



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**EL USO DE LAS FUNCIONES EMPÍRICAS ORTOGONALES PARA LA  
DESCRIPCIÓN FÍSICA DE MODELOS DE LLUVIA EN LA PARTE  
NOROESTE DE MÉXICO.**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**O C E A N Ó L O G O**  
**PRESENTA**  
**EDUARDO JUSTO CUEVAS CARPINTERO**

**Ensenada, Baja California, Junio de 1993**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

EL USO DE LAS FUNCIONES EMPÍRICAS ORTOGONALES PARA LA  
DESCRIPCIÓN FÍSICA DE MODELOS DE LLUVIA EN LA PARTE  
NOROESTE DE MÉXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

O C E A N Ó L O G O

PRESENTA

EDUARDO JUSTO CUEVAS CARPINTERO

Ensenada, Baja California, Junio de 1993

## RESUMEN.

En el presente trabajo de tesis se aplica el método de las Funciones Empíricas Ortogonales, FEO's, a los datos de precipitación en el Noroeste de México para: 1) estudiar el comportamiento temporal y espacial de la lluvia y, 2) buscar relaciones entre la lluvia y los mecanismos atmosférico -océánicos que la regulan en el Noroeste mexicano.

El método se aplica a datos de precipitación total mensual de estaciones climatológicas representativas de los Estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Chihuahua; así como a datos por las dos regiones que se analizan: Región Península, consistiendo de los Estados de Baja California y Baja California Sur y Región Norte, abarcando los Estados de Sonora, Sinaloa y Chihuahua. El arreglo de los datos, para su análisis, consistió en la elaboración de matrices de  $12 \times n$ , donde 12 es el número de meses y n representa el número de las estaciones de los Estados y región; con el valor de precipitación total mensual (mm) promediada durante un período de años previamente establecido.

El análisis de los resultados para la región de la Península refleja dos patrones de lluvia estacional bien definidos. El modo principal, de verano e inicios de otoño con el 55% de variancia, se asocia con fenómenos de circulación atmosférica y con las tormentas tropicales, dejándose sentir en la zona sur de la Península en los meses de agosto y septiembre. El segundo modo explica el 33.5% de la variancia. Este modo afecta gran parte de la región Norte de la Península durante invierno, su presencia es desde noviembre hasta inicios de primavera, y se asocia con las perturbaciones extratropicales de los vientos del Oeste. El modo dos también contribuye a la lluvia de verano en la parte Sur de la Península aproximadamente en un 40 % de lluvia que se tiene para los meses de agosto y septiembre, siendo agosto el mes que más contribuye, esto podrá estar relacionado con los dos mecanismos de lluvia que se suceden en verano.

Para la región Norte se encontró un patrón de lluvias bien definido. El primer modo de verano explica el 91% de la variancia, y el método de las FEO's no fue capaz de separar los fenómenos atmósfera-océano que regulan el campo de la precipitación sobre ésta zona, probablemente por presentarse estos fenómenos en un mismo período de tiempo. Al hacer un análisis por Estados, al parecer los mecanismos que regulan la lluvia son diferentes. Sonora presenta un régimen de lluvia debido a la formación de precipitación convectiva de mesoescala generada a lo largo del Golfo de California y a la generación de perturbaciones tropicales del Pacífico tropical. Sinaloa, presenta un sistema de generación de lluvia de gran escala producto del desarrollo de perturbaciones tropicales y ciclones del Océano Pacífico tropical. Aquí por ser la región más cercana a la zona de generación de perturbaciones tropicales presenta los valores más altos de precipitación mensual total. En el Estado de Chihuahua, se observa un régimen de lluvias desde inicios de verano. Los gradientes observados en los modos uno y dos sugieren un patrón de lluvia asociado con el aporte de humedad del Golfo de México.

**EL USO DE LAS FUNCIONES EMPÍRICAS ORTOGONALES PARA LA  
DESCRIPCIÓN FÍSICA DE MODELOS DE LLUVIA EN LA PARTE  
NOROESTE DE MÉXICO.**

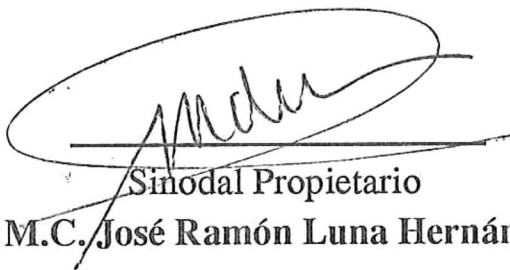
**TESIS  
QUE PRESENTA  
EDUARDO JUSTO CUEVAS CARPINTERO**

Aprobada por:



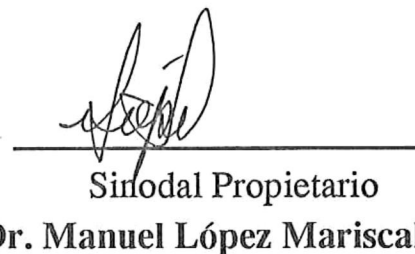
---

**Presidente del Jurado  
Dr. Sergio Reyes Coca**



---

**Sinodal Propietario  
M.C. José Ramón Luna Hernández**



---

**Sinodal Propietario  
Dr. Manuel López Mariscal**

**Dedico este trabajo a mis padres.**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia todo su apoyo y cariño que me mostraron durante mi estancia en la Universidad.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), por todas las facilidades otorgadas en el desarrollo del trabajo de tesis.

A la **Secretaría de Pesca en Ensenada**, por su apoyo al término de la carrera y en la realización de este trabajo.

Al profesor Dr. Sergio Reyes Coca por su dirección, conducción y apoyo en el trabajo de tesis.

A mis sinodales, M.C. José Ramón Luna Hernández y Dr. Manuel López Mariscal, por sus revisiones al trabajo y valiosos comentarios.

Al grupo de trabajo de Meteorología, Oc. Fernando Miranda Reyes y Tec. Met. Javier García López, por las facilidades otorgadas en el manejo de equipo y datos.

A mis compañeros y profesores de la UABC, ya que guardo muy gratos momentos.

# INDICE

	<b>Página</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	
1. Introducción	1
2. Antecedentes	4
3. Objetivos	8
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
1. Descripción del Área de Estudio	9
2. Datos	11
3. Métodos de Análisis	14
<b>III. RESULTADOS</b>	
1. Baja California	25
2. Baja California Sur	29
3. Región Península (Baja California-Baja California Sur)	33
4. Sonora	33
5. Chihuahua	41
6. Sinaloa	45
7. Región Norte (Chihuahua-Sonora-Sinaloa)	49
<b>IV. DISCUSIÓN</b>	55
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	60
BIBLIOGRAFÍA	62
APÉNDICE	66

## LISTA DE TABLAS

	<b>página.</b>
I. Estaciones Climatológicas del Noroeste de México.....	12
II. Valores mensuales de precipitación (mm) para Baja California.	15
III. Valores mensuales de precipitación (mm) para Baja California Sur.....	16
IV. Valores mensuales de precipitación (mm) para Sonora.....	17
V. Valores mensuales de precipitación (mm) para Chihuahua.....	18
VI. Valores mensuales de precipitación (mm) para Sinaloa.....	19
VII. Resumen de los resultados por Estados y Regiones.....	54

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Área de Estudio .....	10
Fig. 2. Ubicación de las Estaciones Climatológicas.....	13
Fig. 3a. Promedio mensual precipitación. Baja California.....	26
Fig. 3b. Desviación estandar. Baja California.....	26
Fig. 4a. Modo 1 espacial. Baja California.....	27
Fig. 4b. Modo 2 espacial. Baja California.....	27
Fig. 5a. Modo 1 y 2 temporal. Baja California.....	28
Fig. 5b. Histograma de anomalía de lluvia. Baja California.....	28
Fig. 6a. Promedio mensual precipitación Baja California Sur.....	30
Fig. 6b. Desviación estandar. Baja California Sur.....	30
Fig. 7a. Modo 1 espacial. Baja California Sur.....	31
Fig. 7b. Modo 2 espacial. Baja California Sur.....	31
Fig. 8a. Modo 1 y 2 temporal. Baja California Sur.....	32
Fig. 8b. Histograma de anomalía de lluvia. Baja California Sur...	32
Fig. 9a. Promedio mensual precipitación. Región Península.....	34
Fig. 9b. Desviación estandar. Región Península.....	34
Fig. 10a. Modo 1 espacial. Región Península.....	35

Fig. 10b. Modo 2 espacial. Región Península.....	35
Fig. 11a. Modo 1, 2 y 3 temporal.Región Península.....	36
Fig. 11b. Histograma de anomalía de lluvia. Región Península.....	36
Fig. 12. Modo 3. Región Península.....	37
Fig. 13a. Promedio mensual precipitación. Sonora.....	38
Fig. 13b. Desviación estandar. Sonora.....	38
Fig. 14a. Modo 1 espacial. Sonora.....	39
Fig. 14b. Modo 2 espacial. Sonora.....	39
Fig. 15a. Modo 1 y 2 temporal.Sonora.....	40
Fig. 15b. Histograma de anomalía de lluvia. Sonora.....	40
Fig. 16a. Promedio mensual precipitación. Chihuahua.....	42
Fig. 16b. Desviación estandar. Chihuahua.....	42
Fig. 17a. Modo 1 espacial. Chihuahua.....	43
Fig. 17b. Modo 2 espacial. Chihuahua.....	43
Fig. 18a. Modo 1 y 2 temporal. Chihuahua.....	44
Fig. 18b. Histograma de anomalía de lluvia. Chihuahua.....	44
Fig. 19a. Promedio mensual precipitación Sinaloa.....	46
Fig. 19b. Desviación estandar. Sinaloa.....	46
Fig. 20a. Modo 1 espacial. Sinaloa.....	47
Fig. 20b. Modo 2 espacial. Sinaloa.....	47
Fig. 21a. Modo 1 y 2 temporal. Sinaloa.....	48
Fig. 21b. Histograma de anomalía de lluvia. Sinaloa.....	48
Fig. 22a. Promedio mensual precipitación Región Norte.....	51
Fig. 22b. Desviación estandar. Región Norte.....	51
Fig. 23a. Modo 1 espacial. Región Norte.....	52
Fig. 23b. Modo 2 espacial. Región Norte.....	52
Fig. 24a. Modo 1 y 2 temporal. Región Norte.....	53
Fig. 24b. Histograma de anomalía de lluvia. Región Norte.....	53

## LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIMBOLOS MATEMÁTICOS.

EBA.....	Estudios del Balance de Agua
CICESE.....	Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada
CNA.....	Comisión Nacional del Agua
FEO's.....	Funciones Empíricas Ortogonales
R.....	Matriz de datos de precipitación
m.....	Número de meses
n.....	Número de estaciones por Estado ó región
N.....	Rango de la matriz
R'.....	Matriz transpuesta de datos de precipitación
e.....	Coefficientes de Expansión
x.....	Eigenvector en espacio
$\lambda$ .....	Eigenvalor
I.....	Matriz identidad

# I. INTRODUCCIÓN

## 1. Introducción

El agua se encuentra tanto en los océanos como en la tierra y la atmósfera. El agua no solamente es esencial para la vida sobre el planeta, en la cual hay una creciente demanda por la población mundial, sino que su presencia en el aire es crucial para el trabajo interno de los procesos atmosféricos.

El intercambio de agua entre el sistema **tierra-océano-atmósfera** constituye el ciclo hidrológico; en éste, la ganancia o el déficit de agua en la superficie es un reflejo de los dos transportes verticales que se presentan en la componente atmosférica, el de precipitación por una parte y evaporación-transpiración por la otra.

El agua evaporada desde la superficie terrestre (océanos y continentes) ó transpirada por la flora y fauna es almacenada por la atmósfera como vapor de agua, transportada en forma ascendente por corrientes de aire y redistribuida horizontalmente por los vientos. Algo de este vapor de agua será condensado para formar nubes, y algunas de estas nubes darán origen a la precipitación, completándose la componente atmosférica del ciclo Hidrológico.

En su significado más elemental la precipitación es la cantidad de agua, presente en la atmósfera, que alcanza la superficie terrestre mediante procesos complejos de enfriamiento y condensación. Aunque no toda la precipitación llega a la superficie de la tierra, una parte se evapora mientras cae y otra es interceptada por la vegetación ó estructuras artificiales, para después regresar a la atmósfera por una subsecuente evaporación/transpiración.

La clasificación principal de la precipitación comúnmente asocia las características generales con sus modos de ocurrencia, intensidad y duración. De acuerdo con esto se pueden considerar 3 tipos de precipitación:

convectiva, ciclónica y orográfica (Sumner, 1988).

La precipitación **convectiva** es producida por un rápido proceso de convección; es decir, un ascenso vertical de vapor de agua dentro del sistema **océano-atmósfera** principalmente, y está asociada con nubes cúmulos y cúmulonimbus; este tipo de precipitación se presenta generalmente, a escalas pequeñas y medianas, formando celdas de convección. Estas celdas pueden ocurrir individualmente como tormentas discretas ó aguaceros, generando grandes cantidades de lluvia en áreas relativamente pequeñas y en períodos de tiempo cortos. Sus orígenes son variados y no simplemente del resultado de la convección libre; éstos pueden ser el resultado de un proceso atmosférico dinámico de gran escala.

La precipitación **ciclónica** es producida como resultado de la circulación de la atmósfera en la meso y macroescala. Incluye desde perturbaciones en áreas de baja presión (por ejemplo, bajos polares), depresiones de latitudes medias (frentes); hasta las depresiones tropicales y ciclones (huracanes), produciendo grandes cantidades de lluvia sobre grandes áreas.

La precipitación **orográfica** está principalmente asociada al forzamiento causado por una barrera topográfica, y por lo tanto, la influencia de la lluvia no recorre distancias grandes, sino que permanece sobre un mismo sitio; considerables cantidades de nubes pueden acumularse en una área muy restringida. Los procesos orográficos incluyen el forzamiento ascendente del aire húmedo sobre la barrera con la nube resultante generando precipitación.

La precipitación es uno de los elementos climáticos principales. La precipitación instantánea es muy variable en espacio y tiempo; de tal manera, que los métodos observacionales son altamente subjetivos y, por lo regular se basan en promedios espaciales y temporales. Los valores promediados son moderadamente estables y pueden ser analizados y estudiados por métodos estadísticos que reflejen las características más

significantes de su distribución espacial y temporal.

El presente trabajo trata de establecer cuales son los principales fenómenos físicos del sistema océano-atmósfera que estan relacionados con la distribución espacial y temporal de la precipitación en la región Noroeste de México, basado en la utilización del análisis estadístico de las Funciones Empíricas Ortogonales, FEO's.

## 2. Antecedentes

Se han publicado muchos escritos donde ampliamente se muestra el valor de la herramienta estadística en el análisis y solución de diferentes problemas. Con el desarrollo y procesamiento computacional de datos, el campo del análisis estadístico, ha crecido rápidamente en los últimos años. Ahora, programas en computación permiten a los investigadores el usar modelos estadísticos como una herramienta de alta aceptación, haciendo posible el análisis sofisticado de datos **oceanográficos y meteorológicos**.

En el análisis de variables con gran cantidad de datos se han empleado varios métodos para estudiar sus características tales como: Series de Fourier, Polinomios de Tchebycheff y Funciones Empíricas Ortogonales, entre otros. De estos métodos, las Funciones Empíricas Ortogonales, FEO's, son muy convenientes para el estudio espacial y temporal de la variabilidad de series de período largo sobre grandes áreas.

La representación de campos de variables **oceanográficas y meteorológicas** con FEO's ha sido aplicada desde los años 50's. Varios investigadores han usado las FEO's para describir objetivamente las características físicas de tales campos. La mayoría de sus aplicaciones han sido en el área de la predicción estadística. La ortogonalidad de las funciones, y los coeficientes asociados con ellas, asegura predicciones independientes, que es una característica deseable en las ecuaciones de predicción estadística.

Dentro de los trabajos realizados con las FEO's, para la descripción de campos de una sola variable, se encuentran los siguientes: Klein (1952) estudió las ondas planetarias; Grimer (1963) trabajó eigenvectores de temperatura superficial sobre Europa; Weare et al. (1976) trabajaron con anomalías de temperatura de superficie de mar en el Océano Pacífico Norte; y Yudin (1966) ha derivado eigenvectores de campos de presión en

conexión con estudios de oscilaciones atmosféricas.

En trabajos de datos de precipitación, Stidd (1966), aplica por vez primera el método FEO's como un intento para describir modelos ó patrones de lluvia sobre el Estado de Nevada, en Estados Unidos de América. Encuentra que los primeros tres modelos (o modos) en orden de importancia contabilizan el 93% de la variancia de los datos. Menciona que tales modelos tienen características en común con los tres ciclos naturales de precipitación. El primer modelo influenciado por las tormentas de invierno originadas desde el Océano Pacífico Norte. El segundo modelo lo asocia a tormentas de verano y lluvia convectiva de pequeña escala, siendo la humedad aportada desde el Golfo de México y Golfo de California. El tercer modelo lo relaciona a sistemas convectivos locales.

Sobre la región Noroeste de México las FEO's se han usado para hacer un análisis de la variabilidad de la precipitación, en la Península de Baja California, tratando de relacionar ésta variabilidad con fenómenos de escala global (Rojo, 1985; Reyes y Rojo, 1985).

En estudios previos, sobre la climatología general de la región, se ha descrito a las regiones entre los 30° y 45° latitud Norte sobre toda la vertiente Oeste del continente, como un clima mediterráneo caracterizado por inviernos húmedos y veranos secos (Bailey, 1966).

La circulación atmosférica sobre la región continental de América del Norte es muy diferente en el invierno y en el verano. En el verano, el Norte de México y el Sur de los Estados Unidos de América, son afectados por masas de aire de origen tropical, principalmente, del Golfo de México y del Pacífico tropical oriental. Durante el invierno, la parte Oeste y Centro de los Estados Unidos y la región Norte de México, son afectados por fenómenos atmosféricos, que tienen su origen en el Océano Pacífico del Norte.

Durante invierno, la corriente de chorro (jet stream) se desplaza hacia

el ecuador, permitiendo que las masas de aire de origen polar y de latitudes medias penetren a regiones subtropicales. Estas masas de aire, son modificadas por diferentes mecanismos: transferencia de energía y de calor, y por inestabilidades baroclínicas, que dan lugar a la formación de frentes que están asociados con baja presión atmosférica y, consecuentemente, asociados a fuertes gradientes de temperatura (Reyes et al., 1985). Estos fenómenos frontales, son controlados por la circulación general del sistema océano-atmósfera y desplazados hacia las costas americanas, principalmente, Alaska, Canada, Estados Unidos de América y parte de la región Norte de México. Se ha podido comprobar que la mayor parte de las perturbaciones extratropicales en el Océano Pacífico del Norte se originan al Este de Japón, sobre la continuación de la corriente de Kuroshio (Holton, 1979). Durante el invierno, las masas de aire frío y seco, provenientes de Asia, al interactuar con las masas de agua relativamente calientes del océano, generan una gran transferencia de calor (sensible y latente) en los niveles atmosféricos bajos. Este fenómeno, propicia una inestabilidad en los vientos del Oeste, que permite desarrollos convectivos y la formación de masas de aire con bastante humedad. Si la tropósfera se encuentra en condiciones de alta baroclinicidad, i.e. con un fuerte gradiente de temperatura horizontal y considerable esfuerzo vertical del viento, entonces se puede tener la formación de zonas de baja presión que se convierten en frentes ocluidos y, posteriormente, en tormentas extratropicales.

Durante el verano, sobre la región Suroeste de Norteamérica, se desarrolla una circulación monzónica, aunque no tan intensa como la del continente Asiático (Petterssen, 1968). La palabra monzón se deriva del Arabe y significa 'estación', la cual presenta un viento de carácter estacional. Las circulaciones monzónicas son variaciones estacionales en la dirección del flujo del viento, originadas por el calentamiento diferencial, entre continentes y océanos, durante las épocas de invierno y verano (Ramage, 1971). Este tipo de circulación es importante en cuanto sus efectos en la precipitación. En particular, se ha encontrado que, durante el verano, el

Norte y Oeste de México y Suroeste de los Estados Unidos de América se caracterizan por un fuerte calentamiento superficial y por la formación de un centro de baja presión, en el cual los flujos de viento del Pacífico y Atlántico convergen (Reyes y Cadet , 1986).

Reyes y Cadet ( 1988) hacen una descripción del monzón norteamericano durante el verano de 1979 y encuentran que existe un canal de flujo de humedad a lo largo de los 100°- 110° W, que transporta humedad del Océano Pacífico tropical al Suroeste de México, el cual está asociado con la precipitación observada en la región Noroeste de México.

En la región Noroeste de México, las características dominantes del clima son cambios extremos de temperatura y baja precipitación. La Península de Baja California se encuentra bajo la influencia del cinturón subtropical de altas presiones; esto, aparte de limitar el vapor de agua disponible, tiene como consecuencia una baja nubosidad y largos períodos de insolación (García y Reyes, 1985). El Sur de la Península y parte de los Estados de Sonora y Sinaloa, durante los meses de julio a octubre principalmente, son afectados por tormentas tropicales conocidas como chubascos ó ciclones tropicales, las cuales se forman y se desplazan a lo largo de la vertiente del Pacífico. García y Mosiño (1967) consideran que las principales características de la lluvia para la Península de Baja California se dividen en tres provincias climáticas, la provincia del Noroeste, Central y Sureste, basandose en la diversidad del relieve. Hastings y Turner (1965), presentan para la región Noroeste un análisis detallado de la marcha estacional de la lluvia, y asocian los patrones espaciales al desplazamiento estacional y a la intensificación del anticiclón del Pacífico Nororiental.

### 3. Objetivos

1) Aplicar el método de las Funciones Empíricas Ortogonales para observar el comportamiento temporal y espacial de la lluvia estacional sobre la Región Noroeste de México.

2) Definir y analizar los principales fenómenos **océano-atmósfera** que gobiernan el campo de la precipitación sobre la Región Noroeste de México (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Chihuahua).

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. Descripción del Área de Estudio.

El área de estudio es la región Noroeste de la República Mexicana que incluye los Estados de Sinaloa, Sonora, Baja California Sur, Baja California y Chihuahua. La región comprende aproximadamente de los  $118^{\circ}$  a los  $102^{\circ}$  longitud Oeste y de los  $22^{\circ}$  a los  $33^{\circ}$  latitud Norte (Fig. 1). La zona de estudio se encuentra delimitada al Norte por los Estados Unidos de América; al Este por los Estados de Coahuila, Durango y Zacatecas; al Oeste y al Sur por el Océano Pacífico. Además, entre los Estados de Baja California-Baja California Sur y Sonora-Sinaloa, se localiza el Golfo de California.

En la Península de Baja California, se levantan cadenas montañosas con altitudes promedio de 1500 mts en la parte Norte, desde la línea Internacional hasta los  $30.5^{\circ}$  N, siendo las más importantes la Sierra de San Pedro Martir y la Sierra de Juarez, en la parte media, entre los  $28^{\circ}$  y  $29^{\circ}$  N y, la región Sur entre los  $23^{\circ}$  y  $24^{\circ}$  N, siendo la Sierra de San Lazaro la más importante. Entre éstas existen otras Sierras de menor altitud.

Sonora se caracteriza por ser el Estado con menos montañas, mientras que en el Estado de Chihuahua en la región Oeste se presenta una importante cadena montañosa, la Sierra Madre Occidental, teniendo un promedio aproximado de altura de 2250 mts. En el Estado de Sinaloa las máximas alturas alcanzadas son en los límites con los Estados de Chihuahua y Durango, correspondientes a las faldas de la Sierra Madre Occidental.

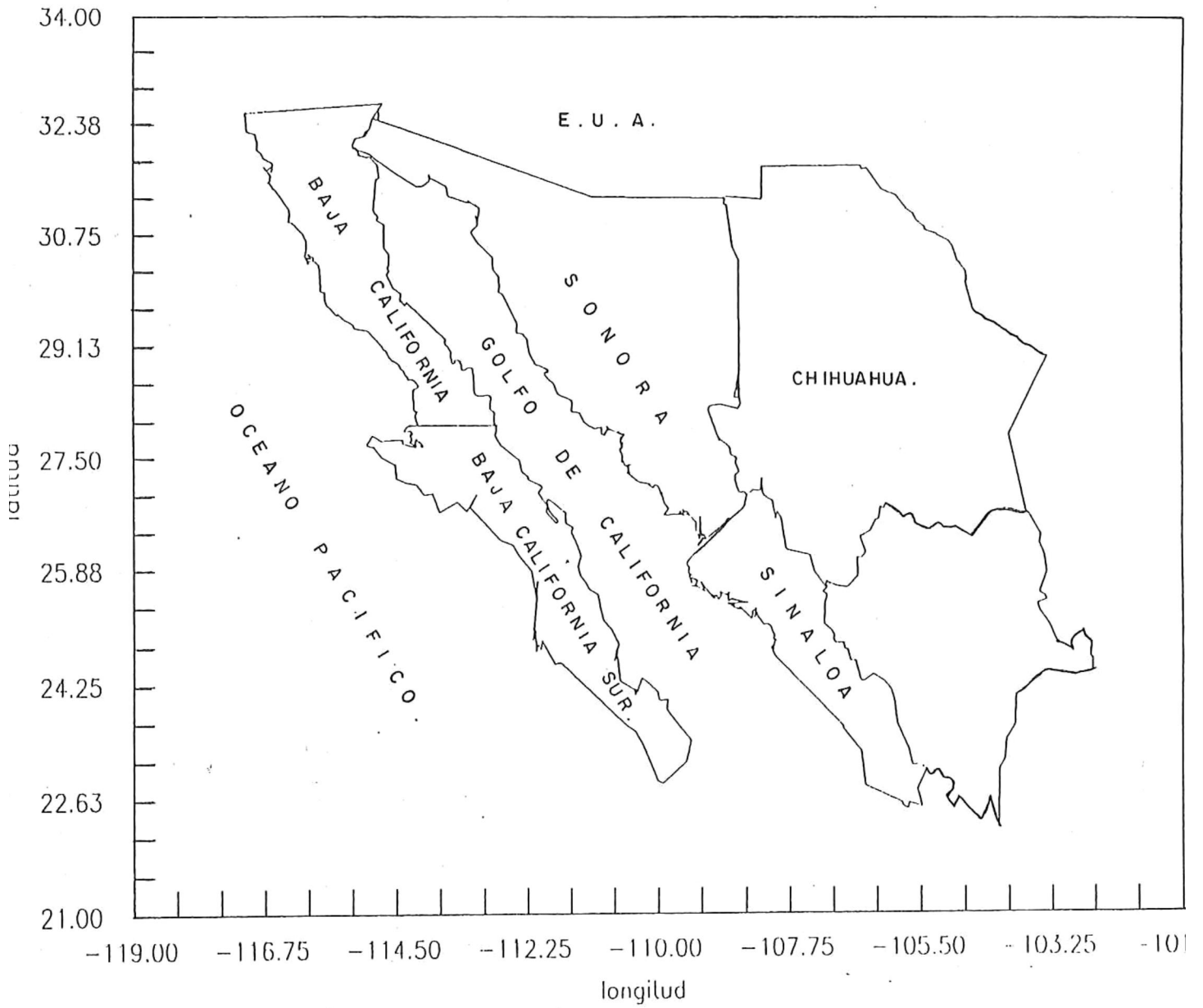


Fig. 1. Área de Estudio

## 2. Datos.

Se trabaja con datos de precipitación total mensual para cada Estado, en un período de años variable para cada uno de éstos. Los datos fueron tomados de la Publicación sobre la Climatología de la Región Noroeste de México, realizada por el Grupo de Meteorología del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE (Reyes, et al., 1990)

Los datos originales para Baja California fueron proporcionados por la oficina de Aguas Superficiales en Ensenada (CNA), para Baja California Sur y Sonora por la Comisión Nacional del Agua, CNA, de esos Estados, para Sinaloa los datos fueron proporcionados por la Administración y Control de Sistemas Hidrológicos, en Culiacán, y para Chihuahua, se obtuvieron por medio del Servicio Geográfico y Meteorológico del Estado de Chihuahua.

Con el paquete de datos de cada Estado, primeramente se eligieron las estaciones climatológicas que estuvieran completas y con el mayor número de años posible. Se obtuvo el período de años a considerar en el trabajo (Tabla I), se ubicaron las estaciones en un mapa para poder observar su distribución espacial y se seleccionaron las estaciones más representativas de cada Estado (Fig. 2).

TABLA I. Estaciones Climatológicas de la Región Noroeste de México, con el período de años considerado para cada Estado.

BAJA CALIFORNIA (1955-1987)	BAJA CALIFORNIA SUR (1957-1986)	sonora (1965-1985)	SINALOA (1965-1985)	CHIHUAHUA (1960-1989)
1 EL PROGRESO	33 BAHIA TORTUGAS	70 AGUA PRIETA	102 BACACORI	133.C.B.T.A. CUAHUTEMOC
2 EL PINAL	34 BOCA DEL SALADO	71 CHUPASCLILLAS	103 BACATOMA SUFRAGIO	134.EL SAUZ
3 ENSENADA	35 BUENA VISTA	72 COLONIA MORELOS	104 CHOIX ESTACION	135.PALACIO DE GOBIERNO
4 LA PROVIDENCIA	36 CABO SAN LUCAS	73 ETCHOJOA	105 CULLACAN	136.R. EL SITIO
5 LAS ESCOBAS	37 CADEJE	74 LA ESTRELLA	106 HUITES	137.BABICORA
6 STO. TOMAS	38 COMONDU	75 HERMOSILLO	107 JAINA	138.CD. GUERRERO
7 ISLA DE CEDROS	39 EL AGUAJITO	76 TEPOZACO	108 LA CONCHA	139.CD. MADERA
8 EL ROSARIO	40 EL OJO DE AGUA	77 NAVOJOA	109 LOS MOCHIS	140.EL VERGEL
9 EL ARCO	41 EL PASO DE IRITU	78 PALO VERDE	110 LA TINA	141.MADOMA
10 EL BARRIL	42 EL PILAR	79 PITIQUITO	111 PALOS BLANCOS	142.CHINIPAS
11 VICENTE GUERRERO	43 EL REFUGIO	80 TRES HERMANOS	112 PLOMOSAS	143.VILLA HAUMADA
12 CHAPALA	44 EL ROSARIO	81 TESIÁ	113 QUILA	144.MESA DEL HURACAN
13 BAHIA DE LOS ANGELES	45 EMILIANO ZAPATA	82 BACANUCHI	114 ROSA MORADA	145.CD. DELICIAS
14 PUNTA PRIETA	46 GUSTAVO DIAZ ORDAZ	83 BATACOZA	115 ROSARIO	146.CD. JIMENEZ
15 PRESA RODRIGUEZ	47 LAGUNILLAS	84 CANANEA	116 SANTA CRUZ DE AYALA	147.MEOQUI
16 SAN BORJA	48 LA PAZ	85 CARBO	117 SANALONA	148.SAMALA YUCA
17 SAN AGUSTIN	49 LA POZA BLANCA	86 EL OREGANO	118 SIQUEIROS	149.VILLA ALDAMA
18 SANTA GERTRUDIS	50 LA POZA HONDA	87 FELIX GOMEZ	119 TOPOLOBAMPO	150.COLONIA GARCIA
19 SANTA CATARINA SUR	51 LA PURISIMA	88 HORNOS	120 ACATITLAN	151.DR. B. DOMINGUEZ
20 SAN REGIS	52 LA RIBERA	89 HUATABAMPO	121 BADIRAGUATO	152.COLONIA ANAHUAC
21 SAN LUIS RIO COLORADO	53 LAS CRUCES	90 LA COLORADA	122 DIMAS	153.GUADALUPE Y CALVO
22 VALLE DE LAS PALMAS	54 LORETO	91 LAS PANELAS	123 EL FUERTE	154.TEJOLOCACHI
23 DELTA	55 LOS DIVISADEROS	92 PRESA CUAHUTEMOC	124 EL NUDO	155.TEMOSACHI
24 COL. JUAREZ	56 LOS PLANES	93 LA ANGOSTURA	125 EL PLAYON	156.CARICHI
25 SAN LUIS	57 MULEGE	94 PUNTA DEL AGUA	126 GUAMUCHIL	157.JANOS
26 MEXICALI	58 PATROCINIO	95 QUEROBABI	127 GUATENIPA	158.CD. CAMARGO
27 TIJUANA	59 PUNTA ABREOJOS	96 QUITOVAC	128 IXPALINO	159.COYAME
28 SAN TELMO	60 SAN ANTONIO SUR	97 SAN JOSE	129 LAS CAÑAS	160.MANUEL BENAVIDES
29 LA RUMOROSA	61 SAN IGNACIO	98 TEONADEPA	130 SURUTATO	161.FAC. DE FRUITICULTURA
30 EL ALAMO	62 SAN JACINTO	99 VALLE DEL TACUPETO	131 EL VAREJONAL	162.CASCO DE CAMPANA
31 SAN FELIPE	63 SAN JAVIER	100 VICAM	132 PERICOS	163.LAZARO CARDENAS
32 EL MAYOR	64 SAN JOSE DE GRACIA	101 TRINCHERAS		
	65 SAN ZACARIAS			
	66 SANTA GERTRUDIS			
	67 SANTA ROSALIA			
	68 TODOS SANTOS			
	69 SAN JOSE DEL CABO			

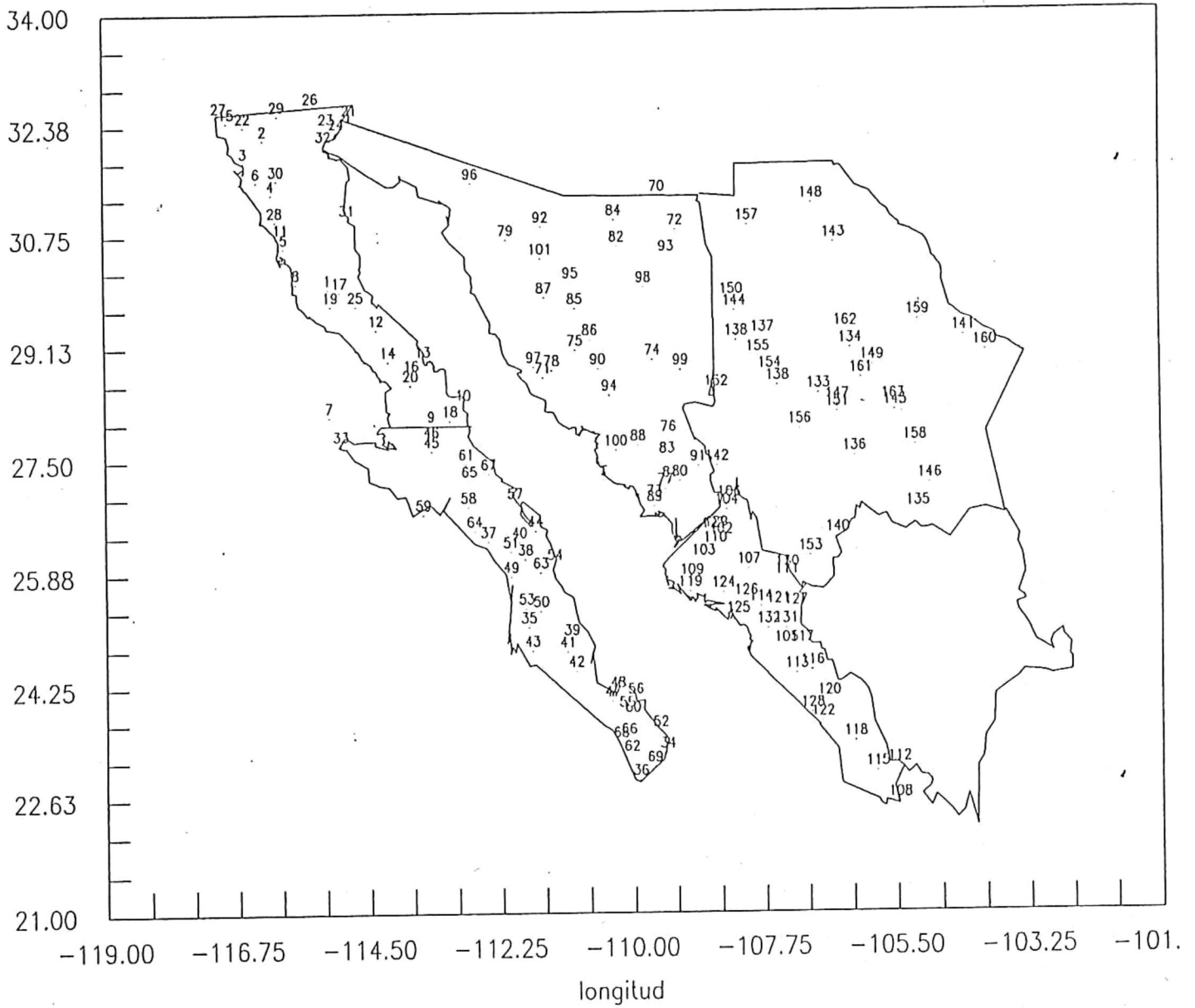


Fig. 2. Ubicación de las Estaciones Climatológicas

### 3. Métodos de Análisis.

El análisis de los datos se realizó en dos formas: a) por Estados (individual); y b) por medio de regiones (compuesto). El conjunto de los Estados de Baja California-Baja California Sur y Sonora-Sinaloa-Chihuahua forman las dos regiones para el análisis .

Con los paquetes de datos, plénamente identificados para cada Estado, se obtuvieron promedios mensuales totales dentro del período de años escogido y se construyeron matrices con los meses y el número de estaciones para cada Estado (Tablas II, III, IV, V y VI) y región; ésto es, matrices de  $12 \times n$ , donde  $n$  representa el número de estaciones del Estado ó región .

De las matrices de datos se obtienen promedios mensuales , variancias y desviaciones estandar para cada estación de cada Estado y región, además, se realizan histogramas de anomalías de lluvia, que son obtenidos mediante la diferencia del promedio de lluvia total anual del Estado ó región menos la suma total mensual de lluvia registrada en el Estado ó región; esto, con el fin de obtener una visión general de los datos y sus tendencias , así como sus diferencias ó similitudes.

Las Funciones Empíricas Ortogonales, FEO's, son conocidas también como los vectores característicos de la matriz de covariancia. Este análisis radica en mostrar como un gran número de variables puede ser reducido a un número menor de variables y, para ésto se apoya en el análisis multivariado del algebra matricial.

Desde el punto de vista matemático, el análisis de las FEO's tiene la propiedad de reducir un gran número de cantidades relacionadas en tiempo y espacio, a un pequeño número de funciones ortogonales, que son una combinación lineal de las observaciones originales y que contabilizan un gran porcentaje de la variancia total. La principal ventaja de éste método es

**TABLA II. Valores de Precipitación (mm) Baja California.**

M E S												
ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	22.1	25.3	17.3	3.2	0.3	0	2	6.5	15.9	9.3	14.9	24
2	72.6	77.7	80.2	36	10.9	2.5	18.1	24.1	22.7	16.3	47	58.3
3	50.4	47.2	50.4	21.1	4.4	0.9	0.6	2.6	7.9	12.4	32.4	36.5
4	59.3	57	43	18.4	2	0.4	1	3.6	8	9.8	34.8	52.6
5	27.8	25.7	24.1	8.2	0.9	0.2	1.7	1.9	5.7	7.2	16.7	25.5
6	51.6	52.4	47.7	17.9	2.4	0.1	0.7	2.7	3.9	9.3	30.5	41.2
7	10.9	13.5	7.1	1.2	0.7	0.1	0.2	0.8	5.2	6.5	4.9	10
8	35.3	31.8	25.7	7.3	3.1	0.4	1.3	3	6.6	7	18.3	43.3
9	17.6	13.8	8.5	0.5	0.5	0.6	5.4	13.4	23.3	6.2	8.4	21.4
10	6.6	6.1	2.1	0.1	0.3	2.5	5.6	15	18.8	10.1	5.7	13.6
11	34.9	29.7	27.9	9.4	1.2	0.3	1.1	2	7.3	6.6	21.3	29.8
12	12.5	19.9	16.2	3.1	0.8	0	4.9	9.4	13.8	12.8	13.1	20.5
13	7.7	5.1	2.6	0.3	0.3	0	3.2	4.2	11.1	10.2	4.1	12.6
14	15.8	17.1	13.3	2.3	0.8	0.1	1.7	5.3	10	10.6	12.1	23.9
15	42.2	36.5	39.6	19	4.4	0.7	0.8	2.4	6.1	10.7	31.2	32.2
16	19	17.5	12.9	2.5	1.8	0.1	4.8	9.9	16.9	11.8	9.6	31.6
17	17	16.3	12.1	2.9	0.9	0	2.7	10.5	19.8	9.9	11.2	19.1
18	13.6	8.2	7.7	1.3	0.9	0.2	15.1	24.2	32.4	12.1	5.9	16.5
19	22.6	24.8	19.6	4.5	1.4	0.3	1.7	4.5	10	12.3	15.2	31.9
20	19.3	19.2	15.8	2.1	1.2	0.3	11.6	6.5	13.7	12.2	10.8	29.7
21	8.9	7.9	7.2	1.4	0.6	0.6	5.3	11.5	7.5	9.7	4.5	10.7
22	38.8	36	37.6	16.1	3.2	0.7	2.3	6.2	6.9	10	23.9	28.4
23	8.2	8.2	4	1.4	0.5	0.3	1.9	7.1	7.3	8.7	3.8	9.4
24	9.3	7.1	5	1.3	0.8	0.1	4	7.9	6.3	8.9	5.1	11.4
25	11.5	20.9	15.2	2.4	4.5	0	2.9	5.3	13.2	9.3	9.2	21.4
26	9.3	6.8	6	1.7	0.6	0.1	4.4	11.5	9.7	10.5	5.1	12.2
27	44.4	39.7	44	16.8	4.6	0.7	0.7	0.4	5.3	7.4	30.2	26.4
28	40	33.6	34	12.5	1.9	0.6	3.1	2.7	8.1	6.2	25.8	25.7
29	23.1	17.7	21	9.1	2.2	1.3	8.3	15.6	10.4	10.3	17.5	18.5
30	44.9	50.9	49	19.4	2.4	0.3	20.5	25.1	17.6	8.4	34.7	39.5
31	8	4.6	2.5	0.9	1.4	1.5	3.4	12.9	10.9	13.3	6.5	12.7
32	4.3	5.9	1.8	1	0.1	0.3	2.2	11.8	12.9	11.7	3.7	11.8

TABLA III. Valores de Precipitación (mm) Baja California Sur.

ESTACION	M E S											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
33	26	11.3	5.9	0.7	1.1	3.5	2.2	2.8	8.8	12.4	6.8	14.9
34	17.6	2.8	0.2	0.3	1.4	0.6	12.8	45.5	69.9	42.5	18.7	20.9
35	13.6	5.6	2.9	0.9	0.1	0	12	27.8	16.9	8.7	4.6	13.8
36	13.7	3.4	1.9	0.5	0.1	0	13.8	47.3	56.8	33.6	11.4	15.2
37	17.9	5.5	3.7	0.2	0.1	0.1	3.4	7.2	12.2	10.7	6	20.3
38	25.8	10.8	7.1	0.6	0.5	0.4	13.9	43.5	43.7	17.8	8.3	24.6
39	18.4	7.5	4.1	0.5	0.6	1	25.9	72.7	64.7	16.8	4.1	20.1
40	19.5	8.7	4.4	0.2	0.5	1	16.5	46.2	42.7	19.9	7.1	21.7
41	17.4	4.3	4.3	0.1	0.6	1.9	31.5	65.4	44.7	17.3	3.4	20.4
42	12.8	4.8	2.5	0.2	0.6	0.4	11.6	53.8	44.3	18.9	3.4	15.1
43	18.9	4.1	2.5	0.7	0.1	0	3.6	15.7	9.9	6.6	4.3	14.3
44	12.3	1.6	2.1	0.1	0	0	12.6	16.6	18.7	12	3.5	16.3
45	16.8	10.1	4.7	0.7	0.6	5.5	7.3	12.8	16.2	8.6	9.6	19.5
46	13.2	15.1	4	0.6	0.7	0	5	11.8	18.6	4.4	7.2	23.1
47	17	6.4	2.1	0.4	0.1	2.6	25.2	86.5	75.6	22.2	10.8	19.7
48	14.9	5	3.6	0.6	1.7	0.5	15	36.3	52.5	14.3	8.3	17.2
49	11.3	3.8	1.8	0	0	0.2	3.1	5	10	6	2.3	14.4
50	16.8	6.2	3.4	0.1	0.6	1.1	22	42.3	37.7	10.6	5.5	15.6
51	16.7	6.5	4.9	1.2	0.3	0	9.6	23.9	22.3	17.3	6.2	23.8
52	13.9	2.6	0.6	0.3	1.7	0.4	15.3	46	85.1	39.8	11.2	12.3
53	18.7	5.9	4	0.2	0.1	0.4	12.2	27.2	24.7	8.8	7.2	20.2
54	14.9	4.2	2.1	0	0.2	0	9.9	35.6	47.2	20.7	7.6	15.4
55	18.1	7.8	3.6	0.5	1	3.6	43.6	116.2	123.5	30.7	7.7	24.9
56	13.3	5.7	2.5	0.8	1.6	0.1	20.5	53.2	81.4	28.6	4.9	16.4
57	14.5	4.4	2.1	0.5	1	0.2	15.7	23.7	24.9	27.5	6.1	10.9
58	15.1	11	4.6	0	0.8	0	6.3	20.9	16	10.5	9.3	18.1
59	20.9	11.3	2.7	0	0.2	0	6.1	6.5	4.9	4.8	9.4	16.1
60	19	7.6	4.7	0.5	1	4.5	76.5	141.2	128.3	44.7	7.2	24.2
61	13.3	6.5	5.1	0.2	0.4	0	9.1	15.6	17.1	8.4	9	12.8
62	15.4	9.8	3.8	0.6	0.7	1.3	28.5	70.6	86.3	24.7	8	19.9
63	27.4	9.9	6.3	0.7	0.3	2.6	27.5	84.8	77.5	19.1	9.8	24.9
64	15.9	12.8	6.6	0.3	0.2	0	6.4	14.7	15.8	11.2	10.6	18.3
65	13.1	7.5	3.7	0.5	0.3	0	7.8	20.3	12.8	5.3	7.8	18.6
66	21.3	13.1	4.5	0.7	0.1	1.3	63.5	141.3	141.6	37.7	9	24
67	10.4	5.6	2.6	0.1	0.3	0.3	6.4	16.3	18.1	17.6	7	10.4
68	14.6	9.4	3.4	0.4	2.4	0.1	10.8	42.4	37.4	12.3	6.3	24.7
69	16.2	5.1	1.4	0.4	0.4	0.3	16	54.4	80.2	53.8	15	14.7

**TABLA IV. Valores de Precipitación (mm) Sonora.**

ESTACION	M E S											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
70	20.4	15.2	11.5	5.4	4.7	13.7	95.3	81.1	46.6	30.2	18	30.5
71	13.2	13.2	3.4	2.9	2.6	1.3	35.3	52.8	22	7.4	9.7	16.2
72	24.7	20.5	15	7.3	4.3	9.6	75.3	57.5	41	32.5	17.6	28.5
73	18.9	10.8	9.5	1.2	1.2	3.6	60.3	109.3	59	33.4	12	23
74	32.9	31.7	19.1	7.5	5.7	36.9	159.9	156.9	67.1	30.2	27.7	45
75	20.5	14.4	6.1	2.6	4.4	4.9	86.9	78	44.5	13.4	11	24.3
76	31.5	17.4	13.2	7.5	5.8	25.5	198.1	185.4	99.9	34.1	23.5	36.6
77	19.8	13.1	8.3	1.4	1	14.1	86.1	129.1	73.1	29	12.6	24.8
78	13.8	12.2	3.4	1.2	3.8	0.6	44.4	58.8	38.3	9.6	7.9	17.9
79	15.1	14.3	14	2.4	2.4	2.8	58.8	57.5	30.7	15.6	12.2	32.7
80	22.2	15.5	10.7	4.9	4.8	20.4	146.5	178.1	100.8	30.3	16.2	26.6
81	21.1	14.9	10.4	3.7	2.9	11.4	123.1	153.9	78.3	35.4	14.7	23.1
82	34	25.4	15.1	5.3	5.1	13.1	161.2	104.1	61.4	28.1	18.5	33.2
83	25.9	16.6	12.5	4.8	1.4	8	160.4	144.2	91.6	36.2	19.7	33.1
84	38.8	25.9	16.8	5.8	8.8	15.7	135.9	91.3	58.1	31.4	19.1	47.2
85	27.1	19	9.3	3.8	2	6.4	98.5	79.3	40	14	12	29.4
86	25	19.3	13.3	6.8	4.5	11.5	96.2	96.7	41	13.5	14.2	32.7
87	21.9	21.2	16.5	2.8	2.3	1.8	80.4	75.9	44.4	11.2	12.3	28.2
88	27.4	10.8	6.3	2.7	0.2	5.3	85.6	110.4	68.4	43	14.9	25.6
89	19.1	10.4	7.6	1.3	0.9	1.3	48.7	104.6	52.8	36.5	13.2	25.9
90	19.2	14.6	10.2	2.1	3.4	7.7	105	90.9	58.9	11.8	12.8	22.5
91	27.9	24.1	16.5	4.4	8.5	35.2	211.8	199.7	95.3	45.4	22.6	37.8
92	21.5	19.2	17.7	4.8	6.1	7.4	87.8	79.8	29.7	24.4	15.8	40.7
93	29.6	28.6	16.3	6.7	5.7	14.4	90.9	78	41.8	25.9	22.1	35.5
94	23.1	15.1	6.5	2.1	2.8	8.1	109.8	113.4	53.3	19.5	17.7	23.7
95	22.3	17.9	13.5	4.9	1.2	6.1	114.4	70.7	41.4	14.6	10.9	33.3
96	18.5	17.9	16.8	5.3	2.2	2.3	35.3	49.7	23.3	28.6	16.7	32.1
97	12.2	8.8	2.6	1.1	3.1	0.5	26.5	45.9	36.5	10.5	7.9	17.9
98	23.9	25.4	11.2	5.7	4.7	20	151.4	82.2	45.8	20.1	19	22.9
99	29.6	19.7	14	6.3	6.7	47.7	196.6	138.5	76.9	39	24.2	40.5
100	17.6	8.1	4.5	1.5	0.6	4.6	64.7	85.7	50.5	26.3	12.8	16.8
101	19.8	14	8.5	4.1	1.1	6.1	93.8	71.3	24.7	14.6	11.3	20.8

**TABLA V. Valores de Precipitación (mm) Chihuahua.**

M E S												
ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
133	11.6	5.5	7.5	6.7	9.4	43.9	114.9	114.2	82.8	29.3	9.6	10.6
134	7.5	5	4.6	12.2	13.7	44	83	99.1	82.4	30.5	8.6	6.8
135	10.5	4.7	4.4	10.8	17.5	44.3	97.8	111.6	79.6	26.6	9.5	12.4
136	8.2	7.8	4.5	6.6	10.7	43.9	114.4	124.5	81.9	24.1	9.9	9.4
137	24.1	14.2	12.1	9.5	11.2	33.9	136.1	137.3	87.3	29.6	21.9	29.1
138	18.4	11.1	7.6	6.5	11	32.4	142.8	130.4	83	24.9	11.9	19.5
139	50.2	29.5	22.8	10.8	14.6	45.5	161.2	149.3	85.7	40	37.5	48.5
140	34	17.3	12	12.7	20.5	92.6	182.5	177.4	126.6	46.2	17.5	35.4
141	11	7.9	5.1	10.6	22.3	44.3	69.3	84.7	64.6	25.8	11.5	12
142	45.1	28.5	14.4	6.7	9.9	67.5	261.3	226.9	134.3	53	23.9	43.3
143	10.2	8.2	6.3	8	6.4	19	58	63.8	48.8	27.1	9.2	11.2
144	44.8	28.9	29.5	14	10	46.7	155.1	160.2	97.9	40.1	32.1	51.6
145	7.3	4.5	3.6	10.9	11.9	32.4	66.8	66	63.2	28	8.8	9.5
146	10.4	5	2.7	5.9	14.6	47.3	90.4	72.7	67.9	27.8	6.5	6.9
147	8.3	4.6	3	12.3	13.1	34.8	73.4	75.1	59.3	23.9	7.3	10.2
148	10.6	9.8	8	3.4	7.5	18.7	49.1	48.5	49	19.5	8.9	14.3
149	6.6	4.2	5.4	9.3	12.2	38.9	71.1	74	75.5	22.2	7.6	9.8
150	49.3	32.8	28.1	13.3	10.3	49.7	183.7	154.9	89.8	46.6	34.7	58.4
151	9.2	4.5	3.5	4.9	11	44.6	113.5	128.8	109.6	24.2	10.1	11.6
152	11.1	7	4.6	9.3	13.6	40.9	117.4	116.9	88	27.3	8.3	9.7
153	68.5	40.1	21.6	19.4	22.5	110.9	269.4	248.9	161.8	63.1	37.9	76.8
154	33.1	18.1	7	5	7.9	27.9	147.4	149	99	26.2	21.8	35.8
155	23.4	16.3	10.3	6.5	9.2	37.9	136.6	130.8	74.6	28.3	15.5	28
156	15	11.3	6.7	6.3	11.3	45.7	152.3	136.7	95.4	28.2	14.6	21.5
157	16.5	12.6	10.3	7.5	5.9	18.3	80.8	67.3	40.5	28.9	16.7	22.9
158	9.9	6.3	3.5	7.3	12.8	42.8	80.1	84.5	75.5	22.9	7.7	8.4
159	7.8	7.4	3.3	9.1	16.5	49.4	63.3	71.9	71	26.5	12.9	8.4
160	5.4	6.4	5.2	9.1	28.3	41.8	51.2	67.9	68.1	26.8	9.5	9.9
161	10.1	5.2	4.5	10.8	20	42.9	88	109.5	81.3	26.2	7.8	12
162	6.8	5.2	4	8.3	11.4	40.8	88.3	94.6	82.6	33	9	8
163	8.7	5.5	2.8	10.1	15	32.8	67.7	72.3	71.3	25.2	8.9	6.4

**TABLA VI. Valores de Precipitación (mm) Sinaloa.**

ESTACION	M E S											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
102	25.7	18	11.1	2.1	3.6	33.5	210.7	208.4	128.3	34.6	19.2	33.2
103	23.1	11.7	61	1.1	2	8.1	119.9	141.6	105.3	32.3	21.6	25
104	19.3	23.2	13.6	3.3	8.1	33.1	194.8	177.5	126.9	412.9	21.1	39.5
105	19.8	12.7	3.8	2.3	2.4	26.8	145.7	208.9	132	48.6	33	27.5
106	36.6	21.3	17.5	3.9	12.8	53	203.1	212.1	134	61.1	22.6	52.6
107	26.6	21.6	10.7	3	7.1	46.2	251.2	266.3	144.5	45.2	26.3	33.5
108	25.2	9.5	5.6	0.5	6	85.3	293.7	310.7	243.7	74.1	31.7	31.1
109	17.6	7.9	5.7	0.5	1.1	7.1	52.5	87.6	77.7	35.1	17.5	22.4
110	23.2	13	9.7	2.3	4.7	13.4	191.2	181.7	125.1	42	22.6	29.8
111	18.8	15.4	3	1.3	2.8	20.4	159.7	226.5	141.1	47.3	20.5	25.5
112	57.8	24.7	12.2	2.3	7.1	172.4	402.8	346.1	283.2	92.9	32.9	54.4
113	14.3	9.1	5.2	1.2	0.7	12.4	96.5	143.1	99.7	60.7	22.7	25.3
114	21.7	18.9	5	1.9	4.2	25.7	194.0	226.1	133	39.4	24.1	21.4
115	26.8	10.4	9	0.9	3.2	54.3	230.6	264.6	227.6	58.3	34.6	35
116	25.3	11.7	5.3	3	1.2	33.5	201.3	224.2	147	63.3	23.3	38.5
117	22.3	16.5	3.6	2	3.2	36.8	223	248.8	154.5	64.1	25.4	32.4
118	27.4	11.4	11.3	0.3	3.3	25.7	197	204.7	190.8	84.3	30.1	34.8
119	15.2	4.8	3	0	1.7	2.3	56.2	102.1	67.2	26	16.3	18.4
120	24.5	14	5.4	1.7	0.9	37.3	200.1	218.8	168.2	86.1	30.9	34.6
121	30.9	19.1	13.4	2.3	4.2	50.5	263.5	268.9	175.4	70.5	28.7	22.4
122	15.2	9.8	2.3	0.6	0.1	18.6	112.3	176.2	131.3	108.5	24.4	36.6
123	32.9	16.9	14.9	4.2	4.7	25.1	168.8	182.5	107.7	31.9	19.7	29.8
124	22	12.9	4.6	0.2	2.4	5.1	86.3	149.5	105.1	43	14.9	23.7
125	18.4	14.4	4.5	0.8	4.1	6.9	94.8	180.8	125	61.3	157.7	26.2
126	14.9	11.7	4.9	1.4	0.2	14.3	131.9	197	115.4	37.5	19.8	22.4
127	39.9	25	17.3	9.6	13.1	86	275	269.3	163.8	77.5	38	48.1
128	22.2	10.8	7.4	2.1	1.2	39.9	181.9	223.5	158.2	92	27.8	38.3
129	29.4	15.1	9.4	2.4	2.9	19.5	146.1	183.9	96.4	32.2	19.3	29.2
130	73.4	48.9	32.3	9.2	16.5	104.2	272	247.4	196	89.6	48	79.9
131	25.7	22	5.7	2.6	1.6	50.7	235	268.8	169.5	87	27.4	32.7
132	28.9	13.7	4.9	2	1.7	7.2	171.9	194.8	150.9	67.3	20	19.2

que provee el más eficiente camino para el entendimiento de los datos en espacio y tiempo y, ellos serán observados como modos no correlacionados (independientes) de la variabilidad de los campos.

Los eigenvectores pueden ser usados de la misma manera como Funciones Ortogonales. Sin embargo, como la mayoría de otras representaciones ortogonales, las FEO's, son derivadas directamente de los datos por sí mismas, más que como un paquete ortogonal predeterminado de funciones analíticas (Análisis de Fourier, Polinomios de Tchebycheff, etc.). Además, pocos eigenvectores usualmente explican una fracción mucho mayor de la variancia total más que el mismo número de otras funciones ortogonales. Así, pocas funciones empíricas son usualmente requeridas para explicar la misma cantidad de variancia de los datos.

El método consiste en hacer una descomposición ortogonal con base en una rotación de las variables originales a nuevos ejes ortogonales de la que se obtienen los autovalores (varianza de las nuevas variables), y los autovectores, a partir de la matriz de correlación. La suma de todos los autovalores da la variancia total presente en las series. Los autovectores de esta matriz reciben el nombre de Funciones Empíricas Ortogonales y se relacionan con la estructura espacial y temporal de los distintos modos. Además, son ortogonales entre sí y forman una base completa a partir de la cual podemos expandir las series originales. El procedimiento para calcular los autovectores de una matriz de datos ha sido descrito en la literatura por Grimmer (1963); Kidson (1975); Weare et. al. (1976).

Debido a las ventajas que ofrecen las FEO's, referidas aquí como eigenvectores, serán usadas para determinar las características espacio-temporales de la precipitación sobre una determinada área. A continuación se describen los principales pasos del método:

Sea  $R = \{ R_{ij} \}$  una matriz de datos  $m \times n$ , donde los elementos en la  $i$ -ésima línea son los valores correspondientes de lluvia total mensual de cada estación y la  $j$ -ésima columna el valor de lluvia total de cada mes. Si  $N$  es el

rango de la matriz, la variación espacial y temporal del campo puede ser descrito como una función lineal de  $N$  vectores independientes como:

$$R_{ij} = \sum_{k=1}^N e_{ik} x_{jk}$$

donde  $e_{ik}$  ( $k=1,2,\dots,N$ ) son los coeficientes del vector en tiempo y  $x_{jk}$  son los eigenvectores empíricos espaciales. Así, con la ayuda de  $N$  vectores independientes, la variación en tiempo de el campo puede ser especificado, y simultáneamente la variación espacial en algún punto del tiempo puede ser especificada como una función lineal de  $N$  vectores independientes. Estos son eigenvectores del tiempo y contienen  $m$  elementos si la variación entre líneas (meses) es buscada, ó  $n$  elementos si la variación entre columnas es determinada. El rango de la matriz es igual a el rango de la matriz de covariancia obtenida con el producto de la matriz y su transpuesta ( $R'$ ), esto es  $RR'$  o  $R'R$ . Dado que la matriz de covariancia obtenida es simétrica, los eigenvectores derivados son reales y mutuamente ortogonales.

Se considera la matriz de datos de  $12 \times n$  elementos, consistiendo de 12 valores mensuales y cada valor mensual con  $n$  estaciones para cada Estado ó región, la variación entre columnas será determinada con  $n$  eigenvectores, cada uno de  $n$  elementos. Los  $n$  eigenvalores serán obtenidos resolviendo para  $\lambda$ .

$$|R'R - \lambda I| = 0$$

Donde  $I$  es la matriz identidad. Los eigenvectores correspondientes  $x$  son obtenidos resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$(R'R - \lambda I) x = 0$$

Todos los eigenvalores y eigenvectores son reales.

Los eigenvalores son proporcionales a las variancias asociadas con cada uno de los eigenvectores correspondientes. Los eigenvalores están arreglados en orden de magnitud decreciente donde los primeros términos, es decir  $k$ , podrán contabilizar una parte substancial de la variancia total, así los residuos son pequeños y pueden ser despreciados como representaciones que contribuyen con errores de observación y redondeo.

Generalmente, el eigenvector más importante tiende a describir las relaciones en áreas de máxima variancia; regiones de lluvia con las más grandes fluctuaciones (generalmente donde la lluvia es mucho mayor) son enfatizados, mientras que en regiones de baja variancia (generalmente con poca lluvia) son substancialmente suprimidas. El método es, en ocasiones, capaz de aislar modelos de lluvia que son completamente reconocibles y físicamente explicables. En algunas ocasiones los patrones de lluvia que nos arrojan las FEO's están dados por diferentes procesos naturales, sin embargo no hay garantía de esta separación.

Los modelos representados por los eigenvectores más importantes generalmente corresponden a procesos físicos prominentes asociados con los datos; los demás eigenvectores serán ruido en la señal de los datos.

Las características de los modelos son comúnmente entendibles cualitativamente desde consideraciones de la climatología de la región. Estos modelos a menudo están compuestos de dos ó tres modelos característicos, pero podrán ser interpretados en su conjunto.

### Obtención de la Serie Original.

En la aplicación del método de las FEO's, a la matriz original de datos (12×n) presenta una normalización, tratando de disminuir las variaciones que hay en los datos, producto de la diferencia de altura que poseen, quedando la matriz de precipitación en forma adimensional. La normalización consiste en tomar el dato mensual promedio de lluvia de cada estación menos el promedio de la estación y dividido entre la desviación estandar de cada estación por la raíz cuadrada de m. Esto es:

$$RN_{ij} = \frac{R_{ij} - prm_j}{\sqrt{m} \times dst_j}$$

$prm_j$  = Promedio de cada estación  
 $RN_{ij}$  = Matriz de datos de lluvia normalizada (adimensional)  
 $R_{ij}$  = Matriz de datos mensuales promedio de lluvia (mm)  
 $dst_j$  = Desviación estandar de cada estación (mm)

En la representación gráfica de los primeros modos espaciales por Estado y regiones se encuentran dimensionados debido a la multiplicación del valor del eigenvector espacial de cada estación por la desviación estandar de la estación y por la raíz cuadrada del autovalor correspondiente. Esto es:

$$xd_{jk} = x_{jk} \times dst_j \times \sqrt{d_k}$$

$xd_{jk}$  = Matriz de eigenvectores espaciales dimensional  
 $x_{jk}$  = Matriz de eigenvectores espaciales  
 $\sqrt{d_k}$  = Raíz cuadrada de los autovalores principales

En la representación gráfica de los primeros modos temporales por Estados y regiones se obtienen multiplicando la matriz de precipitación adimensional por los eigenvectores espaciales. Esto es:

$$e_{ik} = \sum_{j=1}^N RN_{ij} \times x_{jk}$$

$e_{ik}$  = Matriz de coeficientes temporales (adimensional)

Para obtener la serie original se lleva a cabo multiplicando la parte espacial por la parte temporal, por la raíz de  $m$  dividido entre la raíz cuadrada del autovalor correspondiente más el promedio mensual de la estación. Esto es:

$$R_{ij} = \sum_{k=1}^N e_{ik} \times x_{jk} \times \sqrt{m/d_k} + \text{prmj}$$

En el apéndice I se muestran los autovalores obtenidos para los Estados y Regiones, con la finalidad de que se tengan los datos necesarios para obtener la serie original.

### III. RESULTADOS.

Los resultados presentados describen lo más relevante de cada uno de los mapas que se tienen por Estado (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Chihuahua) y región (Península y Norte); se presentan mapas de contornos para los promedios de precipitación, desviación estandar, y para los eigenvectores o modos en espacio más representativos. Los coeficientes de expansión significativos e histogramas de anomalías de lluvia serán presentados en gráficas.

#### 1. Baja California.

##### a) Estadísticas.

Para el Estado de Baja California se tienen valores altos ( $>20\text{mm}$ ) de promedio mensual de precipitación en la parte Noroeste del Estado (Fig. 3a), coincidiendo esto con la parte montañosa del Estado, y observándose una disminución uniforme de estos valores hacia la parte Sur y hacia la parte del Golfo de California, siendo los valores muy pequeños en esta zona, ( $< 8 \text{ mm}$ ). El mapa de desviación estandar (Fig.3b) presenta valores máximos al Noroeste del Estado, indicando una variación grande de la lluvia mensual; mientras que el resto del Estado tiene valores pequeños, sugiriendo que la lluvia mensual es más homogénea.

##### b) FEO's.

En la representación del primer modo (modo 1) en espacio (Fig.4a) y tiempo (Fig. 5a), con el 68% de la variancia total de la serie; se observa una señal positiva desde finales de noviembre hasta marzo, que coincide con el período de lluvias invernal, siendo diciembre y enero los meses más representativos. Su distribución en espacio se asemeja al promedio, valores altos en la parte Noroeste disminuyendo gradualmente al Sur y Este del Estado.

El modo dos nos muestra una señal con el 23% de la variancia de los datos, siendo más intensa en los meses de marzo y abril (Fig.5a); mientras que los contornos en espacio indican unicamente señal positiva en la parte Oeste del Estado (Fig. 5a). La señal de precipitación por arriba del promedio

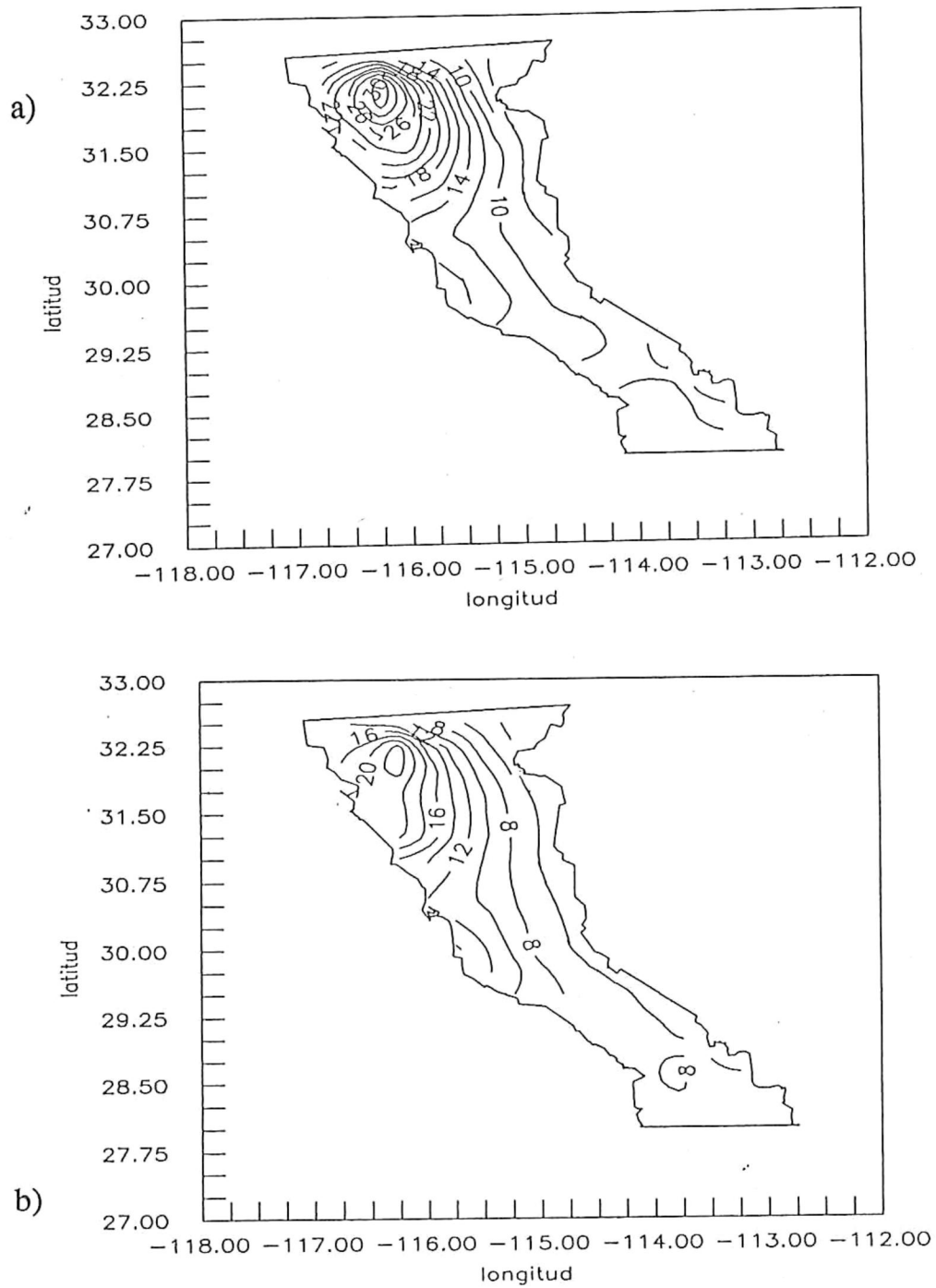


Fig. 3. a) Promedio mensual de precipitación (mm) en Baja California  
b) Desviación estandar de precipitación (mm) en Baja California

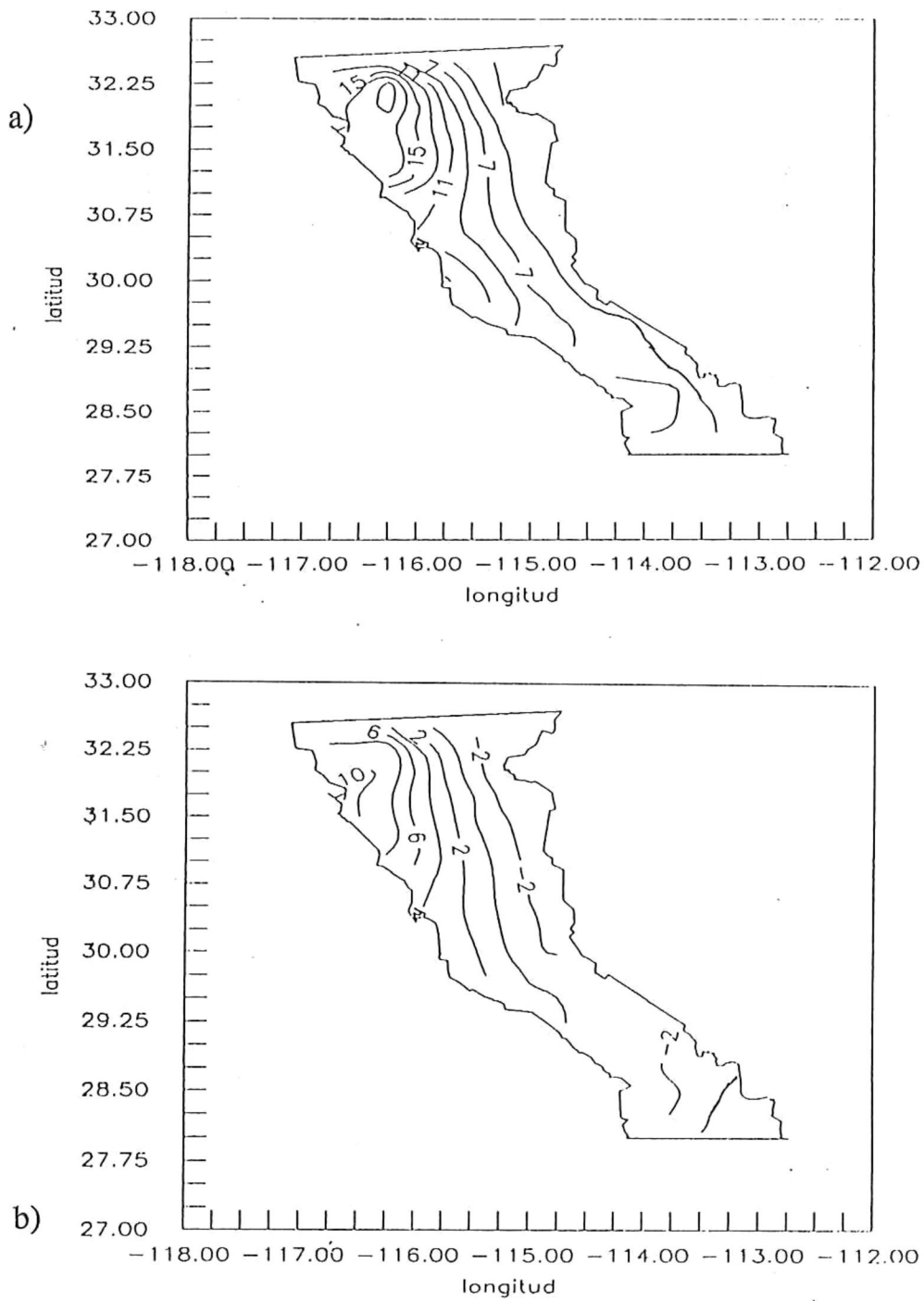


Fig. 4. a) Modo 1 espacial (mm). Baja California ( 68.8 % )  
 b) Modo 2 espacial (mm). Baja California ( 23.5 % )

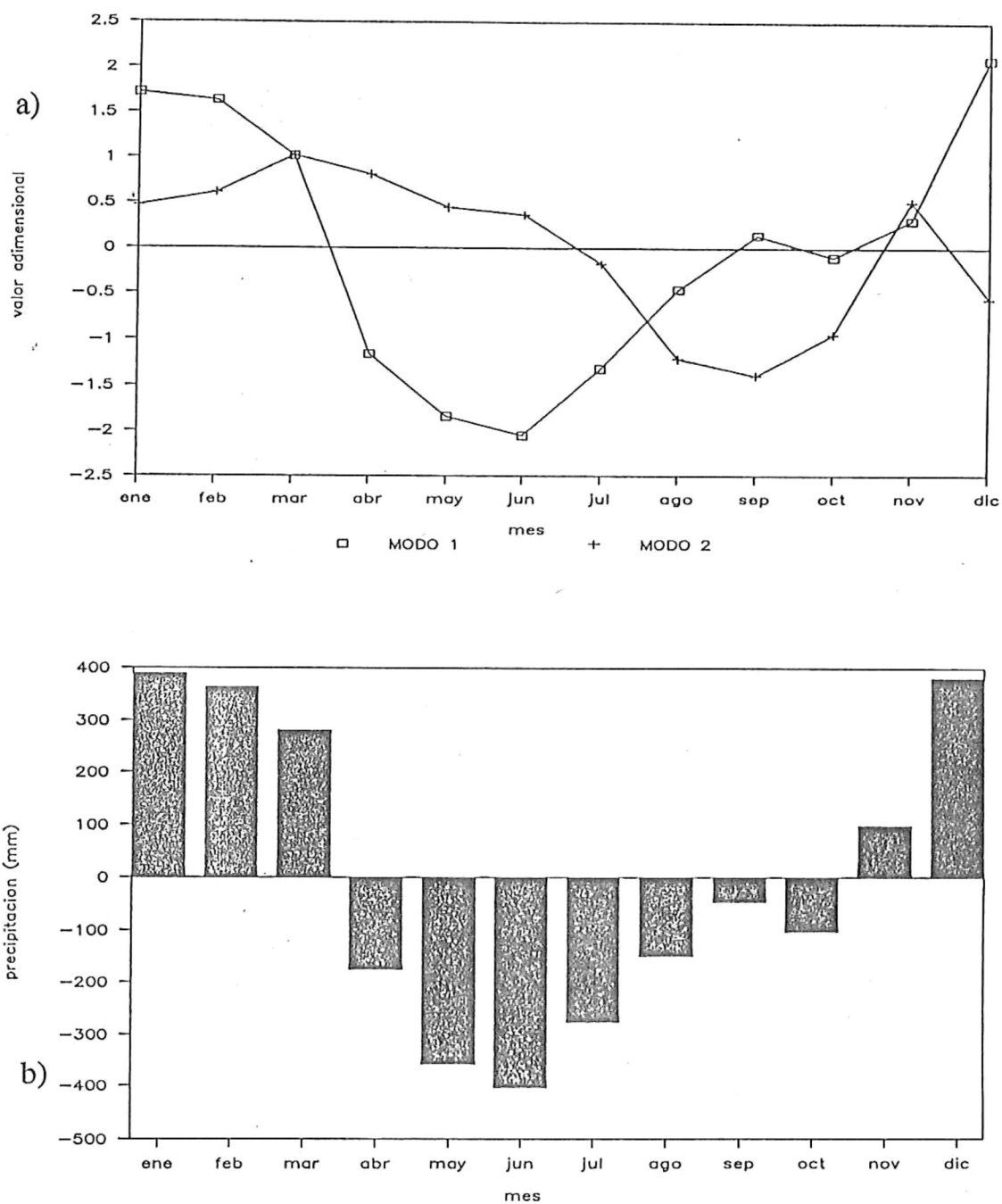


Fig. 5. a) Modo 1 y 2 temporal en Baja California

b) Histograma de anomalía mensual de lluvia en Baja California

también es positiva de julio a octubre en la parte Este y Sur del Estado. Esto se debe a que los coeficientes de expansión negativos (ver Fig. 5a) al ser multiplicados por los eigenvectores con valor negativo en la parte Este y Sur del Estado (ver Fig. 4b), da como resultado una contribución positiva a la señal de lluvia.

La representación de estos dos modos principales que contabilizan el 93.3% de la variancia total de la serie, describe en conjunto lo característico de la lluvia para este Estado.

La gráfica de anomalía (Fig. 5b) muestra los meses que se encuentran por arriba ó por debajo del promedio total mensual. Se observa que los meses de noviembre-marzo son los meses que se encuentran por arriba de éste promedio, mientras que de abril a octubre se presenta menos que el normal.

## 2. Baja California Sur.

### a) Estadísticas.

Para el Estado de Baja California Sur, lo relevante del promedio mensual (Fig.6a ) y la desviación estandar (Fig.6b ) lo encontramos en la parte Sur del Estado, teniendo valores máximos sobre la Sierra de San Lázaro; para el resto del Estado los valores decrecen de Sur a Norte, siendo notoria la poca presencia de lluvia en la parte Norte.

### b) FEO's.

El modo principal, contabilizando el 77.3% de variancia, muestra señal positiva de finales de verano a principios de otoño con algo de señal de invierno (Fig.8a ), al parecer este modelo combina dos señales significativas de la precipitación, aunque una siendo más fuerte que la otra, los contornos en espacio (Fig.7a ) muestran valores máximos en la parte Sur y mínimos en la parte Norte.

El modo dos (Fig.7b ) con 15% de la variancia, indica valores positivos sobre la región central del Estado hacia el Norte, reflejándose en esta la señal de lluvia de invierno (Fig.8a ). La parte negativa de este modo se localiza en la parte Sur y Este del Estado y en tiempo ocurre en agosto y

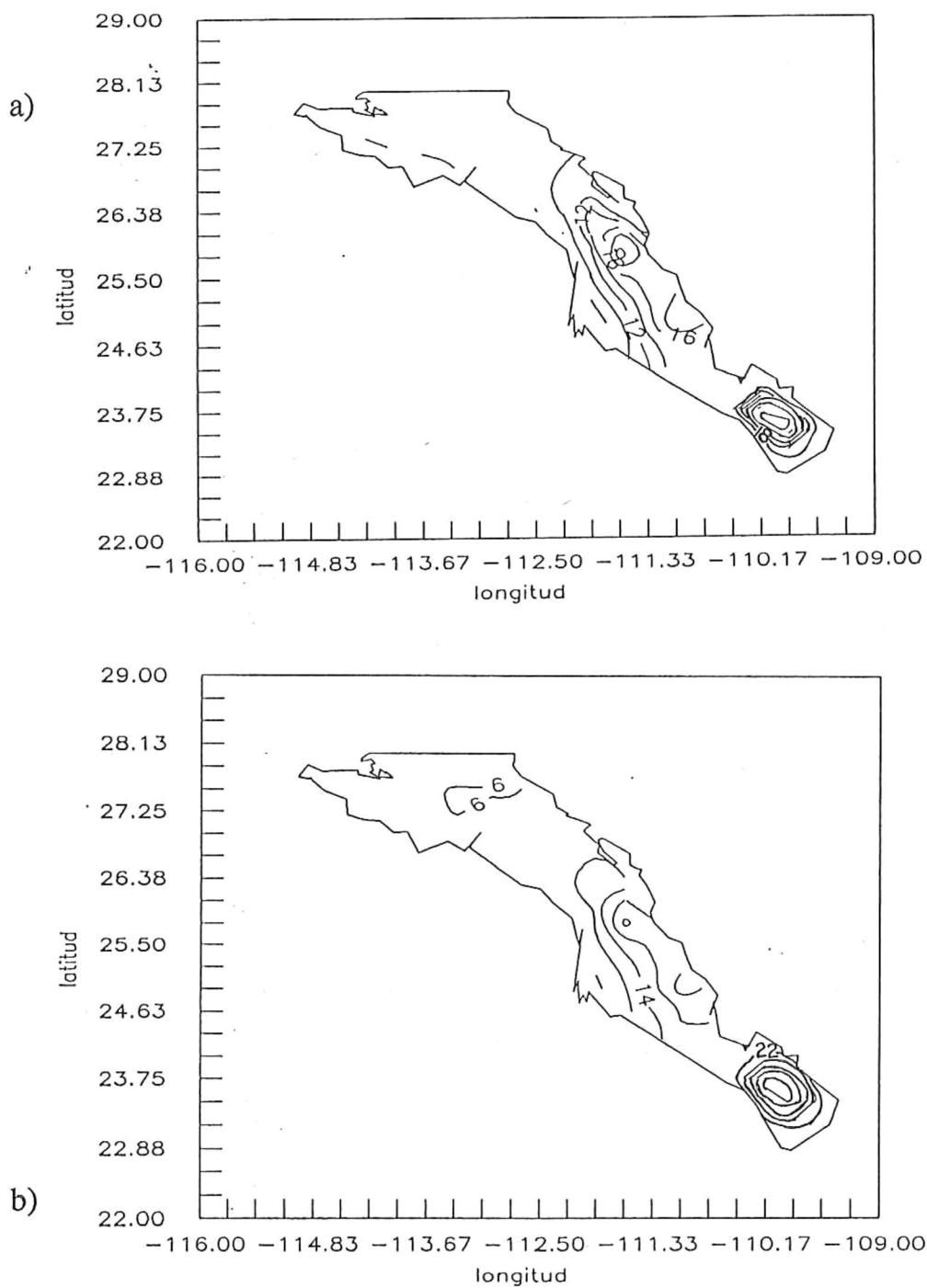


Fig. 6. a) Promedio mensual de precipitación (mm) en Baja California Sur  
b) Desviación estandar de precipitación (mm) en Baja California Sur

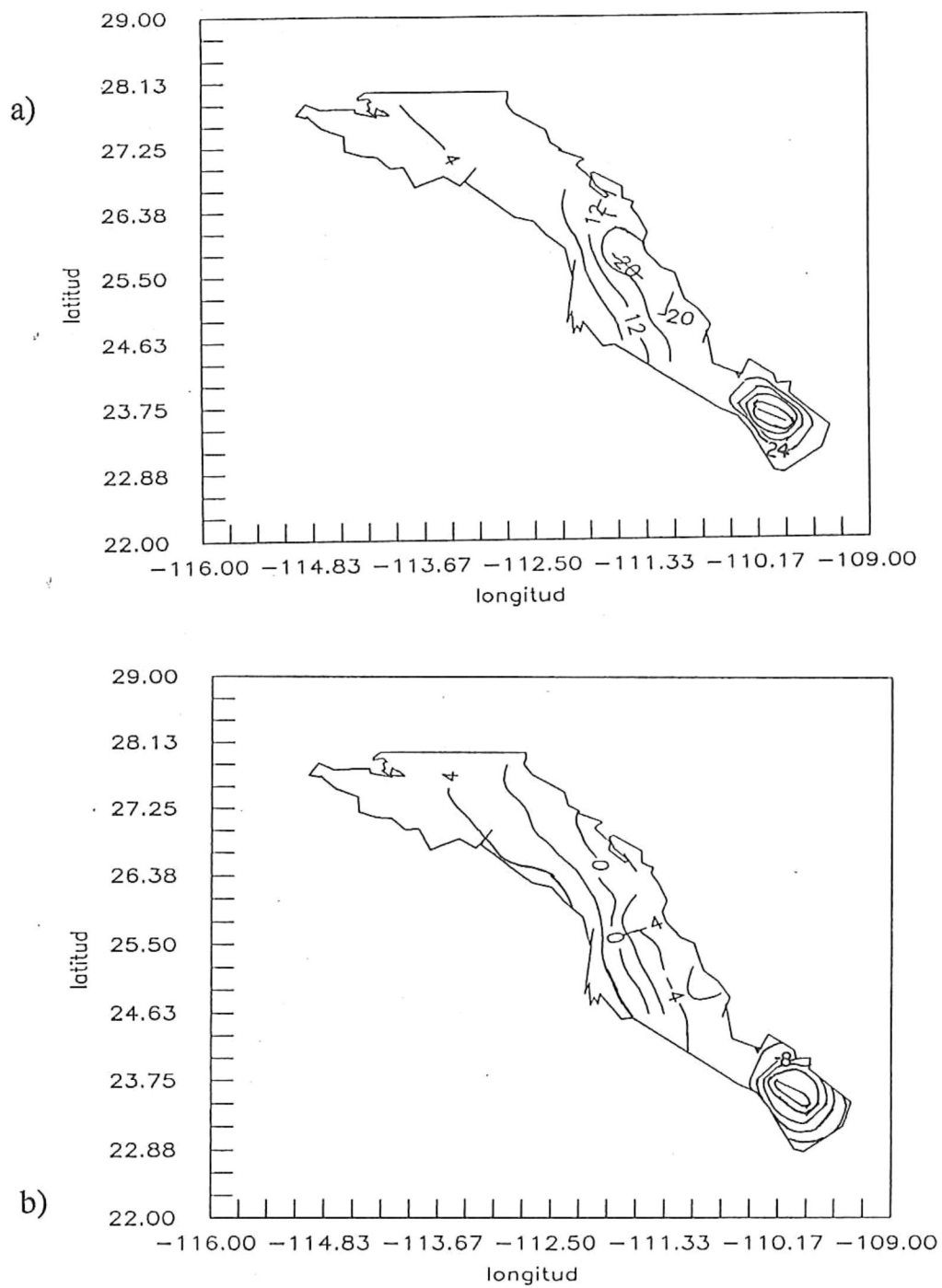


Fig. 7. a) Modo 1 espacial (mm). Baja California Sur (77.3 %)

b) Modo 2 espacial (mm). Baja California Sur (15.0 %)

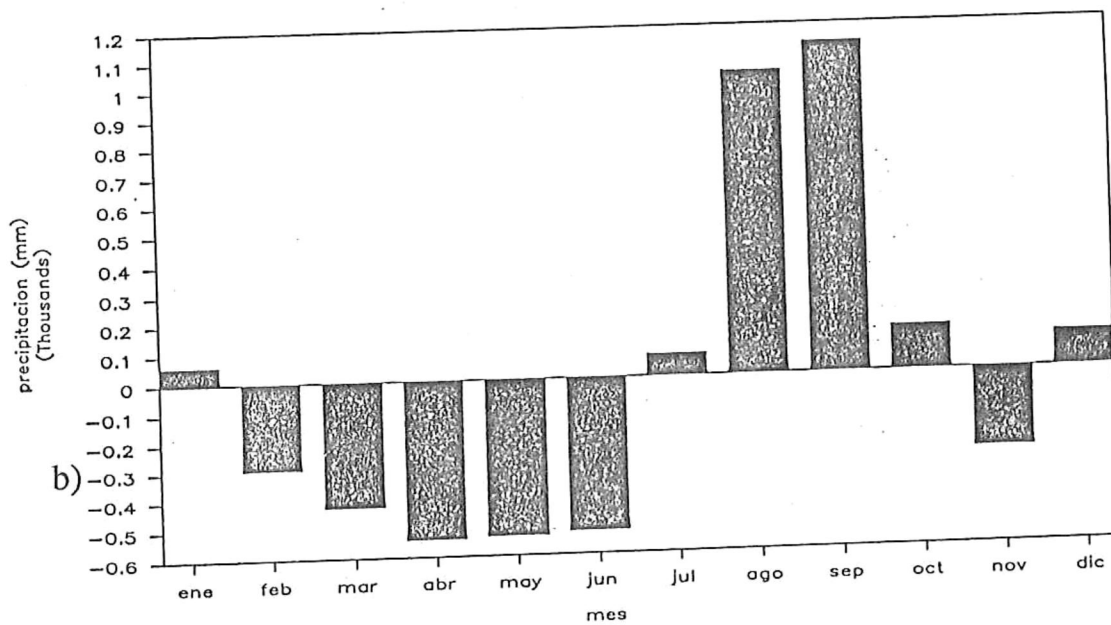
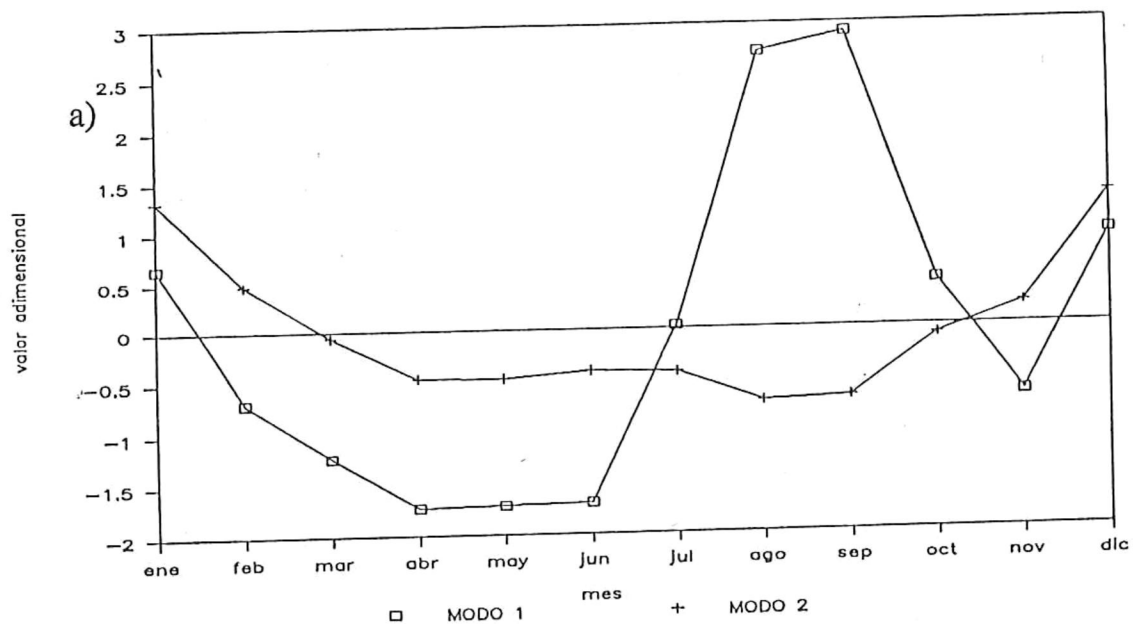


Fig. 8. a) Modo 1 y 2 temporal en Baja California Sur

b) Histograma de anomalía mensual de lluvia en Baja California Sur

septiembre; contribuyendo así con señal de lluvia positiva.

El histograma de anomalía (Fig. 8b) indica valores positivos para los meses de diciembre-enero y julio-octubre, siendo el mes de agosto y septiembre los más lluviosos y abril, mayo y junio más secos.

### 3. Región Península (Baja California-Baja California Sur).

#### a) Estadísticas.

Los mapas de promedio mensual (Fig. 9a) y desviación estandar (Fig.9b) muestran el patrón característico de cada Estado, valores máximos al Norte y Sur de la Península y mínimos en la parte central.

#### b) Feo's.

Para el primer modo (Fig.11a) tenemos principalmente señal de verano-otoño sobre toda la región con el 55.8% de variancia y afectando en menor cantidad la señal de invierno con los valores más representativos sobre la región Sur de la Península (Fig. 10a).

Por el contrario, el modo 2 (Fig.11a) muestra la señal positiva de noviembre a marzo más importante en invierno y sobre toda la región del Estado de Baja California y parte del Norte del Estado de Baja California Sur (Fig. 10b), contabilizando el 33.5% de variancia. La contribución positiva debido al producto de las partes negativas en tiempo y espacio, esta representada en la zona Sureste y siendo importante en los meses de julio a septiembre.

El modo 3 (Fig.12) contabiliza muy poca variancia (3.6%) y refleja mínimamente las características de la lluvia de invierno y verano para la Península.

La gráfica de anomalía de lluvia (Fig. 11b), muestra que los meses de diciembre a febrero y de agosto a octubre es cuando más llueve.

### 4. Sonora

#### a) Estadísticas.

En la parte Sureste del Estado de Sonora se observa un promedio mensual máximo mayor de 64mm (Fig.13a) y en la parte Noroeste del

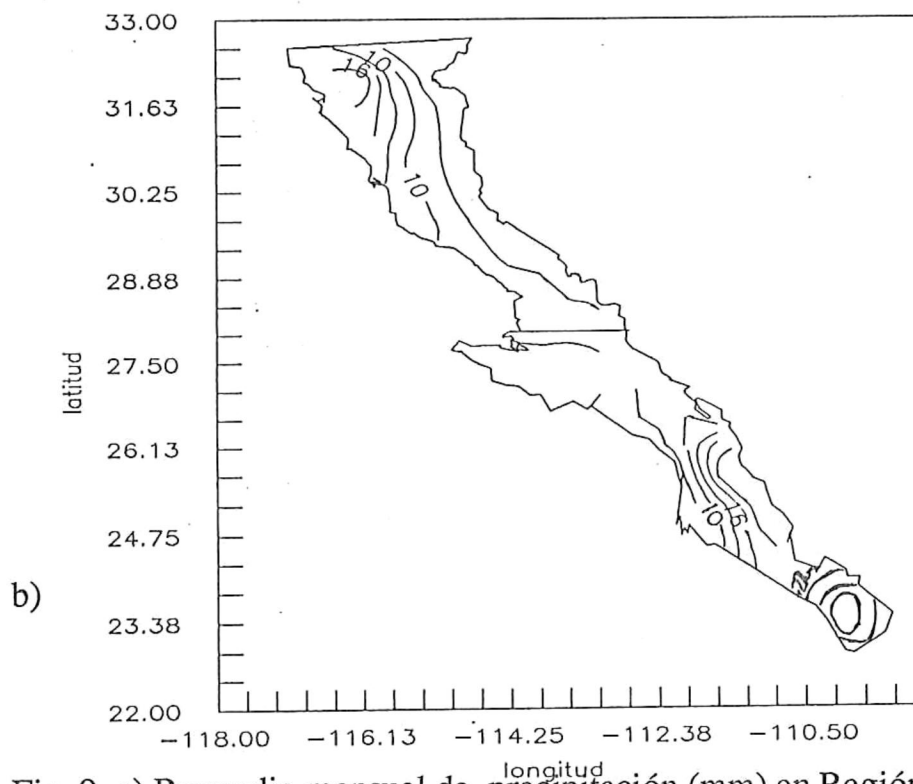
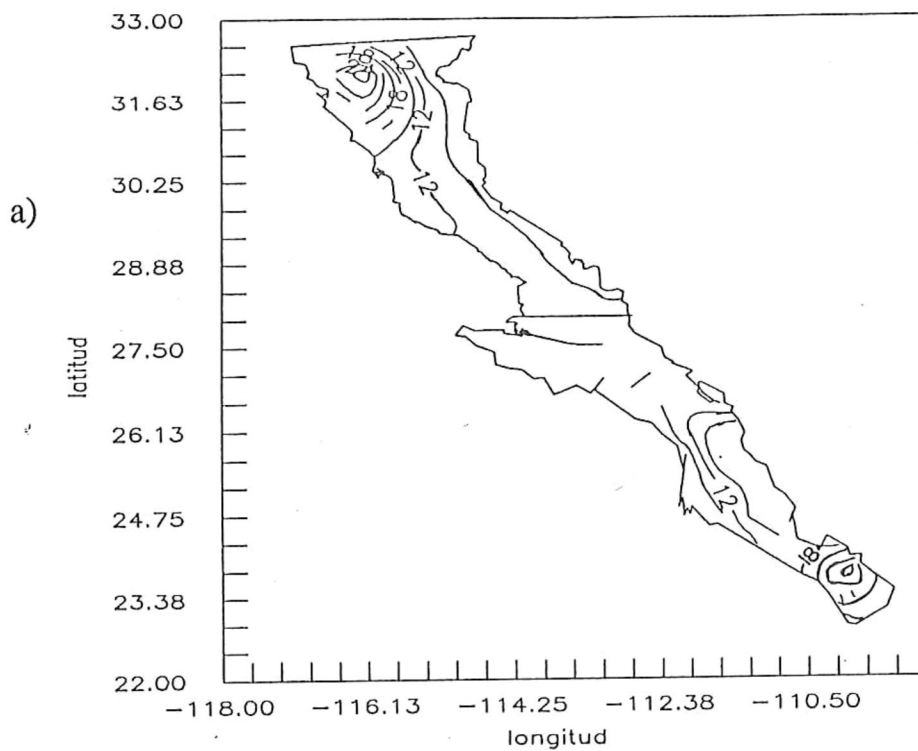


Fig. 9. a) Promedio mensual de precipitación (mm) en Región Península  
b) Desviación estandar de precipitación (mm) en Región Península

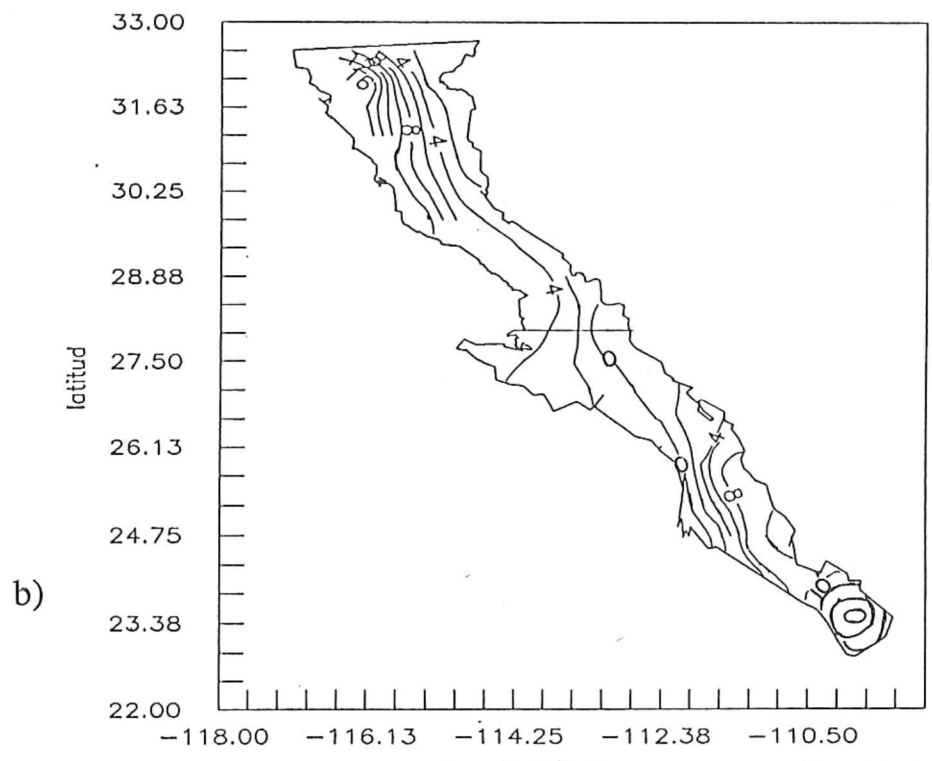
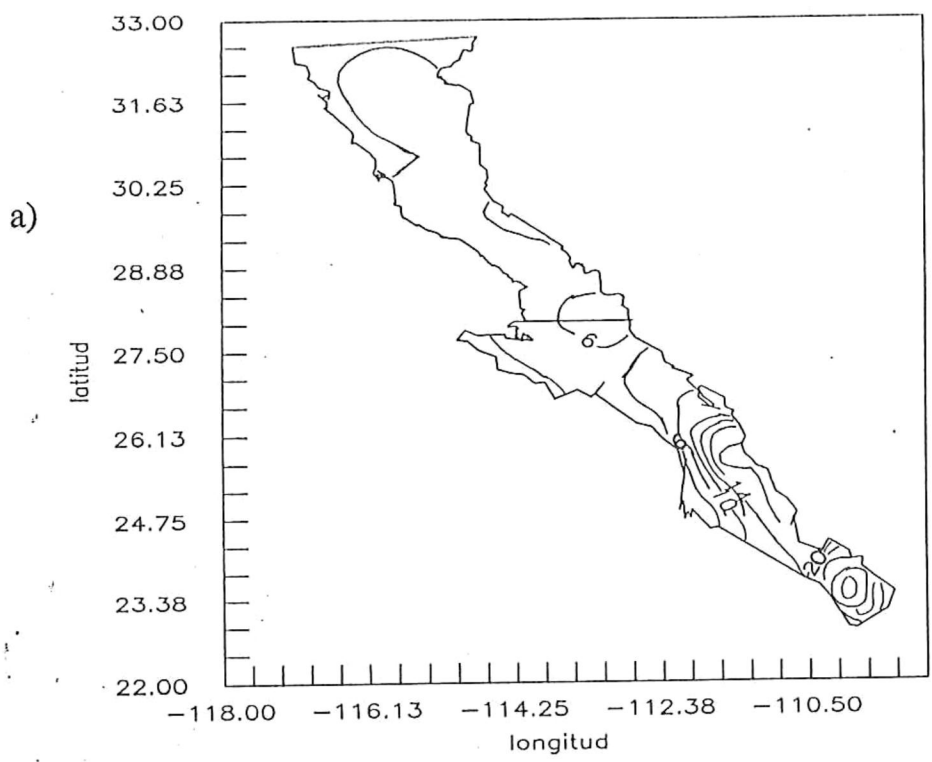


Fig. 10. a) Modo 1 espacial (mm). Región Península (55.8 %)  
b) Modo 2 espacial (mm). Región Península (33.5 %)

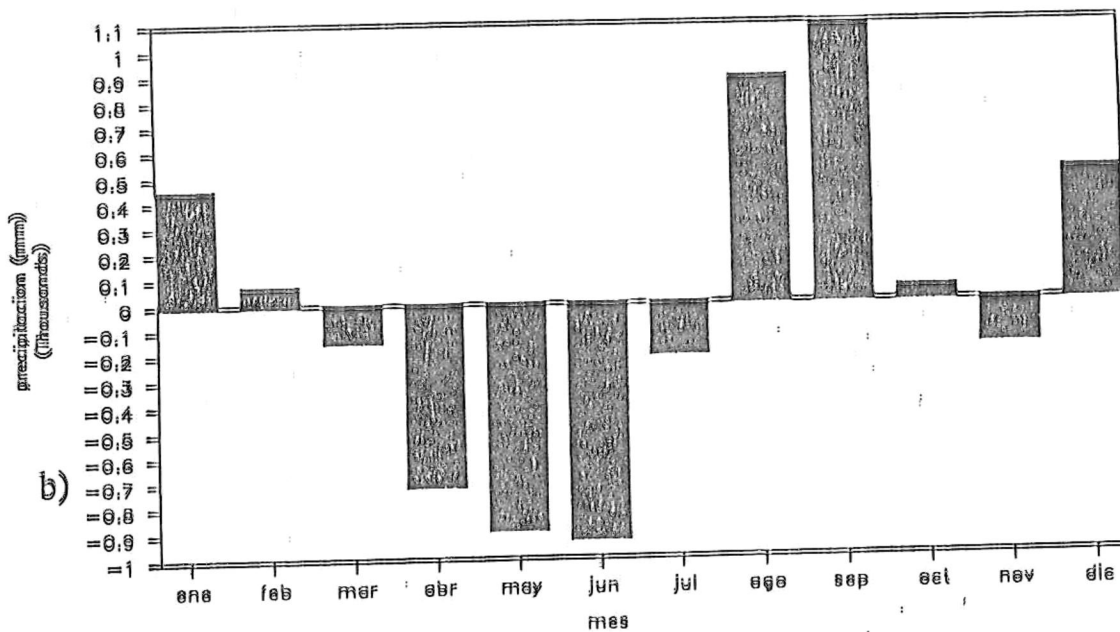
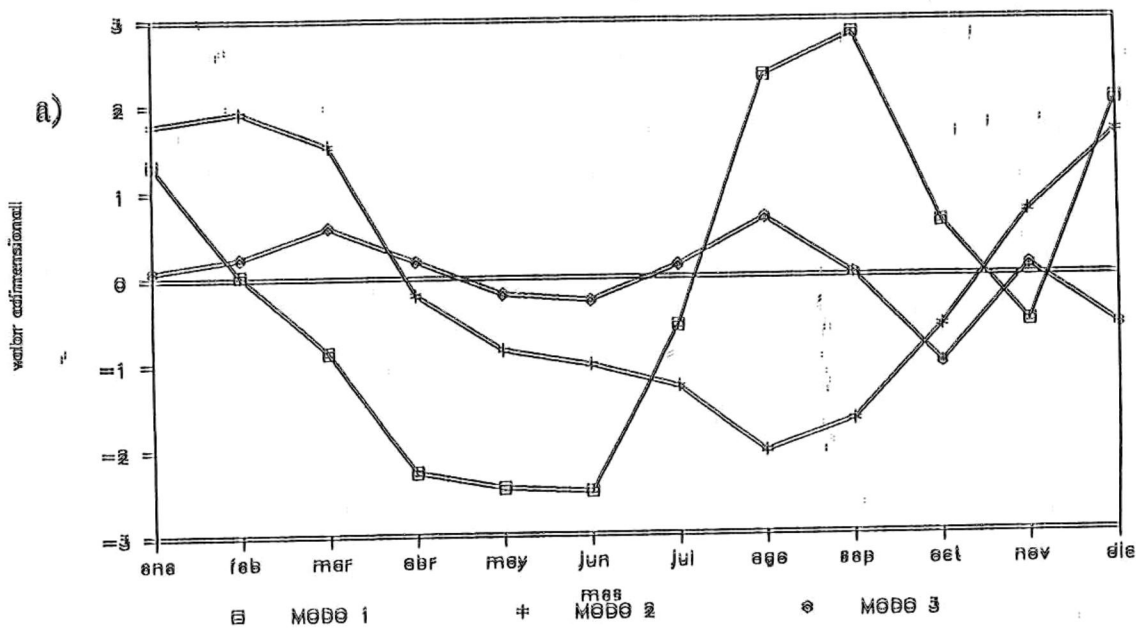


Fig. 11. a) Modo 1,2 y 3 temporal en Región Península  
 b) Histograma de anomalía mensual de lluvia en Región Península

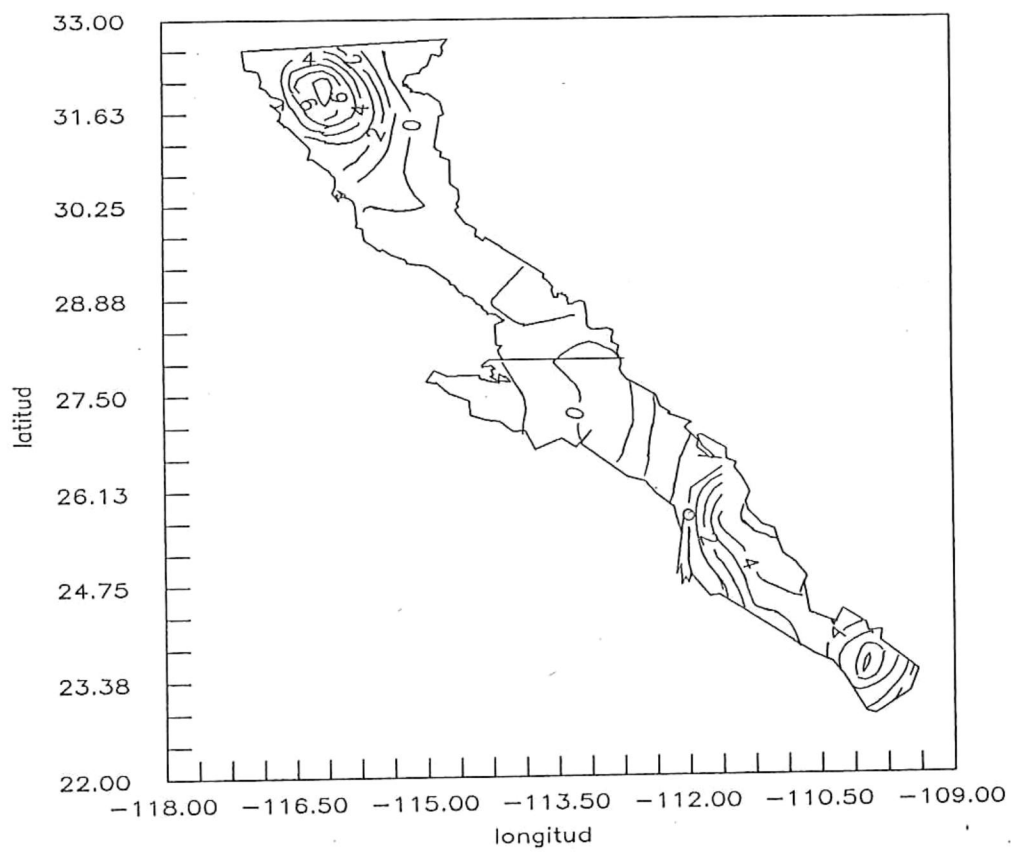


Fig. 12. Modo 3 espacial (mm). Región Península (3.6 %)

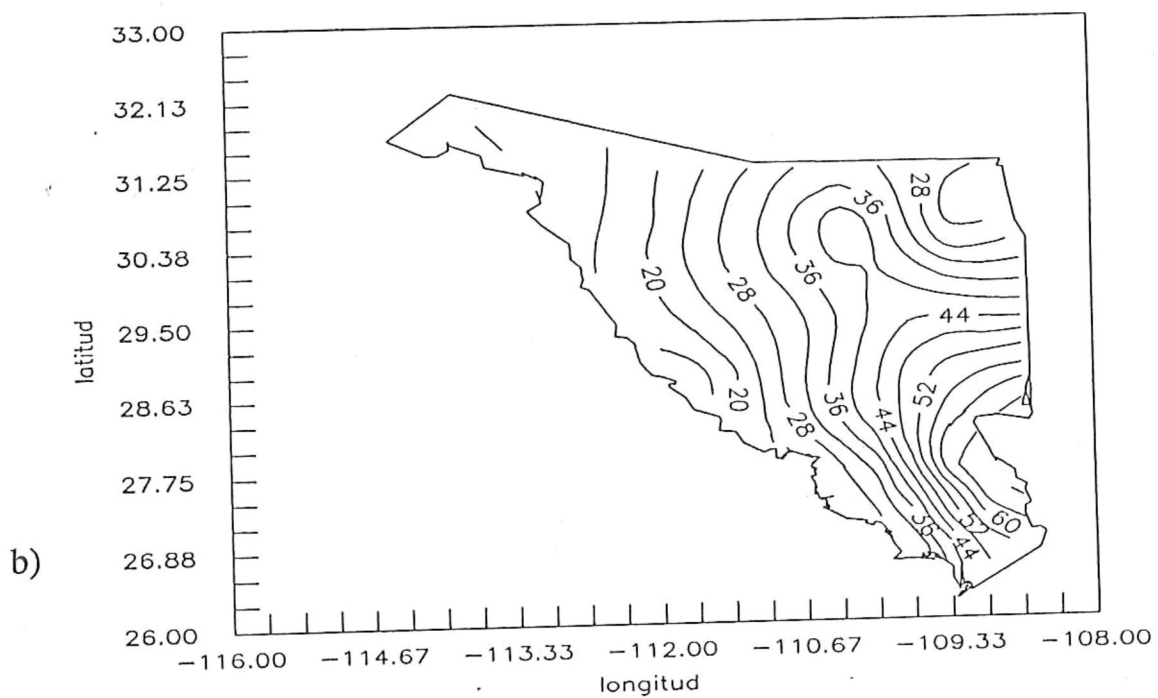
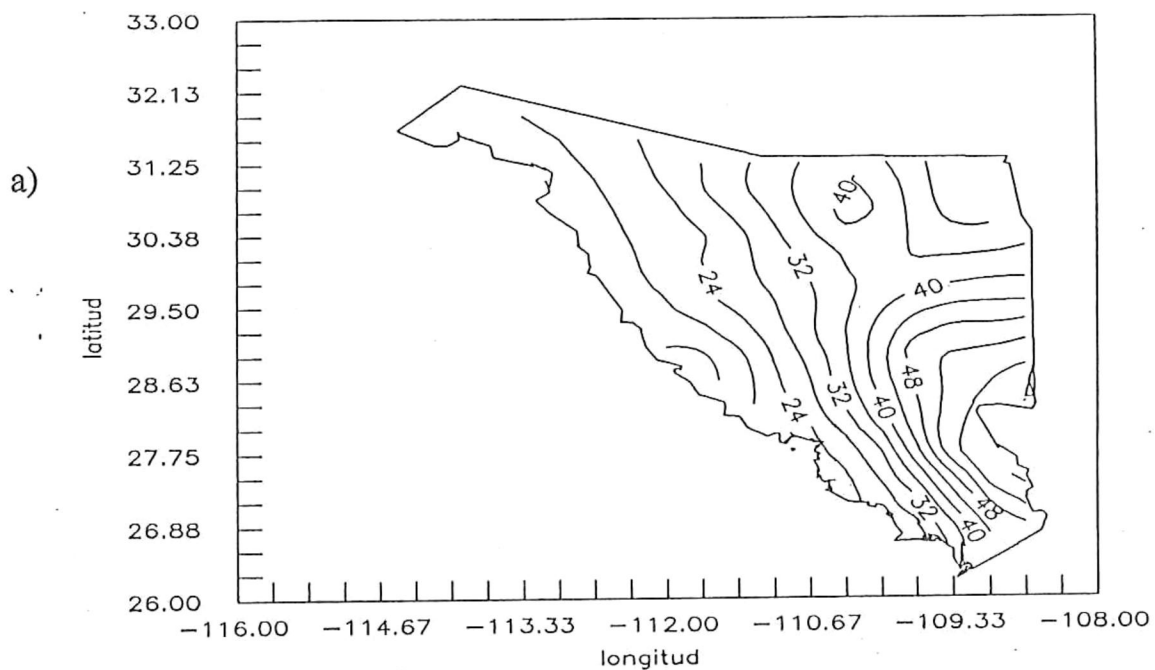


Fig. 13. a) Promedio mensual de precipitación (mm) en Sonora  
 b) Desviación estandar de precipitación (mm) en Sonora

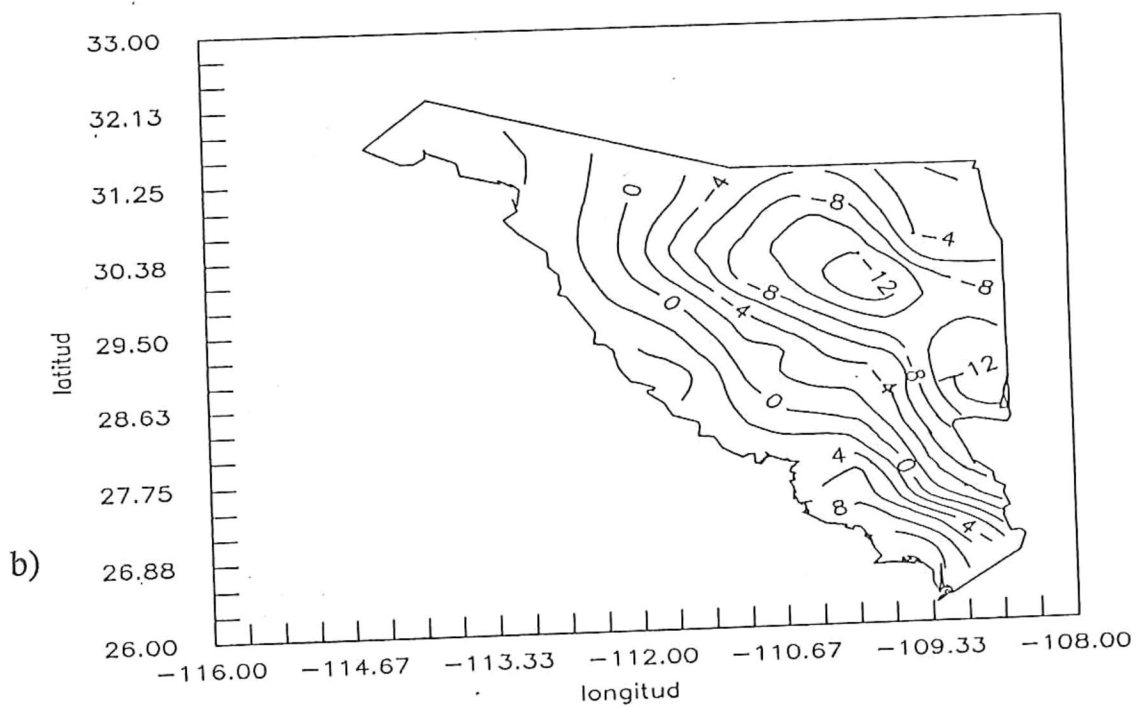
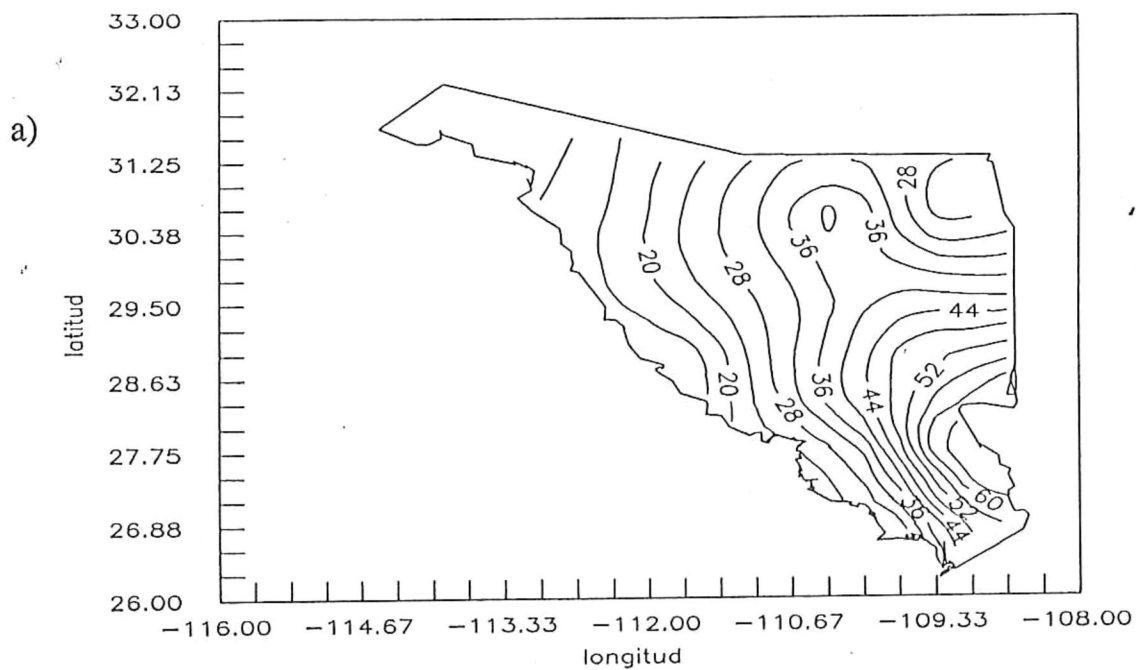


Fig. 14. a) Modo 1 espacial (mm). Sonora (93.0 %)

b) Modo 2 espacial (mm). Sonora ( 4.2 %)

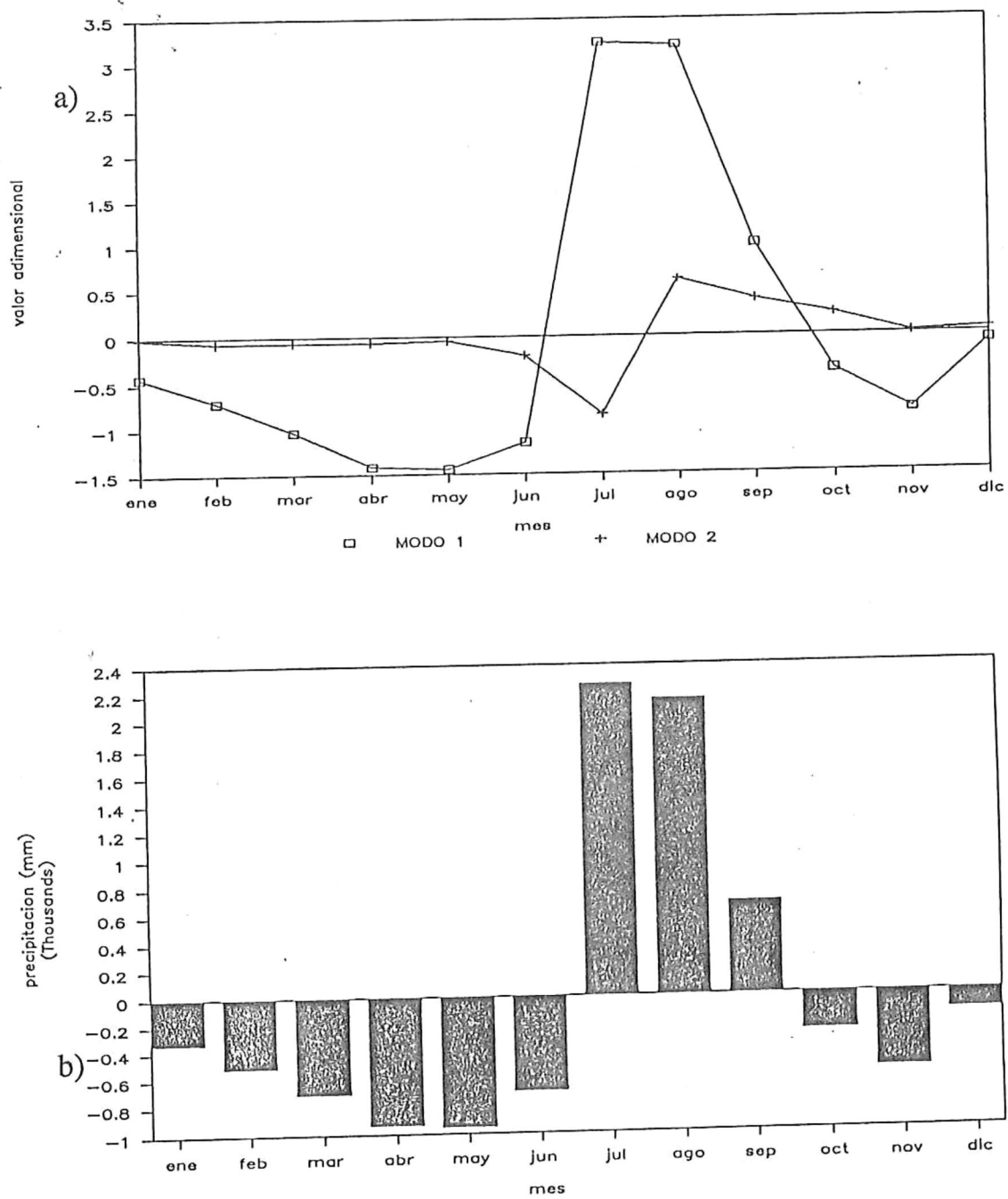


Fig. 15. a) Modo 1 y 2 temporal en Sonora  
 b) Histograma de anomalía mensual de lluvia en Sonora

Estado se tienen los valores mínimos de 24mm. Presentándose un decaimiento de los valores de Este a Oeste.

El mapa de desviación estandar (Fig.13b) nos muestra un comportamiento similar al del promedio; valores altos en la parte Sureste y decayendo de Este a Oeste, siendo los meses de julio y agosto los que contribuyen a las máximas variaciones en los datos.

#### b) FEO's.

El primer modo espacial y temporal (Fig.14a y 15a ) muestra su señal con el 93% de la variancia total de la serie, indicando que los meses de julio, agosto y septiembre contribuyen principalmente a un alto porcentaje de la variancia.

El modo dos (Fig. 14b ) con 4.2% de variancia, nos indica muy poca información acerca de las características de los datos, su señal positiva se deja ver de Oeste a Este, por la parte sur del Estado y siendo durante los meses de agosto, septiembre y octubre su influencia (Fig. 15a). La señal de precipitación también es positiva principalmente en julio y sobre la parte Noreste del Estado.

El histograma del Estado de Sonora muestra anomalías positivas durante julio, agosto y septiembre (Fig. 15b).

### 5. Chihuahua

#### a) Estadísticas.

El Estado de Chihuahua muestra un promedio mensual (Fig.16a ) similar al de Sonora con valores altos ( $>50\text{mm}$ ) sobre la región Suroeste, y mínimos ( $<30\text{mm}$ ) sobre la parte Noreste; los meses de julio y agosto los más representativos. Los valores máximos y mínimos encontrados en la desviación estandar (Fig.16b ) de los datos se observan en las mismas regiones que en el mapa de promedio.

#### b) Feo's.

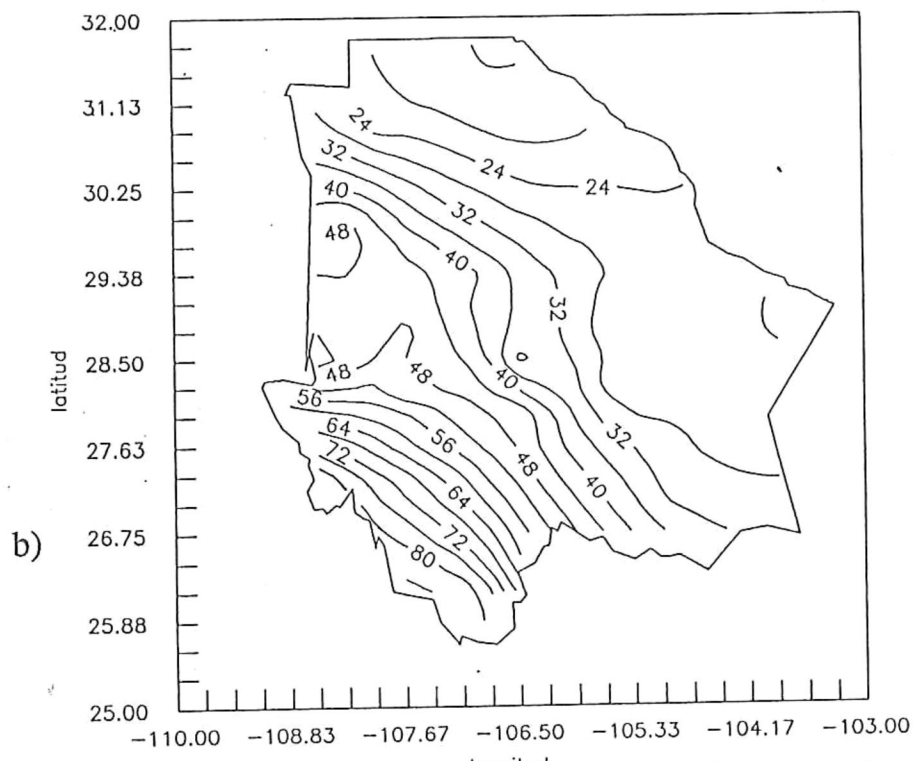
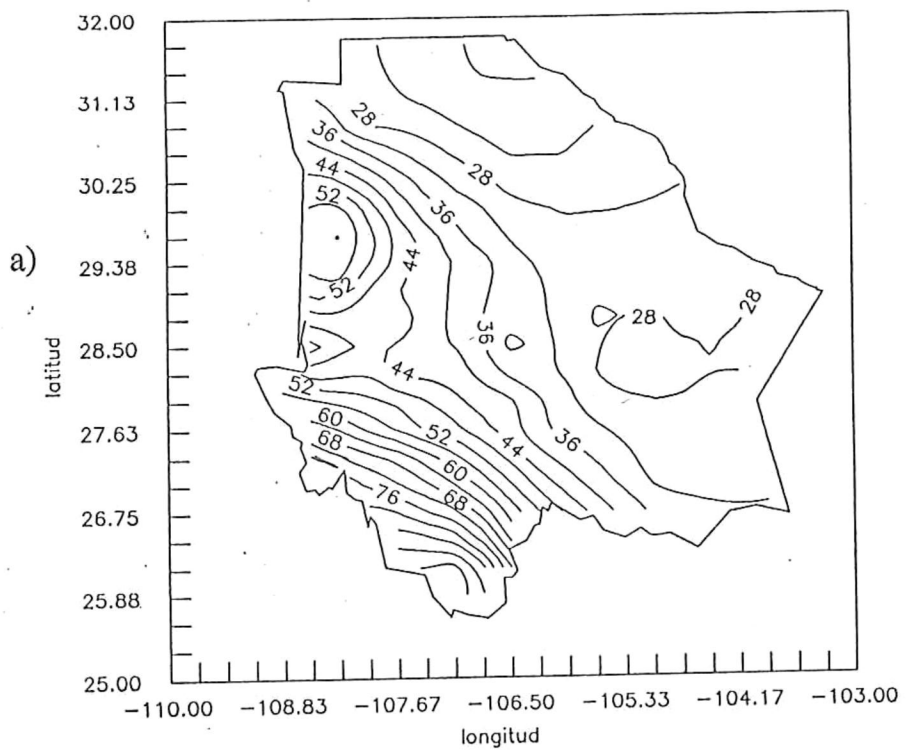


Fig. 16. a) Promedio mensual de precipitación (mm) en Chihuahua  
b) Desviación estandar de precipitación (mm) en Chihuahua

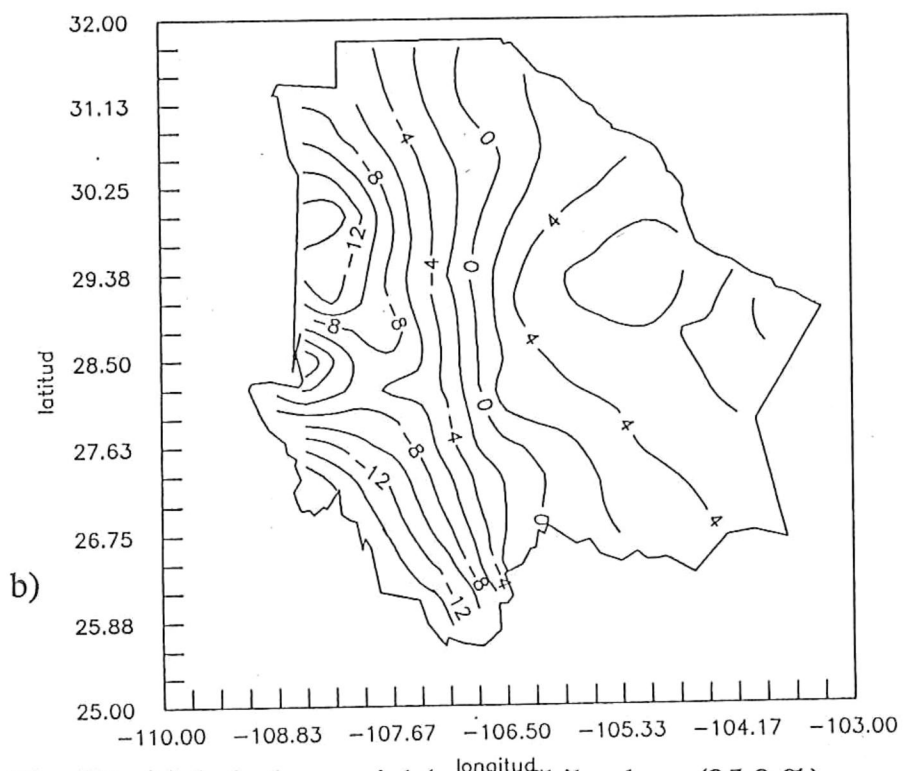
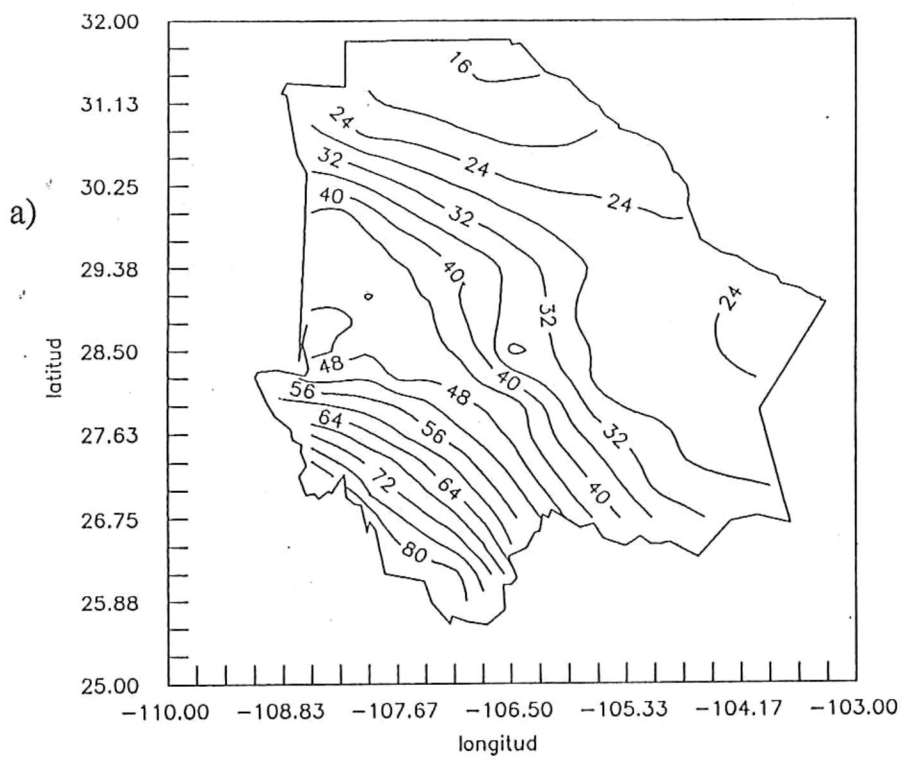


Fig. 17. a) Modo 1 espacial (mm). Chihuahua (95.0 %)  
b) Modo 2 espacial (mm). Chihuahua ( 3.3 %)

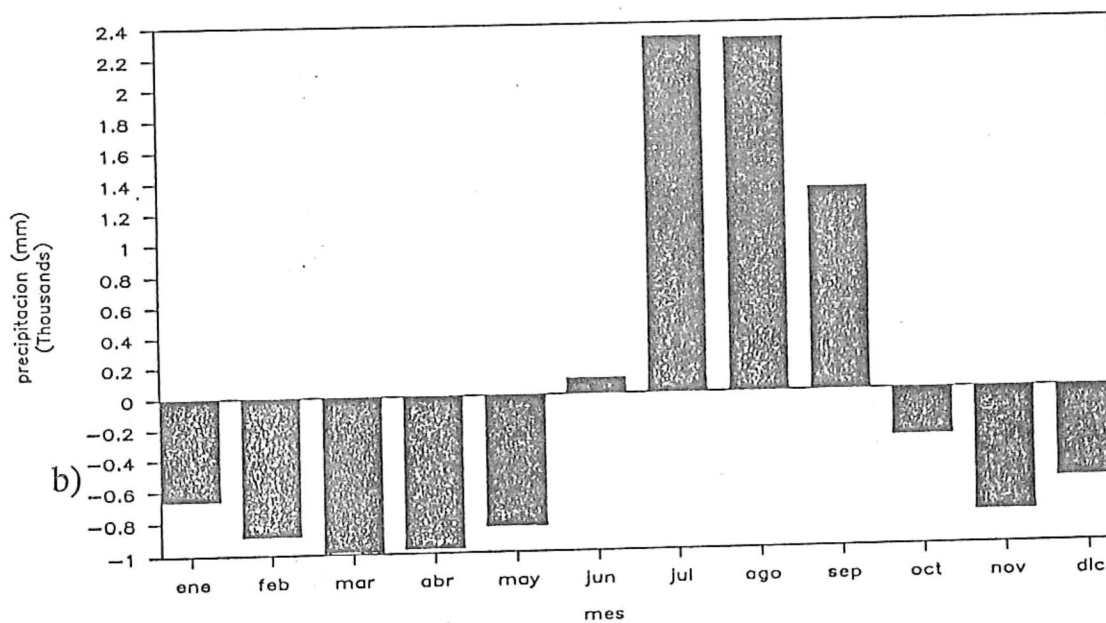
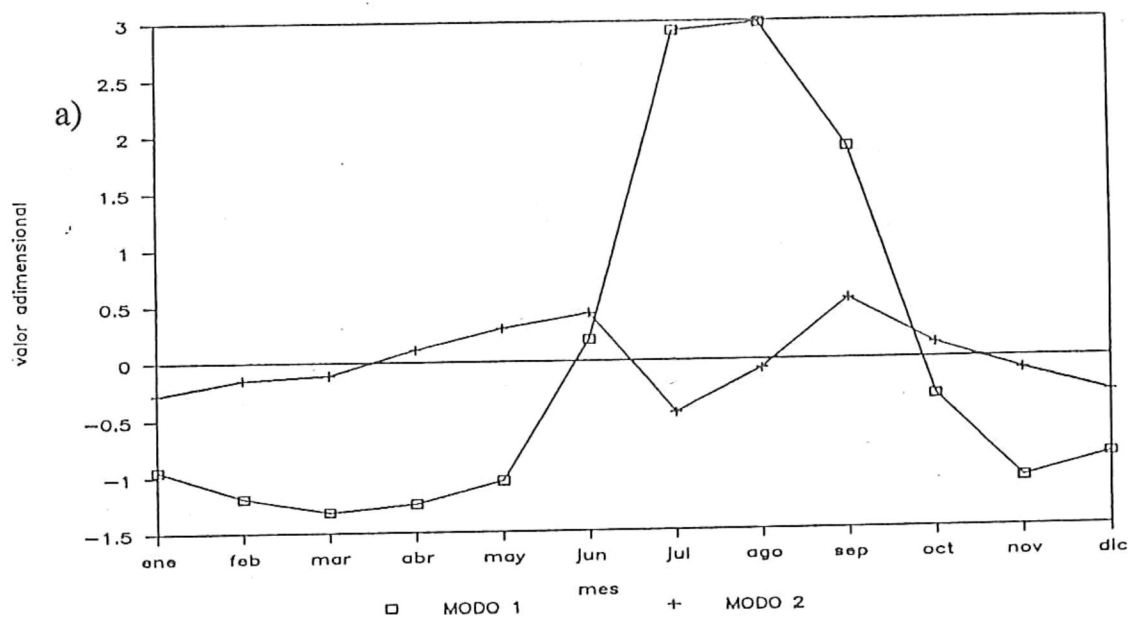


Fig. 18. a) Modo 1 y 2 temporal en Chihuahua

b) Histograma de anomalía mensual de lluvia en Chihuahua

El primer modo (Fig.17a) representa el 95% de variancia total, teniendo sus valores máximos en la parte Suroeste del Estado y mínimos sobre la región Noreste; se observa una contribución importante durante los meses de julio a septiembre (Fig.18a).

El modo 2 con el 3.3% refleja muy poca señal contenida en los datos, siendo positiva en junio y septiembre (Fig.18a) sobre la parte Este del Estado (Fig. 17b ). La contribución a la señal de lluvia positiva importante dada por las partes negativas temporales y espaciales, se presenta en el mes de julio y sobre la zona Noroeste del Estado.

La gráfica de anomalías (Fig. 18b) para el Estado muestra ser positiva de junio a septiembre.

## 6. Sinaloa

### a) Estadísticas.

El Estado de Sinaloa muestra valores altos de precipitación promedio mensual sobre las montañas, presentándose esto en los límites con los Estados de Chihuahua y Durango principalmente (Fig.19a). Es en la zona de las montañas donde se registran los más altos reportados en el estudio y decaen uniformemente hacia la costa, contribuyendo los meses de julio, agosto y septiembre como los meses de mayor aporte de lluvia durante el año. El mapa de desviación estandar (Fig.19b) presenta un comportamiento similar al del promedio.

### b) FEO's.

El modo 1 (Fig.20a) al igual que en los demás Estados (Sonora y Chihuahua), presenta su señal más importante por arriba del 90% de variancia (93%), donde los valores más altos son registrados en los límites con los Estados de Chihuahua, Durango y Sonora, y disminuyendo hacia la costa; la señal en tiempo se observa que los meses que más contribuyen son

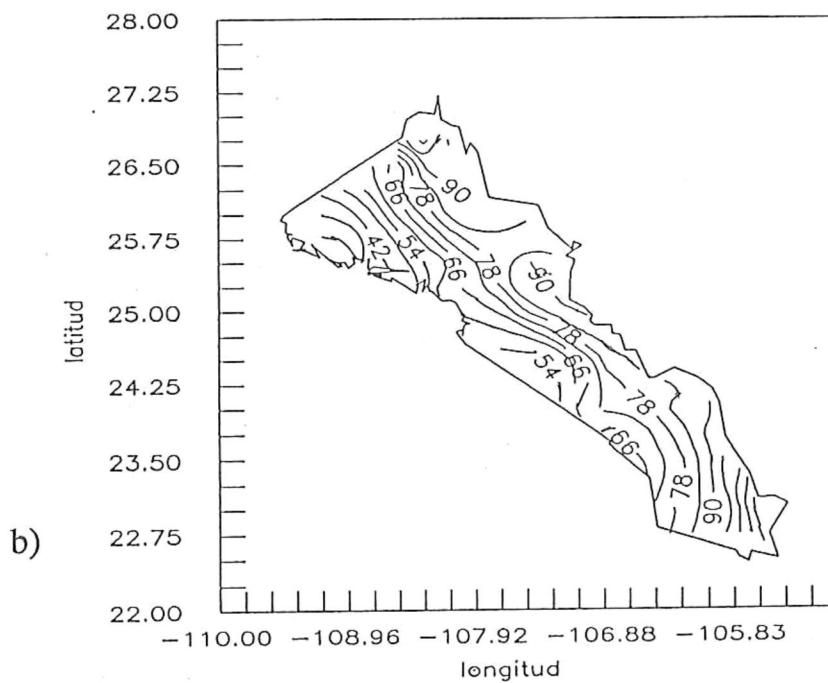
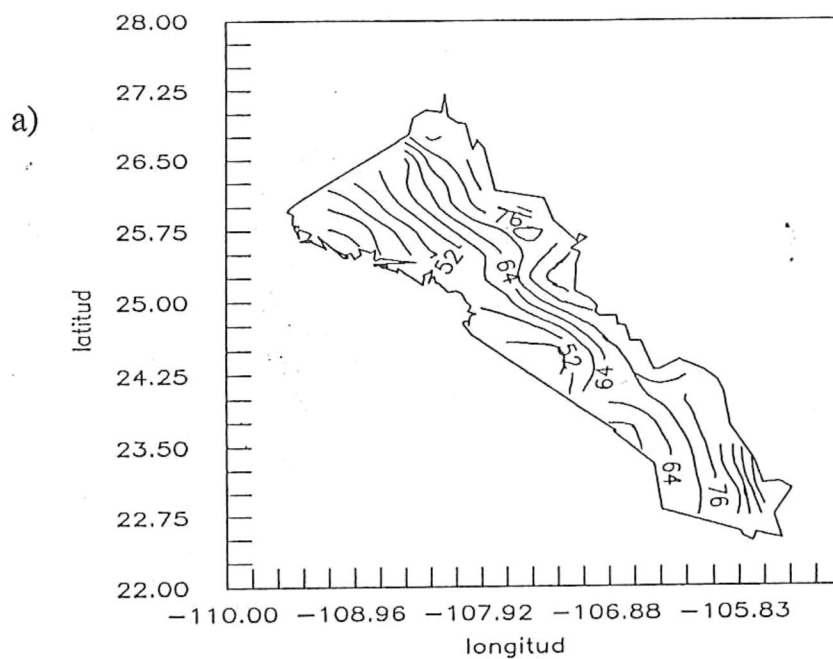


Fig. 19. a) Promedio mensual de precipitación (mm) en Sinaloa  
 b) Desviación estandar de precipitación (mm) en Sinaloa

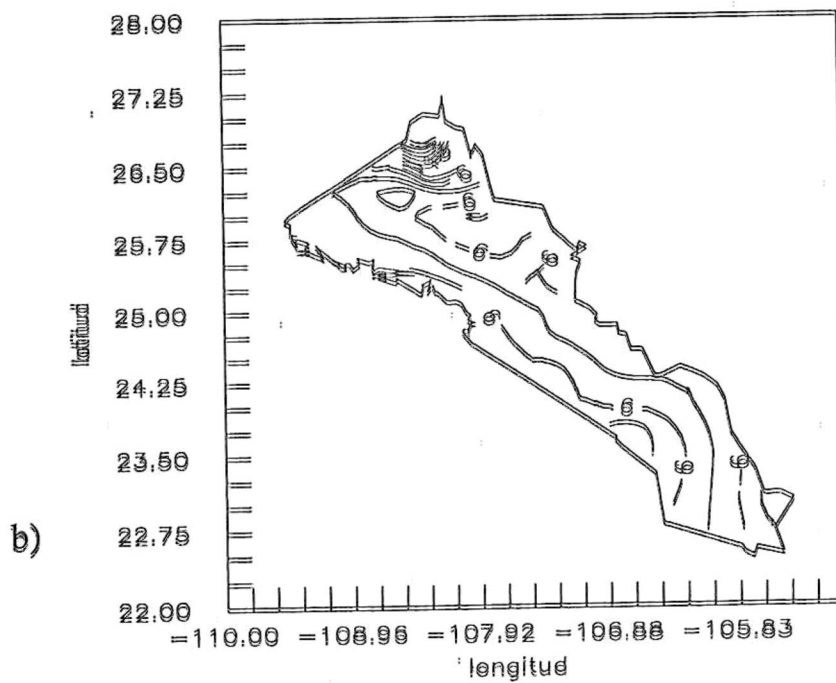
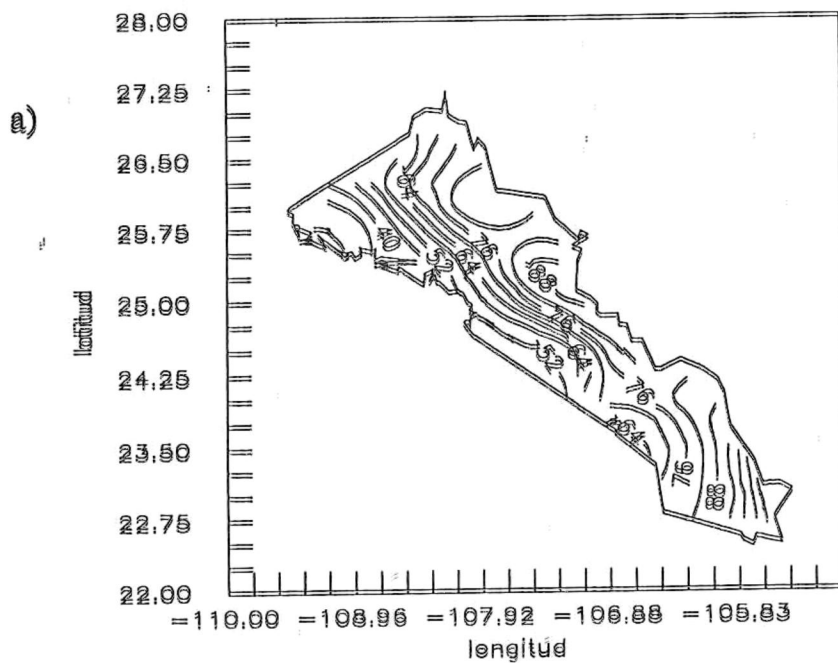


Fig. 20. a) Modo 1 espacial (mm). Sinaloa (93.0 %)  
b) Modo 2 espacial (mm). Sinaloa (3.0 %)

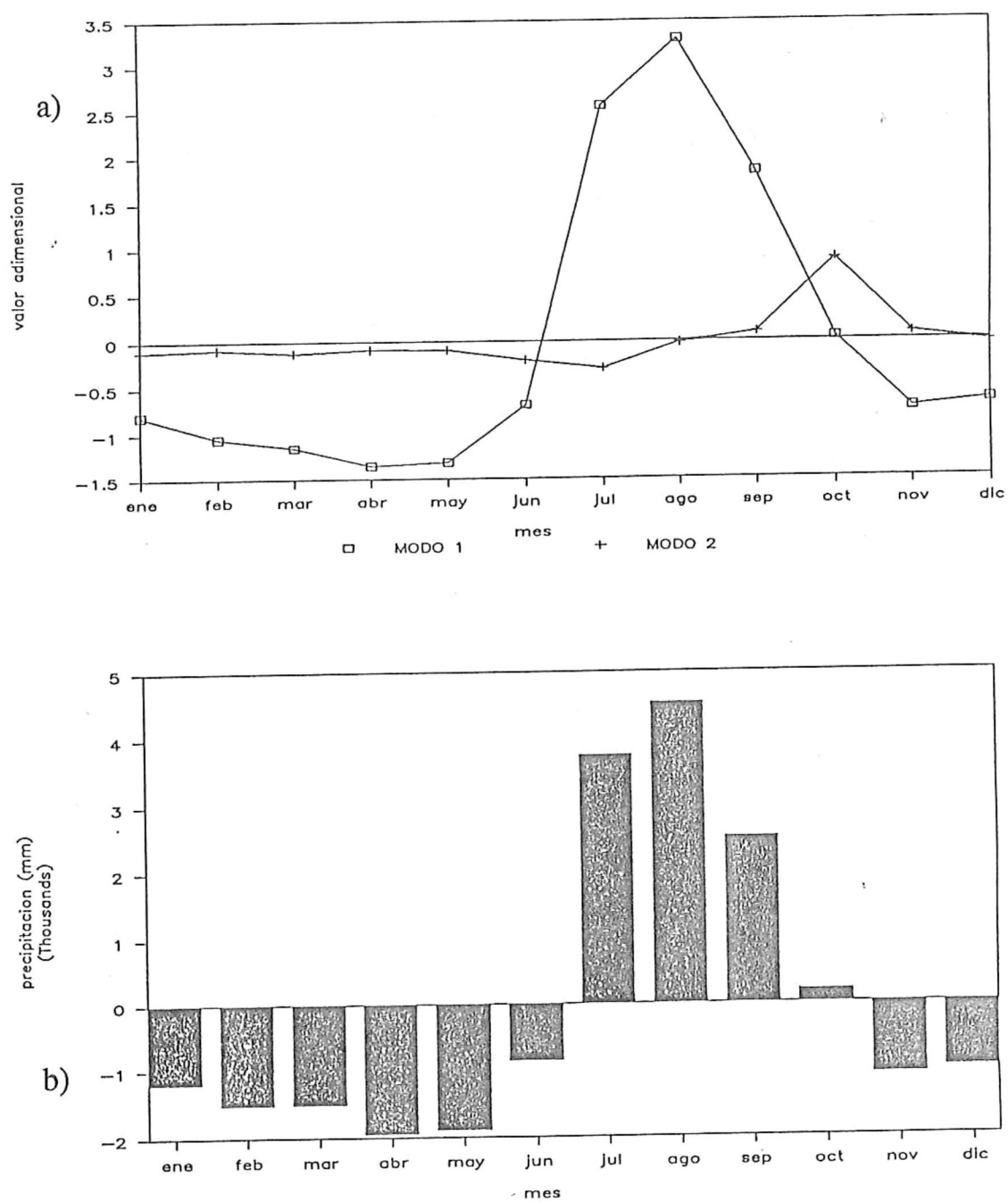


Fig. 21. a) Modo 1 y 2 temporal en Sinaloa  
 b) Histograma de anomalía mensual de lluvia en Sinaloa

los meses de julio a septiembre (Fig.21a ).

La señal del modo dos (Fig.21a) muestra valores positivos de septiembre a octubre, siendo la señal muy débil con tan solo el 3% de variancia, la distribución en espacio (Fig. 20b), muestra la parte positiva del lado del Océano Pacífico hacia la mitad del Estado y en el extremo Noreste.

El histograma de anomalía de precipitación (Fig. 21b), muestra señal positiva de julio a octubre.

## 7. Región Norte (Chihuahua, Sonora, Sinaloa)

### a) Estadística.

El mapa de promedios en la Región Norte (Fig. 22a ) permite ver que los valores más elevados se encuentran al Sur de Sinaloa y en la parte donde los tres Estados de la región se intersectan, se observan promedios de > 70mm de precipitación mensual. El mapa de desviación estandar (Fig.22b ) presenta un comportamiento similar al del promedio.

### b) FEO's.

En el modo uno (Fig.23a) representando el 91% de la variancia, se observan valores altos sobre los límites de los Estados de Sinaloa y Chihuahua, y mínimos al Noroeste del Estado de Sonora y al Noreste de Chihuahua; siendo positiva la señal para los meses de julio a septiembre (Fig.24a).

El modo 2 (Fig.23b ) con el 3.8% de variancia muestra señal positiva de la región central hacia el Este y parte Sur del Estado de Sinaloa. En tiempo (Fig.24a) la señal es positiva durante los meses de junio y septiembre. También la contribución a la señal de lluvia positiva, es dada en julio y diciembre sobre la porción Noroeste de la región.

En la gráfica de anomalía (Fig. 24b), la parte positiva se encuentra del

mes de julio al mes de septiembre.

En la Tabla VII se resume lo más importante de los resultados obtenidos por Estados y Regiones.

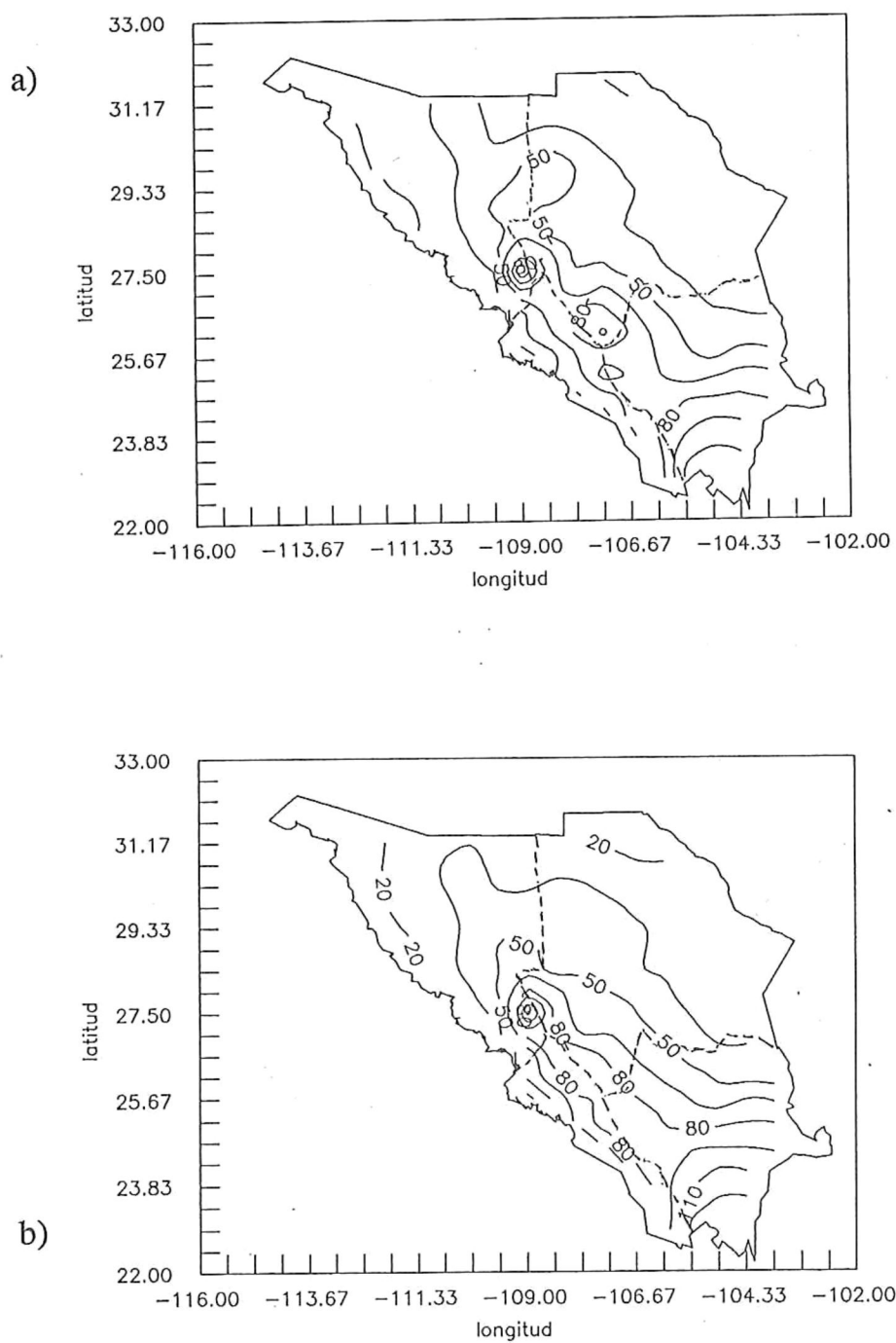


Fig. 22. a) Promedio mensual de precipitación (mm) en Región Norte  
b) Desviación estandar de precipitación (mm) en Región Norte

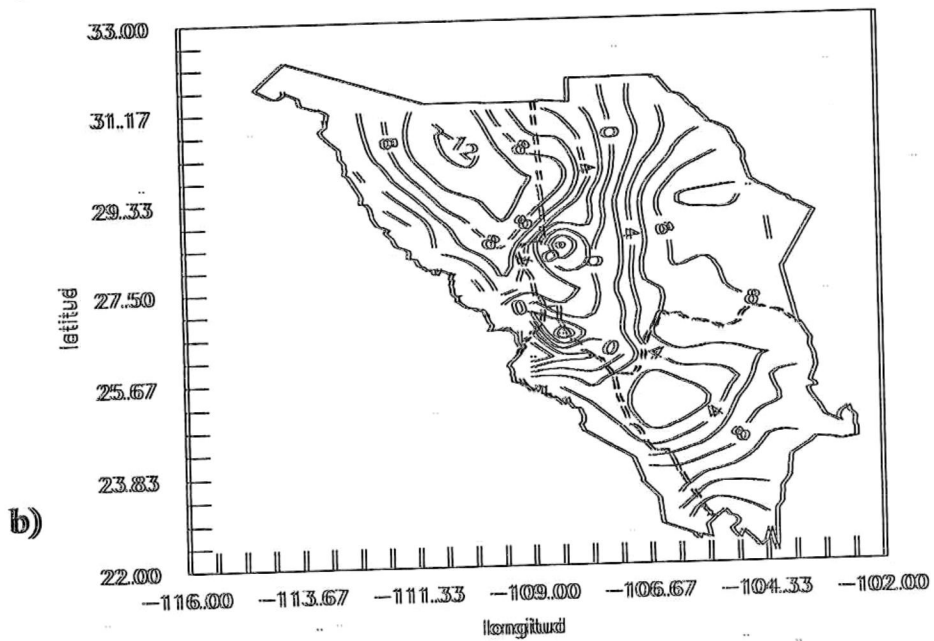
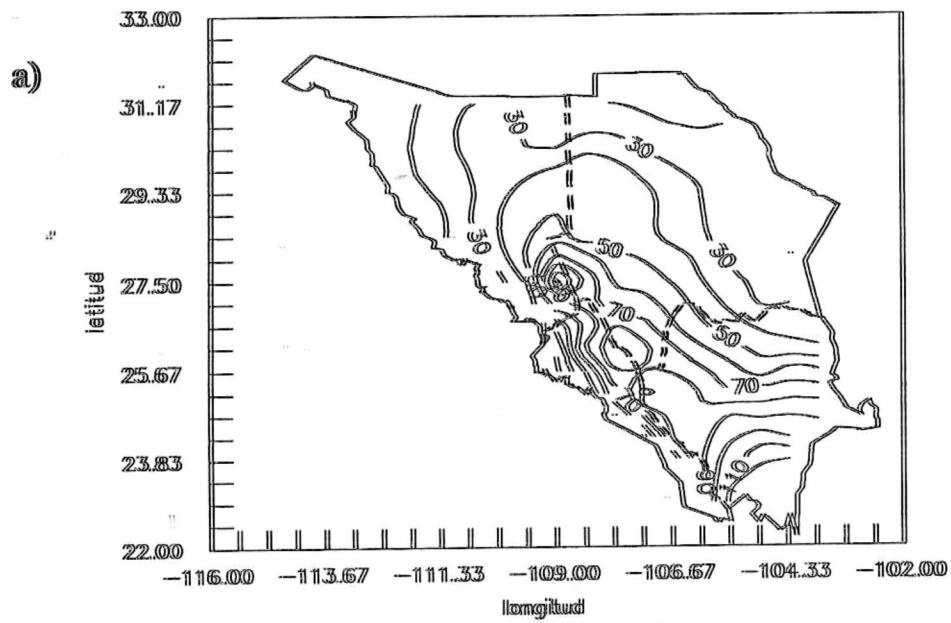


Fig. 23. a) Modo 1 espacial (mm). Región Norte (91.0 %)  
 b) Modo 2 espacial (mm). Región Norte ( 3.8 %)

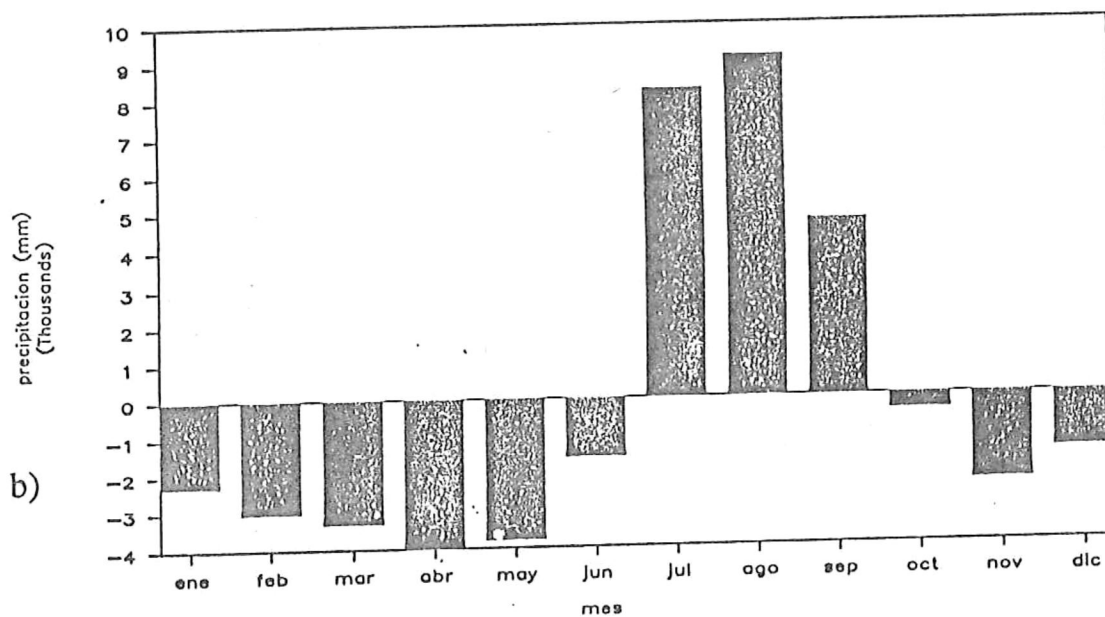
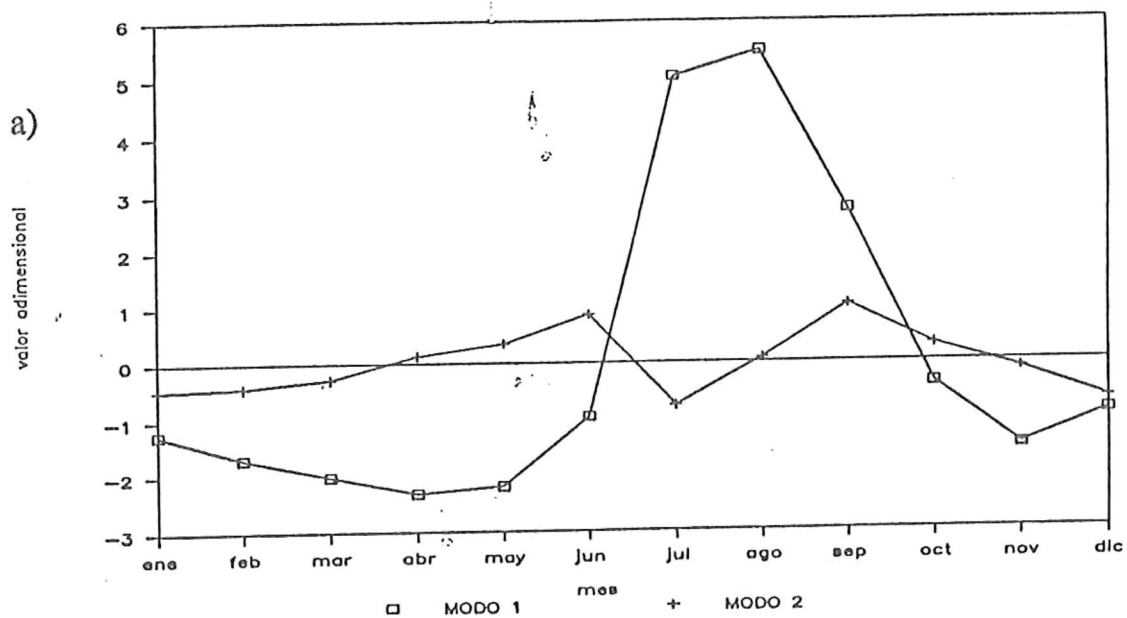


Fig. 24. a) Modo 1 y 2 temporal en Región Norte

b) Histograma de anomalía mensual de lluvia en Región Norte

TABLA VII. Resumen de los resultados obtenidos por Estados y Regiones

ESTADO o REGION	% DE VARIANCIA		SEÑAL POSITIVA REPRESENTATIVA EN ESPACIO Y TIEMPO	
	1er MODO	2o MODO	1er Modo	2o Modo
BAJA CALIFORNIA	68.8	23.5	Zona Noroeste del Estado Diciembre-Marzo	Zona del Litoral del Pacífico Febrero-Abril
BAJA CALIFORNIA SUR	77.3	15.0	Región Central y Sur Dic-Mar, Agos-Sep	Región Noroeste Nov-Feb
REGION PENINSULA	55.8	33.5	Zona Sur de la Península Enero, Agosto-Septiembre	Zona Norte de la Península Noviembre-Marzo
SONORA	93.0	4.2	Zona Este del Estado Julio-Agosto	Vertiente del Golfo de California Agosto-Septiembre
CHIHUHUA	95.0	3.3	Zona Suroeste (Montañas) Julio-Septiembre	Zona Este Marzo y Agosto
SINALOA	93.0	3.0	Todo el Estado Julio-Septiembre	Vertiente del Pacífico Octubre
REGION NORTE	91.0	3.8	Porción Sur y Montañas Julio-Septiembre	Zona Este de la Región Junio y Septiembre

#### IV. DISCUSIONES.

Las discusiones se basan en la interpretación de los resultados obtenidos principalmente por regiones, los resultados por Estados se discuten en algunos casos para reforzar los resultados de las regiones. El análisis de la región de la Península, comprende a los Estados de Baja California y Baja California Sur. El análisis de la región Norte comprende los Estados de Sonora, Chihuahua y Sinaloa.

La región de la Península, presenta los valores más altos de precipitación promedio mensual en las partes Sur y Noroeste; observándose la zona central y Noreste con los valores más bajos de precipitación (Fig. 9a). Los dos primeros modos temporales en su señal positiva (Fig. 11a), presentan dos eventos de lluvia bien definidos durante el año. Uno correspondiendo a la temporada de lluvia de verano e inicios de otoño, afectando la región Sur, y otra temporada de finales de otoño a inicios de primavera, afectando a la zona Noroeste.

El patrón de lluvias de verano e inicios de otoño se asocia con la circulación atmosférica de origen tropical conocida como la circulación monzónica de verano, la cual transporta gran cantidad de humedad proveniente del Océano Pacífico Tropical Oriental (Hales, 1972 y 1974; Reyes y Cadet, 1986 y 1988; y Reyes y Mejia, 1991). La circulación de la atmósfera se desarrolla en la mesoescala y macroescala, generándose perturbaciones de las depresiones tropicales, las cuales son muy activas durante esa época del año (Reyes y Mejia, 1987). El modo uno espacial (Fig. 10a), con el 55.8% de variancia, refleja los fenómenos atmosféricos que se presentan en la zona durante los meses de verano e inicios de otoño, siendo éste régimen el más importante sobre la zona Sur de la Península. Se observa en el primer modo temporal (Fig. 11a), una señal intensa durante

septiembre, cuando la generación de perturbaciones tropicales comienza a relajarse (Alcantara, 1991). Alcantara (1991) menciona que las perturbaciones tropicales en el Pacífico Tropical Oriental, presentan una migración de su fuente de origen hacia el Noroeste a finales de agosto; lo que probablemente esté afectando la zona Sur de la Península a principios de septiembre. Por otra parte, Jáuregui y Cruz (1981) mencionan que las surgencias de humedad, que son originadas por un conglomerado de nubes convectivas que avanza a lo largo del Golfo de California, son un mecanismo importante de fuente de humedad sobre la Región Sur de la Península, es así que, de la generación de perturbaciones tropicales y el origen de conglomerados de nubes convectivas, probablemente estén regulando el campo espacial y temporal de la precipitación de verano sobre la parte Sur de la Península. Al tratar de reconstruir la serie original con la aportación de los primeros modos, se observa que el modo dos espacial (Fig. 10b) y temporal (Fig. 11a) en su parte negativa, al multiplicarla obtenemos una contribución importante de la lluvia de verano (agosto-septiembre) en la zona Sur de la región, con una contribución de alrededor de 40% de lluvia registrada para esos meses y en esa zona; es así que, si el primer modo me representa la lluvia de verano con la contribución del mes de septiembre principalmente, el modo dos en su parte negativa indica agosto como el mes que más contribuye; esto podría estar relacionado con los dos mecanismos de precipitación que se suceden en el verano.

El patrón de lluvias de finales de otoño a inicios de primavera, representado en el modo dos (Fig. 10b) en la señal positiva, con el 33.5% de variancia contenida, muestra que gran parte de la Península esta siendo afectada. El fenómeno que acompaña a esta temporada de lluvia se asocia con las perturbaciones extratropicales de los vientos de Oeste de finales de noviembre a principios de marzo, permitiendo desarrollos convectivos y la formación de masas de aire con bastante humedad (Maddox, et al., 1991). Holton (1979), menciona que la mayor parte de las perturbaciones extratropicales en el Océano Pacífico del Norte se originan al Este del Japón,

sobre la continuación de la corriente de Kuroshio ; así, al parecer éste fenómeno es el causante principal en la generación de lluvia sobre la Península durante este período de tiempo; su presencia es más marcada en el mes de febrero (Fig. 11a), afectando en mayor grado a la zona Noroeste (Fig. 10b).

El análisis sobre la región Norte, permite observar que el principal período de lluvias se presenta durante el verano e inicio de otoño, mostrando los primeros modos de cada Estado, porcentajes de variancia por arriba del 90%. Tomando esto en cuenta, se podría considerar que existiera solamente un fenómeno que regule el campo de precipitación sobre la región; consultando bibliografía relacionada con las posibles fuentes de humedad sobre la parte Noroeste, reflejan la existencia de varios fenómenos océano-atmósfera como posibles fuentes de humedad sobre la región; es así, que se discutirá por Estado tratando de definir cuales son los mecanismos que regulan el campo de precipitación temporal y espacial sobre la región Norte.

Para el Estado de Sonora, Jáuregui y Cruz (1981) mencionan que las surgencias de humedad son las causantes de la lluvia sobre la región de Sonora y Baja California Sur en los meses de julio y agosto principalmente; los autores describen esta perturbación que avanza a lo largo del Golfo de California. Al comparar los valores de precipitación de Sonora con Baja California Sur en los meses de ocurrencia de la lluvia encontramos que los valores de Sonora son en magnitud casi el doble, por lo que hace suponer que éste sistema de surgencias es más importante sobre Sonora ó que existe otra entrada de humedad al Estado. Hales (1972, 1974), muestra evidencia apoyando la idea de que durante el verano un considerable porcentaje de humedad en el Noroeste de México y Arizona tiene su origen en las perturbaciones tropicales y huracanes del Pacífico Oriental, que son canalizados a lo largo del Golfo de California. De los trabajos más recientes sobre el desarrollo de la lluvia en la región, se encuentra a Howard y Maddox

(1988) que usan imágenes de satélite para documentar las tormentas convectivas de mesoescala y la ocurrencia de éstas en la región de interés. Sus estudios demuestran que la convección ocurre más frecuentemente durante julio y agosto sobre la pendiente Oeste de la Sierra Madre Occidental. Lo expresado anteriormente y observando el resultado del método en su parte espacial (Fig. 14a) y temporal (Fig. 15a) con el 93% de variancia, no permite observar cual de los fenómenos causantes de la lluvia este contribuyendo en mayor o menor grado; al parecer estos fenómenos se presentan mezclados actuando en el mismo período de tiempo.

El Estado de Chihuahua, al igual que los dos Estados que conforman la región Norte, presenta un período de lluvias de verano, conteniendo en su primer modo el 95% de variancia. Por lo observado en los modos uno y dos (Fig. 17a y Fig. 17b) de éste Estado, nos sugiere que el gradiente en los contornos esté relacionado con la entrada de flujos de humedad de Este a Oeste, proveniente del Golfo de México principalmente. Reyes, et al., (1992), realiza un análisis espectral de la lluvia total diaria sobre la región Noroeste de México (Sonora, Sinaloa, Durango y Chihuahua), y encuentra que el Estado de Chihuahua tiene una variación periódica distinta a los demás Estados, sugiriendo que el origen de ésta lluvia proviene principalmente del Golfo de México. Varias publicaciones relacionadas con el campo de precipitación en la parte Suroeste de los Estados Unidos de América, mencionan que gran parte de las lluvias presentes en esta zona, están relacionadas con la influencia de humedad proveniente del Golfo de México; ésto refuerza la idea de la existencia de flujos de humedad originados desde el Golfo de México afectando al Estado. Chihuahua presenta lluvia a inicios de junio, diferenciándose de los inicios de lluvia de los demás Estados de la región Norte, que es principalmente en julio.

El Estado de Sinaloa tiene asociado su régimen de lluvias al descrito por Reyes y Cadet (1988), mencionando que la fuente de precipitación que

afecta a la región Noroeste de México, esta relacionado a la existencia de un canal de flujo de humedad a lo largo de los  $100^{\circ}$ - $110^{\circ}$  longitud Oeste, que transporta humedad del Océano Pacífico tropical y estando caracterizado por un gran desarrollo de sistemas convectivos sobre la Sierra Madre Occidental que sirve de barrera topográfica a los flujos de humedad. Al parecer, el Estado de Sinaloa por ser el Estado más cercano a la región tropical y a la zona de generación de perturbaciones tropicales, presenta los valores más altos de lluvia, siendo mayores sobre la zona de la Sierra Madre. En su primer modo con el 93% de variancia (Fig. 21a), presenta el mes de agosto como el mes de mayor lluvia, coincidiendo esto con la máxima generación de tormentas tropicales originadas desde el Océano Pacífico Sur (Alcantara, 1991)

El análisis en su conjunto no distingue los posibles fenómenos atmósfera-océano que afectan a la región Norte, el análisis por Estados unicamente sugiere los fenómenos que controlan el campo de la precipitación, esto, al parecer, a consecuencia de que los mecanismos generadores de la lluvia se presentan en el mismo período de tiempo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de los principales modos de las Funciones Empíricas Ortogonales, sugiere una representación adecuada de la distribución temporal y espacial del campo de precipitación sobre la Región Noroeste de México. Con esto, y consultando lo referente a posibles mecanismos atmosféricos-océánicos que regulen el comportamiento de la lluvia sobre esta región, no se establece claramente un congruente y acertado análisis del desarrollo de la lluvia que afecta al Noroeste mexicano, cuando dos o más fenómenos se presenten en el mismo período de tiempo. El comportamiento temporal y espacial de la precipitación son generalmente consistentes con estudios previos realizados por García y Mosiño (1967), Reyes y Rojo (1985) y Reyes y Cadet (1986).

Dentro del análisis de los datos de lluvia en la Región de la Península se concluye que en la parte Sur el modo 1 espacial y temporal (Fig. 10a y Fig. 11a) y el modo dos temporal y espacial (Fig. 10b y 11a) en su parte negativa, en los meses de agosto y septiembre principalmente, se encuentra afectada por la circulación atmosférica de origen tropical conocida como la circulación monzónica de verano y por las surgencias de humedad provenientes del Golfo de California. Por el contrario, la parte Norte y Centro de la Región en su señal positiva del modo 2 (Fig. 10b y Fig. 11a) se encuentran influenciadas por fenómenos atmosféricos de perturbaciones extratropicales de los vientos del Oeste de las latitudes medias, siendo más intensa su influencia en la porción Noroeste de la Península.

Para la Región Norte podemos concluir que el método FEO's no es capaz de separar los mecanismos atmosférico-océánicos que controlan el campo de lluvia en esa región, por lo que haciendo un análisis por Estados solamente se podrá intuir los mecanismos que regulan el régimen de la precipitación sobre esa zona durante el principal período de lluvias, que es de julio a septiembre (Fig. 24a). En Sonora los mecanismos atmosférico-

océanicos que controlan el régimen de lluvias sobre la zona, al parecer son producto de un sistema convectivo y por la influencia de las perturbaciones tropicales del Pacífico Sur. Sinaloa por ser el Estado más cercano a la zona de generación de las perturbaciones tropicales, está fuertemente influenciado por este sistema. Chihuahua es el Estado en que el origen de la precipitación se podrá deber principalmente a los flujos de humedad provenientes del Golfo de México. Se observó que en las partes de la Sierra Madre Occidental presenta los valores más altos de lluvia y donde posiblemente convergen flujos de humedad del Golfo de México y del Océano Pacífico.

Para tener un mayor conocimiento de la lluvia estacional y su relación con los posibles mecanismos atmosféricos-océánicos que dan origen a esta, se recomienda se lleve a cabo el análisis de las Funciones Empíricas Ortogonales introduciendo más variables climatológicas; esto es, los datos de lluvia acompañado ya sea de datos de temperatura, flujos de vapor ó viento.

Se sugiere se realicen comparaciones de este análisis temporal de lluvia con un análisis anual, en un período de tiempo no menor de 10 años.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Alcantara, G. M. 1991 . Análisis de parametros meteorológicos en el Pacífico Nororiental Tropical, en relación con la genesis de ciclones para el verano de 1979. Tesis de licenciatura. FCM/UABC Ensenada, B.C. pp. 80
- Bailey, P. H. 1966 . Weather of Southern California. University of California Press, Berkeley, California. pp. 87
- García, E. y P. Mosiño. 1967 Los climas de Baja California, Instituto de Geografía de la U.N.A.M. México, D.F. pp 27
- García, J. y S. Reyes. 1985. Promedios mensuales del lugar y tiempo de origen de las perturbaciones tropicales en el Océano Pacífico Oriental. Reporte Técnico. CICESE, México. pp. 23
- Grimmer, M. 1963 . The Space Filtering of Monthly Surface Temperature Data in Terms of Patterns, Using Empirical Orthogonal Functions. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 39, 395-408.
- Hales, J. E. 1972 . Surges of maritime tropical air Northward over the Golf of California . Mon Wea. Rev. 100: 298-306
- Hales, J. E. 1974 . Southwestern United Estates summer monsoon source- Golf of California or Pacific Ocean ?. J. Appl. Meteor. 13: 331-342.
- Hasting, J. y R. Turner. 1965 . Seasonal Regimenes in Baja California, Geografiska Annaler. 47: 203-223
- Holton, J. R. 1979 . An introduction to dynamic meteorology. Academic Press, New York, pp 391.

- Howard, K. y R. Maddox. 1988 . Mexican mesoscale convective systems - A satellite perspective. Preprints, III Interamerican and Mexican Congress of Meteorology, Mexico City. 404- 408.
- Jáuregui, O. y F. Cruz. 1981 . Algunos aspectos del clima de Sonora y Baja California. Equipatas y Surgencias de Humedad. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. Num. 10:143-180
- Kidson, J. W. 1975 . Tropical eigenvector analysis and the Southern Oscillation. Mon. Wea. Rev. 103: 187-196
- Klein, W. H. 1952 . Some empirical characteristics of long waves on monthly mean charts. Mon. Wea. Rev., 103: 187-196
- Maddox, R., M. Douglas y W. Howard. 1991 . Mesoescala Precipitación System over Southwestern Northamerica: A warm Season Overview. Intern. Conf. on Mesoescala Meteor.
- Petterson, S. 1968 . Introducción a la Meteorología. Espasa - Calpe, S.A. Madrid, España. pp. 429
- Ramage, C. S. 1971 . Monsoon Meteorology. Academic Press, New York y Londres: pp 296
- Reyes, S. y A. Mejía. 1987 . Time and space variability of the atmospheric fields of water vapor the Pacific Ocean and the tropical Americas. Technical Report, CICESE Ensenada, B.C. México. pp 200
- Reyes, S. y A. Mejía. 1991 . Tropical perturbation in the eastern Pacific and the precipitation field over northwestern México in relation to the ENSO phenomenon. Int. Journ. of Climatology, 11(5), 515-528.
- Reyes, S. y D. Cadet. 1986 . Atmospheric water vapor and surface patterns over the tropical Americas during May-August 1979. Mon. Wea.

Rev., 114, 582-593

Reyes, S. y D. Cadet. 1988 . The Southwest branch of the Northamerican Monsoon during the summer 1979. Mon. Wea. Rev. 116: 1175-1187

Reyes, S., E. Pavía, J. Candela y R. Troncoso. 1985. Estudio preliminar de las condiciones meteorológicas y climatológicas sobre el Golfo de California. 2 parte: Análisis de viento. Revista de Ciencias Marinas. 10 (2): 7-26

Reyes, S. y P. Rojo. 1985 . Variabilidad de la precipitación en la Península de Baja California. Revista Geofísica. Num.22/23: 111-128

Reyes, S., F. Miranda, y J. García. 1990 . Climatología de la Región Noroeste de México (Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa) . Parte I.- Precipitación: Series de Tiempo del Valor Total Mensual y Estadísticas del año Climatológico. Reporte Técnico # 3 C.I.C.E.S.E., Ensenada, B.C., México, pp. 169

Reyes, S., M. Douglas y R. Maddox. 1992. El monzón del suroeste de Norteamérica. Travason/Swamp. Aceptado a publicación en la revista ATMOSFERA.

Rojo, S. P. 1985 . Variabilidad climática en la Península de Baja California. Tesis de licenciatura. ESCM/UABC Ensenada, B. C. México 22830. pp 63

Stidd, K. Chr. 1966 . The Use of Eigenvector for Climatic Estimates. J. of App. Meteorol., 6, 255-264.

Sumner, G. 1988. Precipitation. Process and Analysis. The Bath Press, Great Britain, pp. 455

Weare, B. C., A. R. Navato y R. E. Newell. 1976 . Empirical orthogonal analysis of Pacific sea surface temperatures. J. Phys. Oceanogr. 6: 671-678

Yudin, M. I. 1966 . Application of natural orthogonal functions to atmospheric dynamics and thermal regime studies. Proc. Symp. Artic Head Budget and Atmospheric Circulation. Memo. RM-5233-NSF, RAND Corporation, Santa Monica, Calif. 345-368

## APÉNDICE I

Autovalores obtenidos para los Estados y Regiones.

<u>Baja California</u>	<u>Baja California Sur</u>	<u>Región Península</u>	<u>Sonora</u>
22.005244	28.620861	38.517988	29.768818
7.530402	5.533848	23.101419	1.353189
0.847847	1.306598	2.450684	0.434747
0.643562	0.586335	1.758700	0.176445
0.314169	0.287133	1.150579	0.163309
0.290090	0.300893	0.965054	0.043264
0.154576	0.203824	0.413406	0.026890
0.119138	0.085248	0.299830	0.017708
0.055970	0.044791	0.241422	0.009136
0.026659	0.027619	0.059403	0.004391
0.012343	0.002851	0.041516	0.002102

<u>Chihuahua</u>	<u>Sinaloa</u>	<u>Región Norte</u>
29.646882	28.832085	85.709898
1.020090	0.945093	3.591307
0.111357	0.650408	2.427824
0.089974	0.230856	1.078148
0.055464	0.146477	0.383073
0.030384	0.111158	0.361377
0.020952	0.039232	0.198388
0.002551	0.032397	0.126419
0.008564	0.008551	0.066936
0.006206	0.002810	0.030486
0.007576	0.000934	0.026144