991) se ha incorporado a este trabajo el análisis de un indicador atmosférico propio de las condiciones de circulación en la tropósfera media, (porción de la atmósfera donde se llevan a cabo los principales procesos que determinan el clima en superficie), denominado "Pacific North/American Index" (PNA).

Se incluye un análisis de relación entre el Índice de Oscilación del Sur (IOS) y el ICAA, debido a las conexiones remotas que Horel y Wallace (1981) han mostrado entre la circulación definida por el PNA y el Índice de Oscilación del Sur (IOS); el efecto descrito entre la fase negativa del IOS y los campos de precipitación pluvial en México (Cavazos y Hastenrath, 1990) y particularmente en

la región noroeste del país (Reyes-Coca y Rojo-Salazar, 1985; Salinas-Zavala et al., 1990). Dentro de los análisis realizados también se presentan, para las quince áreas oceánicas definidas, los coeficientes de correlación entre la TSM, tanto para el PNA como para el IOS.

En la parte final de los resultados se propone el modelo analizado de regresión múltiple en función de elementos tanto oceánicos (la TSM) como atmosféricos (el PNA y el IOS), que mejor se ajusta a los valores del ICAA observados.

El interés por comprender las variaciones del clima y la forma en que éste afecta los recursos marinos, se acentuó en el decenio de los setenta, después de que en la parte final del decenio anterior se presentaron fenómenos que eran diferentes a los que habían prevalecido desde principios de siglo. En el apartado conclusivo del trabajo se mencionan a manera de ejemplo algunos de los efectos de la variación climática interanual en las dos pesquerías más importantes que operan en la región noroeste del país, la de pelágicos menores, la de los mayores volúmenes registrados; y la de camarón, la de mayor valor comercial y captación de divisas para el país.

## **Antecedentes**

### **La definición de aridez**

**En la mayoría de las ciencias, existen algunas discrepancias en cuanto a definir claramente sus términos y conceptos básicos, y la Climatología no es la excepción, particularmente cuando se trata de definir el término aridez.**

**Las connotaciones socioeconómicas que los problemas de escasez de agua tienen, se han traducido en gran número de definiciones del término aridez.**

**Se ha definido la sequía en términos de periodos durante los cuales la humedad del suelo es insuficiente para soportar cosechas (Aridez Agrícola), o como los periodos de bajo escurrimiento superficial que conllevan insuficiencia en el almacenamiento en reservorios naturales o artificiales (Aridez Hidrológica); periodos de baja oferta de agua que disminuye los procesos productivos de las sociedades y las actividades que dependen de ella (Aridez Económica). Finalmente, los periodos de bajas precipitaciones pluviales por lapsos prolongados que puede denominarse Aridez Meteorológica.**

**La importancia de la definición radica en el hecho de clarificar el interés del estudio; si el objetivo central es conocer los efectos que la aridez provoca se**

deberá enfocar el análisis ya sea hacia la aridez hidrológica, hacia la económica, la agrícola o alguna otra; pero si se está interesado en conocer las causas de aquella, entonces el término de aridez meteorológica es el correcto (Dracup et al., 1980). En este trabajo se considera la última de ellas ya que el propósito del mismo se orienta a la búsqueda de las causas que propician este fenómeno en el noroeste mexicano.

Para los fines del presente trabajo se considera la definición de aridez postulada por Namias, (1980), como .. "la extensión prolongada de déficit de precipitación con respecto a la normal climatológica...". En vez de utilizar los valores de precipitación como tales, se ha tomado un Indicador de Aridez al que se ha llamado Índice de Cobertura Arida Anual (ICAA), propuesto en el presente trabajo.

Dada la cobertura geográfica de las estaciones climatológicas existentes para la región noroeste de México, múltiples trabajos se han realizado con los datos registrados por ellas, desde la definición de sus zonas climáticas y probabilidad de lluvias (García, 1964; García y Mosiño, 1968; Markham 1972; Ezcurra y Rodríguez, 1986), la regionalización de patrones de precipitación pluvial (Hastings et al. 1965; Markham, 1972) hasta la variabilidad temporal de la precipitación y temperatura del aire en superficie (Rueda, 1983; Daget y Reyes, 1989; Rojo, 1985; Salinas-Zavala, 1990). Particularmente para el área peninsular

**todos ellos coinciden en señalar una estratificación regional de los patrones anuales de precipitación pluvial de noroeste hacia sureste, caracterizada por el paso de zonas con influencia templadas -clima Mediterráneo seco, (Aschmann, 1984)- a zonas con marcada influencia tropical. Esta característica lo distingue de otras zonas desérticas en el mundo (Turner y Brown, 1982).**

**En cuanto al análisis de la aridez en la región, se pueden señalar los trabajos pioneros de García (1964), Mosiño (1966) y (García y Mosiño, 1968). La definición espacial del Desierto Sonorense ha sido estudiada desde diferentes puntos de vista. La más reciente revisión conceptualiza y define los límites del Desierto Sonorense es la realizada por Schmidt (1989). En ella compara las 12 diferentes propuestas sobre los límites del desierto Sonorense y, utilizando valores  $\leq 10$  del Índice de Aridez de Martonne (1926); es decir, los verdaderos desiertos (0-5) y las estepas áridas (6-10) define que más de dos terceras partes de este desierto corresponden a México, el resto a los Estados Unidos, incluyéndose más del 90% de la Península de Baja California, cerca de la mitad del Estado de Sonora en una franja orientada en sentido noroeste-sureste y hasta la porción norte de la planicie costera del Estado de Sinaloa.**

**En muchos otros lugares en el mundo con condiciones áridas se han llevado a cabo estudios con enfoques parecidos al utilizado en el presente trabajo. Relaciones entre la temperatura superficial del mar (TSM) y las condiciones de**

aridez han sido descritas para el desierto del Sahel (Folland, et al., 1986; Palmer, 1986); para la porción árida de Brasil (Namias, 1972), para el desierto chileno (Romero, 1989), la zona desértica de la porción occidental de Australia (Simmonds y Rocha, 1991), en la región monzónica de la India y Sri-Lanka (Rasmusson y Carpenter, 1983) incluso para Europa (Namias, 1978) y, sobre todo para las Grandes Planicies de los Estados Unidos de Norteamérica (Namias, 1979; Namias, 1982; Ratcliff, 1977; Palmer and Brankovic, 1989; Orville, 1990; Mo et al., 1991).

De igual manera, eventos extremos de condición térmica oceánica se han relacionado con las condiciones de sequías prevalecientes en diferentes lugares del mundo, (Trenberth et al., 1988; Palmer y Brankcovi, 1989; Romero, 1989; Namias, 1989b; Orville, 1990). Un ejemplo de estos eventos es el sucedido durante 1988 y catalogado como uno de fenómenos oceanográficos más intensos en cuanto a anomalías negativas de TSM en el Océano Pacífico ecuatorial y oriental, durante un evento que se ha llegado a nombrar como "La Niña" (Philander, 1985).

#### **La vanguardia en el pronóstico a largo plazo**

Durante las últimas tres décadas expertos en el pronóstico del clima han enfocado su atención hacia la determinación anticipada de las condiciones climáticas que se presentan en regiones particulares, sobre todo en escalas de

tiempo que van más allá del patrón estacional (Namias, 1972). Recientemente se ha reconocido que este tipo de estudios son relevantes para el adecuado uso y manejo de los recursos naturales, entre ellos el agua (Liuch-Belda et al., 1991).

En escala de tiempo interanual, el fenómeno meteorológico acoplado entre el océano y la atmósfera que ha tenido mayor repercusión en la investigación científica mundial es sin duda el conocido como El Niño/Oscilación del Sur (ENOS). (Rasmusson y Wallace, 1983; Philander, 1985).

Se reconoce que este fenómeno climatológico se compone de dos elementos: El Niño, que es la parte oceánica del sistema y la Oscilación del Sur que es la parte atmosférica. Las relaciones entre sus elementos climáticos y los cambios en el temperatura y precipitación, así como el nombre de Oscilación del Sur fueron propuestas por Walker y Bliss en 1937, (Trenberth, 1991). Adicionalmente, la primera propuesta de acoplamiento entre los sistemas oceánicos y los atmosféricos en el Pacífico ecuatorial fue planteada por Bjerknes (1969).

Durante el presente siglo otras relaciones atmosféricas han sido descritas, como la establecida entre variables climáticas de puntos tan distantes como Canadá y Florida (Wallace y Gutzler, 1981) o entre las condiciones climáticas en el Pacífico ecuatorial oriental y los campos de presión en el Golfo de Alaska (Horel y Wallace 1981; Trenberth, 1991); éstas relaciones fueron bautizadas con el nombre

de teleconexiones, término utilizado primeramente por Angström en 1935, (Trenberth, 1991).

Los trabajos pioneros de Jerome Namias sobre el pronóstico de largo plazo, basado en observaciones empíricas y de relaciones estadísticas entre diferentes variables atmosféricas, (Namias, 1955; Namias, 1963) y oceánicas (Namias, 1969), han demostrado la existencia de muchos procesos climáticos que se definen sobre periodos de meses o estaciones y dentro de escalas espaciales que van desde pocos cientos hasta miles de kilómetros.

En la actualidad el estudio de las teleconexiones, junto con la reconocida importancia que los modelos estadísticos tienen en estas escalas de tiempo y espacio, (Namias, 1972), son consideradas como uno de los campos de la ciencia que prometen resultados alentadores en el pronóstico del clima de largo plazo, (Namias, 1985).

Una primera revisión global de este tema de estudio en la Meteorología y la Climatología, así como su impacto en aspectos ecológicos y sociales se describe en Glantz, et al. (1991).

### **Otras explicaciones a los cambios en la cobertura vegetal**

Las repercusiones que las fluctuaciones climáticas en regiones áridas tienen sobre las variaciones en la cobertura vegetal han quedado de manifiesto en la literatura especializada tanto en la composición de las unidades vegetales como en su abundancia en función del tiempo, (Shreve, 1929; Shreve y Hinckley, 1937). Ezcurra y Rodríguez, (1986), analizan comparativamente la vegetación existente dentro de la porción mexicana del Desierto de Altar y encuentra que la vegetación de la zona occidental está adaptada a una situación de aridez más intensa que la de la porción oriental, lo cual es congruente con los datos de probabilidad de lluvias que calcula para una y otra zona.

Los cambios observados en las poblaciones de vegetación de zonas áridas, particularmente los más conspicuos como el sahuaro *Carnegiea gigantea*, se han documentado en la literatura especializada. Particularmente los cambios en cobertura vegetal, ha propiciado que algunos autores basados en otra perspectiva de investigación, hayan postulado hipótesis alternativas para explicar la dinámica poblacional que presentan algunas elementos florísticos de estas regiones.

Así, por ejemplo, algunos autores han sugerido que la relación entre árboles que les sirven como nodrizas a otros condiciona su viabilidad y desarrollo (Vandermeer, 1980). Otros autores plantean la hipótesis de la competencia para

explicar las fluctuaciones de los cambios en la población de plantas de desierto (McAuliffe, 1984) y otros más proponen que son agentes patógenos los responsables de que la población de cardón *Pachycereus pringlei* pueda disminuir en el estado de Baja California Sur en los próximos años, (Holguín, et al., 1993).

Sin embargo, dos de los experimentos más extensos en el tiempo, uno 77 años y otro de 72 años, que consistieron en análisis demográficos de plantas de desierto en la porción norteña del Desierto Sonorense, el primero en la Reserva "Sierra del Pinacate" y el segundo en el Estado de Arizona en los EEUU, indican que los cambios que experimentaron, tanto en cobertura absoluta como en densidad de las especies vegetales identificadas fueron respuesta a condiciones excepcionales de años húmedos (1930-1936) o años secos (1950-1957), (Goldberg y Turner, 1986; Turner, 1990).

#### **Indicadores de periodicidad**

Muchos fenómenos biológicos se presentan en forma periódica, asociados con ciclos planetarios de corta duración como el ritmo circadiano, o de mayor alcance como el de las manchas solares, o incluso el de las glaciaciones, (Gribbin, 1986). Estos ciclos planetarios influyen en las dinámicas oceánica y atmosférica que a su vez determinan el clima de una región en particular, y en las

características de los componentes biológicos.

En las zonas áridas, las variaciones interanuales de su condición de estiaje pueden asociarse no sólo con el ciclo planetario que determina las estaciones del año, sino también a otros de mayor amplitud.

Algunos de los ciclos en la escala interanual, que han sido relacionados con los cambios en las variables que determinan el clima, son por ejemplo el ciclo de las manchas solares, que ocurre aproximadamente cada 11 años (Eddy, et al. 1982); otro, el doble del anterior - aproximadamente 22 años - se caracteriza por el cambio en la polaridad magnética del sol (Ciclo de Hale) y se ha asociado particularmente con las sequías que se presentan en las Grandes Planicies de los Estados Unidos, (Gerety et al. 1978; Mitchell, et al., 1979; Orville, 1990). Muchos otros ciclos se han mencionado, tales como el ciclo de las mareas lunares, de 19 años aproximadamente (Currie, 1981; Currie, 1987); el ciclo cuasi-bianual durante el cual los vientos cambian de dirección en la atmósfera superior con una regularidad aproximada de 2 años (Gray y Schaefer, 1991), e incluso el fenómeno de "El Niño" cuya periodicidad es todavía tema de estudio de muchos investigadores en el mundo (Trenberth, 1991).

El considerar los índices de aridez en el dominio del tiempo y del espacio le confiere un carácter más dinámico a los análisis que se efectúan, permitiendo

Identificar características de severidad, persistencia y posibles fluctuaciones cíclicas en los eventos climatológicos que determinan condiciones de aridez extrema. Algunos índices que involucran la dimensión espacial en su análisis han sido propuestos en la literatura especializada, (Palmer, 1965; Stockton y Meko, 1975; Bhalme y Mooley, 1981), reconociéndose como característica especial del fenómeno su variabilidad no sólo en el tiempo sino también en el espacio, (Dracup et al., 1980).

No se identifican antecedentes para la región noroeste de México sobre trabajos que analicen la variabilidad interanual de la aridez desde el punto de vista espacio-temporal.

## **Justificación**

**Las carencias de agua en la región noroeste de la República Mexicana, hacen necesario el desarrollo de modelos económicos de producción acordes a esta condición ambiental. Para ello, en una primera etapa es necesario el entendimiento de las características climatológicas imperantes en el noroeste mexicano, su variabilidad y comportamiento, que permitan proponer la utilización de modelos productivos diferentes a los planteados para las zonas húmedas del país.**

**Durante muchos años se pensó que las condiciones climatológicas de un año a otro permanecían más o menos constantes, sobre todo en términos de rendimientos agrícolas. Particularmente es cierto en las décadas de los 40's y 50's, periodo que coincide con la "Revolución Verde", (Lluch-Belda et al., 1991). Hoy en día se ha reconocido que el clima es dinámico y cambiante. Por ello, es importante identificar los cambios que se presentan más allá del ciclo estacional. El sector productivo de la sociedad más ligado al uso del agua requiere de información previa, en la escala de tiempo adecuada, que le dé una indicación de cuáles serán las condiciones ambientales que pueden determinar el éxito o el fracaso de su siguiente ciclo productivo.**

### **Importancia de la región noroeste de México**

**La región noroeste del país incluye una de las áreas más productivas de la República Mexicana. Sólo en el sector agrícola el último censo económico de 1990, indica que el 32% de la producción nacional de los principales granos como el frijol, maíz, trigo, soya y sorgo provino de los cuatro estados que bordean el Mar de Cortés.**

**El sector pesquero, considerando los datos históricos de captura en peso vivo desde 1984 y hasta 1989, es en esta región donde se capturan las especies marinas de mayor precio y volumen en el mercado, alcanzando el 45.5 % del valor del producto de la pesca y el 65% del volumen de la captura nacional de especies marinas.**

**Otros sectores como el ganadero y el turístico complten también con otras regiones del país. Así para el mismo periodo en esta región se contabilizó el 10.7% de la producción nacional de cabezas de ganado bovino, (INEGI, 1990). El sector turístico, está catalogado como uno de los polos de desarrollo más importantes del país. Estas características le confieren al noroeste de México el carácter de estratégico en el contexto del desarrollo de la nación, (Poder Ejecutivo Nacional, 1988).**

Por lo anterior, los planes de manejo que se desarrollen para administrar los múltiples recursos con que cuenta la región deben contemplar un elemento importante: las variaciones del clima propio de la región.

### **Objetivo General**

De esta manera el presente trabajo pretende, como una primera aproximación, identificar las relaciones entre las fluctuaciones interanuales del clima árido de la región noroeste de México, la condición térmica del océano adyacente el Pacífico nororiental y algunos indicadores de la circulación atmosférica en latitudes medias y ecuatoriales.

Con la definición del objetivo general anteriormente señalado, se plantean también los siguientes:

### **Objetivos específicos**

1. Proponer un Índice de Aridez con carácter dinámico en el tiempo y en el espacio (Índice de Cobertura Árida Anual, ICAA).

**2. Proponer una metodología de análisis de la aridez meteorológica basada en los cambios espaciales y temporales de la cobertura árida en la región.**

**3. Determinar la tendencia lineal de la cobertura árida, expresada cuantitativamente.**

**4. Determinar la distribución espacial de la cobertura árida en las últimas cuatro décadas.**

**5. Identificar las áreas con mayor incidencia de aridez en la región.**

**6. Identificar la áreas oceánicas adyacentes a la costa occidental que mejor se relacionan con el ICAA en la región.**

**7. Identificar cuantitativamente la relación entre los dos indicadores atmosféricos, uno extratropical (Índice del Pacífico de Norteamérica / Pacific North American Index, PNA a 700 mb) y otro tropical (Índice de Oscilación del Sur / Southern Oscillation Index, IOS), y los valores de aridez calculados con el Índice propuesto (ICAA).**

**8. Proponer un modelo de regresión múltiple simulen la cobertura árida en la región en función del tiempo.**

## **Metodología**

### **Datos climatológicos**

Los datos climatológicos de precipitación pluvial y temperatura del aire en superficie que se utilizaron en este trabajo se registraron sobre una base mensual, totales acumulados en el primer caso y promedios para el segundo. La información climatológica utilizada proviene de varias fuentes, la primera de ellas son las compilaciones realizadas por Hastig, en 1964a,b y, Hastig y Humphrey en 1969a,b. Estos documentos contienen información mensual, tanto de precipitación como de temperatura de un total de 274 estaciones climatológicas, de los cuatro estados analizados en el presente trabajo: Sonora, Sinaloa, Baja California y Baja California Sur.

Estas series fueron complementadas a partir de 1963 con información proporcionada directamente por las Oficinas de Hidrometría de la Secretaría de Recursos Hidráulicos -actualmente pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua-, hasta el año de 1990. Adicionalmente, se tuvo acceso a la información climatológica que el Grupo de Meteorología del CICESE, reunió con motivo del experimento TRAVASON-90, llevado a cabo en el verano de 1990 (Reyes-Coca et al., 1991).

Dada la diversidad de las fuentes consultadas, fue necesario comparar la información entre ellas.

Con objeto de tener mayor control en la verificación de los datos, se elaboraron gráficas de las series anuales, tanto para precipitación como para temperatura de las 181 estaciones utilizadas y se compararon, visualmente, con las estaciones climatológicas más cercanas a ellas. De este proceso surgió la eliminación de datos de temperatura del aire en superficie reportados de algunos años para la estación Mulegé, en Baja California Sur.

Para el manejo de la información meteorológica analizada, se diseñó dentro del Departamento de Climatología Aplicada del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., un programa manejador de la base de datos de estaciones climatológicas que incluye las estaciones climatológicas que hasta 1990 tenían 20 o más años en operación. Esta base de datos se incluye en el presente documento dentro de un disco flexible localizado en la contraportada. Para su instalación sólo se requiere copiarlo en una computadora personal con monitor a color VGA y sistema operativo MS-DOS 5.0 o mayor. el programa es autoexplicativo y se inicializa con el comando NWMEX.EXE, (Anexo 1).

Los parámetros consignados para cada una de estas estaciones son temperatura del aire en superficie y precipitación pluvial acumulada mensual.

Además, la base de datos contiene información particular de cada una de las estaciones analizadas, tal como nombre de la estación, localización geográfica en latitud-longitud, altitud, y un número clave que la identifica.

Las series de datos tanto de precipitación como de temperatura presentan huecos de información. Para lograr que las series analizadas fueran continuas en el tiempo y poder realizar procesos de integración anual más confiables, se decidió incluir en los meses faltantes la temperatura promedio o la precipitación promedio para ese mes. En todos los casos, esta decisión se tomó sólo cuando los meses faltantes para un año en particular no fueran más de seis.

Con el criterio anterior se contabilizó un promedio de 11 datos faltantes por estación, dando un total de 1991 datos faltantes para las dos variables utilizadas, lo cual representa el 1.11% del total de datos analizados (considerando 181 estaciones, 41 años, doce meses y dos variables). En las zonas áridas, las lluvias registradas como inapreciables (menores de 1 mm) son frecuentes; para los fines de este estudio, estos registros se igualaron a cero.

En la escala temporal fue necesario decidir sobre el año inicial del presente estudio, ya que aunque algunas estaciones inician sus registros a principios de los años 1920's, pocas contienen información continua antes de la mitad del presente siglo; el número de estaciones climatológicas operando en el noroeste mexicano

es significativo a partir de 1950; éste es el año de partida para nuestro análisis y hasta 1990.

### **Las estaciones climatológicas**

Se analizó un total de 181 estaciones climatológicas: 21 en Baja California, 56 localizadas en Baja California Sur, 65 en Sonora y 39 en Sinaloa sin distinción de la altitud a la que se encuentran; sus características generales y ubicación geográfica se muestran en la Tabla 1.

Los límites costeros de los cuatro estados analizados fueron extraídos del mapa de alta resolución del Oceanographic Application Group (NOAA), proporcionado al Departamento de Climatología Aplicada del CIB. En el presente trabajo no fue considerada ninguna proyección geométrica de la cobertura geográfica; es decir, las áreas analizadas y las posteriormente calculadas deben considerarse en términos relativos y no absolutos.

### **Los datos oceanográficos**

Para el caso de las mediciones de temperatura oceánica, se utilizó la Base

de Datos NODC-01 (1950-1988) (Topoly, et al., 1989) y su complemento la NODC-03 (1989-1990) preparada por la National Oceanic and Atmospheric Administration de los EEUU. En conjunto estas bases contemplan las observaciones oceanográficas efectuadas en la totalidad del Océano Pacífico desde 1900 hasta 1990.

Sobre la base de la ubicación y anchura promedio de la Corriente de California (Lynn y Simpson, 1987) se definieron 15 áreas oceánicas, las cuales se muestran en la Fig. 1. De ellas se obtuvieron las series anuales de las observaciones de temperatura superficial del mar (TSM, observaciones entre 0 - 10 m de profundidad). La Tabla 2 muestra los promedios anuales de cada una de las áreas y la Tabla 3 el número de observaciones por mes con las cuales se calculó el promedio. En estas bases está concentrada la información proveniente tanto de diferentes aparatos oceanográficos (XBT, CTD, hidrocalas, etc.) como de mediciones realizadas por buques, barcos y veleros llamados "de oportunidad" ya que la Armada de los EEUU los provee de batitermógrafos desechables que son utilizados durante su travesía y entregados a su regreso en su país. De esta manera el número de observaciones oceanográficas entre la superficie y los 10 m de profundidad frente a la costa occidental de la península de Baja California ascendía hasta 1990 a 375,899, (Tabla 3).

En cuanto a la cobertura temporal de la información oceanográfica se tuvieron que realizar dos consideraciones. La primera fue desechar las series de

algunos cuadrantes por no presentar continuidad en sus datos para los años de 1950 a 1990; éstos fueron los numerados con X, XI, XII y XIV, (Fig. 1). Por otro lado, otras series si bien presentaban continuidad en sus datos, no estaban bien representados algunos años por un número suficiente de meses. En este caso se tomó como criterio que los años tuvieran un mínimo de seis meses para completarlo con las medias mensuales de los meses faltantes. Estos valores se muestran entre paréntesis en la Tabla 2.

### **Indices atmosféricos**

En el análisis originalmente propuesto, se consideró importante incluir como variable independiente y relacionada con la aridez meteorológica al viento. La circulación general de la atmósfera muestra su influencia en la Zona de Transición Templada-Tropical (ZTTT), región en la que se ubica el área de estudio, mediante la confluencia de vientos provenientes del oeste y noroeste principalmente.

La relación entre la circulación atmosférica en altura (tropósfera media; 500 - 700 mb) y las condiciones del clima en el cinturón de latitudes medias del hemisferio boreal ha sido descrita por varios autores (Wallace y Gutzler, 1981; Douglas y Eglehart, 1982; Namias, 1982; Diaz y Namias, 1983; Namias, 1989a). El efecto que ésta tiene sobre el clima predominante en el territorio mexicano y

particularmente en la Península de Baja California se describió por Mosiño (1966) y García y Mosiño (1968).

Dada la carencia de observaciones directas de este componente atmosférico, y a que se encuentra íntimamente relacionado con los campos de presión atmosférica, se decidió utilizar un indicador que ha sido propuesto por varios autores como importante en la explicación de las posibles causas de la aridez meteorológica que se presentan en las grandes planicies de los Estados Unidos de Norteamérica, el PNA (Pacific North/American Index) (Wallace y Gutzler, 1981; Namias, 1989a).

Este indicador combina las alturas a las cuales se registran ciertos niveles barométricos en los centros de presión que rodean Norteamérica: la celda de baja presión de Las Aleutianas, la alta presión de Nortamérica, la celda semipermanente de alta presión del Pacífico nororiental y la baja de presión localizada sobre Florida (EEUU). El PNA fue propuesto formalmente por Wallace y Gutzler en 1981, y como se dijo anteriormente relaciona las alturas a las cuales se presenta cierto nivel de presión atmosférica, generalmente relacionadas con la tropósfera media, en la cual se presentan todos los fenómenos que determinan el clima en superficie. En este trabajo se consideró la posición de los 700 mb como indicador atmosférico.

La información del PNA fue proporcionada por el Dr. Daniel Cayan de la

**Scripps Institution of Oceanography. Aunque la literatura sugiere utilizar la fase Invernal de este indicador -es decir los meses de diciembre, enero y febrero (Wallace y Gutzler, 1981; Díaz y Namias, 1983)- en el presente trabajo se integró la información mensual para utilizar un valor anual, basados en los análisis realizados por Leathers, et al. (1991), para la precipitación pluvial y temperatura en los Estados Unidos, en donde manifiestan que existen buenas correlaciones con este índice para todas las estaciones del año; aunque en menor grado durante el verano.**

**Otro índice atmosférico utilizado fue el Índice de Oscilación del Sur (IOS). Este índice ha sido ampliamente utilizado en los últimos años, principalmente como indicador del componente atmosférico del fenómeno climático conocido como El Niño/Oscilación del Sur (ENOS), (Rasmusson y Wallace, 1983).**

#### **El índice de aridez utilizado**

**En la bibliografía especializada ha sido descrito un número considerable de fórmulas empíricas y teóricas para calcular la aridez meteorológica (Stadler, 1987). De todos los índices propuestos en la literatura, se escogió el publicado por Martonne (1926), ya que relaciona en forma sencilla las variables de precipitación y temperatura del aire en superficie, variables que son registradas en todas las**

estaciones de la red climatológica operada en el noroeste mexicano. Además, de acuerdo con Schmidt (1989), tiene un valor considerable para explicar las condiciones de drenaje superficial y la relación entre el clima y el uso potencial del suelo; aunado a lo anterior, Meigs (1963, citado por el propio Schmidt, 1989), puntualiza que este índice es el que mejor se ajusta al sistema de clasificación climática de Thornwaite, dándole valor importante para propósitos agrícolas. Martonne propone que su índice se calcule con los promedios anuales de temperatura y los totales acumulados de precipitación, definiéndose de la siguiente manera:

$$Ar = P / (T + 10)$$

donde:

Ar = Índice de aridez

P = Precipitación anual (en mm)

T = Temperatura media anual (en grados centígrados)

Debido a que se contó con la información mensual, tanto de precipitación pluvial acumulada como del promedio de temperatura del aire en superficie, se utilizó la integración mensual del índice de Martonne, el cual no difiere de su forma original. Esta integración se define de la siguiente manera:

$$I_a = \frac{P_a}{T_m + 10}$$

donde,

$I_a$  = Índice de aridez anual

$P_a$  = La suma anual de las precipitaciones (en mm)

$T_m$  = El promedio anual de la temperatura ambiente (en grados centígrados)

La constante de 10 permanece de la fórmula original en el denominador, es decir la función se indetermina cuando  $T = -10$ .

La escala de clasificación que utiliza el índice modificado se mantiene al originalmente propuesto por Martonne, (1926) de la siguiente forma:

$I_a \leq 5$  : árido

$5 < I_a \leq 10$  : semiárido

$10 < I_a \leq 20$  : estepas secas

$20 < I_a \leq 30$  : praderas

$I_a > 30$  : vegetación de bosque

Debido al interés principal por centrar el análisis en función de las áreas determinadas por condiciones de aridez extremas, o verdaderos desiertos ( $I_a \leq 5$ ), se calcularon los valores del Índice de Aridez de Martonne ( $I_a$ ) para cada estación y para cada año, trazándose isolíneas de aridez con el conjunto de datos obtenidos. El cálculo de isolíneas de aridez, se realizó bajo el supuesto de que esta característica climatológica se comporta espacialmente en forma de gradiente.

Para efectuar el cálculo se definió una matriz de Interpolación, que incluyera los cuatro estados de la República Mexicana involucrados, quedando definida por las siguientes coordenadas:

Límite mínimo en Y: 22° LN

Límite máximo en Y: 33° LN

Límite mínimo en X: 105.5° LW

Límite máximo en Y: 117.5° LW

La Interpolación se realizó con la ayuda del programa de cómputo comercial denominado GoldenGraphics, utilizándose el método conocido como: "Inverso de la distancia al cuadrado", el cual calcula los nodos de la matriz de interpolación en función de la distancia a la cual se encuentran las observaciones; es decir, entre más cercana esté una observación a un nodo o intersección de la matriz, mayor será su influencia en él.

Una vez calculada la matriz de interpolación se trazó la Isolinia de aridez igual a 5 y se excluyeron los valores que quedaran fuera de los límites geográficos definidos con el mapa. Con estos mapas se procedió a correr el programa de cálculo de áreas, el cual fue desarrollado en el Departamento de Climatología Aplicada del CIBNOR por el M. en C. Sergio Hernández Vázquez.

Este programa de cómputo se basa en el conteo del número de píxeles (puntos en la pantalla de la computadora) contenidos en un área particular - área delimitada por la isolinia de valor 5 de aridez-, inclusive. Con objeto de darle valores de superficie al número de píxeles, se definió una "ventana en pantalla" de 480 x 440 píxeles, correspondientes a 12 X 11 grados de latitud-longitud (el área que abarcan los mapas de las Figs. 13-53), dando un total de 211,200 píxeles, equivalentes a 1'629,890.3 km<sup>2</sup>, por lo tanto el valor relativo de cada píxel fue de 7.717 km<sup>2</sup>.

A la cuantificación final del número de píxeles, convertidos a km<sup>2</sup> para cada año analizado se le denomina en este trabajo Índice de Cobertura Arida Anual (ICAA).

Este índice tiene por objeto cuantificar la expansión y contracción de los verdaderos desiertos, definidos desde el punto de vista postulado por Martonne (1926); quien los considera como aquellas áreas con valores del  $I_a \leq 5$ .

Con objeto de identificar las áreas oceánicas que se relacionan más estrechamente con el ICAA, se realizaron análisis de regresión y correlación lineal simple entre la temperatura superficial del mar (TSM) y el ICAA para cada uno de los cuadrantes considerados calculándose los coeficientes de determinación y correlación a los niveles de significancia del 95 y 99%.

La técnica utilizada para identificar la intensidad de las relaciones multivariadas entre los indicadores oceánicos (TSM), los atmosféricos (PNA y IOS) y la Aridez (ICAA) fue el de regresión y correlación lineal múltiple.

Formalmente, el coeficiente de determinación derivado de los análisis de regresión lineal da una idea del porcentaje de explicación del fenómeno; sin embargo, en este trabajo además de este coeficiente se incorpora un elemento calculado a partir del porcentaje de explicación promedio, considerando las desviaciones absolutas de los valores calculados con los modelos de regresión lineal múltiple menos los observados del ICAA.

Matemáticamente lo anterior se puede expresar de la siguiente manera:

$$P.E.P = \sum_{i=1}^n | (100 - (X_c / X_o) * 100) | / n$$

donde,

**P.E.P. = Porcentaje de explicación promedio**

**$X_c$  = Valores calculados del ICAA a partir del modelo de regresión múltiple**

**$X_o$  = Valores observados del ICAA**

**n = Número de años considerados, en este caso n=41**

## **Resultados**

### **El Índice de Cobertura Árida Anual (ICAA)**

#### **La variación temporal del ICAA**

La tabla 4 muestra los valores del ICAA en el noroeste mexicano, mostrando tasas de variación de un año a otro de hasta 35.6%, estos valores se muestran también en la figura 2; en ella se observa la dinámica temporal que presenta el área desértica del noroeste de un año a otro.

Otra característica de la serie es su tendencia negativa, es decir desde 1950 y hasta 1990 el ICAA señala que la cobertura árida del noroeste mexicano ha disminuido. Integrando las diferencias del ICAA de un año respecto al anterior se obtiene que la disminución ha sido del 36.7% en los 41 años analizados (Tabla 4).

Los eventos extremos que muestra la serie se identifican como una máxima para 1956 y una mínima como de mínima cobertura árida en 1983. La máxima diferencia interanual se dió durante los años de 1967 a 1968 con una diferencia de 36.6%.

Es notorio que durante el primer lustro de la década de los 1970 la variación

en la cobertura árida fue mínima (Fig. 3). La distribución geográfica de las isolíneas del ICAA son muy similares durante el periodo 1970 a 1975 (Figs. 13-53); se trata de un periodo de poca variabilidad.

Para acentuar las características de la serie en su conjunto, se eliminó la variabilidad de alta frecuencia. La figura 4 muestra la serie suavizada mediante la técnica de promedios móviles. En ella se observa de manera más clara la tendencia negativa anteriormente descrita.

En la figura 5 se muestra el análisis de autocorrelación que revela una posible señal centrada en los 18 años con significativa al 95% de confianza.

#### **La variación espacial del ICAA**

De acuerdo a la definición de los intervalos del índice de Martonne, los valores iguales o menores de 5 corresponden a los verdaderos desiertos (Martonne, 1926). Aunque algunos autores consideran que también puede incluirse en la definición de zonas áridas el siguiente intervalo - entre 5 y 10 - a éste corresponden las estepas áridas, (Schmidt, 1989). En la descripción de resultados correspondientes a los cambios espaciales del ICAA en el presente trabajo, se referirá únicamente a las zonas del noroeste mexicano consideradas como

verdaderos desiertos; es decir, aquellas que presentaron valores entre 0 y 5.

Los resultados muestran que la mayor parte de la porción meridional de la Península de Baja California es persistente en su condición árida, siendo las zonas de Bahía Magdalena y la del Desierto de El Vizcaino las más conspicuas. En algunos años en los que esta porción árida se contrae, es evidente la forma en que su límite sur modifica su orientación de latitudinal a longitudinal, coincidiendo con la posición que guarda la cadena montañosa conocida como Sierra de La Giganta. Durante esos años la ubicación de este límite, desde el sur de Bahía Magdalena y hasta la región de Bahía Concepción, separa a las porciones más áridas del lado occidental de esta sierra de las menos áridas del lado oriental de la misma (ver Figs. 14, 21, 23, 25, 28, 39, 44, 45 y 52, correspondientes a los años de 1951, 1958, 1960, 1962, 1965, 1976, 1981, 1982 y 1989, respectivamente).

La región de Los Cabos en Baja California Sur, por ser la porción más sureña de la península, recibe mayor influencia pluvial de los fenómenos meteorológicos que se originan en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) del Pacífico nororiental. A pesar de ello, el carácter árido se manifiesta incluso en esta región, exceptuando las porciones más elevadas de la Sierra de la Laguna. Es decir, la interacción que se da en esta zona entre la cadena montañosa de la Sierra de la Laguna y los ciclones tropicales definen una zona meteorológicamente menos árida, la cual en años extremos - 1969, 1980 y 1988 - llega a contraerse al

mínimo.

Esta interacción no es suficiente para darle el mismo carácter climático a toda la porción sur de la península; así, en los años de 1953, 1957, 1963, 1966, 1969, 1975, 1980 y 1988, se separa una pequeña franja árida cuyos límites espaciales son la propia Sierra de la Laguna y la línea de costa. Esta pequeña franja corresponde a la zona turística más desarrollada en el estado conocida como corredor turístico de Los Cabos.

Dentro de esta región de Los Cabos, la porción que limita con el Golfo de California, lugar conocido localmente como: Boca del Salado-La Ribera, presenta mayor persistencia en su condición árida. Es decir, además de los años anteriormente enlistados su condición árida extrema se manifestó durante los años de 1950, 1970, 1973 y 1987. Esta particularidad meteorológica, coincide con otras de carácter fitogeográfico, que la separan del resto de la región de Los Cabos, dándole identidad propia (Wiggins, 1980; Turner y Brown, 1982).

Otra zona cuya característica climatológica es más o menos constante a lo largo del periodo analizado, es la que comprende el Desierto de Altar o Gran Desierto, zona de unión entre los estados de Sonora y Baja California. Las figuras correspondientes muestran que este lugar contrae su condición árida al mínimo durante los años en los cuales se han registrado eventos de calentamiento

oceánico extremos tales como los años de 1983, (Rasmusson y Wallace, 1983) y 1980 (Liuch-Cota, et al. en revisión).

Los resultados derivados de la interpolación del índice de Aridez de Martonne para las estaciones climatológicas ubicadas en la porción más septentrional del área analizada, muestran los movimientos espaciales que de un año a otro experimenta lo que se conoce como la Región Mediterránea de México (García, 1968; Aschmann, 1984). Esta se extiende en sentido noroeste-sureste desde el límite con los Estados Unidos bordeando las zonas elevadas de la Sierra de Juárez en el Estado de Baja California.

Esta región divide a la zona árida peninsular en dos: lo que podría llamarse el Desierto Sudcaliforniano al sur y el Desierto de Altar al norte. Los presentes resultados muestran que en algunos años, (1950, 1953, 1956, 1961, 1964, 1968 y 1989) esta barrera climatológica parecería desaparecer dándole continuidad al Desierto Sudcaliforniano hasta unirlo con el Desierto de Altar y formar uno solo. Incluso podría ampliarse el número de años en los que esta unión se presenta por la costa del Golfo de California a la altura de San Felipe, B.C. Sin embargo, lo anterior debe tomarse con reserva ya que la red de estaciones no contempla observaciones climatológicas para las porciones elevadas de la Sierra de Juárez, las cuales desde luego se excluyen de la región árida peninsular.

Por el lado continental existe un área meteorológicamente menos árida que interrumpe la cobertura del Desierto de Altar y lo separa de la porción más árida del Desierto Sonorense, la región de la Cuenca de Guaymas.

Particularizando en el análisis de la distribución espacial del ICAA, los resultados muestran que para la región más tropical analizada, el estado de Sinaloa, solamente en un año se presentó una zona pequeña que cae dentro de la categoría de verdadero desierto. Esta se localizó en la porción más norteña del estado y ocurrió en el año de 1977.

#### **Relación entre la temperatura superficial del mar (TSM) y el ICAA**

Los valores de TSM promedio anual para cada uno de los cuadrantes analizados se muestran en la tabla 2. Como puede observarse en la figura 6, las áreas X, XI, XII y XIV, presentan demasiados datos faltantes, lo que las hace discontinuas en el tiempo y las invalida para los Análisis de Regresión y Correlación.

El Golfo de California no pudo incorporarse a los análisis del presente trabajo por la misma razón.

La figura 1 muestra los cuadrantes oceánicos definidos para establecer la relación entre la TSM y el ICAA. De igual manera, la tabla 5 muestra los resultados obtenidos de los análisis de regresión y correlación lineal simple entre las dos variables.

La figura 6 muestra que las áreas que mejor se correlacionaron con el ICAA se ubican junto a la línea de costa: las áreas II, V, IX y XIII presentaron 0.51, 0.48, 0.56 y 0.44 de coeficiente de correlación respectivamente, todos significativos al 99% de confianza.

Estos resultados muestran que existe un gradiente de correlación lineal entre los valores del TSM de las áreas propuestas y el ICAA, con correlaciones decrecientes conforme se aleja de la costa (ver áreas VI, VII, VIII y IX de la Fig. 6). Complementariamente, las áreas de máxima correlación son las ubicadas junto a la línea de costa, lo que sugiere la existencia de una condición térmica oceánica común entre las áreas II, V, IX y XIII. Estas áreas coinciden con la ubicación y anchura promedio de la Corriente de California, (Lynn y Simpson, 1987).

Debido a lo anterior y con objeto de identificar la serie de TSM con mayor cobertura que representará la condición térmica oceánica, se promediaron las observaciones de la TSM de las posibles combinaciones de las áreas numeradas como II, V, IX y XIII. Se obtuvieron 11 series de TSM correspondientes a los

promedios de cada una de estas combinaciones. Cada una de las series se correlacionó posteriormente con el ICAA.

La tabla 6 muestra que la mejor correlación se obtuvo con la TSM promedio de las áreas II y IX, (c.c.= 0.58, significativa al 99%). Sin embargo y para fines de cálculos posteriores se consideró como mejor serie de TSM la que definen las áreas II, V y IX (c.c.= 0.57, significativa al 99%), la cual se muestra en sombreado en la misma Tabla 6.

Esta serie de TSM se escogió fundamentalmente por dos razones: primero porque estas tres áreas definen un continuo espacial que coincide con la ubicación promedio de la Corriente de California y, segundo porque la diferencia entre el coeficiente de correlación entre uno y otro caso puede considerarse despreciable.

#### **Relación entre el índice del pacífico de norteamérica (PNA) y el ICAA**

Los resultados derivados del análisis de regresión sugieren una relación inversa entre el PNA y el ICAA para el noroeste de México (Fig. 7); a pesar de que la alta variabilidad de los datos provoca un coeficiente de correlación no significativo (c.c. = 0.14), al utilizar promedios móviles de tres años el coeficiente de correlación, es significativo al 95% de confianza.

### **Relación entre el índice de oscilación del sur (IOS) y el ICAA**

La relación lineal entre el ICAA y el IOS (Fig. 8), muestra un coeficiente de correlación positivo, significativo al 99%. Cuando la fase negativa del IOS que generalmente se asocia a calentamiento oceánico ecuatorial y a abundantes precipitaciones pluviales en la mayoría del territorio mexicano, el Índice de Cobertura Arida Anual disminuye. Por el contrario, la fase positiva el IOS se relaciona con condiciones de aridez en la región noroeste de México.

### **Relación entre el ICAA, la TSM y el PNA**

Los resultados de los análisis de regresión múltiple se presentan en la tabla 7. El valor del coeficiente de correlación múltiple calculado para los datos observados fue de 0.63 con un nivel de significancia del 99.5%; eliminando la alta frecuencia interanual por medio de promedios móviles se obtuvo un  $r = 0.68$ , con el mismo nivel de significancia.

### **Relación entre el ICAA, la TSM y el IOS**

La regresión múltiple calculada entre el ICAA, las áreas oceánicas

denominadas II, V y IX y los valores del Índice de Oscilación del Sur arrojan resultados muy similares a los obtenidos con la utilización del otro indicador atmosférico, el PNA a 700 mb. Con este último, los valores de los índices de determinación, correlación múltiple y porcentaje de explicación del fenómeno son ligeramente mayores que con el IOS (Tabla 7). Sin embargo, al realizar este mismo análisis con los promedios móviles de tres años para las tres variables, el modelo se ajusta ligeramente mejor al Índice de Oscilación de Sur que al PNA.

En el dominio de la alta frecuencia, los fenómenos atmosféricos de latitudes medias se relacionan mejor con el Índice de Aridez propuesto, mientras en la baja frecuencia el Índice de Oscilación del Sur determina mayores niveles de explicación. Podría señalarse que las condiciones climáticas prevaletentes en la región noroeste de México se modulan con la periodicidad con la que se manifiesta la Oscilación del Sur.

#### **Relación entre la TSM y el PNA**

La figura 9 muestra los coeficientes de correlación lineal simple entre los valores de TSM y los del índice atmosférico de latitudes medias propuesto por Wallace y Gutzler, 1981. Estos resultados muestran que, con un nivel de significancia del 99%, existe relación del PNA con todas las áreas, excepto para los

numeradas como III y XV, la primera muy oceánica y la segunda muy sureña. El área numerada como I, a pesar de ser oceánica, se relaciona significativamente al 95%. Estos resultados sugieren un gradiente de correlación norte-sur, particularmente con las áreas costeras, región oceánica que mejor se correlaciona con el ICAA; partiendo del área V que presenta un valor de coeficiente de correlación de 0.68 seguido por los obtenidos para el cuadrante IX de 0.62; de 0.55 para el XIII y de 0.30 - no significativo- con el cuadrante XV.

En sentido meridional se sugiere también una graduación en los coeficientes de correlación que va decreciendo hacia cuadrantes más oceánicos, siendo la excepción el cuadrante numerado como VII, (Fig. 9).

#### **Relación entre la TSM y el IOS**

Los coeficientes de correlación entre las áreas oceánicas analizadas y el Índice de Oscilación del Sur muestran, más que un gradiente de correlación latitudinal, una gran área adyacente a la costa con valores de correlación significativos al 99% de confianza, que van desde la latitud de 20° LN hasta los 36° LN, (Fig. 10); el cuadrante XV, debido a la falta de datos para el último año 1990, considera en la correlación un grado de libertad menos que el resto de los cuadrantes costeros.

**En el cuadrante costero más norteño la fuerza de la relación lineal disminuye sin dejar de ser significativo al mismo nivel que el resto de los cuadrantes costeros.**

**En sentido meridional, la relación entre el TSM y el IOS muestra un gradiente en los niveles de correlación que, al igual que la relación con el PNA va decreciendo hacia los cuadrantes más alejados de la costa. Nuevamente, el área numerada como VII se sale de este esquema.**

### Modelo de regresión lineal múltiple propuesto

Finalmente, considerando que la TSM representa en sí misma un porcentaje de explicación del fenómeno del orden del 30% y, que tanto el PNA como el IOS contribuyen en la explicación de la variación observada del ICAA, se propone un modelo de regresión lineal múltiple del tipo:

$$Y = \infty + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$$

considerando como variables independientes las siguientes:

$\infty$  = Intercepción en la ordenada

$X_1$  = Temperatura superficial del mar promedio de los cuadrantes II, V y IX, (TSM).

$X_2$  = Índice del Pacífico de Norteamérica a los 700 mb, (PNA).

$X_3$  = Índice de Oscilación del Sur, (IOS).

Sustituyendo los valores, el modelo que explica el 41% de la variabilidad observada se expresa de la siguiente manera:

$$ICAA = 1'014,172.43 - 58,039.91(TSM) + 2,024.02(PNA) + 598.64(IOS)$$

Si consideramos las series suavizadas ( $X_t$ ) con promedios móviles de tres años, el modelo explica el 52% de la variabilidad y se expresa como sigue:

$$ICAA_t = 716,647.81 - 39,949.66(TMS_t) + 1,051.70(PNA_t) + 1,535.69(IOS_t)$$

## **Discusión**

Debido a que en el presente trabajo se tratan diferentes temas que tratan de integrarse en una visión más general de los fenómenos climatológicos que ocurren en el noroeste del país, el capítulo de discusión se ha dividido en temas específicos con la única finalidad de hacerla más clara.

### **Los datos climáticos analizados**

En lo que se refiere a la calidad de la datos analizados, la captación de la información se viene haciendo desde 1984 de diferentes fuentes. Tanto los valores de precipitación pluvial total como los promedios mensuales de temperatura del aire en superficie fueron cuidadosamente capturados y verificados. El Anexo 1 muestra esta Base de Datos, que se ha denominado "NWMEX".

Los procesos para complementar las series con datos faltantes, valores de precipitación inapreciables, cambios de nombre de la estación, cambio de ubicación de la misma, etc. fueron debidamente considerados con objeto de utilizar únicamente aquellos datos confiables para los posteriores cálculos del ICAA. Sin embargo, es necesario definir adecuadamente el mejor método para subsanar la falta de información en series de datos discontinuas.

Hay un número mayor de estaciones en el noroeste de México que tienen operando 15 años o más, sobre todo en Baja California y Sinaloa a los que no se tuvo acceso y que posiblemente podrían haber aportado información, sobre todo en la dimensión espacial, que mejoraría los resultados obtenidos. La cobertura más pobre de estaciones manejadas fue la correspondiente al estado de Baja California, únicamente 18. Un mayor número de ellas hacia la región del Golfo de California y hacia las porciones elevadas de la Sierra de Juárez proporcionaría seguramente una resolución mayor de las zonas áridas de ese estado.

#### **Los datos oceanográficos analizados**

En cuanto a la definición de las áreas oceánicas utilizadas para la relación con el ICAA, aunque se consideró la ubicación promedio de la Corriente de California y su comportamiento estacional de acercamiento a la costa, ésta fue elegida también con el fin de resumir la información oceanográfica y buscar aquellas áreas que mejor relación tuvieran con los indicadores atmosféricos utilizados.

Lo anterior derivó en que las áreas fueran definidas de tamaños distintos. Otros trabajos parecidos al nuestro han preferido manejar áreas oceánicas regulares para hacer sus cálculos, (Douglas, 1982; Carleton, 1990). El número de

observaciones, así como el número total de meses considerados en el promedio anual de cada una de las áreas oceánicas definidas se muestran en Tabla 3.

A pesar de que no se considera la condición térmica interanual del Golfo de California en el presente análisis debido a que no se contó con la información, Hales (1974), Reyes y Cadet (1988), señalaron la importancia del aporte de humedad de este mar interior hacia la porción suroccidental de los Estados Unidos. Esta importancia se podría extender hacia las planicies costeras de los estados de Sonora y Sinaloa, ya que el aporte de vapor de agua proveniente del Golfo de California que circula en superficie hacia el este y el noreste cuando menos en el verano, (Carleton *et al.*, 1990), al chocar con la gran cadena montañosa de la Sierra Madre Occidental asciende hasta alcanzar su nivel de condensación y precipitarse en toda la serranía.

Este carácter climatológico local puede ser la explicación de la diferencia entre las áreas áridas de uno y otro lado del Golfo de California, resultando niveles interanuales más persistentes en la porción de tierra árida peninsular que en las ubicadas al lado este del Golfo de California.

### **El índice de aridez propuesto y los cálculos derivados**

**El cálculo del ICAA no había sido descrito con anterioridad. Este proceso tiene sus consideraciones; la primera, es el hecho de que es relativo y no pretende reflejar valores absolutos en km<sup>2</sup>, ya que no considera ninguna proyección geométrica (p. ej. cónica).**

**El error, sin embargo, permanece constante. La diferencia entre el área real, sumando la superficie de los cuatro estados es de 380,333 km<sup>2</sup> (INEGI, 1990) y la considerada en el presente trabajo, es de 426,171.3 km<sup>2</sup> lo cual implica una diferencia de 10.7%.**

**Ya fueron expuestas las razones por las cuales se utilizó el índice de Martonne para trazar las isolíneas de aridez del noroeste mexicano. Sin embargo, con la modificación propuesta de incorporar el cálculo de áreas, el procedimiento puede hacerse con cualquier índice.**

**A pesar de la alta variabilidad espacial y temporal de la precipitación pluvial; así como presentarse frecuentemente niveles de precipitación cero, se han sugerido algunas técnicas matemáticas para normalizar los valores. Estas técnicas se basan en la conversión de los datos de precipitación a estimaciones de probabilidad, en una distribución de probabilidades Gama, (Bradley et al. 1987).**

Para el caso particular del ICAA esta consideración no resulta necesaria, ya que su distribución de frecuencias sugiere una curva de distribución normal, (Fig. 11).

Es evidente que al efectuar interpolaciones espaciales de los valores de aridez se parte del supuesto de que el fenómeno se comporta en forma de gradiente; lo anterior no sólo se cumple en el plano sino en el espacio tridimensional; en otras palabras, la aridez meteorológica presenta gradientes en latitud, longitud y altitud. En el presente trabajo se consideraron los datos de las estaciones climatológicas disponibles (las cuales no son todas las que se encuentran en operación) sin distinción entre las que se ubican desde el nivel del mar hasta aquellas de altitudes mayores. Lo anterior pudo repercutir en los valores del ICAA, ya que si fuera el caso de que no se muestrearon los diferentes rasgos orográficos del área analizada, podrían haberse considerado como área árida una zona que no lo es o viceversa. Sin embargo, en los mapas calculados con los valores de aridez anual que se presentan en las figuras 13-53, se muestra como la información y el procedimiento utilizado discrimina las principales zonas áridas de las que no lo son, por ejemplo, La Sierra de la Laguna, la Sierra de la Giganta y la Sierra de Juárez.

Esta variación espacial del ICAA muestra como la zona árida extrema del noroeste de México, presenta movimientos de expansión y contracción, los cuales se asocian con años en los cuales las condiciones térmicas del océano Pacífico

son cálidas o frías según sea el caso.

### **Sobre la variación temporal del ICAA**

El patrón de variación interanual que muestra el ICAA en el noroeste mexicano se caracteriza por ser abrupto, esta característica es propia de las regiones áridas del planeta, en las que se detectan condiciones climatológicas extremas y muy variables, (Inouye, 1991).

Particularmente para el desierto occidental de México, Lau y Sheu (1991), muestran que se presentan coeficientes de variabilidad altos de precipitación pluvial. Es posible que esta gran variabilidad esté asociada al hecho de que en la región se dejan sentir dos sistemas climáticos, el templado y el tropical, los cuales determinan la ZTTT. Es posible que esta sea la causa de la alta variabilidad observada de un año a otro de los valores anuales del ICAA (Fig. 3).

El periodo de poca variabilidad del ICAA, el que abarca el primer lustro de los años 1970's coincide con aquel durante el cual se presentaron condiciones climáticas en el planeta que dieron origen a un cambio de régimen en las tendencias térmicas globales de superficie observadas, (Liuch-Belda et al., 1989). De igual manera se ha documentado como este cambio térmico en el planeta se

asocia con cambios en la distribución y abundancia de diferentes segmentos biológicos en el mundo, (Kerr, 1992). Este cambio de régimen ha sido detectado incluso en las pesquerías masivas de sardinas y anchovetas que se efectúan en los bordes orientales de los grandes giros oceánicos, (Liuch-Belda et al., 1989; Liuch-Belda et al., 1992).

En cuanto al análisis de autocorrelación efectuado a la serie del ICAA, cuya señal contrasta con la relación cíclica que se ha tratado de establecer entre la aridez meteorológica y la actividad solar, principalmente con el doble ciclo de manchas solares o Ciclo de Hale, descrita para los Estados Unidos de Norteamérica (Mitchell, et al. 1979); existen trabajos que demuestran que esta relación aún no es clara y que es más bien débil en términos estadísticos (Padmanabhan y Ramachandra-Rao, 1990).

Una relación diferente entre las condiciones de aridez meteorológica y un ciclo planetario, es la propuesta por Currie (1981) y mencionada por Gribbin (1986). Esta hipótesis considera el ciclo de las mareas lunares nodales, momento en el que la Tierra, el Sol y la Luna se encuentran precisamente en línea recta induciendo las máximas mareas tanto en la atmósfera como en el océano, situación astronómica que se presenta con una periodicidad de 18.6 años, periodicidad que coincide con la sugerida en este trabajo por el análisis de autocorrelación utilizado.

La posible relación entre este ciclo y las condiciones de aridez en el medio oeste norteamericano (Currie, 1981), se establece en función del desplazamiento latitudinal que podría tener la corriente general de los vientos del oeste, vientos secos y fríos a la altura de las Montañas Rocallosas. Los periodos de sequía de la zona árida localizada en la parte sur de esta cadena montañosa son los que se encuentran estadísticamente mejor asociados con el ciclo planetario de las mareas lunares nodales (18.6 años). Adicionalmente y en trabajos posteriores esta misma relación se ha detectado en las sequías e inundaciones en la región de la India y en la región del río Nilo, (Currie, 1987).

Una posible extensión de las condiciones áridas dominantes en la porción noroccidental de nuestro país podría ocurrir precisamente en la región estadounidense ubicada al sur de las Montañas Rocallosas cuando el fenómeno que origina la aridez es máximo. Debido a que el presente trabajo se limita al análisis de la información existente en la República Mexicana, no es posible establecer con claridad la relación entre las condiciones de aridez de uno y otro lado de la frontera entre EEUU y México.

## **Sobre la relación entre los índices analizados y el ICAA**

### **La temperatura superficial del mar (TSM)**

Suficientes trabajos soportan la idea de que una de las causas que mayor participación tiene en la explicación de los fenómenos relacionados con la aridez extrema, es la Temperatura Superficial del Mar (TSM), (Douglas y Englehart, 1982; Philander, 1985; Namias, 1989a; Hunt, 1991). Sin embargo, se considera que las causas que conllevan a la presencia de intemperismos severos como el de las sequías en el mundo son múltiples (Namias, 1989a). Por ello, la relación TSM y la aridez, en este caso el ICAA, resultaría demasiado simple si se tomaran únicamente estas dos variables como partes del sistema "causa-efecto", (Namias, 1989a; Namias, 1991).

Lo anterior da pie a la siguiente reflexión. Con el propósito de poder anticipar un fenómeno determinado, la búsqueda de las causas que lo originan, deberá estar función del peso relativo que cada una de ellas tengan en explicar la variabilidad observada del fenómeno. Es decir, con el propósito de establecer un posible indicador temprano de las condiciones de aridez que se presentarán en el noroeste de México, en este trabajo se obtuvo que el mayor porcentaje de explicación del fenómeno de aridez meteorológica en la zona desértica del noroeste de México lo constituye la condición térmica que se presenta año a año

en la costa occidental de la península de Baja California con 30% (datos no suavizados), ya que la contribución de los indicadores atmosféricos utilizados, el PNA y el IOS, sólo incrementan el porcentaje de explicación en un 10% y 3% respectivamente y, en un 11% en conjunto, con datos no suavizados, tabla 7.

### **El índice del pacífico de norteamérica (PNA)**

De los indicadores atmosféricos teleconectados el que mejor documentado está para latitudes medias es el descrito por Namias en 1951 y redefinido por Wallace y Gutzler en 1981, el denominado Pacific North/America Index (PNA). Este índice atmosférico es utilizado en la actualidad por el National Meteorological Center de la NOAA, en EEUU para describir la circulación atmosférica en latitudes medias en el hemisferio norte.

A valores positivos del PNA corresponde una circulación atmosférica en la tropósfera media con características ondulada y relativamente débil; por el contrario, a valores negativos la circulación es más bien de tipo zonal e intensa, (Wallace y Gutzler, 1981).

La presencia de circulación atmosférica ondulada, ha sido sugerida como una de las causas que pueden condicionar aridez severa, en las Grandes Planicies

de los Estados Unidos (Gribbin, 1986; Namias, 1989a; Leathers et al. 1991). Ha sido descrito que la fase positiva del PNA está asociada con la penetración de las vaguadas polares hacia el sur a ambos lados de los Estados Unidos y la formación de un centro de alta presión centrado sobre la parte continental de ese país, (Wallace y Gutzler, 1981).

Por el contrario en las regiones áridas estadounidenses semejantes a las que prevalecen en el Desierto Sonorense, la fase positiva del PNA se encuentra asociada a veranos húmedos debido al desplazamiento al norte de la alta subtropical de verano localizada sobre esta región (Carleton, 1990). En la porción sureste de los Estados Unidos, la península de Florida, las correlaciones entre la precipitación pluvial y el PNA a los 700 mb son también positivas; es decir, la penetración de las vaguadas polares propician un incremento de precipitación pluvial por arriba de lo normal en esa región norteamericana, cuando menos para los meses de otoño, invierno y primavera, (Douglas, 1982; Leathers, 1991).

La parte que antecede este tipo de circulación en latitudes medias es la vaguada que se presenta en términos medios al oeste de los Estados Unidos sobre el Océano Pacífico nororiental. Cuando la fase positiva del PNA se presenta y el tipo de circulación meridional domina en latitudes medias, la vaguada polar y los fenómenos atmosféricos asociadas con ella pueden penetrar más al sur, produciendo mayores precipitaciones en la región noroeste del país en la época

invernal, tal y como ha sucedido en los últimos años, (Pérez, 1991; Salinas-Zavala et al. 1992).

Los resultados obtenidos en este trabajo, muestran la existencia de una relación positiva (significativa al 99% de confianza) entre el PNA y la TSM de las áreas oceánicas analizadas (Fig. 9), lo que indica que a mayor temperatura superficial del mar en la región costera entre los 20° y los 41° LN, se presenta una intensificación de la baja presión de las Aleutianas o un debilitamiento de la celda semipermanente de alta presión del Pacífico nororiental, que produce señales positivas del PNA. En el largo plazo, lo anterior es coherente con el incremento en la TSM durante la década de los 1980's en el área de la Corriente de California (Hernández-Vázquez, com. pers.).

Bajo el supuesto de que cambios en los patrones estacionales en el clima pueden ser aplicados a cambios del clima de periodos más amplios como el de décadas, (Douglas y Englehart, 1982), la tendencia positiva observada en el PNA a los 700 mb (Fig. 12) indica mayor incidencia de condiciones ondulantes en la circulación atmosférica, (Wallace y Gutzler, 1981) en la tropósfera media de latitudes extratropicales, lo que favorece las condiciones de humedad en el suroeste de los EEUU, y contribuye a explicar la tendencia a la disminución del ICAA en la región del noroeste mexicano.

La tendencia lineal que se observa en el PNA, sugiere que los frentes fríos y tormentas extratropicales que se originan en latitudes altas en el hemisferio boreal han penetrado cada vez más al sur al no existir una alta presión que bloquee o desvie su curso hacia latitudes normalmente más elevadas, incrementando el peso relativo de las lluvias invernales en la zona noroeste del país. Esta hipótesis se complementa con las observaciones realizadas en cuanto a la relación positiva que guarda la precipitación en la región de la Florida (EEUU), y la fase positiva del PNA a los 700 mb, (Douglas y Englehart, 1982; Leathers, 1991).

La persistencia en el largo plazo de la circulación atmosférica ondulante en las regiones extratropicales del hemisferio norte podría interpretarse como una tendencia hacia condiciones de aridez cada vez mayores en las Grandes Planicies de los EEUU; sin embargo, la información reportada en cuanto a la cantidad de precipitación pluvial en estas latitudes indican que en la última década ésta se ha visto incrementada, (Bradley *et al.*, 1987); del mismo modo, Fritz (1991), menciona que no se ha podido establecer una relación adecuada entre los patrones de presión atmosférica y los fenómenos de aridez en los EEUU.

Adicionalmente, se ha sugerido que las condiciones de precipitación pluvial en la región suroeste y oeste de los Estados Unidos, la primera climatológicamente muy similar al noroeste de México, se relaciona mejor y en forma inversa, con los

campos de presión a los 700 mb pero de la banda subtropical, la definida entre los 40°- 160°W y los 15°- 35°N, más que con la región templada que cruza sobre norteamérica, (Díaz y Namias, 1983).

La relación que los campos de presión tienen con la aridez a través de la circulación de los vientos es aún incierta. Excepciones como las señaladas en los dos párrafos anteriores reflejan la falta de entendimiento de los mecanismos que determinan y modulan el clima.

Lo anterior es particularmente cierto para zonas del planeta donde se manifiestan características climáticas tanto templadas como tropicales, las llamadas Zonas de Transición Climáticas, el noroeste mexicano se encuentra situado en una de ellas.

Sin embargo los resultados obtenidos en este trabajo conjuntamente con una revisión del comportamiento de las características climatológicas en las porciones suroeste y sureste de los EEUU, sugieren una posible relación entre ellas y las condiciones de aridez prevaecientes en el noroeste del Mexico y la porción central de EEUU. Esta relación podría conceptualizarse de la siguiente manera:

Cuando la temperatura superficial del mar en la costa occidental de la

península de Baja California se encuentra por arriba del promedio, los fenómenos de origen tropical, así como los procesos convectivos propios de la región, harían posible que existiera mayor cantidad de humedad en la atmósfera y por lo tanto que las probabilidades de precipitación aumentarían en la época estival. Por otro lado, esta condición oceánica se relaciona positivamente con los valores del PNA, es decir temperaturas altas en el océano Pacífico nororiental se asocian con la presencia de la fase positiva del PNA, esta tipo de circulación atmosférica propiciaría mayor penetración o influencia de fenómenos extratropicales en la época invernal que harían disminuir la aridez meteorológica en las porciones suroeste de EEUU, noroeste de México y sureste de los EEUU. Dado que este tipo de circulación atmosférica es del tipo ondulada existiría una zona de aridez entre las porciones suroeste y sureste de EEUU que coincide con la región de las Grandes Planicies de los EEUU.

En otras palabras, cuando en un año determinado la sequía azota las Grandes Planicies de los EEUU, en el noroeste de México existiría un año con lluvias por arriba del promedio y, por el contrario, cuando en la región central de EEUU se presenta un año lluvioso, en el noreste de México existiría sequía al igual que la región suroeste y posiblemente la sureste de los EEUU.

### **El índice de oscilación del sur (IOS)**

**Sobre este indicador climático-atmosférico se ha escrito suficiente desde principios de siglo para reconocer su importancia en el pronóstico del clima oceánico y atmosférico principalmente de la región ecuatorial del planeta (Bjerknes, 1969; Rasmusson y Wallace, 1983, Trenberth, 1991).**

**A principios de la década pasada se publicó sobre la posible relación que los cambios de presión que determinan la Oscilación del Sur pueden tener con otros centros de presión localizados en latitudes más norteñas (Horel y Wallace, 1981). Una de las teleconexiones atmosféricas mejor documentadas en la actualidad es la establecida entre las condiciones del ENOS, la fase negativa de la Oscilación del Sur y la intensificación de la baja de las Aleutianas (Horel y Wallace, 1981; Fritz, 1991; Trenberth, 1991).**

**Se han consignado correlaciones estadísticas entre las condiciones del ENOS y las fluctuaciones de los campos de precipitación, tanto en la República Mexicana en general (Mosíño y Morales, 1988; Cavazos y Hastenrath, 1990) como en la región del noroeste, (Reyes-Coca y Rojo-Salazar, 1985; Rojo, 1985; Salinas-Zavala et al. 1990; Salinas-Zavala et al. 1992). Sin embargo, la propuesta de Namias en 1984, de considerar además de las teleconexiones existentes entre los sistemas tropicales y los extratropicales a los fenómenos climatológicos propios de estas**

latitudes que resultan importantes, sobre todo en regiones de transición climática como la de México (Namias, 1985).

Un ejemplo de lo anterior lo constituye el calentamiento oceánico anómalo registrado durante el año de 1990 frente a las costas occidentales de la península (Liuch-Cota et al., en revisión) y que provocaron lluvias abundantes en toda la región (Salinas-Zavala, et al., 1992). Esta particularidad se refleja también en las desviaciones que muestran las relaciones entre el vapor de agua contenido en la atmósfera encima de los océanos y las regiones con TSM superiores a 15 °C, sobre todo en regiones de bajos niveles de humedad localizados en las vecindades de la ZCIT como nuestro país.

Los resultados obtenidos muestran que la contribución de este indicador atmosférico a la variabilidad observada sobre el ICAA es muy pobre, del orden del 3% para los datos sin suavizar y del 2% para datos suavizados, lo anterior puede explicarse debido a que este indicador atmosférico antecede, en el orden de meses a los calentamientos oceánicos que se suceden en la región del Pacífico nororiental, por lo que puede existir un desfaseamiento entre la presencia de este índice y los valores observados del ICAA.

### **Los estudios fitodemográficos en la zona árida del desierto sonorense**

**Los resultados mostrados en los trabajos demográficos que sobre plantas de desierto se han realizado en la porción septentrional del Desierto Sonorense confirman los presentes resultados, coincidiendo en el hecho de que durante la primera mitad del presente siglo se presentaron condiciones meteorológicamente adversas, ya sea para el reclutamiento de nuevos individuos de plantas a la población o para el incremento de la cobertura vegetal. Por el contrario, con excepción de dos años, durante el periodo comprendido de 1978 a 1985 (hasta los que abarcan los censos botánicos), las condiciones de aridez meteorológica fueron mínimas en la región del noroeste de México, permitiendo la ampliación de la cobertura vegetal, (Goldberg y Turner, 1986; Turner, 1990)**

### **Sobre la variación espacial del ICAA**

**Comparativamente con otras zonas desérticas del planeta, tales como El Kalahari, las zonas áridas de Namibia, el este y oeste del Desierto del Sahel, El Gran Desierto de Arabia, El Desierto Central de Australia, El Desierto de Atacama en Sudamérica, etc., el Desierto Sonorense presenta características que lo distinguen de los demás: una se refiere a la presencia de dos regimenes pluviométricos, uno con predominancia de lluvia invernales que se manifiesta en**

su lado occidental y otro con predominancia de lluvia de verano principalmente en su porción oriental, (Turner y Brown 1982).

En este trabajo, en función de los niveles diferenciales de aridez meteorológica identificados se sugiere una característica adicional importante del Desierto Sonorense: la presencia de un mar interior que divide el desierto en dos partes y que determina que el lado oriental tenga mayor aporte de humedad (Sonora y Sinaloa) y el ubicado del lado occidental (Baja California y Baja California Sur) sea más desértico.

Lo anterior tiene repercusiones importantes en cuanto al uso y manejo de los recursos naturales de zonas áridas, ya que si bien las dos forman parte de la misma zona árida, la aridez meteorológica es más persistente en la porción peninsular.

Las causas de la aridez meteorológica son múltiples, (Namias, 1989a, Hunt, 1991); por ello, es necesario enfocar la atención hacia estudios integrales y a mayor profundidad con objeto de dilucidar sobre los elementos oceánicos y atmosféricos que determinan las características climáticas de esta región árida del país.

## **Conclusiones**

**El índice de Cobertura Árida Anual para el noroeste de México presentó un tendencia lineal a disminuir durante el periodo de 1950-1990; en términos porcentuales la cobertura árida ha decrecido en un 36.7%.**

**El ICAA muestra una periodicidad de largo plazo que fluctúa entre los 16-20 años con un nivel de significancia del 95%. Estos resultados están de acuerdo con lo propuesto por Currie, 1987 para otras zonas áridas del mundo.**

**Se establece que las extensiones que ocupan las tres grandes áreas desérticas más persistentes en tiempo y espacio del noroeste mexicano son variables. Estas tres áreas áridas, dependiendo de las condiciones climatológicas imperantes en un año en particular pueden o no expandirse o contraerse, llegando incluso a formar una sola zona árida en todo el noroeste mexicano, tal y como lo propone (Schmidt, 1989).**

**El carácter persistente en cuanto a su condición de aridez extrema, que se desprende del análisis del ICAA en función del tiempo y el espacio, sugiere que estas zonas áridas sean identificadas como zonas o provincias particulares y no englobarlas en una sola tal y como propone (Schmidt, 1989). Estas zonas áridas son las siguientes: El Desierto de Altar o Gran Desierto, con una persistencia**

aproximada del 92% respecto al número de años analizados, circunscrito a la porción continental colindante con la cabecera del Golfo de California y que une a los estados de Sonora y Baja California, El Desierto Sonorense con una persistencia del 41%, delimitado por la región que ocupa la Cuenca de Guaymas y extendiéndose por el litoral hacia el norte y El Desierto Sudcaliforniano, con una persistencia de aproximadamente 92% de los años analizados, comprendido mayormente en la extensión que ocupa el estado de Baja California Sur, excluyendo las regiones elevadas de la Sierra de la Laguna y Sierra de la Giganta.

La relación entre el PNA y el ICAA sugiere que cuando el primero aumenta, lo cual corresponde a un patrón de circulación atmosférica ondulada, la probabilidad de penetración al sur de los fenómenos extratropicales aumenta provocando que el ICAA disminuya y viceversa.

La fase negativa del IOS, generalmente asociada al fenómeno ENOS, provoca que el ICAA disminuya; y la fase positiva, condición de "La Niña" induce a que el ICAA aumente.

Existe una relación inversa, estadísticamente aceptable ( $p < 0.01$ ), entre la condición térmica de las áreas oceánicas que contienen a la Corriente de California y el Índice de Cobertura Árida Anual para el noroeste mexicano; a mayor TSM en las áreas oceánicas adyacentes a la costa menores valores del ICAA.

Existe un doble gradiente de correlación entre las áreas oceánicas analizadas y el ICAA, el primero disminuyendo en sentido norte-sur y el segundo en sentido longitudinal disminuyendo de la costa hacia mar abierto.

De los indicadores atmosféricos utilizados, en forma preliminar se puede concluir que el PNA 700 mb se ajusta mejor con la variabilidad de alta frecuencia (valores no suavizados); mientras que el IOS se ajusta mejor con la variabilidad de baja frecuencia (valores suavizados). El mayor porcentaje de explicación del fenómeno, tanto en los datos observados como en los calculados con promedios móviles lo tiene la TSM con 30 y 38% de explicación, respectivamente.

El análisis de regresión múltiple indica que considerando la TSM, el PNA y el SOI el porcentaje de explicación estadística es del 41% y 52% si se toma la serie sin suavizar o suavizada; mientras que el porcentaje de explicación considerando las desviaciones absolutas promedio de los valores calculados contra los observados (P.E.P), son del 73.37% y 86.45%, respectivamente. Lo anterior significa que las variaciones absolutas de los valores calculados con el modelo de regresión múltiple y los observados son mínimas, es decir se puede concluir que el modelo propuesto se ajusta adecuadamente a las variaciones observadas.

Las ecuaciones que definen el modelo son las siguientes:

$$\text{ICAA} = 1'014,172.43 - 58,039.91(\text{TSM}) + 2,024.02(\text{PNA}) + 598.64(\text{IOS})$$

Si consideramos las series suavizadas ( $X_t$ ) con promedios móviles de tres años, el modelo es el siguiente:

$$\text{ICAA}_t = 716,847.81 - 38,949.66(\text{TSM}_t) + 1,051.70(\text{PNA}_t) + 1,535.69(\text{IOS}_t)$$

Por otro lado, dado que el PNA es un indicador de las condiciones de circulación atmosférica en latitudes medias y el IOS de las condiciones atmosféricas prevaletientes en la región ecuatorial, se estableció en este trabajo que mientras el PNA presenta un gradiente de correlación decreciente en sentido norte-sur, el IOS lo presenta en sentido sur-norte, siendo en general más intensa la relación estadística entre el PNA y la TSM que entre el IOS y la TSM.

Debido a la pobre contribución a la explicación de la variabilidad observada en el ICAA, de los indicadores atmosféricos utilizados en el presente trabajo, es necesario obtener una serie representativa de las condiciones atmosféricas de latitudes que comprendan la región noroeste de México, que conjunte los efectos producidos por el PNA y el IOS y, que a la vez permita establecer relaciones más exactas entre la condición térmica oceánica y el agua precipitable contenida en la atmósfera ubicada por encima de él.

**El manejar un indicador climatológico propio de la región árida del noroeste de México, tiene una utilidad práctica directa en los principales sectores de la economía regional, los cuales históricamente son muy importantes en el contexto nacional. Las variaciones interanuales en la cobertura árida, su periodicidad y la relación que guardan con la temperatura superficial de los mares adyacentes a esta región, marcan la pauta para buscar los mecanismos que permitan anticipar los eventos de intemperismo severos que puedan repercutir en los rendimientos, cosechas o capturas de los recursos naturales con que cuenta la región y por ende el país.**

**La aplicación de este enfoque ecológico: La variación climática interanual y su efecto sobre algunos sistemas biológicos del noroeste de México**

**La dinámica de las zonas de transición entre dos regiones climáticas, como es el caso del noroeste de México, es una de las grandes interrogantes que se han planteado en relación a la variabilidad climática en nuestros días. De estas zonas de transición, también se discute acerca del transporte, contracción, expansión y cambio de localización de las fronteras climáticas, y más importante aún, sobre el impacto en la riqueza y diversidad biológica originado por estos cambios.**

**Los procesos de calentamiento o enfriamiento, o dicho de otra manera, las influencias tropicales o templadas en el noroeste del país, provocan importantes cambios en la distribución, abundancia y disponibilidad de algunos de los recursos marinos y terrestres, con las consecuencias lógicas para el adecuado uso y manejo de ellos.**

**Dos de las pesquerías mexicanas más importantes han sido analizadas parcialmente bajo esta óptica en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.: la pesquería de pelágicos menores, la de mayores volúmenes en las estadísticas nacionales, y la pesquería de camarón, la de valor comercial más alto. Los resultados muestran una clara influencia de las condiciones climáticas oceánicas y atmosféricas sobre las poblaciones de organismos que componen estas pesquerías.**

En lo que respecta a la pesquería de sardina Lluch-Belda, et al., (1986) manifiestan la influencia que la condición térmica del Golfo de California tiene sobre la distribución y disponibilidad del recurso para la flota de los puertos de Sonora y Sinaloa; así como en términos preliminares la alternancia en la dominancia observada por las especies de sardina monterrey (*Sardinops sagax caerulea*) y sardina crinuda (*Ophistonema spp.*), la primera asociada a condiciones templadas y la segunda a condiciones tropicales.

Se sugiere que el mecanismo operará básicamente en que los fenómenos de calentamiento oceánico reducen la extensión hacia el sur del corredor costero de surgencias, por debilitamiento de los campos de vientos durante el invierno, en la costa de Sonora y Sinaloa, restringiendo la migración de la sardina monterrey.

En un trabajo posterior, Lluch-Belda, et al., (1989), proponen que la existencia de la misma sardina en la costa de California se debió básicamente al efecto global de calentamiento, lo cual permitió el establecimiento de nuevas poblaciones de sardina en áreas de alta productividad como Punta Concepción, en EEUU; su desaparición de las áreas de pesca -proponen los autores- fue causada por el enfriamiento global persistente durante varios años y no por la pesquería o por las fallas en el reclutamiento debidas a supervivencia diferencial de huevos y larvas.

Este fenómeno no ha sido exclusivo de la zona de la Corriente de California, sino que ha ocurrido sincrónicamente en las demás zonas de surgencias asociadas a los bordes orientales de los grandes giros oceánicos. De esta afirmación se acuñó el término de "régimen" para discutir los eventos de cambios poblacionales a gran escala asociados a fenómenos climáticos globales, (Lluch-Belda, *et al.*, 1989).

En el caso de la pesquería de camarón, se han observado fluctuaciones importantes en las capturas de la flota camaronera del Pacífico mexicano, que no se explican con las variaciones del esfuerzo pesquero. Se ha observado que hay una importante variación de las capturas aun cuando la flota registra un número similar de embarcaciones año a año, (Lluch-Belda, *et al.*, 1991). Se menciona también que la diferencia entre los valores registrados en los desembarcos de un año a otro ha llegado a hacer del orden 12,000 ton, produciendo cambios drámaticos en la pesquería, tal y como ocurrió a finales de la década de los 60's y principios de los 70's. La magnitud de estas fluctuaciones fue del orden del 50% con respecto a la producción de los últimos 25 años.

En este caso, se ha demostrado que las anomalías de las capturas, la diferencia entre los valores observados y calculados a través del modelo captura-esfuerzo, son el índice confiable para descartar el efecto de la pesquería, y que estas anomalías tienen mayor relación con las variaciones espaciales de la estabilidad térmica dentro del Golfo de California, (Lluch-Cota, *com. pers.*).

La pesquería de camarón en el Pacífico se soporta en las capturas de especies del género *Penaeus sp.*, de origen tropical. La zona de producción más importante se localiza en la frontera tropical del Pacífico oriental. El efecto de la frontera climática sobre la biología de las especies de este género, es uno de los casos de estudio más importantes para conocer los mecanismos involucrados en las relaciones entre fluctuaciones climáticas y las variaciones en la abundancia de camarón, sobre todo cuando esta frontera combina el efecto oceánico de transición templado-tropical con el efecto de transición seco-tropical del clima terrestre.

La hipótesis plantea que la persistencia de los fenómenos tropicales sobre la frontera transicional, manifestada en forma de lluvias y temperaturas oceánicas superiores a las normales, y por lo tanto bajos valores del ICAA, favorecen el espacio de distribución de estas especies de crustáceos en la plataforma continental y lagunas costeras, en escalas de tiempo mayores a las normales. Lo anterior se ajusta muy bien cuando tomamos los modelos biológicos de las especies de camarón blanco *Penaeus vannamei* y azul *Penaeus stylirostris*; sin embargo el de mayor porcentaje en la captura comercial, el café *Penaeus californiensis* parece responder mejor a la expansión o contracción del espacio habitable en la plataforma continental por efecto de cambios en la distribución vertical de la temperatura oceánica en años cálidos o en años fríos.

Por el contrario se plantea que los efectos de debilitamiento de los fenómenos climáticos de origen tropical sobre la frontera se amplifican por la influencia de los mares y sistemas templados adyacentes a la región noroeste del país, así como por la existencia de condiciones áridas extremas, es decir elevados valores del ICAA.

En resumen, durante los periodos de calentamiento o durante aquellos en los cuales los fenómenos de origen tropical se manifiestan con mayor intensidad y persistencia en la zona de transición climática del noroeste de México, se observan bajos valores del ICAA, los cuales a su vez se asocian a la expansión de las poblaciones de sardina monterrey, *Sardinops sagax caerulea* hacia el norte por el lado de la costa occidental de la península de Baja California; baja disponibilidad de las poblaciones de sardina monterrey hacia el sur del Golfo de California; incremento en la distribución hacia el norte del Golfo de California de la sardina crinuda *Ophistonema spp.*, y alta abundancia de camarón en su área de distribución. Evidentemente, sucederá lo contrario cuando fenómenos importantes de enfriamiento se presenten.

## **Recomendaciones**

**Las repercusiones socioeconómicas que las sequías, derivadas de prolongados periodos de aridez meteorológica han sido evidentes a lo largo de historia de la humanidad en casi todo el planeta; de ahí se desprende la importancia que tiene el entendimiento de los mecanismos que la determinan y más aún, el iniciar los estudios que permitan anticiparlos para minimizar sus efectos adversos.**

**La American Meteorological Society (AMS); (Orville, 1990), se ha dedicado a promover estas acciones por lo que recomienda ampliamente a las instituciones gubernamentales de todos los países que de alguna manera se ven afectadas por estos intemperismos severos, a que desarrollen planes de acción para hacerle frente a los periodos de sequías en todas las escalas de tiempo en las que ellas se manifiestan, desde la estacional hasta la de décadas. Entre otras recomendaciones que la AMS propone para que sean incluidas en los planes de acción están las siguientes:**

- 1. El desarrollo de sistemas para monitorear las sequías**
- 2. Identificación de necesidades de investigación con fines de pronóstico.**

- 3. Estudios que permitan identificar los impactos regionales de las sequías.**
  
- 4. Desarrollo de medidas para facilitar la comunicación entre los científicos y los tomadores de decisiones.**
  
- 5. Desarrollo de programas de entrenamiento y educación a todos los niveles de la población.**
  
- 6. El desarrollo de procedimientos de evaluación de los procesos involucrados en las sequías.**

**En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo a estas recomendaciones se puede añadir entre otras las siguientes:**

- 7. Incorporar a los planes de desarrollo regional, el análisis y diagnóstico de los procesos meteorológicos involucrados particularmente en las zonas áridas.**
  
- 8. Creación de un red regional de compilación y análisis de la información climatológica de la región Mar de Cortés que contemple los datos del mayor número de estaciones climatológicas de la zona árida del noroeste de México.**
  
- 9.- Ampliar los análisis de fluctuación del ICAA a escala de tiempo estacional, con**

el fin de identificar el comportamiento individual de los componentes invernales y de verano que influyen en los campos de precipitación y por consiguiente en la aridez del noroeste de México.

10. Para fines de definición meteorológica de zonas áridas, las zonas incluídas dentro del estado de Sinaloa se recomienda considerarlas con reserva, ya que en una sola ocasión mostraron este carácter meteorológico.

11. Se recomienda que en trabajos posteriores se procure una mayor cobertura espacial de estaciones climatológicas que se involucren en las interpolaciones.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## **Bibliografia**

**Aeschmann, H., 1984. A Restrictive Definition of Mediterranean Climates. *Actualites Botaniques, Bulletin Societe Botanique de France*, Vol. 131, No. 2-4, 21-31 pp**

**Bjerknes, J., 1969. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 97, No., 3, 163-172 pp**

**Bhalme, H.N. and D.A. Mooley, 1981. Cyclic Fluctuations In the Flood Area and Relationship with the Double (Hale) Sunspot Cycle. *J. Appl. Meteor.*, Vol. 20, 1041-1048 pp**

**Bradley, R.S., H.F. Diaz, J.K. Eischeid, P.D. Jones, P.M. Kelly and C.M. Goodess, 1987. Precipitation Fluctuations over North Hemisphere Land Areas Since the Mid-19th Century. *Science*, Vol. 237, 171-175 pp**

**Carleton, A.M., A.C. Duane and P.J. Weser, 1990. Mechanisms of Interannual variability of the Southwest United States Summer Rainfall Maximum. *J. Climate*, Vol. 3, No. 9, 999-1016 pp**

**Cavazos, T. and S. Hastenrath, 1990. Convection and Rainfall over Mexico and their Modulation by the Southern Oscillation. *Int. J. Clim.*, Vol. 10, 337-386 pp**

**Currie, R.G., 1981. Evidence for 18.6 year M sub(N) signal in temperature and drought conditions in North America since A.D. 1800. *J. Geophys. Res.*, Vol. 86, No. C11, 11055-11064 pp**

**Currie, R.G., 1987. On bistable phasing of 18 multiplied by 6-year induced drought and flood in the Nile records since A.D. 650. *J. Climatol.*, Vol. 7, No., 4, 373-389 pp**

**Daget, Ph. et S. Reyes, 1989. Sur la variabilité des précipitations dans la Basse Californie du Nord (Mexique). *Geofísica International*, Vol. 28, No. 4, 693-720 pp**

**Diaz, H.F. and J. Namias, 1983. Associations Between Anomalies of Temperature and Precipitation in the United States and Western Northern Hemisphere 700 mb Height Profiles. *J. Clim. Appl. Meteor.*, Vol. 22, No. 3, 353-363 pp**

**Douglas, A.V. and P.J. Englehart, 1982. On a Statistical Relationship between Autumn Rainfall in the Central Equatorial Pacific and Subsequent Winter Precipitation in Florida. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 109, 2377-2382 pp**

**Dracup, J.A., K. S. Lee, and E. G. Jr. Paulson, 1980. On the definition of Droughts. *Water Resources Research*, Vol. 16, No. 2: 297-302 pp**

**Eddy, J.A, R.L. Gilliland and D.V. Hoyt, 1982. Changes in the solar constant and climatic effects. *Nature*, Vol. 300, 689-693 pp**

Ezcurra, E. and V. Rodríguez, 1986. Rainfall patterns in the Gran Desierto, Sonora, México. *Jour. Arid Environm.*, Vol. 10, 13-28 pp

Folland, C.K., T.N. Palmer and D.E. Parker, 1986. Sahel rainfall and worldwide sea temperatures, 1901-1985. *Nature*, Vol. 320, No. 6063, 602-607 pp

Fritzt, H.C., 1991. Reconstructing Large-scale Climatic Patterns from Tree-Ring Data. A diagnostic analysis. The University of Arizona Press, 286 pp

García, E., 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Primera Edición, Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. 71 pp

García, E., 1983. Apuntes de Climatología. Según el programa vigente en las carreras de Biólogos UNAM, de la ENEP de Cuautitlán UNAM y de la Universidad Autónoma Metropolitana. 3ra. Ed., 153 pp

García, E., P. Mosiño, 1968. Los climas de Baja California. En: Comité Nacional Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional, Instituto de Geofísica, UNAM. Memoria 1966-1967. Editor: Ing. R. del Arenal C., México, D.F. 29-56 pp; 1 mapa

Gerety E. J., R.H. Olson and W.O. Roberts, 1978. Analysis of a possible Sun-weather correlation. *Nature*, Vol. 272, 231-232 pp

Giantz, M.H., R.W. Katz and N. Nicholls, (Eds). 1991. Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies. Scientific basis and societal impact. Cambridge University Press, 535 pp

Goldberg, D.E. and R.M. Turner, 1986. Vegetation change and plant demography in permanent plots in the Sonoran Desert. *Ecology*, Vol. 63, No. 3, 695-712 pp

Gray, W.M. and J.D. Schaeffer, 1991. El Niño and QBO influences on tropical cyclone activity. In: Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies, (Eds.) Giantz, M.H., R.W. Katz and N. Nicholls, Cambridge Univ. Press. Chap. 8, 268-284 pp

Gribbin, J., 1986. El Clima Futuro. Biblioteca Científica Salvat. Salvat (Eds.), 241 pp.

Hastings, J.R. (Ed.), 1964a. Climatological Data for Baja California. Technical Report on the Meteorology and Climatology of Arid Regions. No. 14. Tucson: University of Arizona. Institute of Atmospheric Physics.

Hastings, J.R. (Ed.), 1964b. Climatological Data for Sonora and Northern Sinaloa. Technical Report on the Meteorology and Climatology of Arid Regions. No. 15. Tucson: University of Arizona. Institute of Atmospheric Physics.

**Hastings, J.R. and R.M. Turner, 1965. Seasonal precipitation regimes in Baja California, Mexico. Geografiska Annaler, Vol. 47A, 204-223 pp**

**Hastings, J.R., R.R. Humphrey (Eds.), 1969a. Climatological Data and Statistics for Baja California. Technical Report on the Meteorology and Climatology of Arid Regions. No. 18. Tucson: University of Arizona. Institute of Atmospheric Physics.**

**Hastings, J.R., R.R. Humphrey (Eds.), 1969b. Climatological Data and Statistics for Sonora and Northern Sinaloa. Technical Report on the Meteorology and Climatology of Arid Regions. No. 19. Tucson: University of Arizona. Institute of Atmospheric Physics.**

**Hales, J. 1974. Southwestern United States summer monsoon source - Gulf of Mexico or Pacific Ocean?, J. Appl. Meteorol., Vol. 13, 331-342 pp**

**Holguín, G., Bowers, R. and Y. Bashan, 1993. The degeneration of carbon populations in Baja California Sur, Mexico. Cactus and Succulent Journal, Vol., 65, 64-67 pp**

**Horel J.D. and J.M. Wallace, 1981. Planetary-Scale Atmospheric Phenomena Associated with the Southern Oscillation. Mon. Wea. Rev., Vol. 109, 813-829 pp**

**Hunt, B.G., 1991. The simulation and prediction of drought. Vegetatio, Vol. 91, 89-103 pp**

**INEGI, 1990. Anuario de estadísticas estatales, 1987. Instituto nacional de estadística geografía e informática. 376 pp**

**Inouye, R.S., 1991. Population Biology of Desert Annual Plants. In: Polis A.G. (Ed.), The Ecology of Desert Communities. The University of Arizona Press, 456 pp**

**Kerr, R.A. 1992. Unmasking a Shifty Climate System. Science, Vol. 255, 1508-1510 pp**

**Latorre, C. y L. Penilla, 1988. Influencia de los ciclones en la precipitación de Baja California Sur. Atmósfera, Vol. 1, No. 2, 99-112 pp**

**Lau, K.M. and P.J. Sheu, 1991. Teleconnections in global rainfall anomalies: Seasonal to interdecadal time scales. In: Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies, (Eds.) Glantz, M.H., R.W. Katz and N. Nicholls, Cambridge Univ. Press. Chap. 7, 227-256 pp**

**Leathers, D.J., B. Yarnal and M.A. Palecki, 1991. The Pacific/North American Teleconnection Pattern and United States Climate. Part I: Regional Temperature and Precipitation Associations. J. Clim., Vol. 4, 517-528 pp**

Lynn, R.J. and J.J. Simpson, 1987. The California Current System: The Seasonal Variability of its Physical Characteristics. *J. Geophys. Res.*, Vol 92, No. C12, 12,947-12,966 pp

Lluch-Belda, D., F.J. Magallón, R.A. Schwartzlose, 1986. Large Fluctuations in the Sardine Fishery in the Gulf of California: Possibles Causes. *CalCOFI Reps.*, Vol. 27, 136-140 pp

Lluch-Belda, D., R.J.M. Crawford, T. Kawasaki, A.D. MacCall, R.H. Parrish, R.A. Schwartzlose and P.E. Smith, 1989. World-Wide Fluctuations of Sardine and Anchovy Stocks: The Regime Problem. *S.Afr.J.mar.Sci.* 8:195-205 pp

Lluch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez, D.B. Lluch-Cota, C.A. Salinas-Zavala, F. Magallón-Barajas y F. de Lachica-B., 1991. Variación climática y oceanográfica global: sus efectos en el noroeste mexicano. *Ciencia y Desarrollo*, Vol. XVII, No. 98, 79-88 pp

Lluch-Belda, D., R.A. Schwartzlose, R. Serra, R. Parrish, T. Kawasaki, D. Hedgecock and R.J.M. Crawford, 1992. Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report. *Fish. Oceanogr.* Vol. 1, No. 4, 339-347 pp

Lluch-Cota D.B., D. Lluch-Belda, S. Hernández-Vázquez and C.A. Salinas-Zavala, 1991. Anomalous Warm Sea Surface Temperature Over North Mexican and California Pacific Waters during 1990. *J. Climate* (en revisión).

Markham, C.G., 1972. Baja California's Climate. *Weatherwise*; April, 64-76 pp

Martonne, de E., 1926. Arelsme et indice d'aridité, comptes rendus de L'Académie des Sciences de Paris 182: 1393-1398, in English: Regions of Interior-Basin Drainage. *The Geographical Review*, Vol. 17, 397-414 pp

McAuliffe, J.R., 1984. Sahuaro-nurse tree associations in the Sonoran Desert: competitive effects of sahuaros. *Oecologia*, Vol. 64, 319-321 pp

Miller, P.C., D.K. Poole and P.M. Miller, 1983. The Influence of Annual Precipitation, Topography, and Vegetative Cover on Soil Moisture and Summer Drought in the Southern California. *Oecologia*, Vol. 56, 385-391 pp

Mitchell, J.M., C.W. Stockton and D.M. Meko, 1979. Evidence of a 22-year rhythm of drought in the western United States. *Symp./Workshop on Solar-Terrestrial influences on Weather and Climate*. Ohio State Univ., 125-143 pp

Mo, K.C., J.R. Zimmerman, E. Kalnay and M. Kanamitsu, 1991. A GCM Study of the United States Drought. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 119, 1512-1532 pp

**Mosíño, P.A., 1966. Factores determinantes del clima en la República Mexicana con referencia especial a las zonas áridas. S.E.P, Inst. Nac. Antrop. Hist., Depto. de Preshistoria, Pub. No. 19. 22 pp**

**Mosíño, P.A. y A.T. Morales, 1988. Los ciclones tropicales, El Niño y las lluvias en Tacubaya, D.F. Geof. Int., Vol. 27, No. 1, 61-82 pp**

**Namias, J., 1955. Some meteorological aspects of drought. With special reference to the summers of 1952-54 over the United States. Mon. Wea. Rev. (September), 199-205 pp**

**Namias, J., 1963. Interactions of circulation and weather between hemispheres. Mon. Wea. Rev. (Oct-Dec), 482-486 pp**

**Namias, J., 1969. Seasonal interactions between the North Pacific Ocean and the Atmosphere during the 1960's. Mon. Wea. Rev., Vol. 97, No. 3, 173-192 pp**

**Namias, J. 1972. Influence of the northern hemisphere general circulation on drought in the northeast Brazil. Tellus, Vol. XXIV, 336-343 pp**

**Namias, J. and R.M. Born 1972. Empirical techniques applied to large-scale and long-period air-sea interactions, a preliminary report. SIO Reference, Series 72-1, UCSD-SIO, 47 pp**

**Namias, J. 1978. Recent Drought in California and Western Europe. Rev. Geophys. Spa. Physcs., Vol. 16, No. 3, 435-458 pp**

**Namias, J. 1979. Premonitory Signs of the 1978 Break in the West Coast Drought. Mon. Wea. Rev., Vol. 107, No. 12, 1675-1681 pp**

**Namias, J., 1980. Severe Drought and Recent History. Journal of Interdisciplinary History, Vol. X, No. 4, 697-712 pp**

**Namias, J. 1982. Anatomy of Great Plains Protracted Heat Waves (especially the 1980 U.S. summer drought). Mon. Wea. Rev. Vol. 110, No. 7, 824-838 pp**

**Namias, J., 1985. Extra-tropical connections. JSC/CCCO Int. Conf on the TOGA Scientific Programme, Paris, France, 17-21 Sept. 1984; WCRP Publ. Ser. No. 4**

**Namias, J., 1989a. Written in the Winds The Great Drought of '88. Weatherwise, Vol. 42, No. 2, 85-87 pp**

**Namias, J., 1989b. Cold waters and hot summers. Nature, Vol 338, 15-16 pp**

**Namias, J., 1991. Spring and Summer 1988 Drought over the Contiguous United States-Causes and Prediction. J. Climate, Vol. 4, No.1, 54-65 pp**

**Oliver, J., 1991. a L-Biruni's Chronology: A Source for Historical Climatology. Climatic Change, Vol. 18, 437-452 pp**

**Orville, H.D., 1990. AMS Statement on Meteorological Drought. Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 71, No. 7, 1021-1023 pp**

**Padmanabhan, G. and A. Ramachandra-Rao, 1990. On the Crosscorrelation Between Drought Indices and Solar Activity. Theor. App. Climatol., Vol. 41, 55-61 pp**

**Palmer, W.C., 1965. Meteorological Drought. Research Paper, No. 45, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C., Feb., 58 pp**

**Palmer, T.N., 1986. Influence of the Atlantic, Pacific and Indian Oceans on Sahel rainfall. Nature, Vol. 322, No. 6076, 251-253 pp**

**Palmer, T.N. and C. Brankovic, 1989. The 1988 US drought linked to anomalous sea surface temperature. Nature, Vol. 338, 54-57 pp**

**Pérez, I.G., 1991. Factores meteorológicos asociados con las intensas lluvias ocurridas a finales de Diciembre de 1990 en el Noroeste de México. Reunión de Trabajo TRAVASON/SWAMP. Cd. Obregón, Abril 22-26 de 1991, Reyes, S. y Barrón, M. (Eds.). Pub. EBA No. 9**

**Philander, S.G.H., 1985. El Niño and La Niña. Jour. Atmos. Sci., Vol. 42, No. 23, 2652-2662 pp**

**Poder Ejecutivo Nacional, 1988. Plan Nacional de Desarrollo, Secretaría de Programación y Presupuesto; 1ra. Ed., 143 pp**

**Rasmusson E.M. and T.H. Carpenter, 1983. The Relationship Between Eastern Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures and Rainfall over India and Sri Lanka. Mon. Wea. Rev., Vol. 111, 517-528 pp**

**Rasmusson, E.M. and J.M. Wallace, 1983. Meteorological aspects of the El Niño/Southern Oscillation. Science, 122: 1195-1202 pp**

**Reyes, S. y J.E. Janowiak, 1986. Global Atmospheric water vapor patterns derived from the NMC final analysis. Technical Report CAC-NWS-NOAA, Washington, DC, USA, 62 pp**

**Reyes, S., and D.L. Cadet, 1988. The southwest branch of the North American monsoon during summer 1979. Mon. Wea. Rev., Vol. 116, 1175-1187 pp**

**Reyes S. and A. Mejía, 1991. Tropical perturbations in the eastern Pacific and the precipitation field over north-west Mexico in relation to the ENSO phenomenon. Int. J. Clim., Vol. 11, 515-528 pp**

**Reyes-Coca, S. y P. Rojo-Salazar, 1985. Variabilidad de la precipitación en la península de Baja California. Rev. Geofísica, No. 22/23, 111-128 pp**

**Reyes-Coca, S., F. Miranda, J.G. Espinoza-Ibarra y J. García-López, 1991. Datos de superficies de la red del noroeste de México (B.C., B.C.S., Sonora, Sinaloa y Durango) Parte I. Series de tiempo de valores diarios de temperatura y precipitación. Reporte Técnico CIOFIT9104. Estudios del Balance de Agua. TRAVASON-SWAMP; Pub. EBA No. 6. CICESE-ITSON-CNA, Ensenada, B.C., México, 181 pp**

**Rojo, P., 1985. Variabilidad climática en la península de Baja California. Tesis de licenciatura. ESCM/UABC. Ensenada, B.C., México; 63 pp**

**Romero, H., 1989. The 1988 drought in Chile. Top. Ocean-Atmosph. Newslett., No. 52, 5-6 pp**

**Rueda, F.S., 1983. Reconstrucción de la precipitación en las costas noroccidentales de México a través de información dendrocronológica. Tesis de Maestría en Ciencias Pesqueras, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S., México, 127 pp, 5 Apéndices.**

**Salinas-Zavala, C.A., A. Leyva-Contreras (Eds.), 1988. Base de Datos pluviométricos: Totales mensuales. Baja California Sur. Publicación Interna. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. y Delegación Estatal de la S.A.R.H. en Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México; 211 pp**

**Salinas-Zavala, C.A., A.C. Leyva, D. Lluch-Belda y E. Díaz-Rivera, 1990. Distribución geográfica y variabilidad climática de los regímenes pluviométricos en Baja California Sur, México. *Atmósfera*, Vol 3, No. 3, 217-237 pp**

**Salinas-Zavala, C.A., D.B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez y D. Lluch-Belda, 1992. Anomalías de precipitación en Baja California Sur durante 1990. Posibles causas. *Atmósfera*, Vol. 5, No. 2, 79-93 pp**

**Schmidt Jr, R.H., 1989. The arid zones of Mexico: climatic extremes and conceptualization of the Sonoran Desert. *J. Arid. Environm.*, Vol. 16, 241-256 pp**

**Serra, S., 1971. Hurricanes and tropical storms of the west coast of Mexico. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 99, 303-312 pp**

**Shreve, F., 1929. Changes in Desert vegetation. *Ecology*, Vol.10, No.4, 364-373 pp**

**Shreve, F. and A.L. Hinckley, 1937. Thirty years of change in desert vegetation. *Ecology*, Vol. 18, 463-478 pp**

Simmonds, I. and A. Rocha, 1991. The Association of Australian Winter Climate with Ocean Temperatures to the West. *J. Climate*, Vol. 4, 1147-1161 pp

Stadler, S.J., 1987. Aridity Indexes. In: Oliver, J.E. & Fairbridge R.W. (Eds.), *The Encyclopedia of climatology*, 769-773 pp. *Encyclopedia of Earth Sciences*, Vol XI. New York: Van Nostrand Reinhold, 986 pp

Stockton, C.W. and Meko, D.M., 1975. A Long-Term History of Drought Occurrence in Western United States as Inferred from Tree Rings, *Weatherwise*, Vol. 28, 244-249 pp

SURFER version 4.0, 1991. Golden Software, Inc. 809 14th Street Golden, Colorado 80402-0281, U.S.A.

Topoly, P.J., P.R. Hadsell, and R.J. Abram, 1989. Experimental CD-ROM NODC-01; Pacific Ocean Temperature and Salinity Profiles. National Oceanographic Data Center, Informal Report No. 10. National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, U.S.A.

Trenberth, K.E., 1991. General Characteristics of El Niño-Southern Oscillation. In: *Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies*, (Eds.) Glantz, M.H., R.W. Katz and N. Nicholls, Cambridge Univ. Press. Chap. 2, 13-42 pp

Trenberth, K.E., Branstator, G.W. and P.A. Arkin, 1988. Origins of the 1988 North American drought. *Science*, 242, 1640-1645 pp

Turner, R.M., 1990. Long-term vegetation change at a fully protected Sonoran Desert site. *Ecology*, Vol. 71, No. 2, 464-477 pp

Turner, R.M. and D.E. Brown, 1982. Sonoran Desertscrub. *Desert-Plants*, Vol. 4, No. (1-4), 181-219 pp

Vandermeer, J., 1980. Saguaro and nurse trees: A New hypothesis to account for population fluctuations. *The Southwestern Nat.*, Vol. 25, No. 3, 357-360 pp

Wallace, J.M. and D.S. Gutzler, 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 109, 784-812 pp

Wooster, W.S and Fluharty, D.L.(Eds.), 1985. El Niño North. Niño Effects in the Eastern Subarctic Pacific Ocean. Washington Sea Grant Program, Univ. of Washington; 312 pp

Wiggins, I.L., 1980. *Flora of Baja California*. Stanford University Press, 1071 pp

## FIGURAS

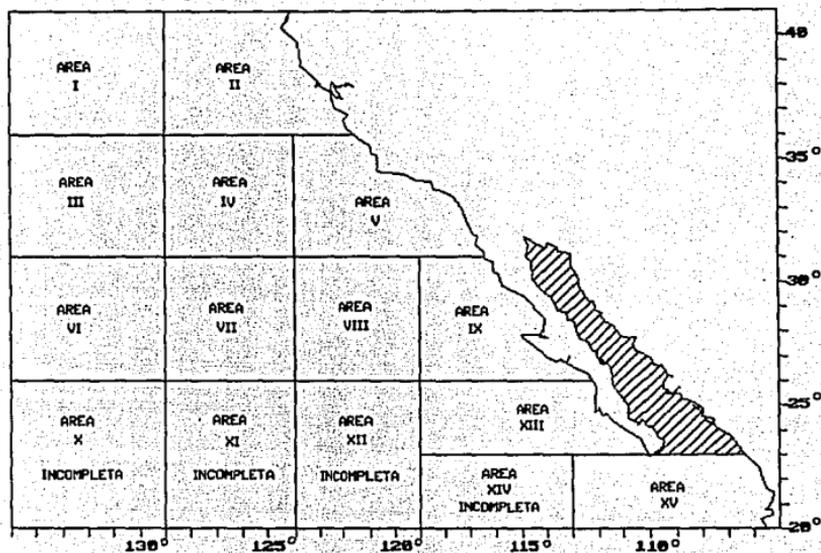


Fig. 1. Areas oceánicas analizadas. El achurado señala el Golfo de California no incluido en el análisis.

### Índice de cobertura árida anual en el Noroeste de México

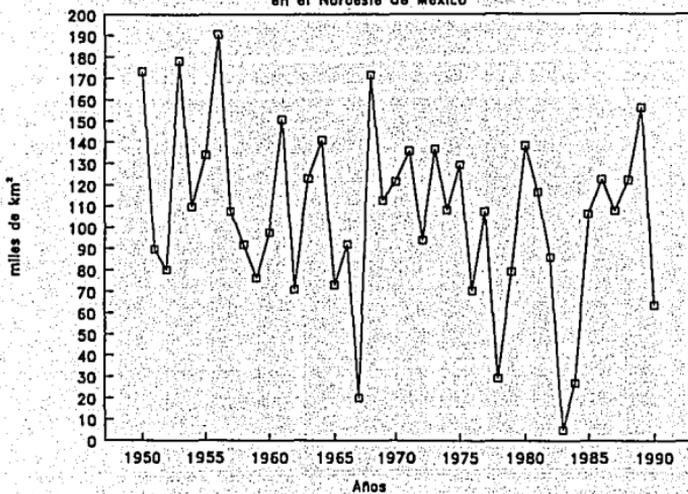


Fig. 2. Variación interanual del Índice de Cobertura Árida Anual (ICAA) en el noroeste de México.

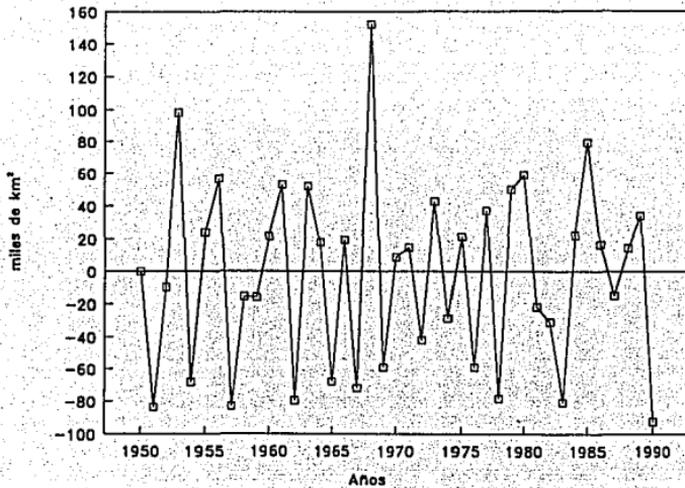


Fig. 3. Cambio del ICAA de un año respecto al anterior.

### Índice de cobertura árida anual Promedios móviles de tres años

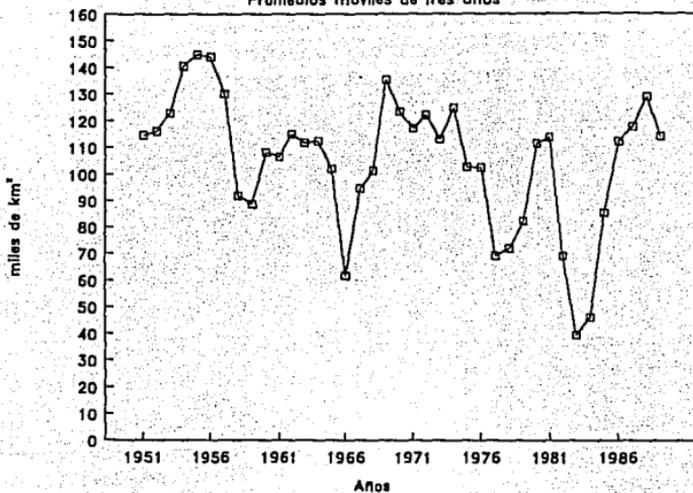


Fig. 4. Promedios móviles de tres años centrados en el segundo, de los valores del ICAA observados.

### Análisis de autocorrelación del ICAA

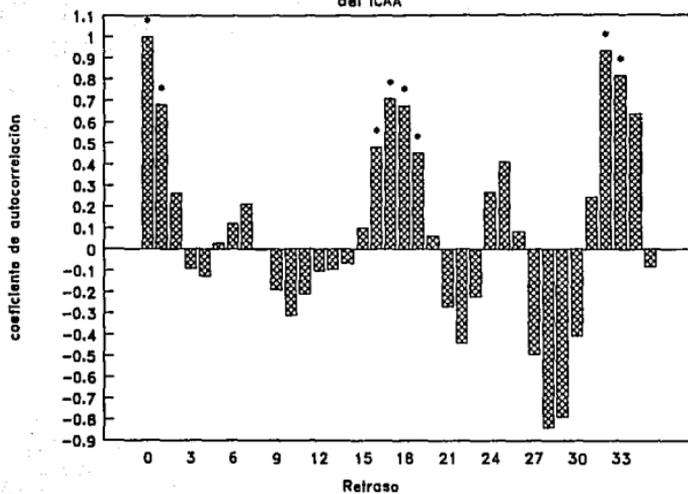


Fig. 5. Autocorrelograma del ICAA, (\*) =  $p < 0.05$

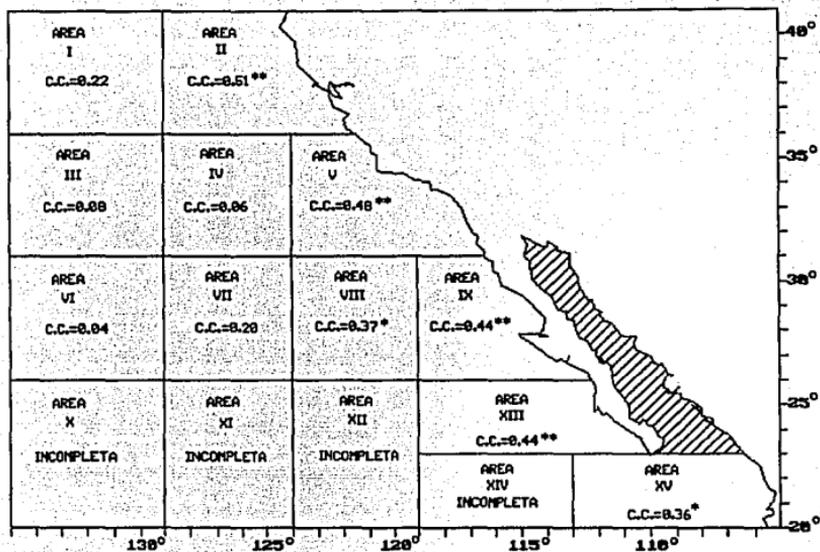


Fig. 6. Coeficientes de correlación por áreas oceánicas entre la TSM y el ICA.

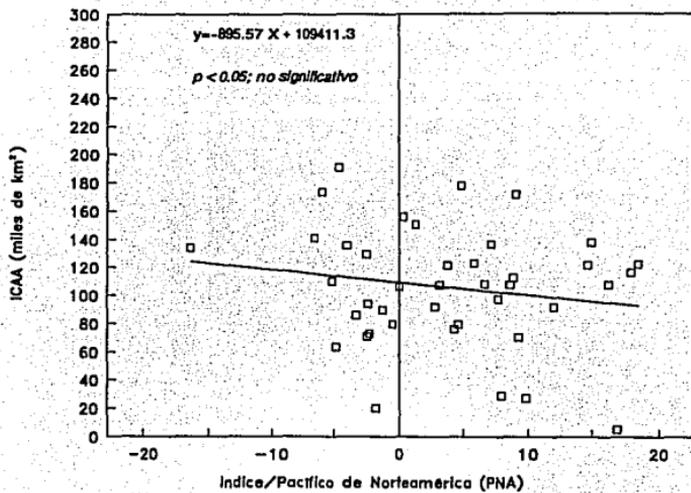


Fig. 7 Relación lineal entre el PNA 700 mb y el ICAA.

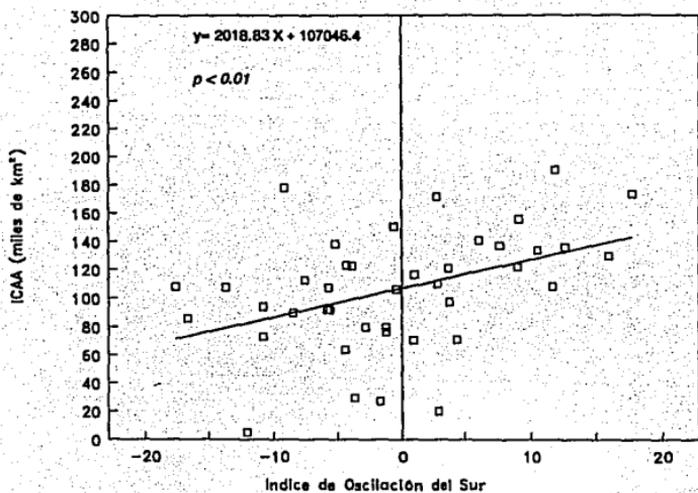


Fig. 8. Relación lineal entre el IOS y el ICAA.

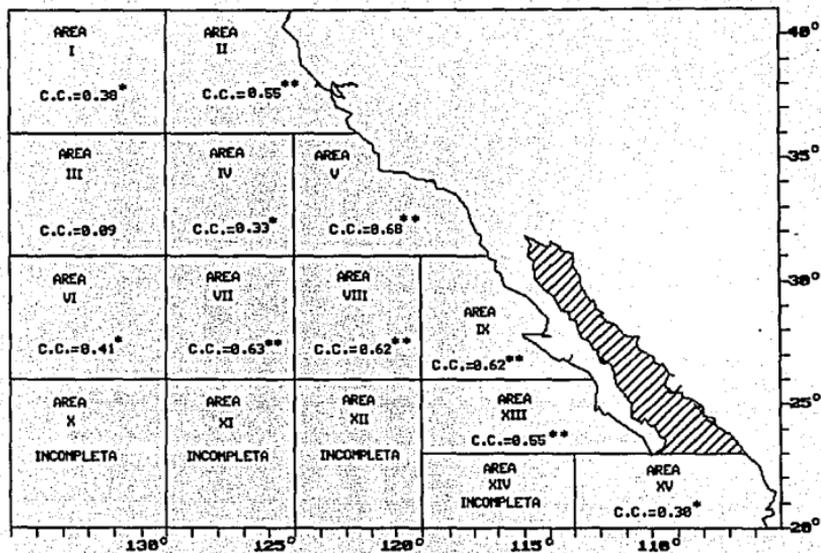


Fig. 9. Coeficientes de correlación por áreas oceánicas entre la TSM y el PNA 780 mb.

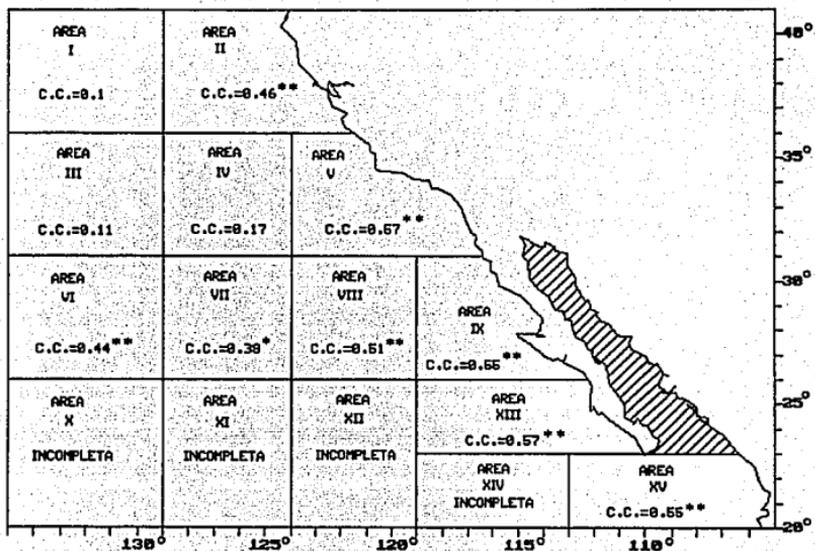


Fig. 10. Coeficientes de correlación por áreas oceánicas entre la TSM y el IO5.

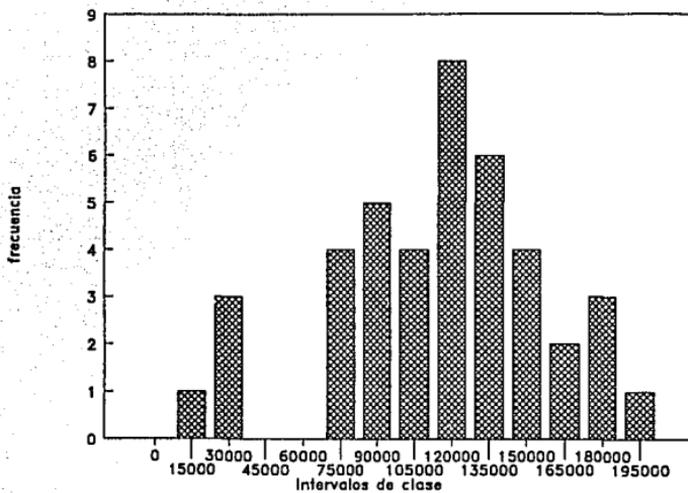


Fig. 11. Distribución de frecuencias del ICAA

### Promedios móviles del PNA 700 mb

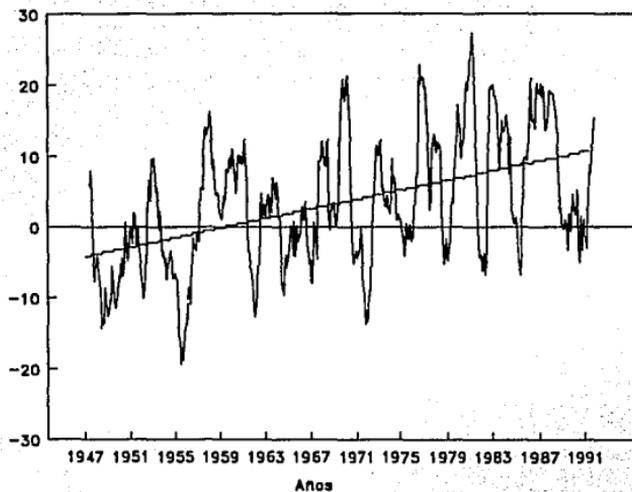
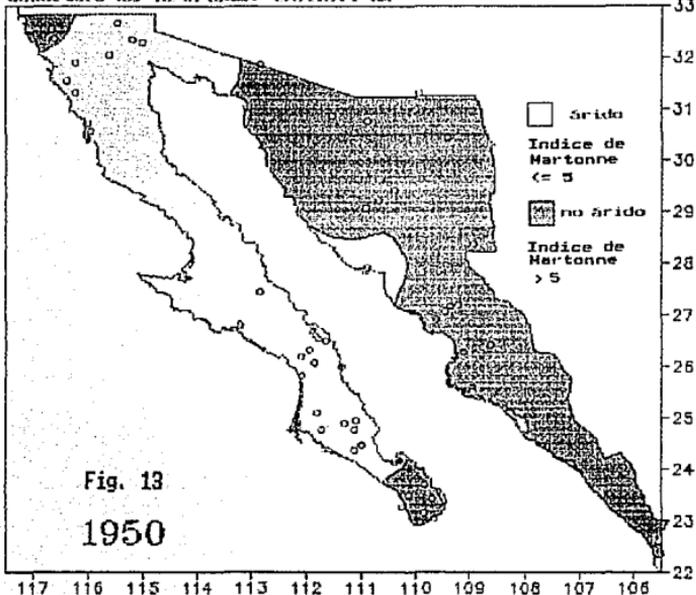


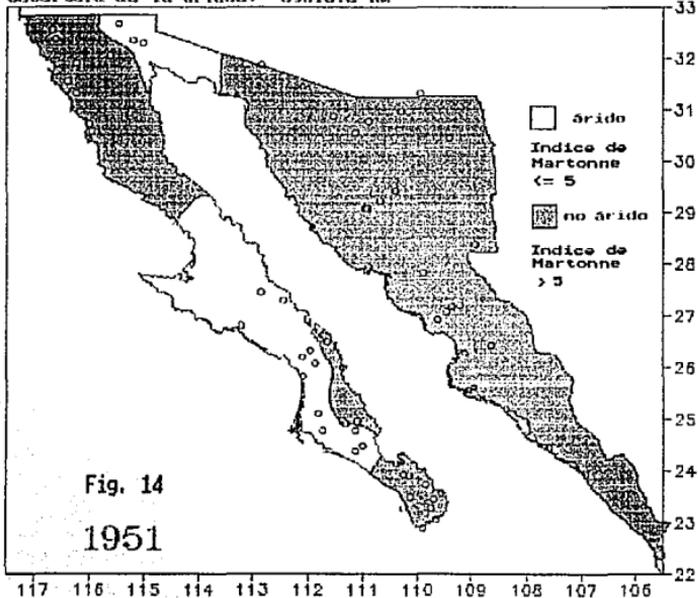
Fig. 12. Tendencia positiva del PNA a 700 mb. Promedios móviles de cinco meses centrados en el tercero.

**Figs. 13-53 Mapas de cobertura árida anual, (1950-1990)**

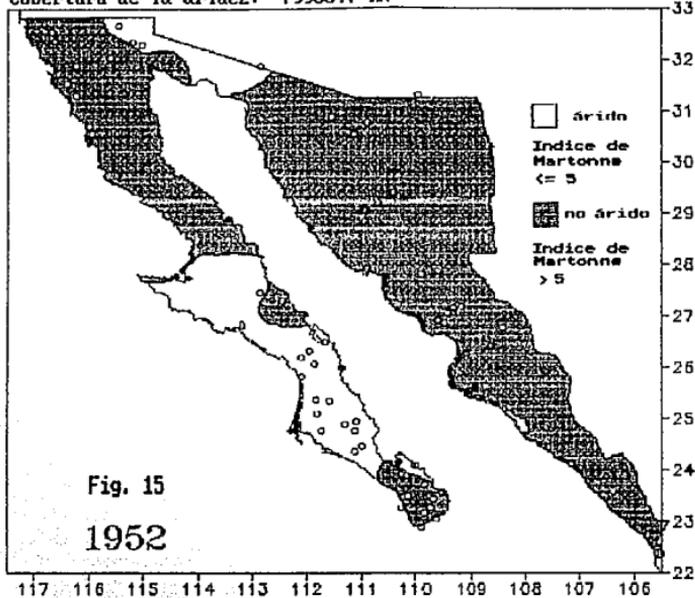
Cobertura de la aridez: 173416.4 Km<sup>2</sup>



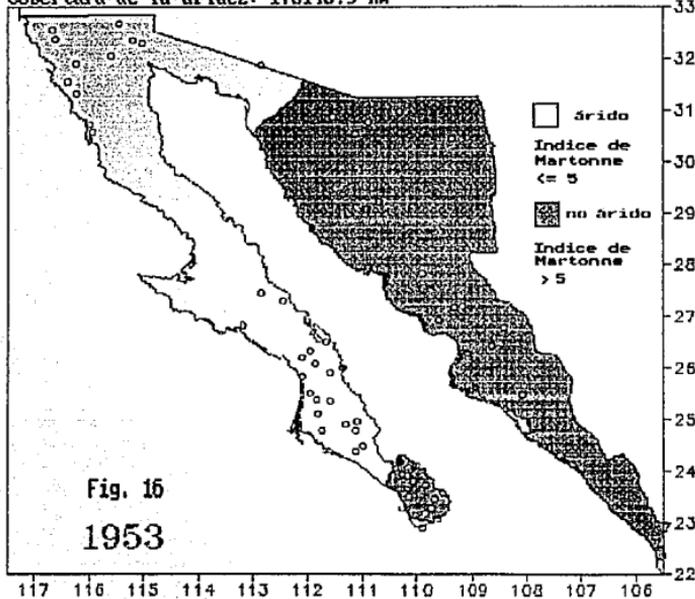
Cobertura de la aridez: 89818.2 Km<sup>2</sup>



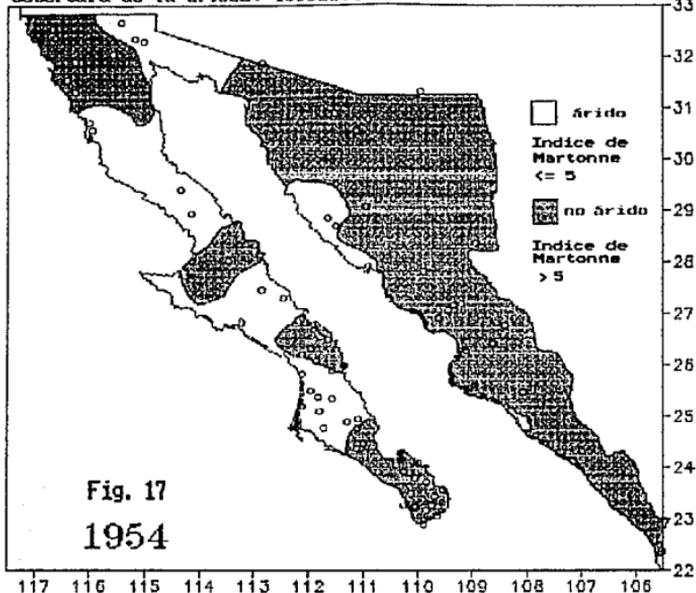
Cobertura de la aridez: 79986.7 Km<sup>2</sup>



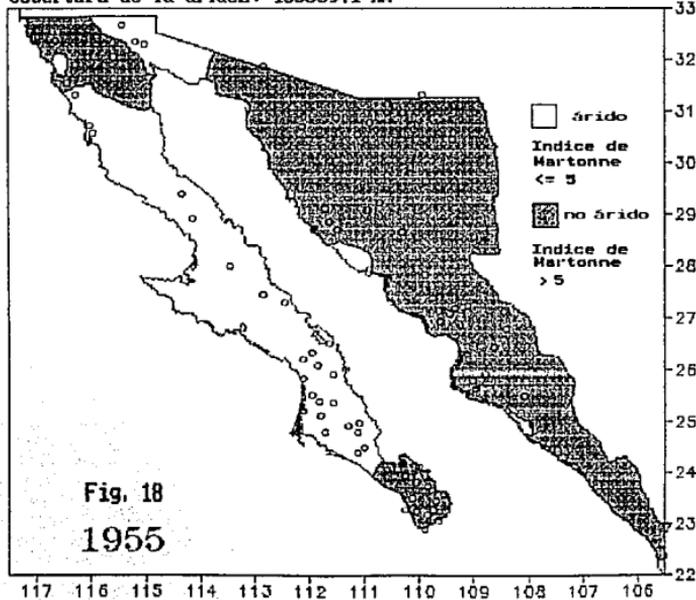
Cobertura de la aridez: 178146.9 Km<sup>2</sup>



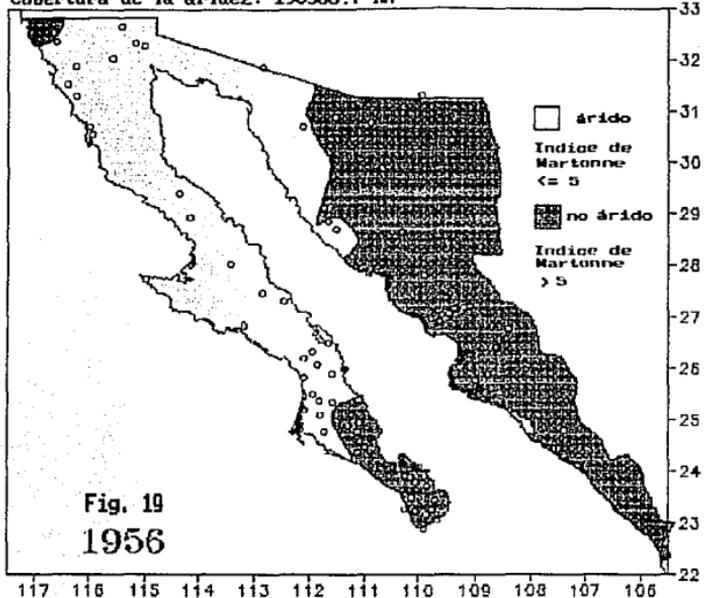
Cobertura de la aridez: 189936.4 Km<sup>2</sup>



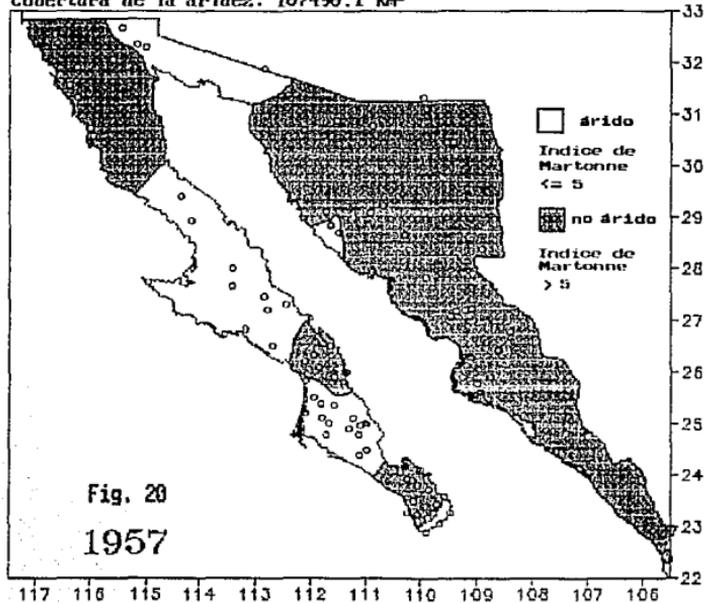
Cobertura de la aridez: 133859.1 Km<sup>2</sup>



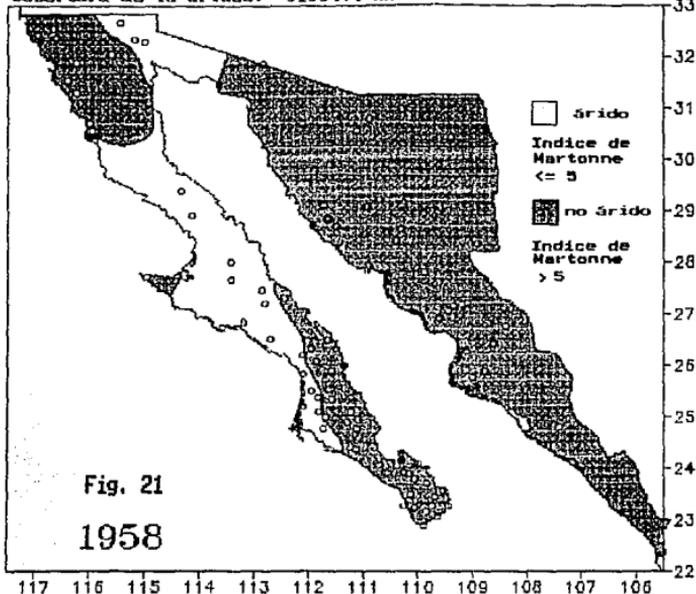
Cobertura de la aridez: 190506.7 Km<sup>2</sup>



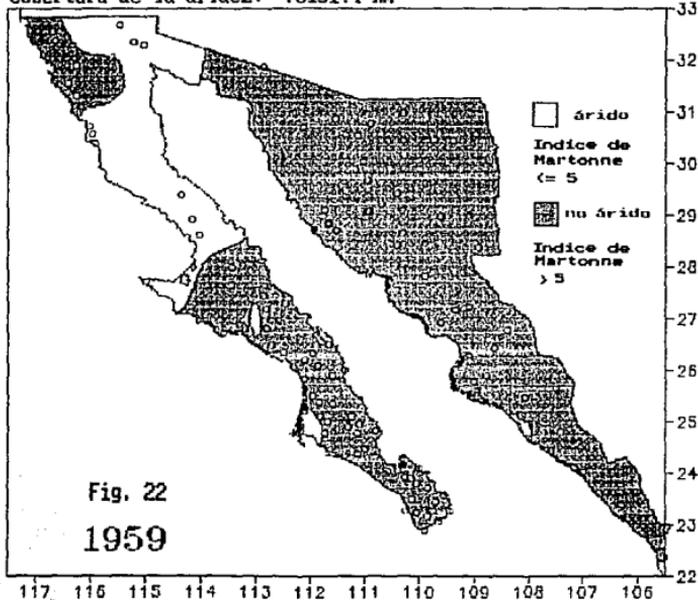
Cobertura de la aridez: 107490.1 Km<sup>2</sup>



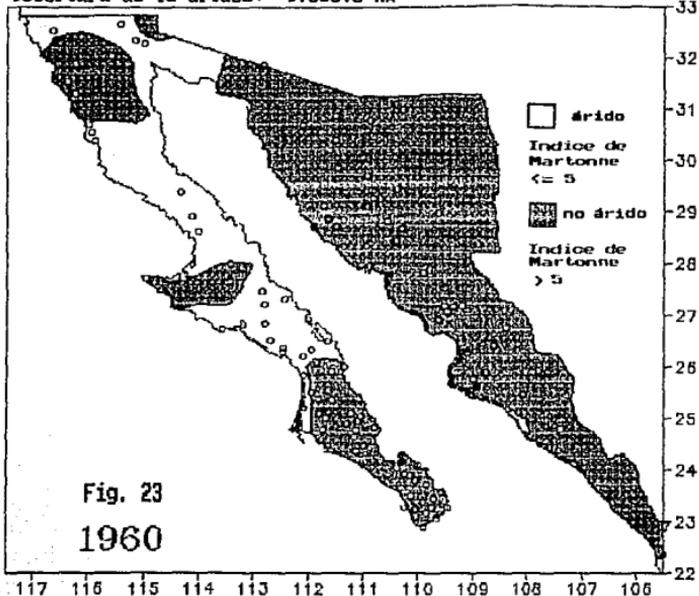
Cobertura de la aridez: 91991.4 Km<sup>2</sup>



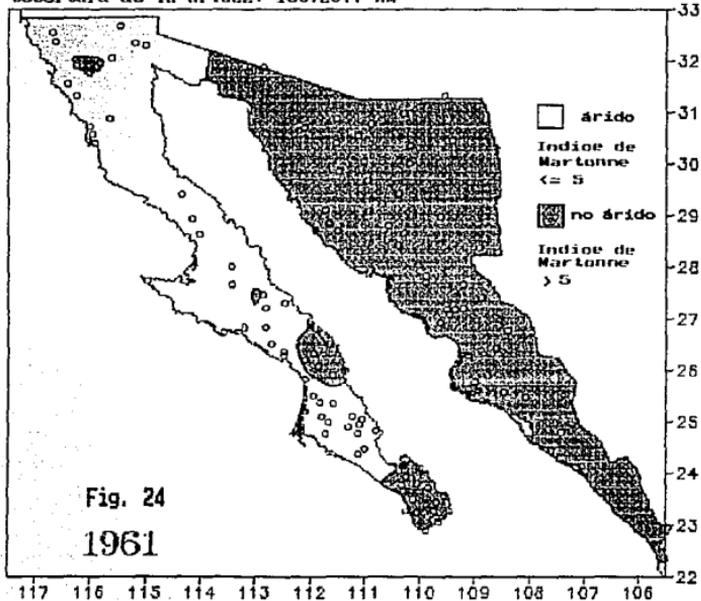
Cobertura de la aridez: 76151.4 Km<sup>2</sup>



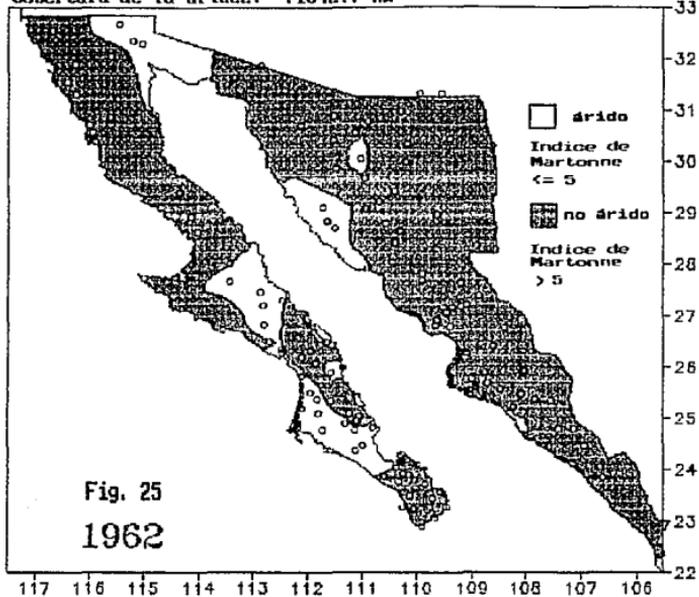
Cobertura de la aridez: 97635.5 Km<sup>2</sup>



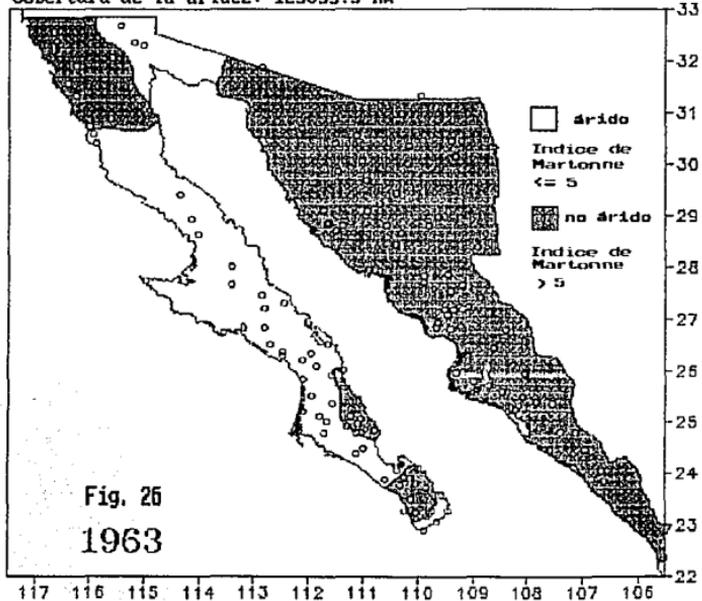
Cobertura de la aridez: 150720.7 Km<sup>2</sup>



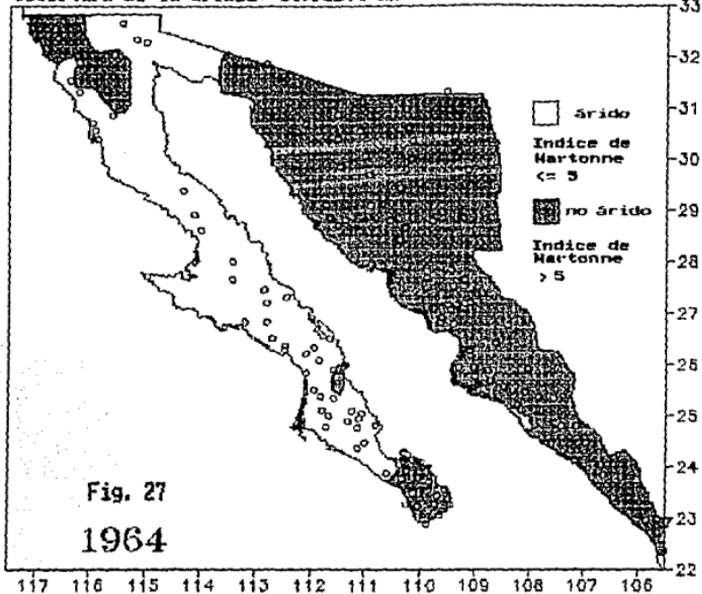
Cobertura de la aridez: 71842.7 Km<sup>2</sup>



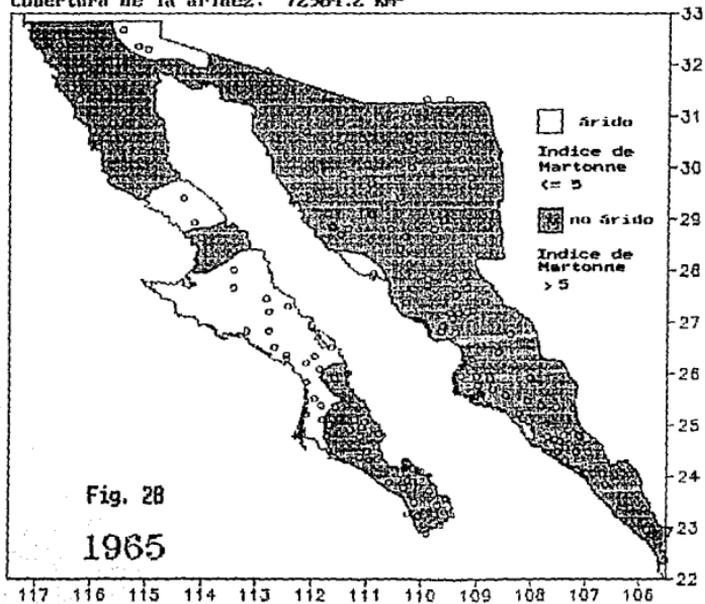
Cobertura de la aridez: 123855.3 Km<sup>2</sup>



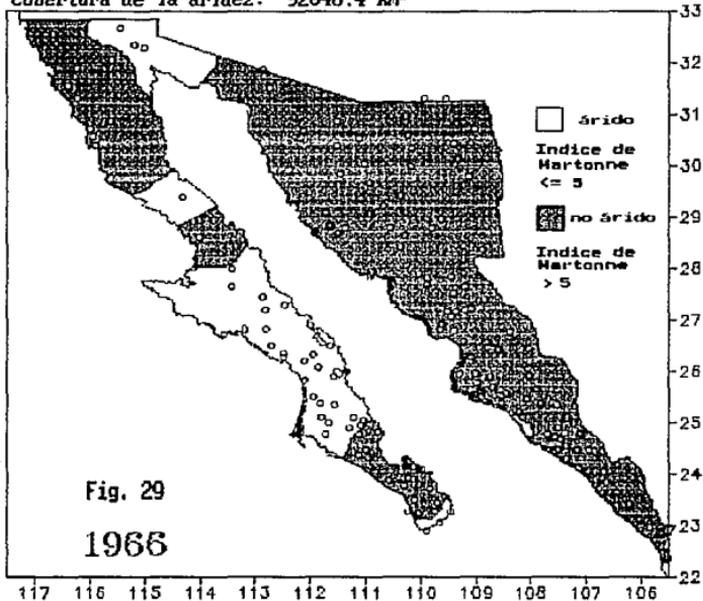
Cobertura de la aridez: 148912.4 Km<sup>2</sup>



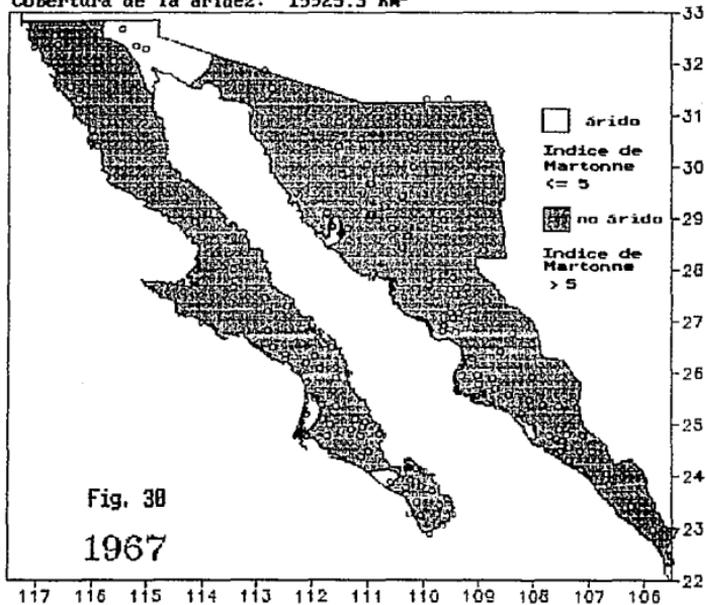
Cobertura de la aridez: 72964.2 Km<sup>2</sup>



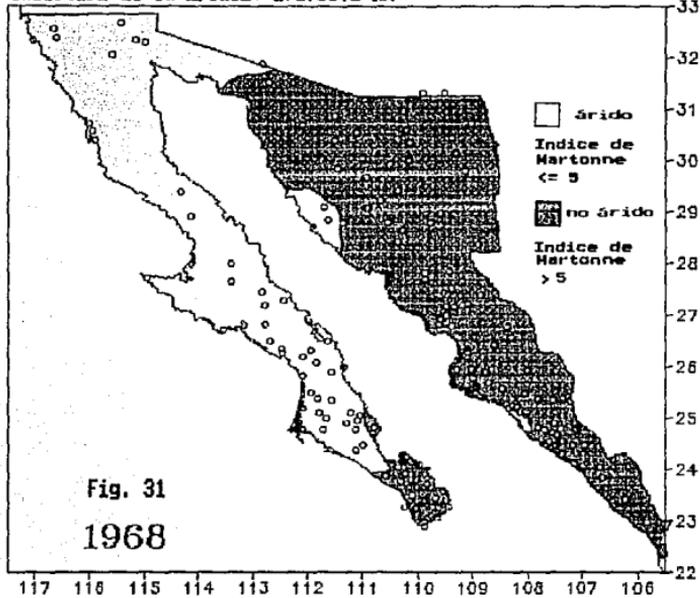
Cobertura de la aridez: 92048.4 Km<sup>2</sup>



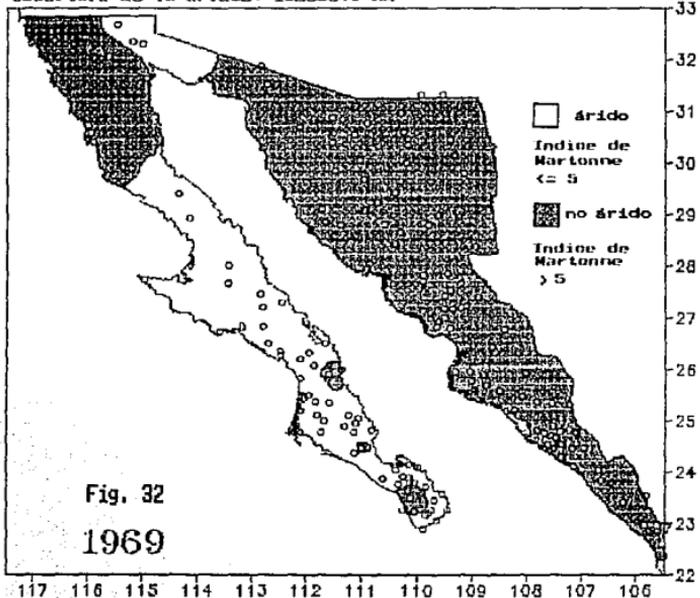
Cobertura de la aridez: 19925.3 Km<sup>2</sup>



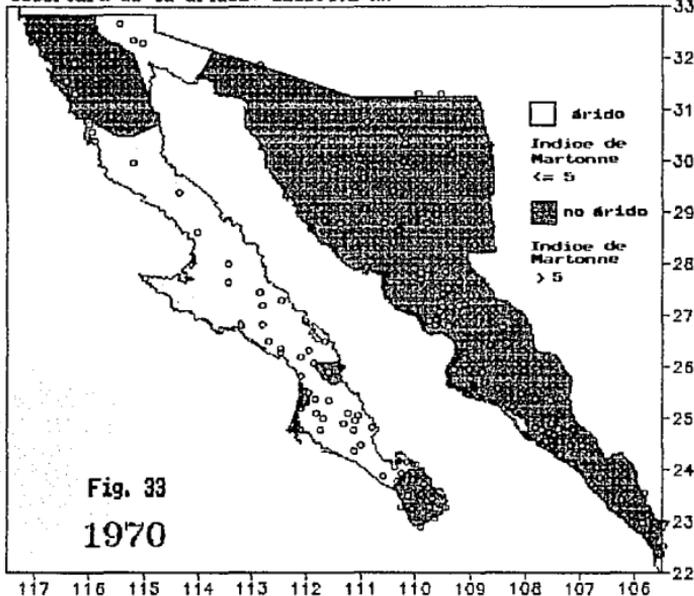
Cobertura de la aridez: 171788.1 Km<sup>2</sup>



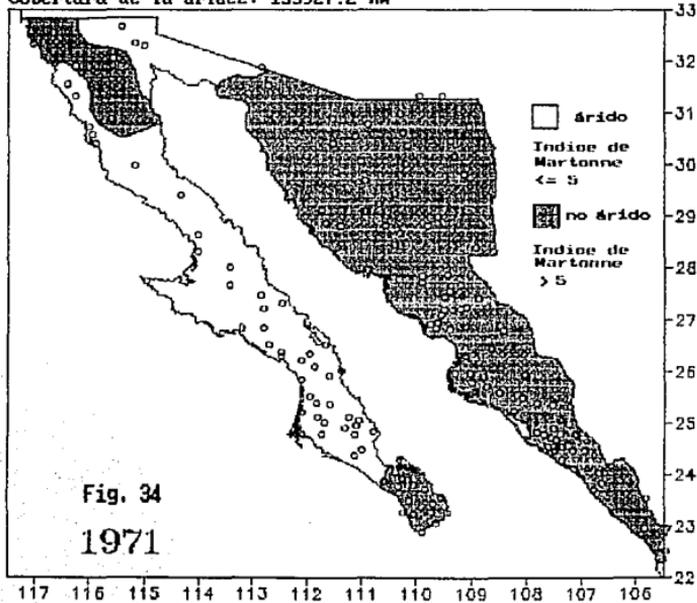
Cobertura de la aridez: 112838.0 Km<sup>2</sup>



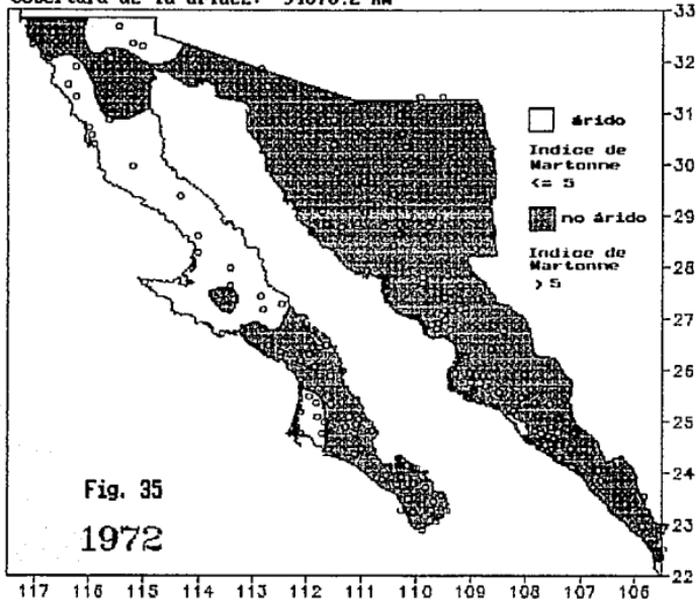
Cobertura de la aridez: 121504.2 Km<sup>2</sup>



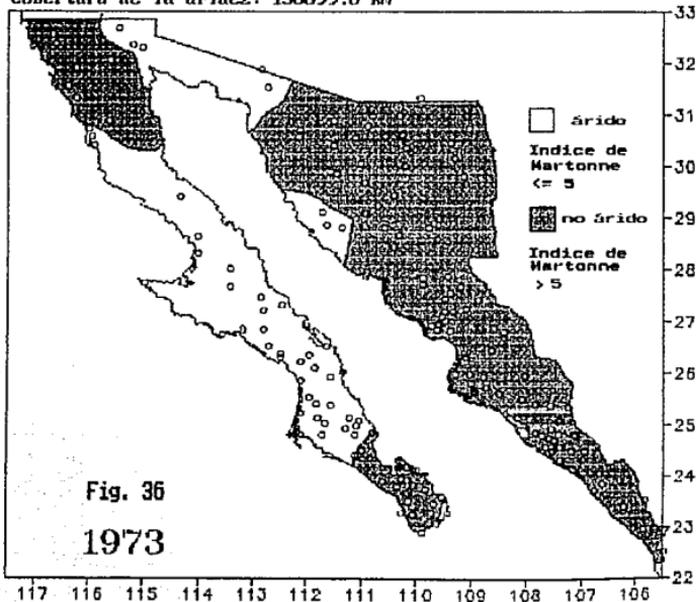
Cobertura de la aridez: 135927.2 Km<sup>2</sup>



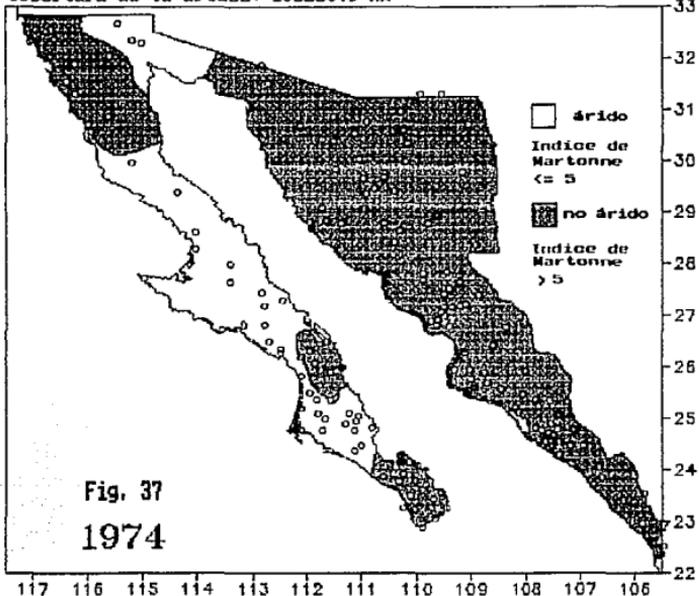
Cobertura de la aridez: 94878.2 Km<sup>2</sup>



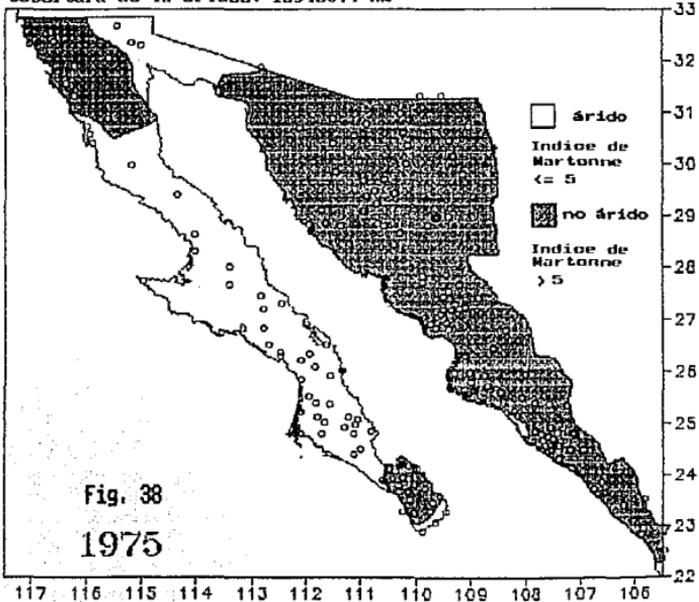
Cobertura de la aridez: 136899.6 Km<sup>2</sup>



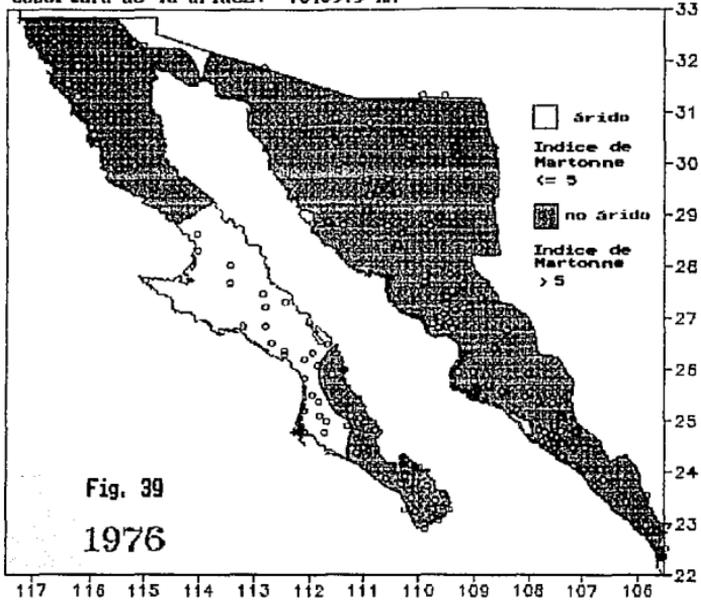
Cobertura de la aridez: 180236.9 Km<sup>2</sup>



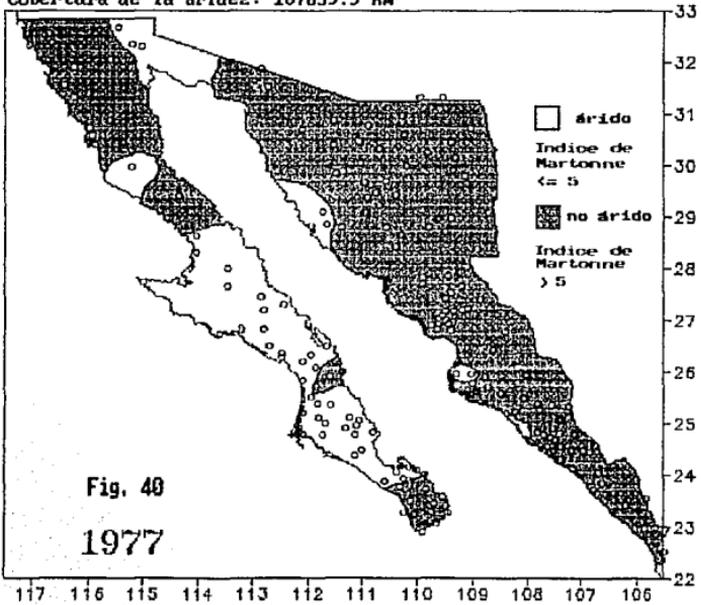
Cobertura de la aridez: 129460.4 Km<sup>2</sup>



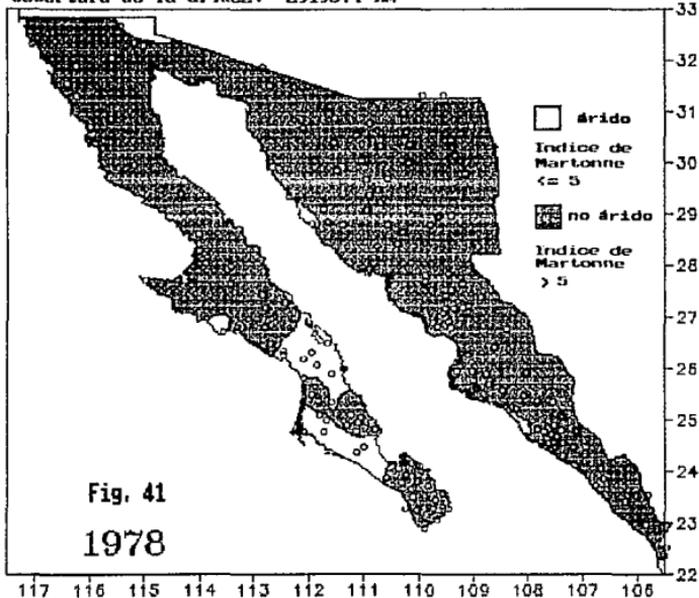
Cobertura de la aridez: 70409.9 Km<sup>2</sup>



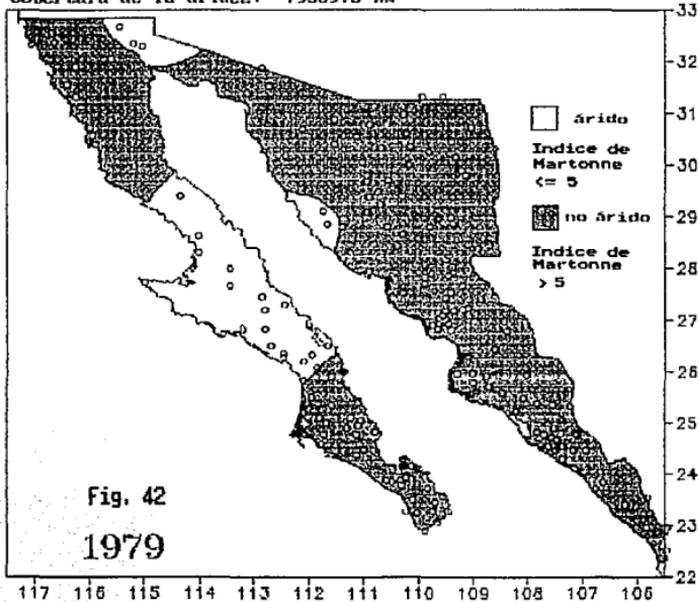
Cobertura de la aridez: 187659.9 Km<sup>2</sup>



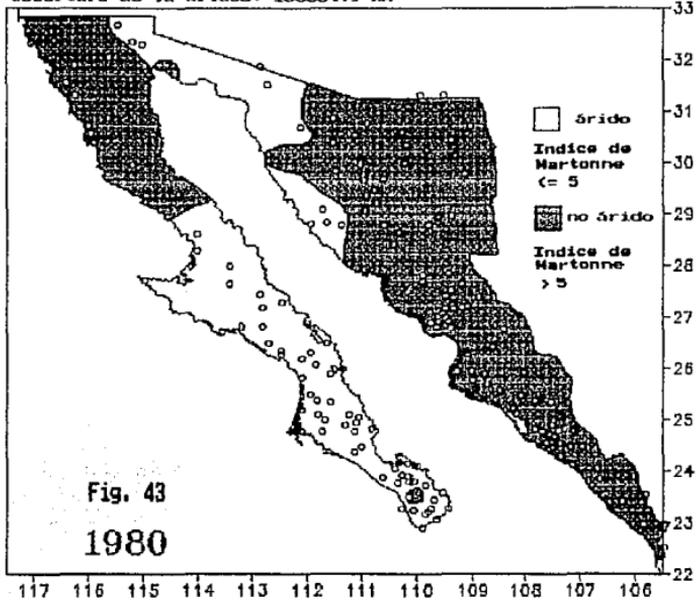
Cobertura de la aridez: 29193.4 Km<sup>2</sup>



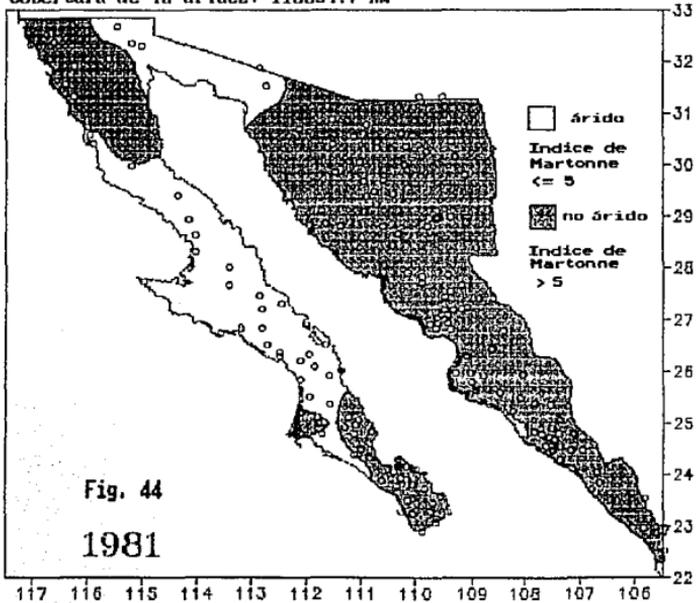
Cobertura de la aridez: 79369.3 Km<sup>2</sup>



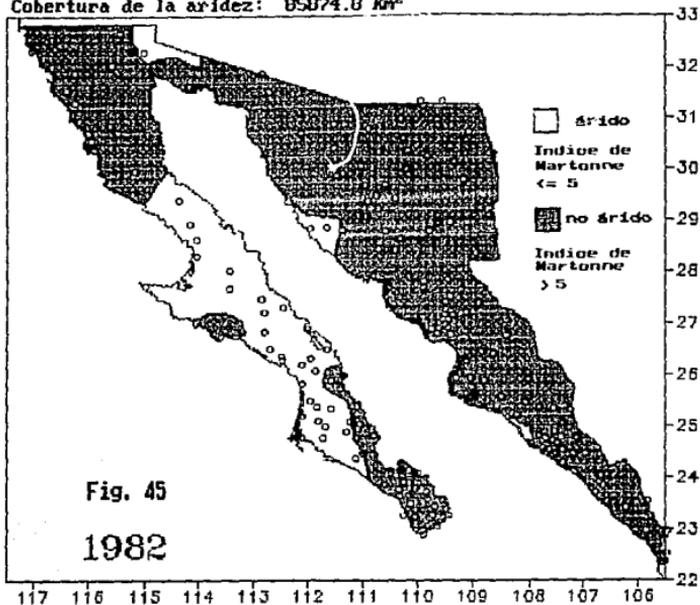
Cobertura de la aridez: 138331.9 Km<sup>2</sup>



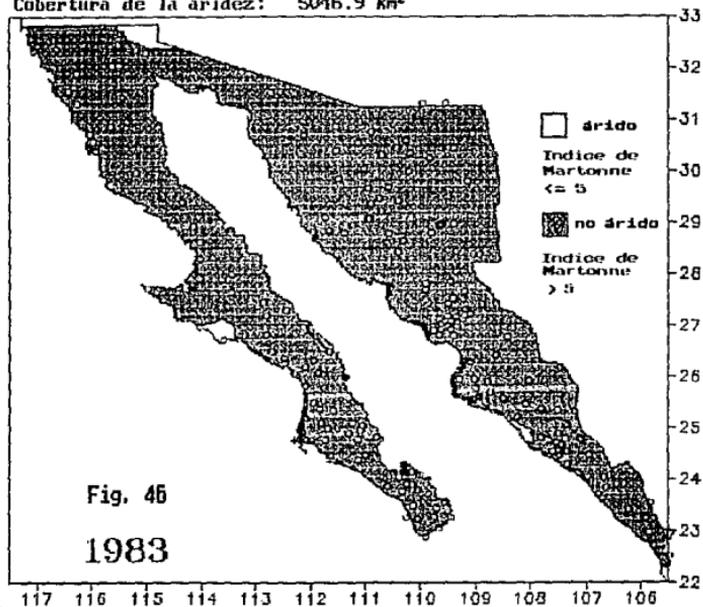
Cobertura de la aridez: 116634.7 Km<sup>2</sup>



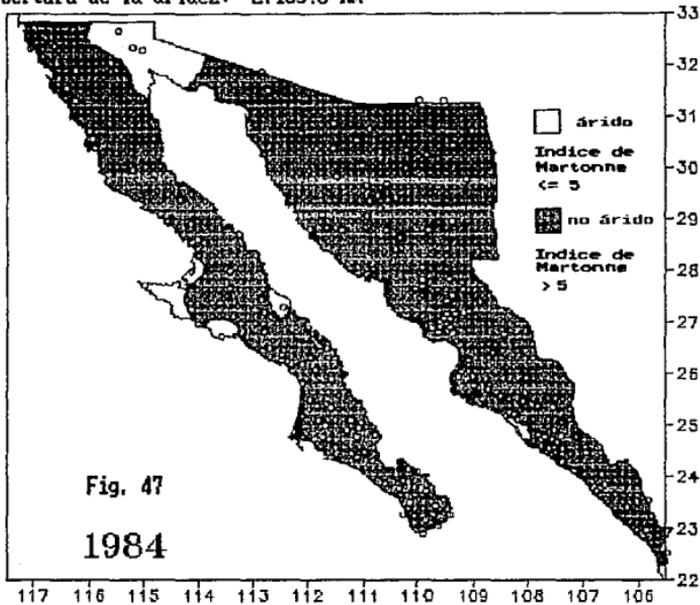
Cobertura de la aridez: 85074.8 Km<sup>2</sup>



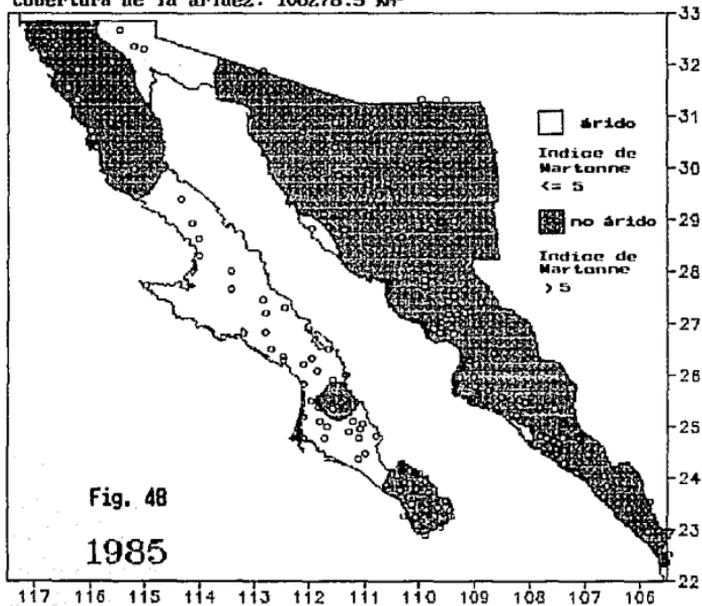
Cobertura de la aridez: 5046.9 Km<sup>2</sup>



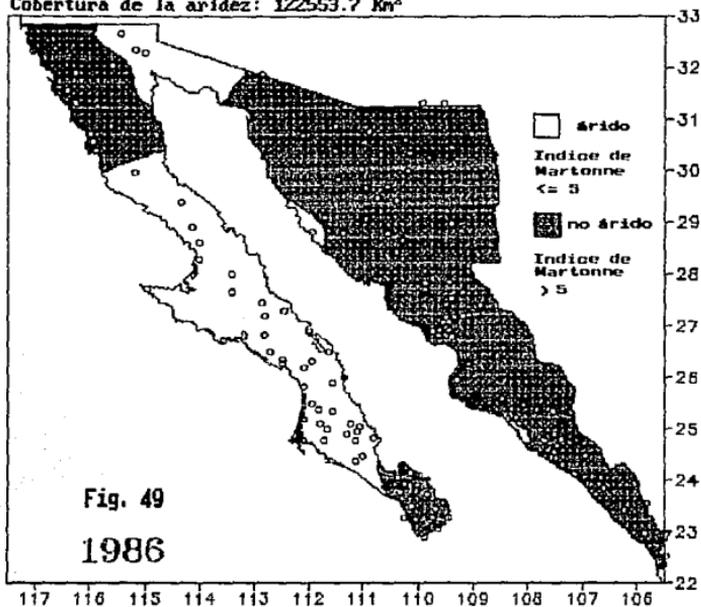
Cobertura de la aridez: 27163.0 Km<sup>2</sup>



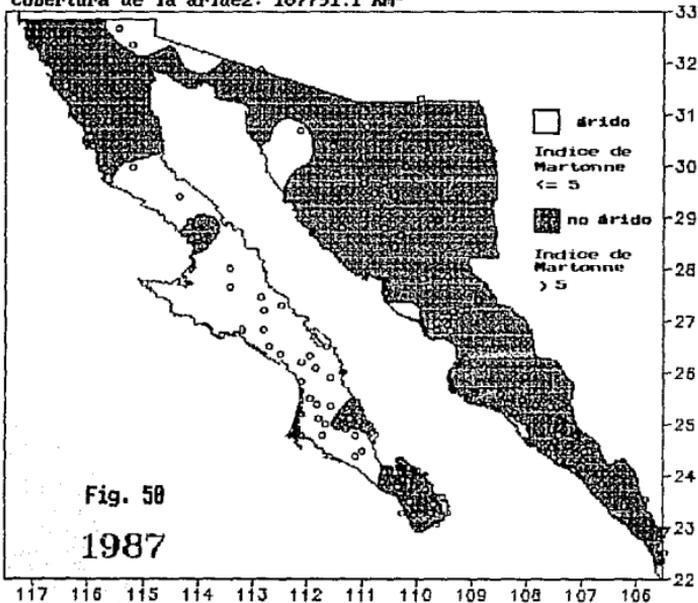
Cobertura de la aridez: 106278.5 Km<sup>2</sup>



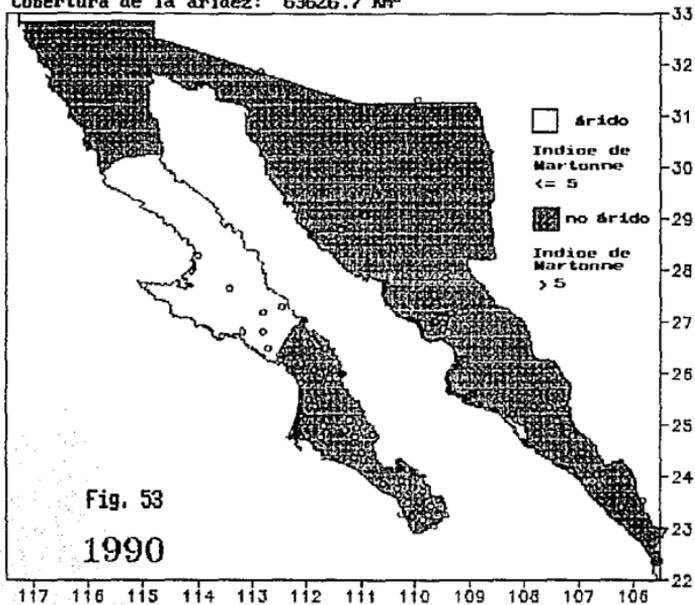
Cobertura de la aridez: 122553.7 Km<sup>2</sup>



Cobertura de la aridez: 107791.1 Km<sup>2</sup>



Cobertura de la aridez: 63626.7 Km<sup>2</sup>



## TABLAS

Tabla 1. Características generales de las estaciones climatológicas. La clave significa el nombre del archivo ASCII en el Anexo 1, y el número 9999 que no existe información.

NOMBRE DE LA ESTACION	Latitud			Longitud			Altitud m	Clave
	°	'	"	°	'	"		
<b>BAJA CALIFORNIA</b>								
LA PUERTA	32	32	36	116	40	42	480	BCN029
CHAPALA	29	23	17	114	21	50	649	BCN008
LAS ESCOBAS	30	34	48	115	56	18	50	BCN010
MEXICALI	32	39	50	115	27	21	45	BCN011
OJOS NEGROS	31	54	42	116	15	53	712	BCN012
OLIVARES MEXICANOS	32	2	57	115	36	51	316	BCN013
EL JOSE BA. MORELOS	28	18	0	114	1	33	30	BCN031
PUNTA PRETA	28	55	48	114	9	39	217	BCN017
ROSARITO	28	38	4	114	1	0	125	BCN033
COL. VICENTE GUERRERO	30	43	43	115	59	55	40	BCN007
EL PROGRESO	29	58	3	115	11	27	517	BCN023
BAH VICENTE	31	19	45	116	14	52	110	BCN041
COL. JUAREZ	32	17	55	115	0	58	7	BCN005
SANTA CRUZ	30	52	43	115	37	40	850	BCN044
SANTA MA. DEL MAR	30	24	8	115	53	15	28	BCN045
SANTO TOMAS	31	33	8	115	24	22	152	BCN048
VALLE DE LAS PALMAS	32	22	13	116	37	13	240	BCN050
PLANTA DE BOMBEO ROSARITO	32	18	40	117	2	50	22	BCN014
DELTA	32	21	11	116	11	21	21	BCN009
VALLE REDONDO	32	31	4	118	45	22	242	BCN052
EL ARCO	28	0	0	113	25	30	300	BCN019

Tabla 1. Características generales de las estaciones climatológicas. La clave significa el nombre del archivo ASCII en el Anexo 1, y el número 9999 que no existe información.

NOMBRE DE LA ESTACION	Latitud			Longitud			Altitud m	Clave
	°	'	"	°	'	"		
BAJA CALIFORNIA SUR								
BAHIA TORTUGAS	27	43	30	114	58	40	18	BC5004
BOCA DEL BALADO	23	18	8	108	28	7	10	BC5008
BUENAVISTA	26	8	30	111	47	56	25	BC5007
CABO SAN LUCAS	22	53	11	109	54	52	45	BC5005
CADEGE	26	20	30	112	28	48	85	BC5009
CADUJANO	23	18	59	109	44	80	210	BC5010
CD. CONSTITUCION	25	0	52	111	40	80	80	BC5041
COMONDU	26	4	37	111	80	27	270	BC5016
EL AGUAJITO	24	58	50	111	8	8	190	BC5017
EL CALONCITO	24	8	35	110	8	40	78	BC5110
EL CARREZAL	23	48	0	110	18	0	180	BC5111
EL OJO DE AGUA	26	19	24	111	58	24	183	BC5025
EL PASEO DE IRITU	24	45	87	111	7	30	128	BC5026
EL PILAR	24	28	1	110	50	10	135	BC5027
EL REFUGIO	24	48	37	111	43	47	30	BC5029
EL ROSARIO	23	53	0	110	36	0	45	BC5122
EL ROSARIO	26	29	18	111	36	30	130	BC5031
EL TRUFINO	23	48	20	110	7	40	480	BC5121
EMILIANO ZAPATA	27	58	30	113	25	15	80	BC5113
IRAKI	24	53	10	111	18	35	140	BC5036
LA ANGOSTURA	26	3	48	111	3	30	240	BC5114
LA PAZ	24	10	0	110	17	28	20	BC5044
LA POZA GRANDE	25	48	48	112	5	20	20	BC5045
LA POZA HONDA	26	20	34	111	34	18	100	BC5046
LA PURISIMA	26	11	37	112	5	30	100	BC5048
LA RIBERA	23	38	4	109	33	14	30	BC5049
LA SOLEDAD NORTE	24	48	18	110	47	40	340	BC5112
LADQUILLAS	24	2	22	110	22	18	50	BC5051
LAS CRUCES	25	22	45	111	49	15	35	BC5052
LORETO	26	0	30	111	20	57	15	BC5054
LOS DIVISADEROS	23	53	50	110	8	8	480	BC5056
LOS PLANES	24	8	56	109	50	24	38	BC5057
MULEGE	26	53	19	112	0	0	22	BC5060
PATROCINIO	26	49	26	112	48	38	192	BC5063
PENJAMO	24	22	26	111	7	0	90	BC5064
PTO. ADOLFO L. MATEOS	25	11	25	112	8	38	5	BC5118
PTO. SAN CARLOS	24	47	0	112	8	0	5	BC5117
PUNTA ABREOJOS	26	43	56	113	34	44	10	BC5065
SAN ANTONIO SUR	23	48	34	110	2	20	380	BC5074
SAN BARTOLO	23	44	0	109	61	42	330	BC5075
SAN FELIPE	23	10	30	109	61	8	380	BC5078
SAN IGNACIO	27	27	1	112	50	31	110	BC5080
SAN JACINTO	23	14	52	110	3	0	80	BC5081
SAN JAVIER	25	53	43	111	34	18	400	BC5082
SAN JOSE DE GRACIA	26	28	27	112	42	48	185	BC5083
SAN JOSE DEL CABO	23	4	27	109	39	34	40	BC5084
SAN JUANCO	26	16	0	112	26	30	12	BC5123
SAN PEDRO	23	55	14	110	15	0	178	BC5088
SAN ZACARIAS	27	12	48	112	47	50	128	BC5118
SANTA GERTRUDIS	23	20	45	110	8	57	480	BC5095
SANTA ROSALIA	27	18	48	112	27	15	30	BC5098
SANTIAGO	23	27	33	109	42	40		BC5090
SANTO DOMINGO	25	30	30	111	68	45	25	BC5100
TEPERTU	26	8	16	111	14	0	180	BC5104
TOCOS BANTOS	23	10	53	110	14	21	40	BC5108
YENEXA	23	13	30	109	48	30	298	BC5120

**Tabla 1. Características generales de las estaciones climatológicas. La clave significa el nombre del archivo ASCII en el Anexo 1, y el número 9999 que no existe información.**

NOMBRE DE LA ESTACION	Latitud			Longitud			Altitud m	Clave
	°	'	"	°	'	"		
<b>BIMBALCA</b>								
ACATITAN	24	2	30	109	40	0	130	SRN051
CHOKI ESTACION	26	48	0	109	24	0	225	SRN025
CULIACAN	24	45	0	107	24	0	40	SRN008
EL FUERTE	26	26	0	109	38	0	84	SRN011
EL MUDDO	25	35	0	109	28	0	9	SRN013
EL VAREJONAL	25	4	0	107	24	0	122	SRN018
HIDUERA DE ZARAGOZA	25	57	0	109	18	0	9	SRN019
IFPALINO	23	51	0	108	37	0	100	SRN021
JAINA	25	55	30	109	2	0	110	SRN022
LA CONCHA	22	32	0	105	29	0	9999	SRN026
LOS MICHIS	25	48	0	109	0	0	14	SRN028
RUIZ CORTINEZ	25	42	0	106	44	0	15	SRN040
SANTA CRUZ DE AYALA	24	28	49	106	57	20	119	SRN042
BANALONA	24	48	0	107	8	0	135	SRN043
SANTA ROSA	25	54	0	109	48	0	20	SRN044
COSTA RICA	24	33	0	107	22	20	9999	SRN049
LATERAL 56	24	28	0	107	10	0	24.5	SRN050
BATAYA	24	32	30	107	38	0	7	SRN051
ALTO DE CULIACANCITO	24	28	0	107	32	0	20	SRN052
SAN MIGUEL ZAPOTITLAN	25	57	0	109	2	0	10.4	SRN053
LATERAL 15	24	40	0	107	28	0	17.7	SRN054
NAVOLATO	24	47	0	107	41	30	9999	SRN055
SAN LORENZO	24	47	0	107	8	0	85	SRN056
TAMARINDO	24	54	0	107	32	0	9999	SRN057
LA CURVA	24	43	0	107	35	0	15.2	SRN058
ANDREW WEISS	25	2	30	107	22	0	88	SRN059
EL DORADO	24	18	0	107	22	0	10	SRN060
DIMAS	23	43	0	109	47	0	12	SRN061
EL PITAYAL	24	49	30	107	48	0	7.2	SRN062
BATAOTO	24	33	0	107	32	0	8.3	SRN063
EL ROSARIO	22	59	0	105	51	0	35	SRN064
GUAMUCHIL	25	28	0	109	6	0	50	SRN017
GUASAVE	25	34	30	109	28	0	18	SRN065
EL PLAYON	25	13	0	109	13	0	5	SRN014
BADRAGUATO	25	21	0	107	32	30	230	SRN002
GUATENIPA	25	20	0	107	14	0	290	SRN066
POTRELLLOS	23	33	0	105	50	0	1470	SRN029
ROSAMBRADA	25	23	0	107	55	0	180	SRN028
BIQUEIROD	23	25	0	109	13	0	170	SRN045

Tabla 1. Características generales de las estaciones climatológicas. La clave significa el nombre del archivo ASCII en el Anexo 1, y el número 9999 que no existe información.

NOMBRE DE LA ESTACION	Latitud			Longitud			Altitud m	Clave
	°	'	"	°	'	"		
BONORA								
COCORAQUE	27	25	0	109	29	37	71	SON100
SAN JOSE	28	50	18	111	39	42	10	SON087
SONOTA	31	57	0	112	51	0	350	SON094
TRES HERMANOS	27	11	7	109	11	44	88	SON077
TRINCHERAS	30	24	0	111	32	0	805	SON078
UREB	29	25	37	110	23	32	370	SON061
CARBO	29	40	60	110	57	10	454	SON012
VICAM	28	38	37	110	17	23	17	SON085
YECORA	28	22	17	109	56	40	1852	SON032
AGUA PRIETA	32	19	57	109	32	28	1220	SON084
ARZPE	30	20	9	110	10	3	830	SON085
BACADEBUACHIC	29	48	26	109	8	24	704	SON068
BACANUCHI	30	35	58	110	14	19	1080	SON087
BANAMICHI	30	0	13	110	12	54	640	SON088
BATACOZA	27	31	46	109	24	4	230	SON019
HORNOS	27	42	47	109	54	15	60	SON090
HUATADAMPO	28	48	50	109	38	10	8	SON091
LAS PANELAS	27	34	43	109	63	38	182	SON092
MUMUNCUERA	26	48	24	109	24	8	28	SON093
PALO VERDE	28	47	44	111	21	58	79	SON064
QUITOVAC	31	31	40	112	43	58	388	SON096
TEZOCOMA	27	39	30	109	12	45	320	SON097
EL CARREZAL	29	5	31	111	44	0	49	SON018
VILLA JUAREZ	27	10	0	109	29	32	990	SON151
QUEROBARI	30	3	2	111	1	17	855	SON058
PRESA CUARTEMOC	30	52	32	111	31	0	590	SON060
BANTAANA	30	32	27	111	8	58	700	SON059
PRESA HERMOSILLO	29	4	58	110	55	10	230	SON050
PRESA LA ANGOSTURA	30	28	20	109	23	8	880	SON051
PRESA A. RUIZ CORTINEZ	27	13	30	109	8	0	147	SON052
PRESA ALVARO OBREGON	27	49	18	109	53	9	118	SON053
PUNTA DE AGUA	28	25	59	110	23	34	245	SON055
HERMOSILLO	29	4	23	110	57	33	200	SON025
MUJIBS	30	48	40	110	53	13	820	SON027
CHUPASCILLAS	28	41	36	111	30	15	54	SON025
LA COLORADA	28	48	7	110	34	38	330	SON029
PITUITO	30	41	52	112	7	0	300	SON044
EL OREGANO	29	13	42	110	42	22	272	SON018
ETCHOJOA	28	55	25	109	37	45	13	SON022
GUAYMAS	27	55	0	110	54	0	8	SON025
NACO	31	19	32	109	56	52	1300	SON039
NAVOJOA	27	4	19	109	25	36	64	SON042
BAH ISIDRO	28	48	62	110	39	17	30	SON071
TESA	37	10	18	109	21	30	30	SON074
CANANEA	30	58	48	110	17	27	1800	SON011
FELIX GOMEZ	29	50	12	111	28	44	656	SON098
VALLE DE TACUPETO	28	47	33	109	47	33	642	SON110
CUANO	27	0	48	109	29	32	34	SON099
TEZOPACO	25	50	27	109	27	3	420	SON098
PRESA PLUTARCO E. CALLES	28	58	62	109	37	62	240	SON017
HERMOSILLO GERENCIA	29	5	8	110	57	6	208	SON111
EL TAPIRO	30	14	9	109	49	0	830	SON112
EL CAJON	29	25	20	110	44	11	300	SON113
CUICURPE	30	19	50	110	42	23	880	SON114
COLONIA CAXACA	30	43	47	109	3	23	1000	SON115
BAHIA KING	28	49	44	111	57	13	4	SON116
BACANORA	28	58	57	109	24	1	450	SON117
LINDEROB	26	54	30	109	45	18	1020	SON118
LA ESTRELLA	28	58	67	109	36	23	240	SON119
NACHUQUIS	27	4	37	109	32	34	30	SON120
OPUTO	30	9	44	109	19	0	955	SON121
PEBQUEIRA	29	22	49	110	53	46	237	SON122
RAYON	29	42	38	110	34	14	580	SON123
BAN PEDRO	27	1	33	109	37	25	20	SON124
BANAHUSA	29	56	6	109	27	12	38	SON125

**Tabla 2. Promedios anuales de temperatura superficial del mar (TSM) por áreas oceánicas. Los datos entre paréntesis son valores estimados.**

Año	AREA I	AREA II	AREA III	AREA IV	AREA V	AREA VI	AREA VII	AREA VIII	AREA IX	AREA XIII	AREA XV
1950	15.24	13.18	18.57	18.34	15.17	(19.35)	17.13	16.73	16.50	19.37	---
1951	15.59	13.34	18.20	18.16	16.41	20.17	16.80	17.23	17.89	20.17	---
1952	14.80	13.35	17.47	18.05	16.11	16.96	(17.41)	17.06	17.53	20.21	---
1953	14.28	12.98	17.47	16.40	16.21	19.72	18.03	16.58	17.04	19.28	---
1954	15.90	13.92	18.19	16.74	16.49	19.38	16.37	16.99	17.21	19.67	24.65
1955	14.75	12.75	17.33	15.44	14.75	18.50	16.58	16.18	16.59	20.08	24.72
1956	15.95	12.82	17.26	16.12	15.21	18.54	18.09	15.30	16.97	(21.04)	(24.77)
1957	15.75	13.68	18.60	17.09	16.20	19.80	16.90	18.16	18.29	22.00	24.82
1958	16.48	14.62	18.50	17.30	16.83	19.60	16.99	17.68	18.97	22.27	26.15
1959	16.50	13.87	17.92	16.95	16.54	19.50	18.20	17.54	19.22	22.29	25.66
1960	16.03	13.78	17.66	16.17	16.79	19.05	19.33	17.13	17.99	20.56	23.83
1961	15.15	13.53	17.58	16.24	16.64	19.21	17.54	17.14	17.73	20.85	(24.19)
1962	14.86	13.40	17.50	16.95	15.21	19.41	17.79	16.88	17.19	20.31	24.55
1963	15.54	14.23	18.42	17.12	16.01	19.19	18.34	17.99	18.50	22.09	26.70
1964	16.24	13.07	17.40	16.25	15.30	18.67	18.42	16.54	17.10	19.85	23.22
1965	15.68	13.35	17.43	16.12	15.64	19.24	17.76	17.13	17.73	21.51	25.06
1966	15.18	13.01	17.78	16.55	15.53	18.66	17.81	17.05	18.14	21.23	25.09
1967	15.98	13.60	18.00	16.26	15.99	19.01	17.80	17.43	17.95	20.68	24.19
1968	15.67	13.46	18.15	16.48	16.16	19.22	18.07	17.85	17.23	20.71	24.32
1969	15.21	13.28	17.77	15.81	15.46	19.81	18.49	16.85	17.90	20.80	23.86
1970	15.65	13.34	17.97	16.25	15.59	19.57	18.49	17.17	18.16	20.37	23.45
1971	15.12	12.66	17.30	15.60	15.14	18.58	17.27	16.20	16.82	20.03	23.34
1972	15.27	13.25	17.24	15.76	15.85	18.82	18.54	16.78	17.97	21.64	25.08
1973	15.67	13.31	17.70	16.34	15.49	18.76	17.81	17.33	17.34	20.49	24.38
1974	14.69	13.47	18.03	16.58	15.38	19.51	19.01	16.56	16.68	20.04	25.64
1975	15.11	12.95	17.18	15.67	14.71	18.65	17.29	16.58	16.72	19.53	23.59
1976	16.18	13.49	17.41	16.28	16.12	18.67	16.95	17.39	18.18	21.14	23.82
1977	16.15	13.95	18.05	16.37	16.13	19.85	18.60	18.09	18.85	21.60	25.57
1978	16.17	14.70	17.62	16.10	15.69	18.96	16.68	17.68	19.13	21.02	25.62
1979	16.53	14.46	17.23	16.57	16.03	(19.48)	19.18	17.96	18.70	21.84	23.56
1980	16.07	14.32	17.43	16.62	16.16	20.00	19.30	17.96	18.30	21.69	(24.34)
1981	16.19	14.40	17.78	16.48	16.25	19.57	18.83	17.51	18.84	21.66	25.10
1982	15.14	13.74	18.47	15.58	16.12	19.80	18.51	17.94	18.24	20.85	25.83
1983	15.40	14.50	17.49	16.38	17.13	19.47	19.09	18.24	18.74	22.65	26.27
1984	15.86	14.05	18.30	15.82	16.38	19.08	19.07	17.67	18.26	21.87	25.71
1985	15.39	13.30	17.88	15.83	15.81	18.91	18.67	18.22	18.00	19.58	23.39
1986	16.18	13.61	18.04	16.91	16.21	20.67	19.59	18.48	17.80	21.24	25.01
1987	15.66	13.94	17.64	16.55	16.27	19.57	19.31	18.00	18.37	21.84	25.14
1988	15.49	13.23	18.07	15.44	15.71	18.43	18.65	17.85	18.15	20.33	24.29
1989	16.72	13.65	18.24	17.07	15.78	19.99	18.42	18.18	17.66	20.22	24.38
1990	15.74	14.44	18.84	16.68	15.69	20.49	18.73	17.43	18.04	(20.87)	(24.7)

**Tabla 3. Número de datos de temperatura superficial del mar (TSM), por mes y por áreas oceánicas.**

Mes	AREA I	AREA II	AREA III	AREA IV	AREA V	AREA VI	AREA VII	AREA VIII	AREA IX	AREA X	AREA XI	AREA XII	AREA XIII	AREA XIV	AREA XV	TOTAL
1	1,836	3,476	2,518	1,869	12,482	473	496	1,294	3,806	198	67	75	1,539	225	797	30,929
2	1,284	4,896	1,338	2,203	10,048	746	948	2,196	4,570	172	124	280	1,852	230	819	31,656
3	1,720	4,419	1,472	1,779	11,407	481	435	1,185	3,804	221	248	88	1,105	63	901	29,128
4	1,990	5,721	1,753	1,971	13,927	540	752	2,125	6,000	321	173	309	1,959	232	957	38,439
5	1,253	5,077	1,633	2,607	11,655	458	1,157	1,811	3,094	210	120	252	1,147	100	1,809	31,963
6	2,848	6,728	3,651	2,445	12,686	694	1,006	2,131	3,874	184	38	92	1,246	110	748	38,667
7	1,882	8,392	2,520	1,690	11,364	604	401	1,592	4,661	193	99	152	1,292	85	394	35,521
8	3,036	6,966	2,549	2,768	9,356	491	814	963	3,728	227	408	178	1,951	182	805	33,424
9	2,204	5,092	1,477	2,967	8,696	540	1,074	750	3,079	261	62	81	707	78	411	27,469
10	2,460	4,966	2,537	2,499	11,430	602	1,043	1,202	3,371	290	108	129	1,141	169	471	32,388
11	1,997	3,517	2,560	2,376	9,214	456	667	854	2,052	283	325	159	1,086	367	846	26,587
12	698	2,547	1,851	1,098	7,274	298	331	754	2,556	184	37	110	614	133	705	19,690

**Tabla 4. Valores de aridez calculados para el noroeste mexicano de 1950 a 1990.**

Año	Cobertura árida (km <sup>2</sup> )	Porcentaje Respecto al área total	Promedios móviles de tres años	Cambio de cobertura de un año respecto al anterior
1950	173,416.4	40.69	-----	-----
1951	89,818.2	21.08	114,407.10	(83,598.2)
1952	79,986.7	18.77	115,983.93	(9,831.5)
1953	178,146.9	41.80	122,690.00	98,160.2
1954	109,936.4	25.80	140,647.47	(68,210.5)
1955	133,859.1	31.41	144,794.07	23,922.7
1956	190,586.7	44.72	143,978.63	56,727.6
1957	107,490.1	25.22	130,023.73	(83,096.6)
1958	91,994.4	21.59	91,878.63	(15,495.7)
1959	76,151.4	17.87	88,593.77	(15,843.0)
1960	97,635.5	22.91	108,169.20	21,484.1
1961	150,720.7	35.37	106,466.30	53,085.2
1962	71,042.7	16.67	114,939.57	(79,678.0)
1963	123,055.3	28.87	111,670.13	52,012.6
1964	140,912.4	33.08	112,310.63	17,857.1
1965	72,964.2	17.12	101,975.00	(67,948.2)
1966	92,048.4	21.60	61,645.97	19,084.2
1967	19,925.3	4.68	94,587.27	(72,123.1)
1968	171,788.1	40.31	101,517.13	151,862.8
1969	112,838.0	26.48	135,376.77	(58,950.1)
1970	121,504.2	28.51	123,423.13	8,666.2
1971	135,927.2	31.89	117,167.20	14,423.0
1972	94,070.2	22.07	122,299.00	(41,857.0)
1973	136,899.6	32.12	113,066.90	42,829.4
1974	108,230.9	25.40	124,863.63	(28,668.7)
1975	129,460.4	30.38	102,700.40	21,229.5
1976	70,409.9	16.52	102,510.07	(59,050.5)
1977	107,659.9	25.26	69,087.73	37,250.0
1978	29,193.4	6.85	72,074.20	(78,466.5)
1979	79,369.3	18.62	82,299.20	50,175.9
1980	138,334.9	32.46	111,446.30	58,965.6
1981	116,634.7	27.37	113,614.80	(21,700.2)
1982	85,874.8	20.15	69,185.47	(30,759.9)
1983	5,046.9	1.18	39,361.83	(80,827.9)
1984	27,163.8	6.37	46,163.07	22,116.9
1985	106,278.5	24.94	85,332.00	79,114.7
1986	122,553.7	28.76	112,207.77	16,275.2
1987	107,791.1	25.29	117,491.33	(14,762.6)
1988	122,129.2	28.66	128,657.83	14,338.1
1989	156,053.2	36.62	113,936.37	33,924.0
1990	63,626.7	14.93	-----	(92,426.5)

Área total considerada en el estudio: 426,171.3 Km<sup>2</sup>

Suma algebraica del cambio de cobertura anual: -109,789.70 Km<sup>2</sup>

**Porcentaje de disminución del área árida del noroeste mexicano desde 1950 y hasta 1990: 36.7 %**

**Tabla 5.- Coeficientes de determinación y correlación entre el Índice de Cobertura Arida Anual y la Temperatura Superficial del Mar de las áreas oceánicas analizadas.**

ICAA vs. AREA I $r^2= 0.05$  c.c.= 0.22	ICAA vs. AREA II $r^2= 0.26$  c.c.= 0.51**	ICAA vs. AREA III $r^2= 0.01$  c.c.= 0.08	ICAA vs. AREA IV $r^2= 0.003$  c.c.= 0.06	ICAA vs. AREA V $r^2= 0.23$  c.c.= 0.48**
ICAA vs. AREA VI $r^2= 0.001$  c.c.= 0.04	ICAA vs. AREA VII $r^2= 0.04$  c.c.= 0.20	ICAA vs. AREA VIII $r^2= 0.13$  c.c.= 0.37*	ICAA vs. AREA IX $r^2= 0.32$  c.c.= 0.56**	ICAA vs. AREA XIII $r^2= 0.19$  c.c.= 0.44**
ICAA vs. AREA XV $r^2= 0.13$  c.c.= 0.36*				

(\*) : Nivel de significancia al 95%  
(\*\*) : Nivel de significancia al 99%

**Tabla 6.- Coeficientes de determinación y correlación entre combinaciones de áreas significativamente relacionadas ( $p < 0.01$ ) con el ICAA. El asterístico indica la combinación utilizada en el Análisis de Regresión Múltiple.**

ICAA vs. AREAS:	R <sup>2</sup>	C.C.
II y V	0.28	0.53
II y IX	0.33	0.58
II y XVIII	0.26	0.51
V y IX	0.31	0.56
V y XVIII	0.23	0.48
IX y XIII	0.28	0.53
II, V y IX (*)	0.32	0.57
II, V y XIII	0.27	0.52
II, IX y XIII	0.31	0.55
V, IX y XIII	0.29	0.53
II, V, IX y XIII	0.30	0.55

**Tabla 7. Coeficientes de determinación y correlación múltiples y porcentaje de explicación promedio de las desviaciones del modelo respecto a las observaciones.**

**DATOS SIN SUAVIZAR**

COMBINACIONES	R <sup>2</sup>	C.C.M.	P.E.P. %
ICAA = (PNA, TSM)	0.40	0.63	73.17
ICAA = (IOS, TSM)	0.33	0.57	72.20
ICAA = (IOS, PNA, TSM)	0.41	0.64	73.37

**DATOS SUAVIZADOS CON PROMEDIOS MOVILES DE TRES AÑOS**

COMBINACIONES	R <sup>2</sup>	C.C.M.	P.E.P. %
ICAA = (PNA, TSM)	0.46	0.68	85.77
ICAA = (IOS, TSM)	0.50	0.70	86.29
ICAA = (IOS, PNA, TSM)	0.52	0.72	86.45

Todas las regresiones múltiples son significativas al 99,5% de confianza ( $p < 0.005$ )

**ANEXO 1**  
**DESCRIPCION DEL MANEJADOR DE LA**  
**BASE DE DATOS CLIMATOLOGICA**

## **Descripción**

Este programa fue escrito en lenguaje BASIC en la versión 1.1 del quete denominado TurboBasic de Borland International, Inc, 1987. Ocupa 264.5 Kb de memoria, debiendo correr desde el "drive B:". Si el programa fuente se edita, el programa ejecutable puede direccionarse para que lea los archivos correspondientes desde el disco duro, lo cual le imprime mayor velocidad. El anexo contiene los archivos de cada una de las estaciones, el programa fuente y el programa ejecutable, de tal manera que puede ser editado si así se desea.

## **Requerimientos del manejador**

1. Debe correrse en un computadora personal con sistema operativo MS-DOS 5.0 o mayor con al menos 640 Kb de memoria en RAM, con monitor VGA de alta resolución, ya sea en blanco y negro o color.

## **Como usar el programa**

1. Inserte el disco en el Drive B:

2. Teclee NWMEX y oprima ENTER

3. En caso de que programa no corra, el problema es de incompatibilidad de los equipos, lo cual se soluciona si se compila el programa fuente con el programa TurboBasic para la computadora personal que se esté usando.

4. Una vez desplegada la primera pantalla, teclee "C" para continuar.

5. Para navegar entre los cuatro estados que se despliegan (Sonora, Sinaloa, BCN y BCS), utilice las flechas "derecha" e "izquierda"; para navegar entre estaciones climatológicas de un mismo estado deberá utilizar las flechas "arriba" y "abajo".

6. Al ubicar la estación deseada presione "ENTER".

7. El programa desplegará en una gráfica conjuntamente los valores de temperatura anual promedio y total anual de precipitación. Así mismo, se muestran los valores del patrón anual, valor mínimo y máximo de la serie, tanto para temperatura como para precipitación. Volares de ubicación geográfica y de altitud a la cual se encuentra la estación se despliegan también en su caso.

8. En el margen inferior izquierdo de la pantalla se muestran algunas opciones que tiene el programa, tales como una "AYUDA" y como grabar en disco la información de la(s) estación(es) que se deseen.