



Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Programa de Posgrado

**T e s i s**  
**DETERMINACIÓN DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN  
SIGNIFICATIVA USANDO ANÁLISIS DE  
CONGLOMERADOS (CLUSTER ANALYSIS) PARA  
MÉXICO DURANTE LOS ÚLTIMOS 40 AÑOS**

para obtener el grado de  
**Maestría en Ciencias y Tecnología del Agua  
(Hidrología y Meteorología)**  
presenta  
**Juan Carlos Ramos Soto**

Tutor: Dr. Martín José Montero Martínez



**Instituto Mexicano de Tecnología del Agua**

**Programa de Posgrado**

## **Tesis**

**DETERMINACIÓN DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN SIGNIFICATIVA  
USANDO ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS (*CLUSTER ANALYSIS*)  
PARA MÉXICO DURANTE LOS ÚLTIMOS 40 AÑOS**

para obtener el grado de  
**Maestría en Ciencias y Tecnología del Agua  
(Hidrología y Meteorología)**

presenta  
**Juan Carlos Ramos Soto**

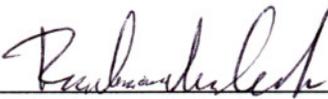
**Tutor: Dr. Martín José Montero Martínez**

Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimoniales de la obra titulada "DETERMINACIÓN DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN SIGNIFICATIVA USANDO ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS (CLUSTER ANALYSIS) PARA MÉXICO DURANTE LOS ÚLTIMOS 40 AÑOS", otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y la divulguen entre su personal, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una contraprestación.

**JUAN CARLOS RAMOS SOTO**

Tiutepec, Morelos, a 25 de enero de 2011

Lugar y fecha



Firma

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo está dedicado a todas las personas que creyeron en mí, mis profesores, amigos y familiares, en especial a grandes amigos como es el Dr. Martín José Montero Martínez que me apoyó incondicionalmente y fue la persona que confió en que podía concluir una maestría, al Dr. Leonardo Traversoni Domínguez por todos los consejos académicos que me ha dado y ha sido una guía tanto personal como profesional, a la Dra. Graciela Herrera Zamarrón por la ayuda que recibí en la elaboración de este trabajo de grado, además de aceptar ser parte de mi grupo tutorial teniendo esa gran trayectoria académica, así como al Dr. José Antonio Salinas Prieto por la contribución en la realización de esta tesis; agradezco también todo el apoyo recibido por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el Consejo Nacional Ciencia y Tecnología (CONACyT) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

También agradezco el gran apoyo que recibí por parte de los compañeros de trabajo de la subgerencia en la que me encuentro colaborando del Servicio Meteorológico Nacional, ya que me brindaron ayuda en algunas actividades laborales con el objetivo de poder concluir la escritura de este trabajo de tesis, en especial al Dr. Ángel Terán Cuevas.

## **INDICE GENERAL**

RESUMEN.....	12
ACRONIMOS Y ABREVIATURAS.....	13
<b>1.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1 LA PRECIPITACIÓN EN MÉXICO.....	14
1.2 EL CICLO HIDROLOGICO Y LA PRECIPITACIÓN.....	17
1.3 PROCESOS DE LA PRECIPITACIÓN.....	18
1.4 FORMAS DE PRECIPITACIÓN.....	19
1.5 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA PRECIPITACIÓN.....	23
1.6 REGISTRO Y MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN MÉXICO.....	23
1.6.1 ESTACIONES DE REGISTRO EN MÉXICO.....	23
1.6.2 INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN.....	25
1.7 JUSTIFICACIÓN.....	29
1.8 HIPÓTESIS.....	30
<b>2.- OBJETIVO.....</b>	<b>31</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	31
2.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	31
<b>3.- MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>32</b>
<b>4.- MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
4.1 MATERIALES.....	34
4.1.1 BASE DE DATOS.....	34

4.1.2 PROGRAMAS COMPUTACIONALES.....	34
4.2 MÉTODO.....	35
4.2.1 GENERALIDADES DE LA METODOLOGÍA.....	35
4.2.2. ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS (CLUSTER ANALYSIS).....	36
4.2.2.1 TÉCNICAS JERÁRQUICAS.....	38
4.2.2.2 TÉCNICAS PARTICIONALES.....	40
4.3 ÁREA DE ESTUDIO Y SELECCIÓN DE DATOS.....	43
4.4 DISEÑO DE ESTUDIO.....	46
4.4.1 SECCIÓN EXPERIMENTAL.....	46
4.5 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN CONGLOMERADOS.....	48
<b>5.- RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>50</b>
5.1 RESULTADOS GENERALES.....	50
5.2 DISCUSIÓN GENERAL.....	50
5.2.1 DISCUSIÓN ENERO.....	51
5.2.2 DISCUSIÓN ABRIL.....	52
5.2.1 DISCUSIÓN JULIO.....	52
5.2.1 DISCUSIÓN OCTUBRE.....	53
<b>6.- CONCLUSIONES, TRABAJOS FUTUROS Y RELEVANCIA.....</b>	<b>54</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	54
6.2 TRABAJOS FUTUROS.....	55
6.3 RELEVANCIA.....	56
<b>7.- REFERENCIAS.....</b>	<b>57</b>

<b>8.- ANEXO</b> .....	60
8.1 RESULTADOS DE ANÁLISIS ENERO.....	60
8.1.1 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ENERO 1961-2000.....	60
8.1.2 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ENERO DE 1961-1970.....	63
8.1.3 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ENERO DE 1971-1980.....	66
8.1.4 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ENERO DE 1981-1990.....	69
8.1.5 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ENERO DE 1991-2000.....	72
8.1.6 HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA ABSOLUTA Y RELATIVA DE CONGLOMERADOS ENERO 1961-2000.....	75
8.2 RESULTADOS DE ANÁLISIS ABRIL.....	77
8.2.1 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ABRIL 1961-2000.....	77
8.2.2 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ABRIL DE 1961-1970.....	80
8.2.3 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ABRIL DE 1971-1980.....	83
8.2.4 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ABRIL DE 1981-1990.....	86
8.2.5 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ABRIL DE 1991-2000.....	89
8.2.6 HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA ABSOLUTA Y RELATIVA DE CONGLOMERADOS ABRIL 1961-2000.....	92
8.3 RESULTADOS DE ANÁLISIS JULIO.....	94
8.3.1 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE JULIO 1961-2000.....	94
8.3.2 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE JULIO DE 1961-1970.....	97
8.3.3 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE JULIO DE 1971-1980.....	100

8.3.4 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE JULIO DE 1981-1990.....	103
8.3.5 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE JULIO DE 1991-2000.....	106
8.3.6 HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA ABSOLUTA Y RELATIVA DE CONGLOMERADOS JULIO 1961-2000.....	109
8.4 RESULTADOS DE ANÁLISIS OCTUBRE.....	111
8.4.1 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE OCTUBRE 1961-2000.....	111
8.4.2 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE OCTUBRE DE 1961-1970.....	114
8.4.3 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE OCTUBRE DE 1971-1980.....	117
8.4.4 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE OCTUBRE DE 1981-1990.....	120
8.4.5 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE OCTUBRE DE 1991-2000.....	123
8.4.6 HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA ABSOLUTA Y RELATIVA DE CONGLOMERADOS OCTUBRE 1961-2000.....	126

## **INDICE DE FIGURAS Y TABLAS**

### **FIGURAS**

Fig. 1.1.a Climatología de la precipitación acumulada mensual en México (1950-2008).....	16
Fig. 1.1.b. Climatología de la precipitación en México (1950-2008).....	16
Fig. 1.2.a. Distribución de la precipitación en México dentro del ciclo hidrológico.....	18
Fig. 1.4.a. Precipitación orográfica.....	20
Fig. 1.4.b Precipitación convectiva.....	21
Fig. 1.4.c Esquema de un frente frío.....	22
Fig. 1.4.d. Esquema de un frente cálido.....	22
Fig. 1.6.1.a Distribución de las 5900 estaciones de CLICOM.....	24
Fig. 1.6.1.b Inconsistencia espacial y número de registros actual de estaciones .....	24
Fig. 1.6.1.c Cantidad de registros de datos de precipitación (1950-2008).....	25
Fig. 1.6.2.a Pluviómetro convencional.....	27
Fig. 1.6.2.b Pluviógrafos.....	27
Fig. 4.2.a Etapas de análisis de conglomerados.....	37
Fig. 4.3.a Área de estudio.....	44
Fig. 4.3.b Climatología de precipitación 1961-2000.....	45
Fig. 4.4.1.a Diagrama de flujo del proceso de obtención de conglomerados.....	49
Fig. 8.1.1.a Climatología de precipitación enero 1961-2000.....	60
Fig. 8.1.1.b Promedio de conglomerados enero1961-2000.....	61
Fig. 8.1.1.c Histograma de frecuencia absoluta promedio enero 1961-2000.....	61
Fig. 8.1.1.d Histograma de frecuencia relativa promedio enero 1961-2000.....	61
Fig. 8.1.1.e Moda de conglomerados enero1961-2000.....	62
Fig. 8.1.1.f Histograma de frecuencia absoluta moda enero 1961-2000.....	62
Fig. 8.1.1.g Histograma de frecuencia relativa moda enero 1961-2000.....	62
Fig. 8.1.2.a Precipitación promedio enero 1961-1970.....	63
Fig. 8.1.2.b Conglomerados enero 1961 → Fig. 8.1.2.k Conglomerados enero 1970 .....	63

Fig. 8.1.3.a Precipitación promedio enero 1971-1980.....	66
Fig. 8.1.3.b Conglomerados enero 1971 → Fig. 8.1.3.k Conglomerados enero 1980 .....	66
Fig. 8.1.4.a Precipitación promedio enero 1981-1990.....	69
Fig. 8.1.4.b Conglomerados enero 1981 → Fig. 8.1.4.k Conglomerados enero 1990.....	69
Fig. 8.1.5.a Precipitación promedio enero 1991-2000.....	72
Fig. 8.1.5.b Conglomerados enero 1991 → Fig. 8.1.5.k Conglomerados enero 2000.....	72
Fig. 8.1.6.a Histograma de frecuencia absoluta, cluster 1, enero 1961-2000.....	75
Fig. 8.1.6.b Histograma de frecuencia absoluta, cluster 2, enero 1961-2000.....	75
Fig. 8.1.6.c Histograma de frecuencia absoluta, cluster 3, enero 1961-2000.....	75
Fig. 8.1.6.d Histograma de frecuencia relativa, cluster 1, enero 1961-2000.....	76
Fig. 8.1.6.e Histograma de frecuencia relativa, cluster 2, enero 1961-2000.....	76
Fig. 8.1.6.f Histograma de frecuencia relativa, cluster 3, enero 1961-2000.....	76
Fig. 8.2.1.a Climatología de precipitación abril 1961-2000.....	77
Fig. 8.2.1.b Promedio de conglomerados abril 1961-2000.....	78
Fig. 8.2.1.c Histograma de frecuencia absoluta promedio abril 1961-2000.....	78
Fig. 8.2.1.d Histograma de frecuencia relativa promedio abril 1961-2000.....	78
Fig. 8.2.1.e Moda de conglomerados abril 1961-2000.....	79
Fig. 8.2.1.f Histograma de frecuencia absoluta moda abril 1961-2000.....	79
Fig. 8.2.1.g Histograma de frecuencia relativa moda abril 1961-2000.....	79
Fig. 8.2.2.a Precipitación promedio abril 1961-1970.....	80
Fig. 8.2.2.b Conglomerados abril 1961 → Fig. 8.2.2.k Conglomerados abril 1970.....	80
Fig. 8.2.3.a Precipitación promedio abril 1971-1980.....	83
Fig. 8.2.3.b Conglomerados abril 1971 → Fig. 8.2.3.k Conglomerados abril 1980.....	83
Fig. 8.2.4.a Precipitación promedio abril 1981-1990.....	86
Fig. 8.2.4.b Conglomerados abril 1981 → Fig. 8.2.4.k Conglomerados abril 1990.....	86
Fig. 8.2.5.a Precipitación promedio abril 1991-2000.....	89
Fig. 8.2.5.b Conglomerados abril 1991 → Fig. 8.2.5.k Conglomerados abril 2000.....	89
Fig. 8.2.6.a Histograma de frecuencia absoluta, cluster 1, abril 1961-2000.....	92
Fig. 8.2.6.b Histograma de frecuencia absoluta, cluster 2, abril 1961-2000.....	92

Fig. 8.2.6.c	Histograma de frecuencia absoluta, cluster 3, abril 1961-2000.....	92
Fig. 8.2.6.d	Histograma de frecuencia relativa, cluster 1, abril 1961-2000.....	93
Fig. 8.2.6.e	Histograma de frecuencia relativa, cluster 2, abril 1961-2000.....	93
Fig. 8.2.6.f	Histograma de frecuencia relativa, cluster 3, abril 1961-2000.....	93
Fig. 8.3.1.a	Climatología de precipitación julio 1961-2000.....	94
Fig. 8.3.1.b	Promedio de conglomerados julio 1961-2000.....	95
Fig. 8.3.1.c	Histograma de frecuencia absoluta promedio julio 1961-2000.....	95
Fig. 8.3.1.d	Histograma de frecuencia relativa promedio julio 1961-2000.....	95
Fig. 8.3.1.e	Moda de conglomerados julio 1961-2000.....	96
Fig. 8.3.1.f	Histograma de frecuencia absoluta moda julio 1961-2000.....	96
Fig. 8.3.1.g	Histograma de frecuencia relativa moda julio 1961-2000.....	96
Fig. 8.3.2.a	Precipitación promedio julio 1961-1970.....	97
Fig. 8.3.2.b	Conglomerados julio 1961 → Fig. 8.3.2.k Conglomerados julio 1970.....	97
Fig. 8.3.2.a	Precipitación promedio julio 1971-1980.....	100
Fig. 8.3.3.b	Conglomerados julio 1971 → Fig. 8.3.3.k Conglomerados julio 1980.....	100
Fig. 8.3.4.a	Precipitación Promedio Julio 1981-1990.....	103
Fig. 8.3.4.b	Conglomerados Julio 1981 → Fig. 8.3.4.k Conglomerados Julio 1990.....	103
Fig. 8.3.5.a	Precipitación promedio julio 1991-2000.....	106
Fig. 8.3.5.b	Conglomerados julio 1991 → Fig. 8.3.5.k Conglomerados julio 2000.....	106
Fig. 8.3.6.a	Histograma de frecuencia absoluta, cluster 1, julio 1961-2000.....	109
Fig. 8.3.6.b	Histograma de frecuencia absoluta, cluster 2, julio 1961-2000.....	109
Fig. 8.3.6.c	Histograma de frecuencia absoluta, cluster 3, julio 1961-2000.....	109
Fig. 8.3.6.d	Histograma de frecuencia relativa, cluster 1, julio 1961-2000.....	110
Fig. 8.3.6.e	Histograma de frecuencia relativa, cluster 2, julio 1961-2000.....	110
Fig. 8.3.6.f	Histograma de frecuencia relativa, cluster 3, julio 1961-2000.....	110
Fig. 8.4.1.a	Climatología de precipitación octubre 1961-2000.....	111
Fig. 8.4.1.b	Promedio de conglomerados octubre 1961-2000.....	112
Fig. 8.4.1.c	Histograma de frecuencia absoluta promedio octubre 1961-2000.....	112
Fig. 8.4.1.d	Histograma de frecuencia relativa octubre julio 1961-2000.....	112

Fig. 8.4.1.e	Moda de conglomerados octubre 1961-2000.....	113	
Fig. 8.4.1.f	Histograma de frecuencia absoluta moda octubre 1961-2000.....	113	
Fig. 8.4.1.g	Histograma de frecuencia relativa moda octubre 1961-2000.....	113	
Fig. 8.4.2.a	Precipitación promedio octubre 1961-1970.....	114	
Fig. 8.4.2.b	Conglomerados octubre 1961 → Fig. 8.4.2.k	Conglomerados octubre 1970.....	114
Fig. 8.4.3.a	Precipitación promedio octubre 1971-1980.....	117	
Fig. 8.4.3.b	Conglomerados octubre 1971 → Fig. 8.4.3.k	Conglomerados octubre 1980.....	117
Fig. 8.4.4.a	Precipitación promedio octubre 1981-1990.....	120	
Fig. 8.4.4.b	Conglomerados octubre 1981 → Fig. 8.4.4.k	Conglomerados octubre 1990.....	120
Fig. 8.4.5.a	Precipitación promedio octubre 1991-2000.....	123	
Fig. 8.4.5.b	Conglomerados octubre 1991 → Fig. 8.4.5.k	Conglomerados octubre 2000.....	123
Fig. 8.4.6.a	Histograma de frecuencia absoluta, cluster 1, octubre 1961-2000.....	126	
Fig. 8.4.6.b	Histograma de frecuencia absoluta, cluster 2, octubre 1961-2000.....	126	
Fig. 8.4.6.c	Histograma de frecuencia absoluta, cluster 3, octubre 1961-2000.....	126	
Fig. 8.4.6.d	Histograma de frecuencia relativa, cluster 1, octubre 1961-2000.....	127	
Fig. 8.4.6.e	Histograma de frecuencia relativa, cluster 2, octubre 1961-2000.....	127	
Fig. 8.4.6.f	Histograma de frecuencia relativa, cluster 3, octubre 1961-2000.....	127	

## TABLAS

Tabla 1.6.2.T.a	Formas de medir y estimar la precipitación.....	26
Tabla 1.6.2.T.b	Instituciones responsables de las EMA's .....	28

## RESUMEN

En este trabajo, se presenta la determinación de eventos significativos de precipitación desde el año 1961 al 2000 para los meses de enero, abril, julio y octubre en una área del sureste de México que se encuentra dentro de la Zona Intertropical de Convergencia (ZICT), se puede entender a estos eventos como patrones de precipitación, estos patrones pueden ocurrir en pequeña o gran escala y pueden identificar tormentas muy características y recurrentes del área. Para la identificación de estos patrones se usó un método del análisis multivariante llamado Análisis de Conglomerados (Cluster Analysis). Con este método se pueden identificar grupos (patrones) que tienen similitud, así como su distribución espacial y temporal. Se experimentó con varios métodos y métricas de similitud como lo son: Manhattan y Euclidiana que se utilizan en los métodos jerárquicos y de *particionamiento alrededor de los mediodes* (PAM) en los métodos que no son jerárquicos o llamados de *particionamiento*. Para este caso de estudio se tomó el método **PAM**; que para la solución de este problema fue el que mejores resultados arrojó. Se realizó una consideración para la simplificación del problema: se despreció la curvatura de la Tierra. Los resultados obtenidos muestran que los patrones de precipitación encontrados son heterogéneos y no recurrentes para los meses de julio y octubre debido a la influencia de sistemas meteorológicos tropicales, pero para enero y abril e incluso con presencia de sistemas invernales, los patrones encontrados fueron más homogéneos y recurrentes en algunas zonas. Las variaciones de los patrones encontrados, también pueden deberse a otras causas de variación climática.

Para este trabajo se utilizó el programa “R” 2.4.1, una base de datos de precipitación llamada MAYA proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional y una computadora personal.

**Palabras clave:** Análisis de Conglomerados, Patrones de Precipitación, Método “PAM”, MAYA, “R” 2.4.1, Computadora Personal.

## **ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS**

**ASCCI:** Código Americano Estandarizado para Intercambio de Información

**BDCN:** Base de Datos Climatológica Nacional

**CEAG:** Comisión estatal de Agua de Guanajuato

**CLICOM:** Climatología Computarizada

**CONACYT:** Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

**CONAGUA:** Comisión Nacional del Agua

**GOES:** Geostationary Operational Environmental Satellite

**IMTA:** Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

**NOAA-NESDIS:** National Oceanic Atmospheric Administration- National Environmental  
Satellite, Data, and Information Service

**OCGN:** Organismo de Cuenca Golfo Norte

**OCLSP:** Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico

**OCRB:** Organismo de Cuenca Río Bravo

**OCVM:** Organismo de Cuenca del Valle de México

**OMM:** Organización Meteorológica Mundial

**PAM:** Particionamiento Alrededor de los Medoides

**PC Guerrero:** Protección Civil Guerrero

**SIG:** Sistemas de Información Geográfica

**SMN:** Servicio Meteorológico Nacional

**SSP CHIAPAS:** Secretaría de Seguridad Pública de Chiapas

**ZCIT:** Zona de Convergencia Intertropical

## 1.- INTRODUCCIÓN

En el contexto global el agua dulce, producto de la precipitación, es un recurso de gran importancia para la vida humana, el desarrollo productivo, el progreso económico, entre otros aspectos no menos importantes. Este vital líquido es un cimiento de sustentabilidad tanto económica como social de una nación, considerándose en algunos casos un elemento estratégico y hasta de seguridad nacional.

La precipitación es una variable muy importante que caracteriza el clima de un lugar o región. Esta variable es de gran interés en diferentes disciplinas como la meteorología, la hidrología, así como en cualquier área relacionada con el medio ambiente. Esto se debe a la información que se obtiene de ella como por ejemplo: intensidad, duración, distribución espacial y temporal, entre otra información, por lo anterior es que es necesario e importante seguir estudiándola desde otras perspectivas y objetivos.

### 1.1 LA PRECIPITACIÓN EN MEXICO

La República Mexicana por su localización geográfica, es afectada por sistemas meteorológicos de latitudes medias durante el invierno y por sistemas tropicales en el verano (Magaña et al.1999). Debido a la gran extensión territorial y complejidad topográfica que tiene México, éste presentan una gran variedad de climas, que van desde los áridos a los subhúmedos y húmedos y son producto de la precipitación y la temperatura; sin embargo, en este trabajo el principal interés es la precipitación.

En México en el invierno se presentan eventos meteorológicos importantes debido a sistemas invernales, como frentes fríos, y éstos dejan precipitaciones importantes, principalmente sobre el norte y centro del país. Pero las precipitaciones más intensas ocurren en verano y espacialmente son más significativas en el sur y centro del país aunque también se tienen precipitaciones en esta época del año en el norte del país. En general se puede decir que la temporada de precipitación alta en México comienza entre mayo y junio terminando entre septiembre y octubre (**Fig. 1.1.a**), esta precipitación de verano está asociada a una mayor variedad de sistemas meteorológicos entre los que destacan:

- i. La Zona Inter-Tropical de Convergencia (ZCIT),
- ii. El Monzón mexicano,
- iii. Las ondas del este y
- iv. Los huracanes en el Pacífico, el Caribe y el Golfo de México.

Por el hecho de presentarse precipitaciones durante el verano en la mayor parte del país y tener condiciones mayormente secas durante el invierno, se habla de que México tiene un clima monzónico (Magaña et al.1999). El mapa de la climatología de la precipitación se muestra en la (**Fig. 1.1.b**).

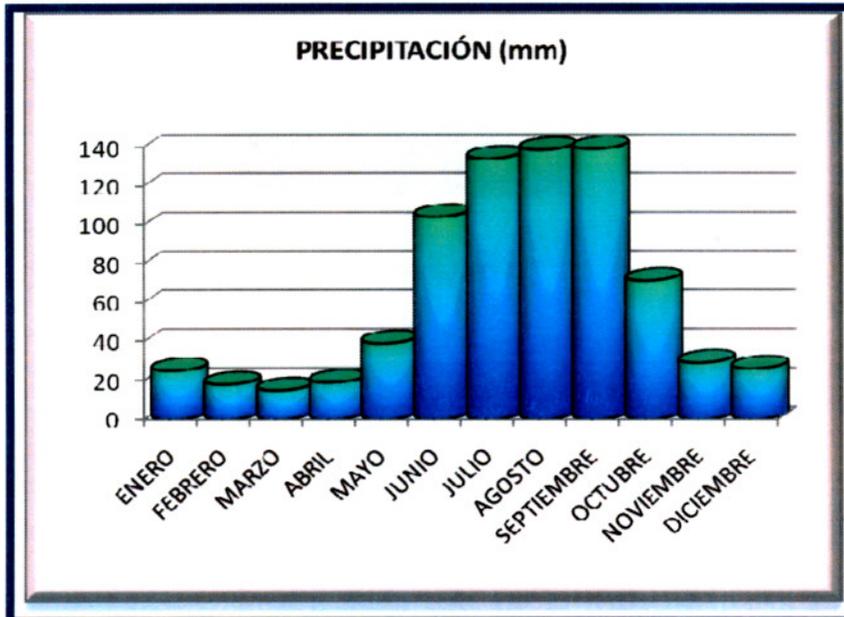


Figura 1.1.a Climatología de la precipitación acumulada mensual en México (1950-2008)

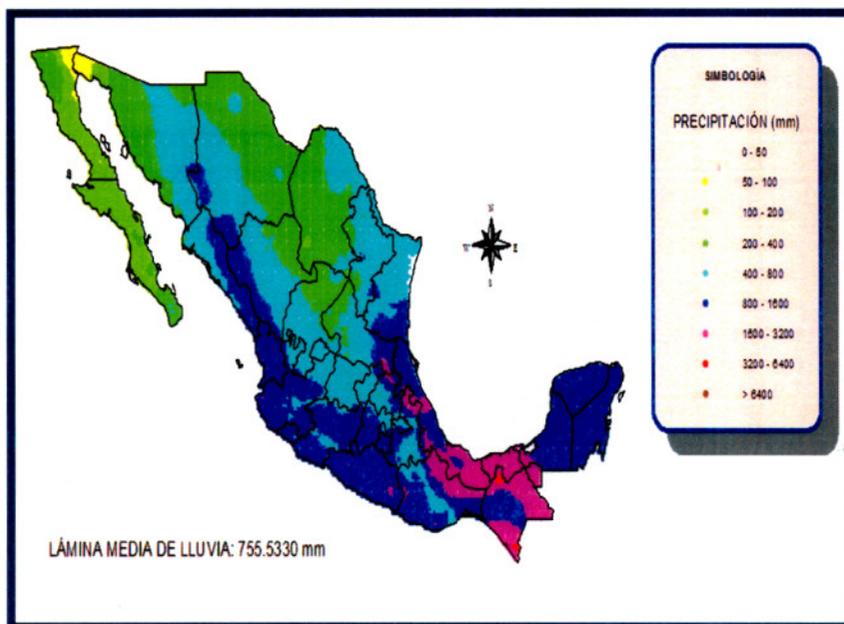


Figura 1.1.b. Climatología de la precipitación en México (1950-2008)

## 1.2 EL CICLO HIDROLÓGICO Y LA PRECIPITACIÓN

La precipitación es una componente principal del ciclo hidrológico y es responsable de depositar la mayor parte del agua dulce en el planeta. Aproximadamente 505000 km<sup>3</sup> de agua caen como precipitación cada año, y de ellos 398000 km<sup>3</sup> caen sobre los océanos (CONAGUA, Estadísticas del Agua 2008). Dada el área superficial de la Tierra, eso significa que la precipitación anual promediada globalmente es más o menos de 1 m y la precipitación anual media sobre los océanos de 1.1 m. La precipitación al momento de depositarse sobre zonas continentales se distribuye de tal manera que una parte escurre formando pequeños arroyos, grandes ríos, lagos, lagunas, manglares, humedales y embalses hasta que se evapotranspira o vuelve a llegar al mar a través de los cauces y en el trayecto o al llegar al mar se evapora; otra parte se infiltra en zonas de suelos porosos, después se percola en zonas con fracturamiento geológico recargando los acuíferos donde luego esta agua es bombeada o emana a la superficie de manera natural por algún manantial para ser aprovechada o regresar a los cauces superficiales para continuar con el ciclo hidrológico.

Se estima que en México anualmente en lo que respecta al ciclo hidrológico se reciben del orden de 1489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación (**Fig.1.2.a**). De esta agua, se estima que 1090km<sup>3</sup>/año (73.2%) se evapotranspira y regresa a la atmósfera, 329km<sup>3</sup>/año (22.1%) escurre por los ríos y arroyos y 70 km<sup>3</sup>/año (4.7%) restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos (CONAGUA, Estadísticas del Agua 2010).

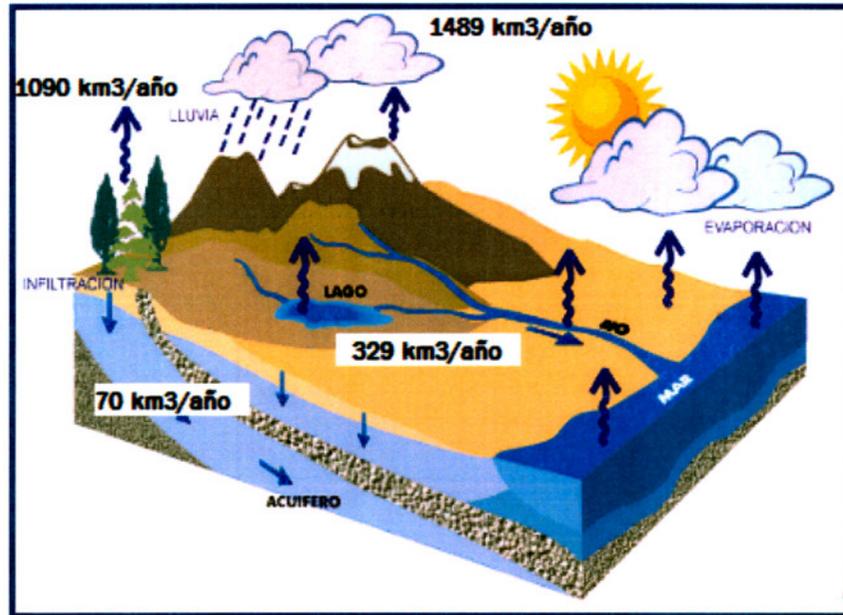


Figura 1.2.a. Distribución de la precipitación en México dentro del ciclo hidrológico

### 1.3 PROCESOS DE LA PRECIPITACIÓN

La precipitación juega un rol muy importante dentro de los procesos atmosféricos, ya que en esta fase del proceso el agua existente en las nubes precipita con ayuda de diferentes mecanismos. La precipitación se presenta cuando una masa de aire húmedo se enfría lo suficiente para que se sature, y con ayuda de partículas en suspensión llamados aerosoles, hacen que esas pequeñas gotas de agua existentes en las nubes, se conviertan en núcleos de condensación y estos núcleos comienzan el proceso de coalición coalescencia donde en este proceso las pequeñas gotas de agua comienzan a incrementar su tamaño. Los aerosoles son de gran importancia en este proceso de precipitación debido a que estos pueden tanto generar precipitaciones como inhibirlas, éstos aerosoles son producidos tanto de manera natural como antropogénica. La precipitación puede presentarse tanto en fase líquida (lluvia), como sólida (granizo o nieve), llamando en este trabajo precipitación a la lluvia.

En la naturaleza existe el mecanismo de precipitación más importante que es el enfriamiento, este ocurre cuando una parcela de aire asciende; cuando esta parcela de aire es forzada a elevarse, la presión atmosférica se modifica decreciendo, por lo que la parcela de aire se expande y se enfría logrando que no se pueda contener el vapor de agua ocurriendo una saturación y por consiguiente una condensación.

Siendo el mecanismo principal la causa de la ascensión de las parcelas de aire y su condensación, vemos que existen diferentes condiciones meteorológicas para que se pueda producir ese mecanismo lográndose precipitaciones de tipo (1) Orográfica, (2) Convectiva y (3) Ciclónicas (Campos D., 1987).

#### **1.4 FORMAS DE PRECIPITACIÓN**

La precipitación orográfica se forma cuando el aire se eleva y se enfría a causa de un obstáculo orográfico. Es dudoso que una gran cantidad de precipitación se produzca solamente por el efecto orográfico, si bien es un factor importante en la activación de los procesos de precipitación y en la intensificación de la lluvia en las vertientes a barlovento, y por tanto afecta a su distribución espacial. Además de forzar el ascenso de aire húmedo, las barreras de aire obstaculizan el paso de aire de baja presión y de los frentes, contribuyen a la convección debida a un calentamiento diferencial a lo largo de las laderas, e indirectamente enfrían los vientos por contacto con las cumbres frías y capas de nieve (Elias F. y Castellvi F., 2001). En la **Fig. 1.4.a** se muestra el mecanismo para la generación de una precipitación orográfica.

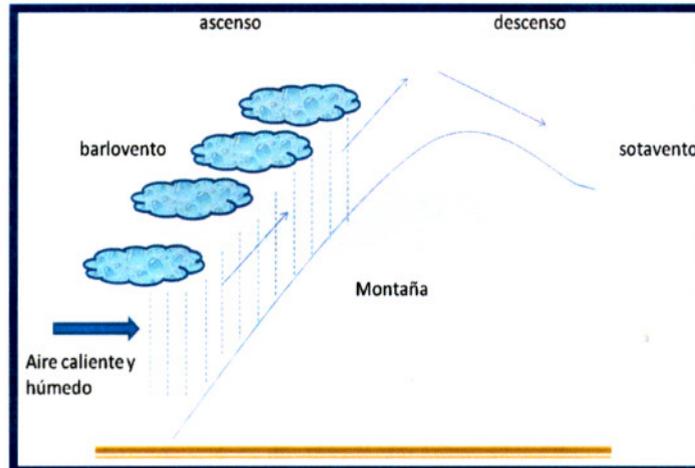


Figura 1.4.a. Precipitación orográfica

La precipitación convectiva resulta por un calentamiento del aire en la superficie terrestre, con la consiguiente expansión y disminución de su densidad. El ascenso convectivo que tiene lugar convierte al aire húmedo y caliente en inestable, desarrollándose corrientes verticales pronunciadas. El enfriamiento dinámico o adiabático que se produce causa la condensación y la precipitación. Las formas asociadas a la precipitación convectiva son generalmente del tipo chubascos de lluvia, nieve o granizo. Las parcelas tormentosas se desarrollan a partir de movimientos verticales de aire asociados a un calentamiento superficial intenso a efectos orográficos, diferenciándose claramente tres estados a lo largo de su desarrollo, el estado de cúmulo, de madurez y disipativo (Elias F. y Castellvi F., 2001). En la **Fig. 1.4.b** se muestra el mecanismo para la generación de una precipitación convectiva.

El estado de cúmulo, con una duración de 10-15 min, se caracteriza por la existencia de fuertes velocidades ascendentes de hasta 60km/h, junto con arrastre horizontal de aire que proporciona una humedad adicional a la parcela, siendo este elemento importante en el desarrollo de la tormenta. Estos procesos dan lugar a una condensación cada vez mayor y al desarrollo de gotitas de agua y cristales de hielo que, en estado de madurez de la célula, son suficientemente grandes

en tamaño y número para que se produzca la precipitación a nivel de superficie. A medida que las gotitas de hielo se enfrían en el aire inferior, se crean fuertes velocidades descendentes, alrededor de 30km/h por encima de los 1500 metros de altitud que en los niveles inferiores dan lugar a rachas de viento superficial que escapa de la zona de precipitación intensa. El estado disipativo final aparece cuando las velocidades descendentes se convierten en predominantes y todo el aire dentro de la célula se calienta dinámicamente. Ya que cesa el arrastre ascendente, cesa el mecanismo para la condensación y la precipitación desaparece (Elias F. y Castellvi F., 2001).

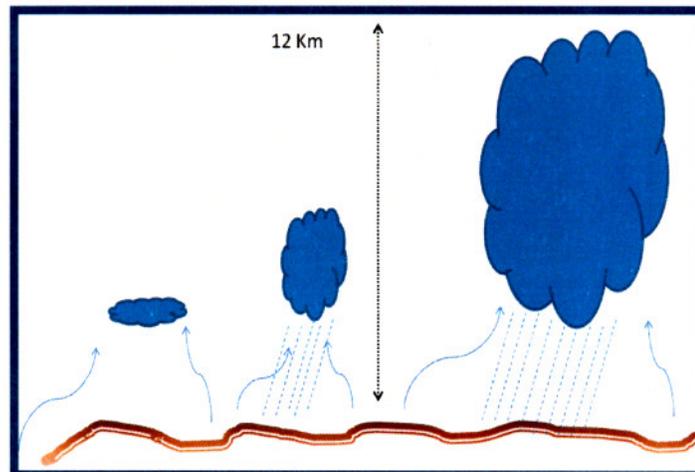


Figura 1.4.b Precipitación convectiva

La precipitación de tipo ciclónica está asociada con el movimiento de masas de aire desde regiones de altas presiones a regiones de bajas presiones, esta diferencia de presión se crea como consecuencia de la diferencia de temperatura en la superficie terrestre.

La precipitación tipo ciclónica se puede clasificar como frontal o no frontal. Cualquier baja barométrica puede producir precipitación no frontal, cuando convergen horizontalmente corrientes de aire, elevándose. En regiones tropicales, las corrientes de aire opuestas tienen

temperaturas similares y la elevación suele ser vertical estando acompañada generalmente de convección. La precipitación frontal resulta del ascenso de aire caliente sobre aire frío, en la zona de contacto entre masas de aire de diferentes características (**Fig. 1.4.c** y **Fig. 1.4.d**). (Elias F. y Castellvi F., 2001).

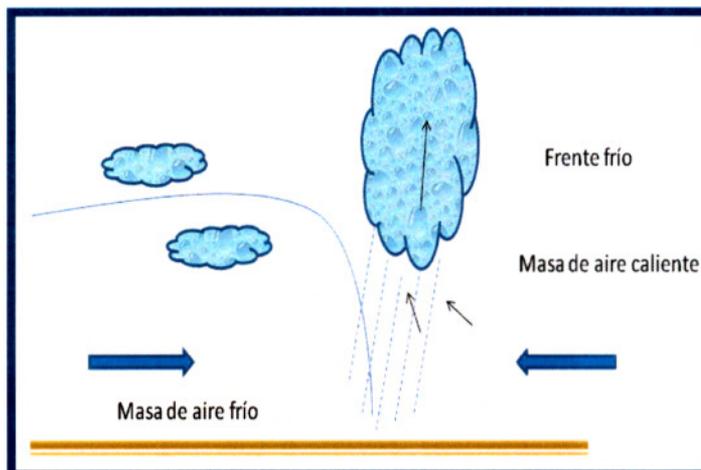


Figura 1.4.c. Esquema de un frente frío

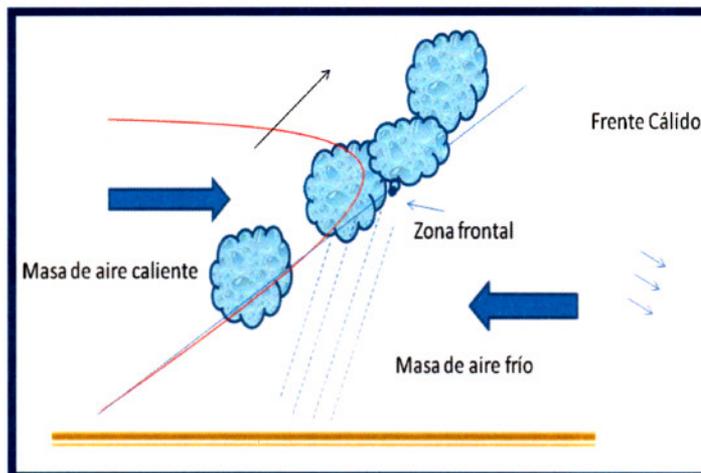


Figura 1.4.d. Esquema de un frente cálido

## 1.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PRECIPITACIÓN

En lo que se refiere a tamaño y forma las gotas de precipitación pluvial tienen tamaños en los límites de 0.1 mm hasta los 9 mm de diámetro, y por encima de ese tamaño tienden a romperse. Las gotas más pequeñas se llaman gotitas de nube y su forma es esférica. Cuando una gota de precipitación pluvial aumenta de tamaño, su forma se hace más redondeada, con un corte transversal más grande. La intensidad y duración de la precipitación tienen una característica muy importante y es que tiene una relación casi inversa, lo que significa que para tormentas de altas intensidades se tendrán probablemente duraciones cortas y por el contrario cuando se tienen tormentas de baja intensidad se puede tener una larga duración. Se ha observado que sobre grandes áreas las precipitaciones suelen ser menos intensas que sobre un área pequeña y finalmente, en cuanto a la intensidad y tamaño de gota en las tormentas de alta intensidad se tiene un tamaño de gota más grande que las tormentas de intensidad baja (Sumner G., 1988).

## 1.6 REGISTRO Y MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN MÉXICO.

### 1.6.1 ESTACIONES DE REGISTRO DE PRECIPITACIÓN

México ha contado en su historia con alrededor de 5900 estaciones climatológicas distribuidas por todo el país. En la actualidad se encuentran operando más de 3500. Ésta base de datos histórica se recopila en la Base de Datos Climatológica Nacional (BDCN) que es administrada por la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN). La BDCN se maneja con el programa CLICOM (CLImatología COMputarizada), proporcionado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). La **Fig. 1.6.1.a** muestra la distribución original de las estaciones convencionales instaladas para medir la precipitación en el país. La **Fig. 1.6.1.b**

muestra la inconsistencia espacial de las estaciones de medición en el sistema CLICOM, así como las estaciones que registran actualmente, registrando entre 800 y 1000 en un día, lo que significa que registran menos de un 50% de las 3500 estaciones que operan actualmente (SMN, 2007).

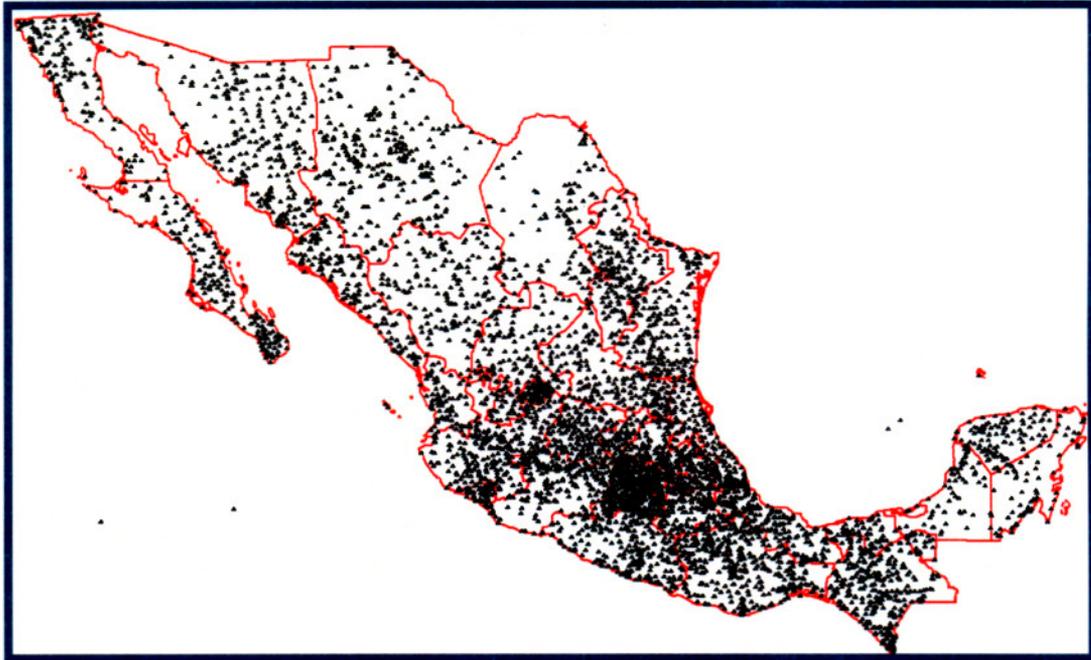


Figura 1.6.1.a Distribución de las 5900 estaciones de CLICOM

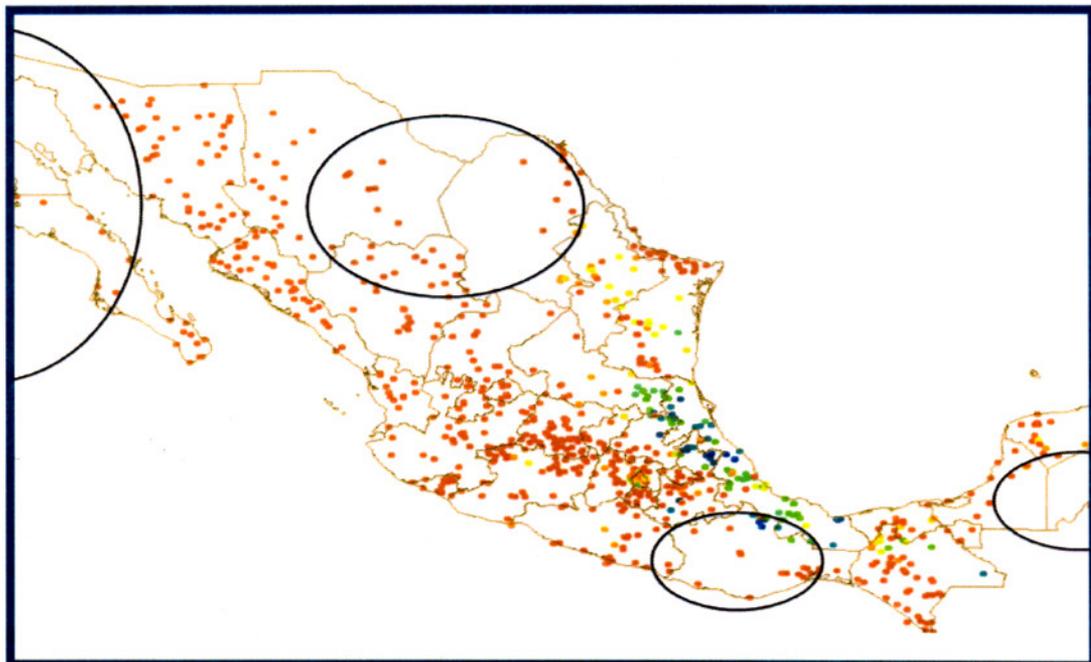


Figura 1.6.1.b Inconsistencia espacial y número de registros actual de estaciones

La disponibilidad de datos máxima y mínima registrado en un día de cada año a lo largo del tiempo dentro del sistema CLICOM se puede observar en la **Fig. 1.6.1.c.** La máxima cantidad de datos registrados ocurrió en el año de 1982 con 3858 registros en un día. El mínimo registro de datos disponible ocurrió en el año de 1950 con 525 datos.

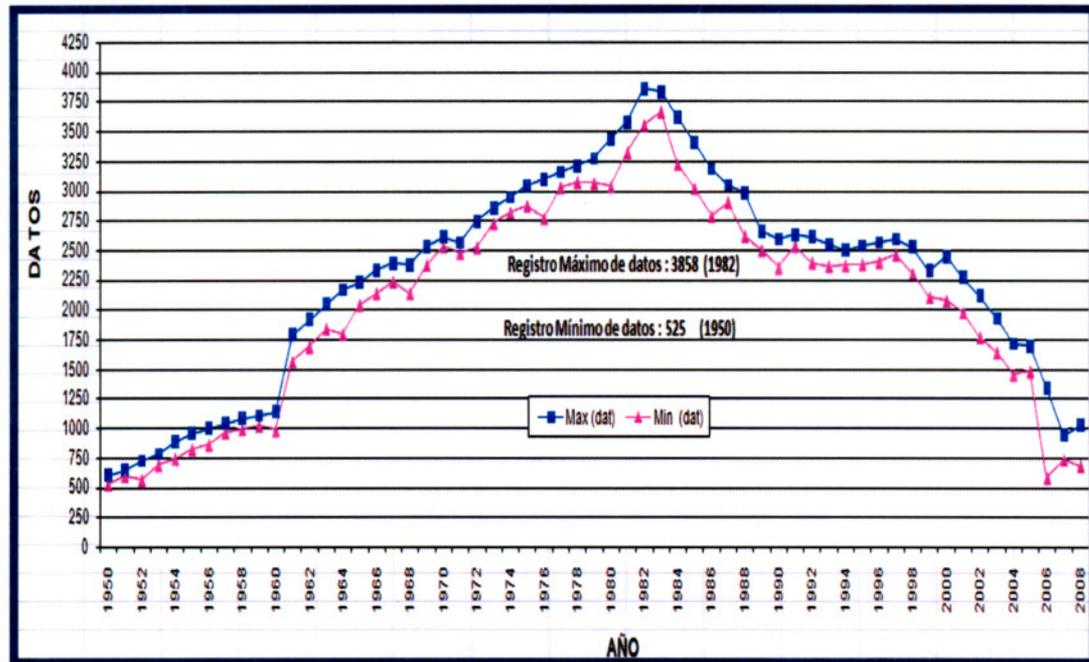


Figura 1.6.1.c Cantidad de registros de datos de precipitación (1950-2008)

## 1.6.2 INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN

Para medir la precipitación tanto de forma in situ como estimada se emplean varios instrumentos, métodos y técnicas. Las formas para cuantificar la precipitación se presenta en la siguiente **Tabla 1.6.2.T.a** (Maderey L. y Jiménez A., 2005).

<u>Medición de cantidades</u>	<u>Mediciones con el tiempo</u>	<u>Mediciones a distancia</u>
<u>Pluviómetros</u>	Pluviógrafos	Radar Meteorológico
<u>Nivómetros</u>		<u>Satélite</u>
<u>Totalizadores</u>		
Pluviógrafos		

Tabla 1.6.2.T.a Formas de medir y estimar la precipitación

La precipitación en México es medida mediante diferentes instrumentos, existen una gran variedad de éstos, así como de marcas. En México los instrumentos que miden la intensidad, duración, así como la cantidad de la precipitación son los pluviógrafos y los pluviómetros, la cantidad de precipitación es expresada como lamina de lluvia. Para el caso de los pluviómetros estos únicamente proporcionan la altura de precipitación (hp) en intervalos de tiempo establecidos y son medidos por convenio internacional de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) a las 8 de la mañana de cada día (OMM ref.1). Los pluviómetros tradicionales son cilindros de lámina galvanizada que tiene un embudo en la parte superior de 226 mm de diámetro y que por su parte interior embona con un depósito de plástico con diámetro de 71 mm con una en escala graduada en la vertical de 200 mm. Éstos se usan en las estaciones convencionales donde un observador hace la medición manualmente en el tiempo anteriormente referido (**Fig.1.6.2.a**).

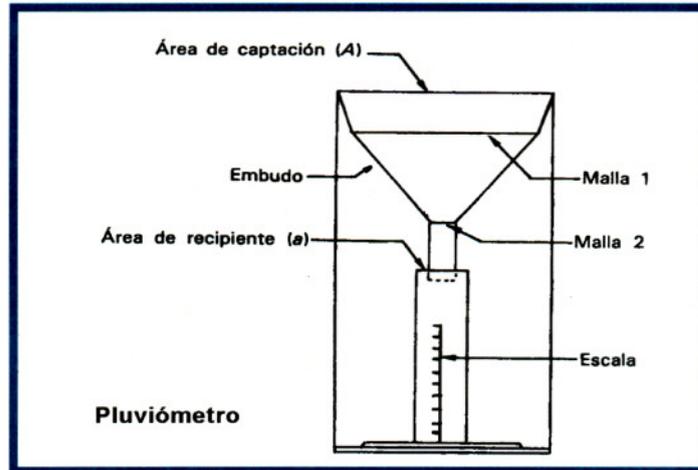


Figura. 1.6.2.a Pluviómetro convencional

Por otro lado, los pluviógrafos de las estaciones convencionales son mecánicos que cuentan con un flotador que tiene un ascenso cuando el recipiente se llena con cada 10mm de lluvia, vaciándose cuando llega al límite antes mencionado por medio de un sifón, marcando cada registro en un papel graduado sobre un tambor que va girando por un sistema de relojería que da vueltas por un solo día o por una semana; estos pluviógrafos todavía se utilizan en gran parte de la Republica Mexicana (Fig.1.6.2.b)

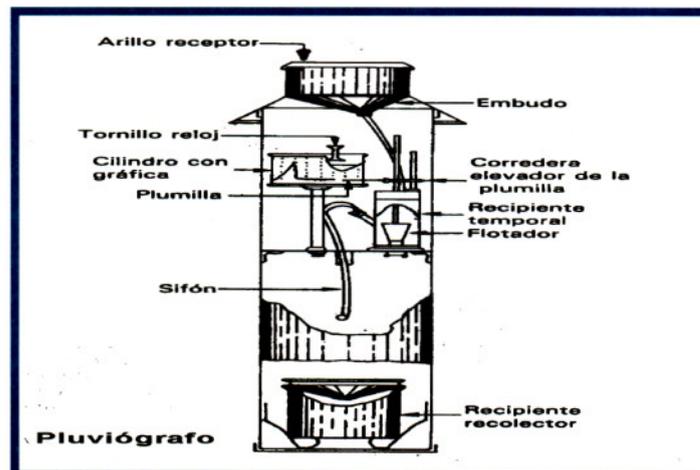


Figura 1.6.2.b Pluviógrafos

Actualmente se cuenta a lo largo y ancho del territorio nacional con Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA's), aunque aún no bien distribuidas, se tienen instalados modernos pluviógrafos. Éstos instrumentos registran la información automáticamente en intervalos de tiempo cortos, como pueden ser cada 10 min, estos registros son almacenados en una memoria interna o enviados vía onda de radio o satélite, sirviendo esta información para trabajos operativos casi en tiempo real, como lo puede ser la necesidad de registros para sistemas de alerta temprana por inundaciones. La red más importante de EMA's en México está a cargo de Servicio Meteorológico Nacional (SMN) quien es el ente rector oficial a nivel nacional en cuestión de medición y difusión de información en cuanto a precipitación y otras variables climatológicas y meteorológicas, así como de recibir información de otros organismos e instituciones (**Tabla 1.6.2.T.b**).

<b>INSTITUCIÓN RESPONSABLE</b>	<b>Nº DE EMA's</b>
Servicio Meteorológico Nacional (SMN)	133
Organismo de Cuenca del Valle de México (OCVM)	25
Secretaría de Seguridad Pública de Chiapas (SSP Chiapas)	13
Comisión Estatal de Agua de Guanajuato (CEAG)	30
Protección Civil Guerrero (PC Guerrero)	34
Organismo de Cuenca Golfo Norte (OCGN)	34
Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacifico (OCLSP)	69
Organismo de Cuenca Río Bravo (OCRB)	51

Tabla 1.6.2.T.b. Instituciones responsables de las EMAS's

Por otro lado una forma moderna de estimar la precipitación son las imágenes de satélite. La bondad de los satélites es más significativa en zonas inaccesibles para la instalación de estaciones pluviométricas que puedan medir la lluvia. Además, el hecho de ser un medio barato y de amplia aplicación en países como México donde los recursos económicos y humanos son escasos, son de gran ayuda y permiten monitorear la lluvia en zonas donde no se tiene una densidad suficiente de

estaciones. En México existen dos sistemas que utilizan las bondades de los satélites geoestacionarios GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) de EEUU (West, East e Indian Ocean) que realizan tomas cada 30 minutos. El sistema EprepMEX, desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, y el HYDROESTIMATOR, que fue desarrollado en la NOAA-NESDIS de los Estados Unidos, y que actualmente opera en México, con algunas adaptaciones considerando los sistemas meteorológicos que afectan cada país y que permiten monitorear la lluvia en forma horaria y diaria. Existen otros mecanismos por ejemplo, un radar a bordo del satélite de la Misión de Medición de Lluvias Tropicales (TRMM, por sus siglas en inglés), de la NASA, mide las precipitaciones mensuales con una precisión de aproximadamente el 10% (Scofield A. y Kuligowsky R., 2003).

## **1.7 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad en México existe la necesidad de estudiar y entender como es la distribución espacial y temporal de los patrones significativos de precipitación (eventos significativos), tanto a nivel de meso escala como de macro escala, ya que la precipitación al convertirse en escurrimiento puede ser tanto benéfico como perjudicial. Un ejemplo de esto último son las inundaciones que recientemente se han producido en nuestro país. Estos estudios deben de estar enfocados a diferentes finalidades desde los científicos hasta los pragmáticos, como reducir el riesgo o mitigar desastres. Donde en este sentido del riesgo un sociólogo alemán llamado Ulrich Beck (2001) se manifiesta diciendo que el riesgo empieza donde la seguridad termina y deja de ser relevante cuando una catástrofe ocurre. Otros enfoques son: salva guardar vidas humanas y patrimonios, satisfacer las necesidades hídricas de los diferentes usuarios como el abastecimiento

de agua potable, riego, generación de electricidad, etc., además de crear políticas públicas para un manejo sustentable del vital líquido.

Algunas de las razones importantes por las que no se habían estudiado lo suficiente los eventos significativos de precipitación en México eran: 1) la escasa información y la confiabilidad de los datos y 2) que esta variable es muy compleja para su análisis. A pesar de que la precipitación es compleja, es una variable muy importante desde diferentes puntos de vista, desde los sociales hasta los científicos. Un ejemplo de esto es el contexto social, donde actualmente se tienen problemáticas debido al abastecimiento del recurso hídrico, siendo una de las principales razones de esta problemática el cambio de los regímenes de precipitación.

Por lo anterior se tiene gran interés en el estudio de entender la distribución espacial y temporal de los patrones de precipitación, así como en determinar los eventos significativos. Es importante como fue la distribución patrones y su significancia en el pasado usando herramientas de análisis, para poder entender en trabajos posteriores la distribución de los patrones en tiempo futuro (predictivo).

Es importante mencionar que es necesario trabajar con nuevos métodos y técnicas que garanticen obtener resultados confiables en lo que respecta a la determinación de eventos significativos y que estos resultados sirvan para una mejor toma de decisiones.

## **1.8 HIPÓTESIS**

El análisis de conglomerados (cluster analysis), es un método que ayudará a determinar eventos de precipitación significativa debido a su confiabilidad y robustez, basándose también en suponer que, si se usa este método y los eventos de precipitación se clasifican en tres grupos de

importancia significativa, este logrará determinar la significancia con relación a las características de las magnitudes de precipitación.

Se proponen tres nombres para cada supuesto grupo o conglomerado que se obtenga. Estos son:

*1er Conglomerado: Precipitación Baja → Baja Significancia*

*2do Conglomerado: Precipitación Media → Mediana Significancia*

*3er Conglomerado: Precipitación Alta → Alta Significancia*

## **2.- OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar eventos de precipitación significativa usando un análisis de conglomerados (cluster analysis) para una zona del sureste de México a partir de una base de datos llamada “MAYA” desde 1961 hasta el año 2000 y para los meses de enero, abril, julio y octubre.

### **2.2 OBJETIVOS PARTICULARES**

- Analizar una base de datos y seleccionar el mejor método y técnica de análisis de conglomerados.
- Generar patrones de precipitación significativa (eventos significativos), graficarlos y analizarlos a lo largo del tiempo.

### 3.- MARCO TEÓRICO

En México desde hace algunas décadas se tiene el gran interés de estudiar el comportamiento de la precipitación de forma cuantitativa en zonas donde ocurren algunos desastres naturales debido a las precipitaciones. Durante los últimos años se le ha puesto gran énfasis al estudio de la precipitación debido a que estos desastres han dejado daños con un costo promedio anual de 100 vidas humanas y cerca de 700 millones de dólares (CENAPRED, 2003).

En México se tienen identificadas zonas con gran potencial a desastres por inundaciones como lo es la zona de Chiapas y Tabasco. En un trabajo realizado recientemente por (Teran A. et al. 2010) usando sistemas de información geográfica, el método de diferencias finitas y una base de datos llamada MALLA SIG mencionan las causas principales de la más severa inundación (2007) de los últimos años en la zona antes mencionada, siendo la causa de estas inundaciones un sistema meteorológico invernal, que provoco precipitación alta en un corto tiempo, siendo este un estudio interesante con otra metodología y similares herramientas pero con la misma finalidad de entender el comportamiento de la precipitación.

Tradicionalmente se usan métodos de análisis como la estadística básica, ésta proporciona una primera idea de cómo es el comportamiento de algunas variables. Sin embargo, en este trabajo se propone utilizar una metodología novedosa en este campo llamada análisis de conglomerados, con la finalidad de entender la distribución espacial y temporal de los patrones de precipitación y los eventos significativos de manera cuantitativa.

El término de análisis de conglomerados (*cluster analysis*) fue usado por primera vez por Tryon C. (1939), más tarde difundido por Dunn C. (1973), y posteriormente generalizado por Bezdek

C. (1981) en sus diferentes estudios. El comienzo del análisis de conglomerados fue en los mercados de negocios donde se empleaban para realizar estudios de mercado, logrando identificar grupos de compradores en activo, pasivos, compulsivos etc. y dentro de estos grupos lograr identificar las necesidades, los gustos, la facilidad de adquisición, marcas de producto etc. Estas técnicas se fueron adaptando poco a poco a otro tipo de estudios, hasta llegar a los más técnicos, como el caso actual.

Existen trabajos como el que realizaron Serafin S. et al. (2004) en el que abordan la aplicación de análisis de conglomerados para la verificación de los pronósticos de precipitación cuantitativa usando algunos métodos jerárquicos, siendo este artículo base para entender la aplicación de estas metodologías en nuestro campo de trabajo. Por otro lado, existen una mayor cantidad de trabajos realizados en los que se ha empleado el análisis de conglomerados en temas atmosféricos, que se encuentran dentro del campo de la meteorología, como lo es en el trabajo de Ieesuck J. et al. (2003) en el que usaron la técnica de conglomerados para caracterizar y estudiar las partículas de aire contaminado. Jorba O. et al. (2004) también emplearon estas técnicas con el objetivo de describir mejor las trayectorias y circulación troposférica. En trabajos más recientes Cabello M. et al. (2008) emplearon análisis de conglomerados para hacer la clasificación de trayectorias de aire contaminado usando en este trabajo el método no jerárquico de K-means.

En la revisión cuidadosa del estado del arte se encontraron varias aplicaciones del análisis de conglomerados, pero ninguna igual a la de este trabajo de tesis, por lo que el tema de estudio es nuevo e innovador y en este sentido es una aportación al estado del arte.

## **4.- MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 MATERIALES**

#### **4.1.1 BASE DE DATOS**

Se cuenta con una base de datos llamada MAYA v.1.0 desarrollada por Michel Rosengaus (2004) en un formato GRID con 96 renglones x 157 columnas, 15,072 nodos, 4,542 nodos sobre territorio nacional todos estos nodos cuentan con valor numérico y 10,530 nodos sobre zonas marinas (sin valor nodal). Esta base de datos fue elaborada a partir de la Base de Datos Climatológica Nacional, la base de datos MAYA fue proporcionada para este estudio por parte del Servicio Meteorológico Nacional. Los datos de precipitación se encuentran en milímetros (mm), cada 24 horas siendo el registro por criterio a las 8:00 de la mañana, esta base de datos se interpoló mediante la media ponderada por el inverso de la distancia, obteniendo valores cada 0.2 grados en latitud y longitud (18.6 a 21.6 km a lo largo de paralelos y 22.2 km a lo largo de meridianos respectivamente), y una disponibilidad de información para toda la República Mexicana. La base de datos cuenta con archivos que denotan latitud ( $^{\circ}$ ,  $'$ ,  $''$ ), longitud ( $^{\circ}$ ,  $'$ ,  $''$ ), y altura de precipitación (mm), la cobertura temporal es del 01-ene-1961 al 31-dic-2000 siendo 40 años = 14,600 días, sin 29's de febrero y en cobertura espacial de  $-117.2 \leq \text{longitud} \leq -86.0$  (longitud W) y  $+14.0 \leq \text{latitud} \leq +33.0$  (latitud N).

#### **4.1.2 PROGRAMAS COMPUTACIONALES**

Se usó el programa R en su versión 2.4.1, siendo R un sistema de análisis estadísticos y gráficos creado por Ihaka R. y Gentleman R., R tiene una naturaleza doble de programa y lenguaje y es considerado un dialecto del lenguaje S. R es un lenguaje interpretado (como Java) y no es

necesario compilarlo como lo requiere C, Fortran, Pascal, etc, lo cual significa que los comandos escritos en el teclado son ejecutados directamente sin construir ejecutables. Otra ventaja de R es que la sintaxis es muy simple e intuitiva y finalmente, una razón no menos importante del uso de R es que se distribuye gratuitamente bajo los términos de GNU General Public Licence (Ihaka R. y Gendelman R., 1996).

Por otro lado, se utilizaron otros programas como Surfer en su versión 8 siendo esta herramienta un programa grafico basado en mallas, utilizado para crear contornos, superficies, vectores, imágenes 3D y mapas.

Además de usar el programa antes descrito también se requirió de Sistemas de Información Geográfica SIG, donde estos son una integración organizada de hardware, software y datos geográficos siendo una herramienta que permite crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar resultados de todas estas operaciones. Para el presente caso se empleo el software ArcView, en su versión 3.2, programa desarrollado por el Environmental Systems Research Institute (ESRI) de Redlands, California, que se utiliza para hacer análisis de sistemas de información geográfica y finalmente como hardware, una computadora personal.

## **4.2 MÉTODO**

### **4.2.1 GENERALIDADES DE LA METODOLOGÍA**

Se propone una metodología que ayude a entender la distribución espacial y temporal de los patrones de precipitación significativa de forma cuantitativa utilizando algunas técnicas de la estadística multivariada.

La estadística multivariada es una rama fundamental de las matemáticas, dentro de la estadística se encuentra el análisis multivariado y mediante éste se puede estudiar integralmente las mediciones de atributos o características de los elementos de las variables. Ofrece la posibilidad de cuantificar la intensidad de la influencia o asociación de variables independientes en un modelo matemático concreto, o bien, tomadas como punto de partida para investigar determinado fenómeno sobre una variable dependiente matemáticamente.

Dentro del análisis multivariado existen muchos métodos y técnicas; el método y técnica a utilizar depende de la característica del problema a resolver y en ocasiones puede ser usada más de una técnica. Para este caso de estudio en el que se tuvo la necesidad de encontrar los patrones de precipitación significativa para diferentes magnitudes, se decidió trabajar con métodos llamados de clasificación y dentro de éstos se encuentra el **análisis de conglomerados** (cluster analysis).

#### **4.2.2 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS (CLUSTER ANALYSIS)**

El análisis de conglomerados es una técnica de análisis exploratorio de datos que tiene como finalidad resolver problemas de clasificación. Su objetivo consiste en ordenar objetos como: personas, cosas, animales, plantas, variables, etc., en grupos (conglomerados o clusters) de forma que el grado de asociación entre miembros del mismo conglomerado sea más fuerte que el grado de asociación entre miembros de diferentes conglomerados. Cada conglomerado se describe como la clase a la que sus miembros pertenecen.

El análisis de conglomerados es un método que permite descubrir asociaciones y estructuras en los datos que no son evidentes a priori pero que pueden ser útiles una vez que se han encontrado.

Los resultados de un análisis de conglomerados pueden contribuir a la definición formal de un esquema de clasificación tal como una taxonomía para un conjunto de objetos, a sugerir modelos estadísticos para describir poblaciones, a asignar nuevos individuos a las clases para diagnóstico e identificación.

Existen dos tipos de métodos de clasificación: 1) clasificación supervisada y 2) clasificación no supervisada. Para este estudio se utilizará este último y serán descritos a detalle más adelante. En este último método existen dos tipos de técnicas de agrupamiento, una primera división de estas técnicas de agrupamiento se pueden establecer en base a su carácter **jerárquico** y la segunda en una **particional**, según las características del proceso seguido para construir los grupos y las necesidades de solución del problema.

El diagrama general de las etapas del análisis de conglomerados se muestra a continuación:

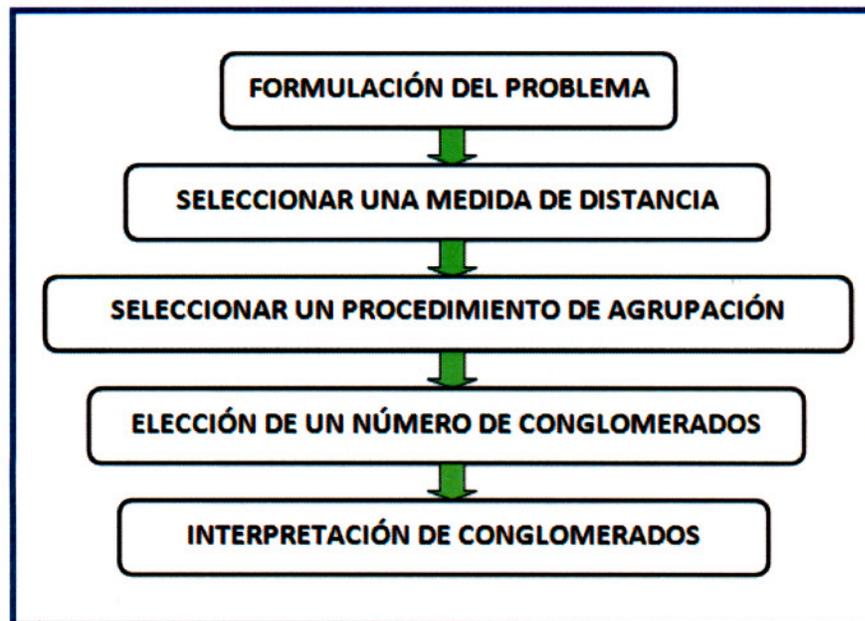


Fig. 4.2.2.a Etapas de Análisis de Conglomerados

Los principios de las diferentes técnicas se muestran en los siguientes apartados.

#### 4.2.2.1 TÉCNICAS JERÁRQUICAS

Las técnicas de agrupamiento jerárquico son iterativas y proceden uniendo grupos pequeños (técnicas aglomerativas), o dividiendo grupos grandes (técnicas divisivas), donde el concepto de tamaño viene dado por la medida de similitud utilizada (correlación, distancia, información mutua, etc.). Dentro de estos métodos destacan los llamados SHAN, que comparten las siguientes características:

- Secuencial (Sequential): el mismo algoritmo es aplicado iterativamente a los grupos disponibles.
- Jerárquico (Hierarchical): la secuencia de uniones de grupos se representa mediante una estructura de árbol.
- Aglomerativa (Agglomerative): inicialmente cada punto del conjunto de datos es asignado a un grupo distinto; y el algoritmo procede uniendo los grupos más similares hasta que el criterio de parada es alcanzado.
- Sin-superposición (Non-overlapping): ningún elemento puede pertenecer simultáneamente a dos grupos diferentes.

Varias alternativas son posibles, dependiendo la métrica utilizada para definir la similitud entre grupos (Gutiérrez J. et al., 2004).

Las métricas más empleadas se muestran a continuación:

Distancia de Minkowski: Se trata de una familia de métricas con la forma general:

$$L_q(\vec{x}, \vec{y}) = \left( \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^q \right)^{1/q}$$

de entre las que destacan las siguientes:

La distancia Manhattan (o *city block*) ( $q = 1$ ):

$$L_1(\vec{x}, \vec{y}) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

La distancia Euclidiana ( $q=2$ ) que se define como:

$$L_2(\vec{x}, \vec{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

El algoritmo general para las técnicas jerárquicas consiste en:

1. Decidir que datos tomamos para cada uno de los casos.
2. Elegir una medida de la distancia entre los objetos a clasificar que serán los cluster o clases iniciales.
3. Buscar que clusters son más similares.

4. Juntar estos dos clusters en un nuevo cluster que tenga al menos 2 objetos, de forma que el número de cluster decrece en una unidad.
5. Calcular la distancia entre este nuevo cluster y el resto.
6. Finalmente se repite desde el paso 3 hasta que todos los objetos estén en un único cluster.

#### 4.2.2.2 TÉCNICAS PARTICIONALES

Los métodos de agrupamiento más convenientes para un gran número de patrones en un espacio de dimensión grande son los métodos de ajuste de centroides iterativos. En forma general las técnicas particionales hacen que el conjunto de datos sea particionado en un número pre-especificado de conglomerados  $K$ , y luego iterativamente se va reasignando las observaciones a los conglomerados hasta que algún criterio de parada (función a optimizar) se satisface (suma de cuadrados dentro de los conglomerados sea la más pequeña) (Gutiérrez J. et al., 2004).

Los métodos más comunes son los algoritmos de las ***K-medias*** y el de ***particionamiento alrededor de medoides (PAM)*** y que a continuación se describen:

El método de ***K-medias*** inicia con un número de vectores reales  $n$ - dimensionales  $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ , y un número determinado de grupos  $m$ . Se calcula un conjunto de prototipos  $d$ - dimensionales  $\{V_1, \dots, V_m\}$ , o centroides, cada uno de ellos caracterizando a un grupo de datos  $C_i \subset X$  formado por los vectores para los cuales  $v_i$  es el prototipo más cercano. Esta tarea se realiza siguiendo un procedimiento iterativo, el cual comienza con un conjunto inicial de centroides  $V_1^0, \dots, V_m^0$  elegidos aleatoriamente. El objetivo del algoritmo es minimizar globalmente la distancia intra-grupos:

$$\sum_{k=1, \dots, m} \sum_{x_j \in C_i = k} \|x_j - v_i\|^2$$

Ya que el esfuerzo computacional de una búsqueda exhaustiva del mínimo es prohibida, se calcula un mínimo local mediante un ajuste iterativo de los centroides de los grupos y reasignado cada patrón al centroide más cercano. En la iteración (r+1)-ésima, cada uno de los vectores  $X_j$  es asignado al grupo i-ésimo, donde  $i = \arg \min_c \|x_j - v_i^c\|$ , y los prototipos son actualizados por medio de los correspondientes patrones:

$$v_i^{r+1} = \sum_{x_j \in C_i} x_j / \#C_i$$

donde  $\#C_i$  denota el número de elementos en  $C_i$ . Bajo ciertas condiciones, el proceso iterativo anterior converge después de R iteraciones, y los centros finales  $v_i^R$  son los prototipos (centroides). Cada uno de los centroides  $v_i$  representa un grupo  $C_i$  formado por los patrones más cercanos  $v_i^R$  a cualquier otro centroide (Gutiérrez J. et al., 2004).

El algoritmo de las K-medias consiste en los siguientes pasos:

1. Seleccionar el número de grupos deseados m.
2. Inicializar los centroides de los grupos.
3. Repetir:
  - a) Asignar cada vector al grupo más cercano.

- b) Re-calcular los centroides de cada grupo, para que sean la media de los patrones asignados a ese grupo.

Las ventajas de este método son que es relativamente eficiente donde  $n$  es número objetos,  $k$  es número clusters, y  $t$  es número iteraciones, normalmente  $k, t \ll n$ , puede trabajar con datos faltantes y el algoritmo es computacionalmente rápido. Como desventajas tiene que es débil ante datos ruidosos y/o con outliers.

El método de **particionamiento alrededor de medoides (PAM)** es parecido en cierto sentido a k-medias. También trata de minimizar una función objetivo: minimizar las sumas de las distancias, pero es mucho más costoso, pues pasa por cada posible n-tupla de medias, compara sus distancias con todas las demás sumas de distancias, y escoge la menor; luego asigna elementos a este conglomerado. Como se aprecia, el concepto de *centroide* usado en k-medias se convierte aquí en *medoides*, no en el sentido de la mediana de los datos, sino en el sentido de que los centros forman parte de los datos. Entonces para un número de clusters  $K$  pre-especificado, el procedimiento busca clasificar los  $K$  medoides,  $M = (m_1, \dots, m_K)$  de todas las observaciones a clasificar.

Para encontrar  $M$  hay que minimizar la suma de las distancias de las observaciones a su más cercano medoide

$$M^* = \arg \min_M \sum_i \min_k d(x_i, m_k)$$

donde  $d$  es una medida de disimilaridad,  $x_i$  es un elemento y  $m_k$  un posible medoide La función objetivo consiste en minimizar la suma de distancias a los K medoides. Esto matemáticamente es equivalente a minimizar el promedio de las distancias (Jaimes L., 2004).

Las ventajas del método PAM es que es más robusto que k-medias ante ruido y outliers, es eficiente en bases de datos pequeñas, pero tiene la desventaja que no escala bien a bases de datos grandes.

### 4.3 ÁREA DE ESTUDIO Y SELECCIÓN DE DATOS

El área de estudio está comprendida por algunas zonas de cuatro estados, el noroeste del Estado de Chiapas, el este del Estado de Oaxaca y el sur de los Estado de Tabasco y Veracruz. Esta área se encuentra en un polígono seleccionado debido a su interés con respecto a la precipitación ocurrida en la zona, ya que se encuentra dentro de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Esta área es un polígono simétrico con vértices  $-95^\circ$ ,  $-93^\circ$  longitud y  $16^\circ$ ,  $18^\circ$  latitud y cuenta con 121 nodos con valor numérico de los 4,542 de la base de datos. (Figura 4.3.a).

Algunas generalidades del área de estudio se describen a continuación:

- Clima

Climatológicamente se dice que se encuentra dentro de la zona tropical lluviosa y se caracteriza por un régimen térmico mensual durante todo el año superior a los  $18^\circ\text{C}$  y una precipitación promedio de 1961 al 2000 de 1947mm (figura 4.3.b). Según la clasificación Koeppen para los estados de Veracruz y Tabasco se encuentran dentro de un clima Tropical lluvioso con lluvias

todo el año **Af** y para Oaxaca y Chiapas según esta misma clasificación se encuentra en un clima tropical lluvioso con lluvia en verano y seco en invierno **Aw** (Tamayo J., 1999).

- Hidrología

En cuanto a hidrología en esta parte del sureste del país se encuentra la costa de Sotavento y la amplia planicie de inundación de Tabasco se encuentran 4 de los ríos más importantes y caudalosos del país, los ríos de esta zona disponen de cursos suaves y pendientes mínimas que permiten que los ríos como Papaloapan, Coatzacoalcos, Tonalá, Usumacinta y Grijalva sean navegables (Tamayo J., 1999).

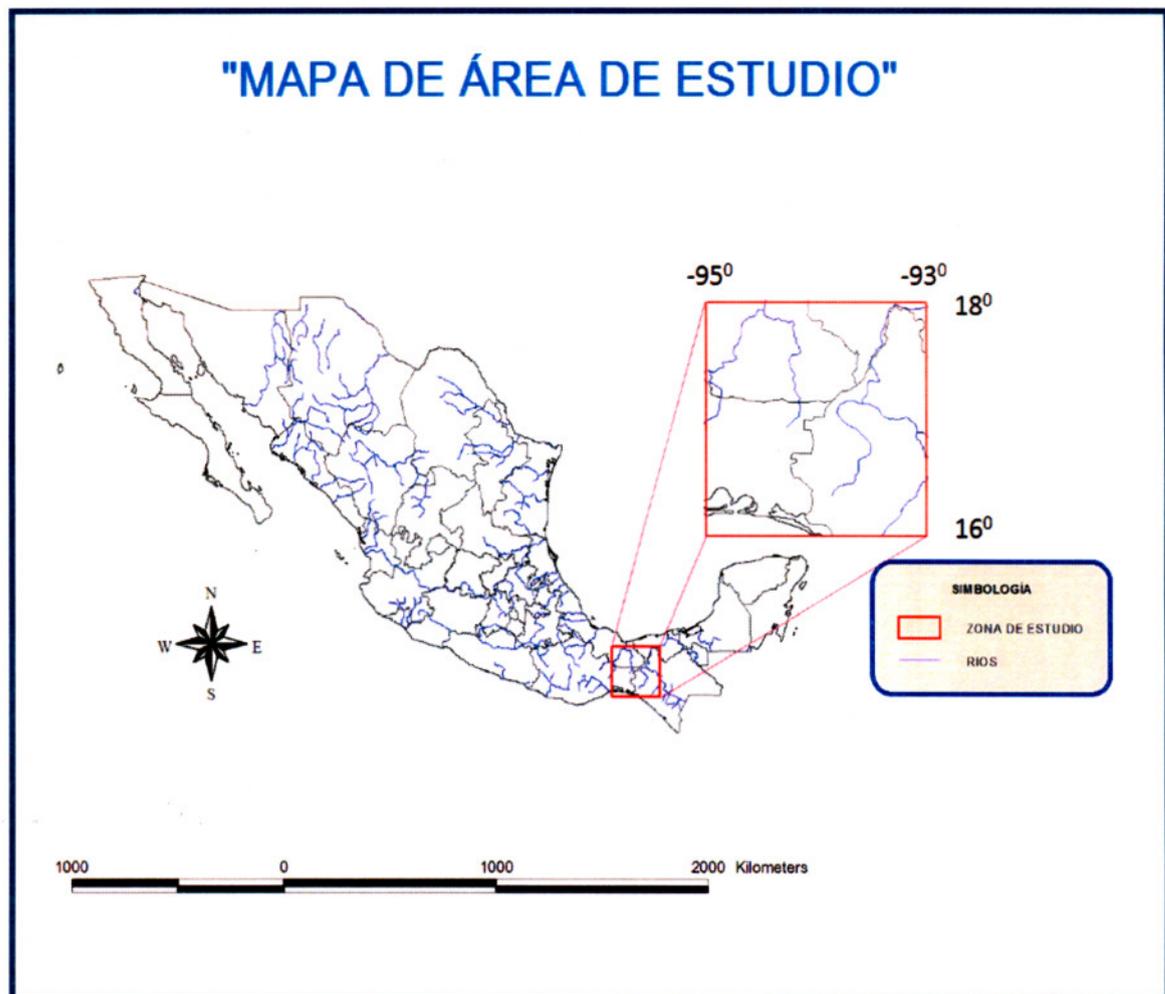


Figura 4.3.a Área de estudio

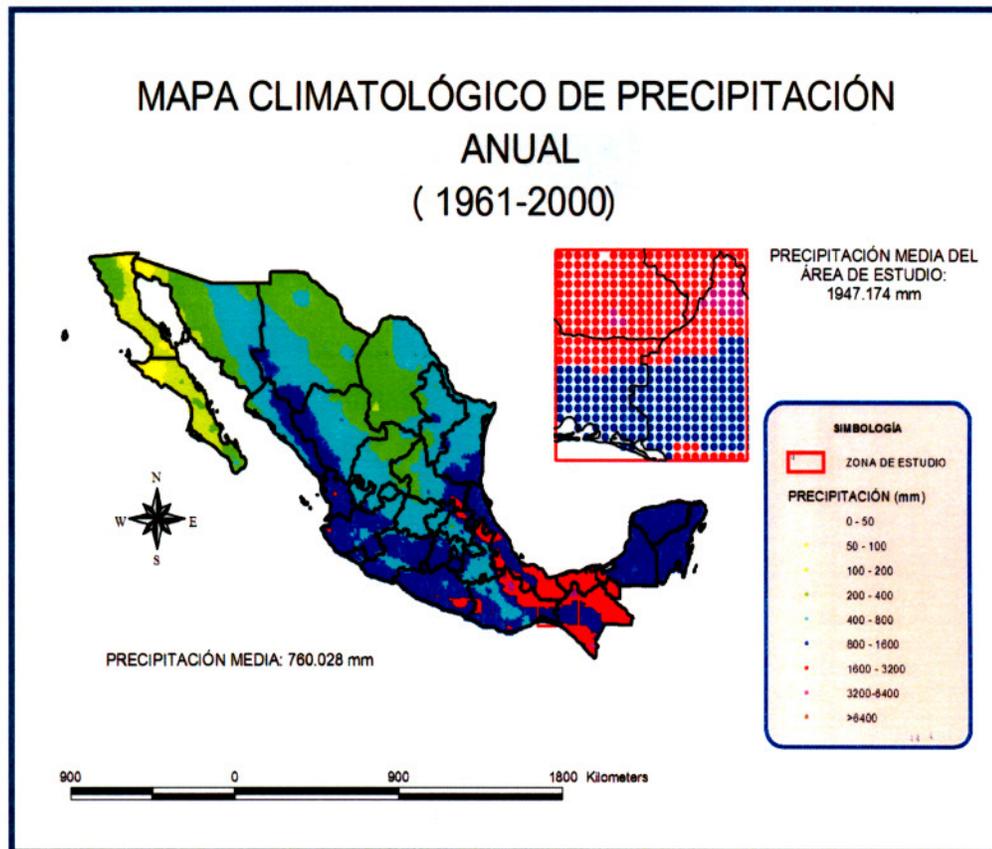


Figura 4.3.b Climatología de precipitación 1961-2000

En el área de estudio existe una zona muy importante que es la Sierra Madre de Chiapas donde la precipitación anual es mayor de 3500 milímetros; aquí la precipitación tan abundante se debe en parte a la influencia de los ciclones tropicales tanto del Océano Pacífico como del Golfo de México y por otro lado a la influencia en verano de la Zona Intertropical de Convergencia que alcanza a esta porción del país, el máximo de la precipitación en esta zona es en septiembre (García E., 2003).

Sin duda alguna, esta área es una de las más lluviosas del país y debido a su complejidad se determinó que sería una zona de gran interés para este estudio.

#### **4.4 DISEÑO DE ESTUDIO**

En el estudio se tomaron en cuenta algunas consideraciones y simplificaciones como poder trabajar sobre un caso ideal lo que significa primero considerar la base de datos como confiable, ya que de antemano se sabe que desde la toma de la muestra existen errores sistemáticos y estos pueden ser muy sensibles a los resultados, así como también se despreciará que la base de datos cuenta con varias cifras significativas a la derecha lo que hace que tenga cierta incertidumbre, pero dentro de esta tesis no se tiene como objetivo revisar ni validar los datos de entrada con alguna metodología, segundo, se toma la decisión de simplificar el problema y que nuestra área de estudio se comportara como un espacio euclidiano y no entrar en detalle con las proyecciones cartográficas de la Tierra, teniendo como objetivo despreciar la curvatura de la misma, esta simplificación fue posible gracias a que el área de estudio es pequeña y es inapreciable para el tipo de métrica a utilizar.

Por principio para el diseño de este trabajo se comenzó como ya se vio en el capítulo 3 con la revisión del estado del arte además de la bibliográfica con la finalidad de poder entender las diferentes metodologías que hay sobre análisis de conglomerados así como los trabajos ya existentes y que tienen la aplicación de esta metodología en el campo de trabajo referente a éste estudio. Desafortunadamente no existen trabajos similares por lo que en este caso se tuvo una pequeña parte experimental de metodología para seleccionar la mejor a utilizar y esta parte dará un gran aporte al campo de trabajo relacionado.

##### **4.4.1 SECCIÓN EXPERIMENTAL**

En esta parte experimental se realizaron algunas pruebas con los modelos ya disponibles de análisis de conglomerados teniendo como objetivo tomar uno de los modelos y que este sea

satisfactorio o no, por supuesto, no se tratará de tomar una decisión en cuestiones carentes en sentido como: ¿Es el modelo o la teoría cierto o falso? ¿Correcto o incorrecto? ya que por principio se sabe que **todos los modelos son imperfectos** y simplemente se necesita saber si el modelo es “**lo bastante bueno**” para los propósitos al nivel de precisión que se quieren. Solo la parte experimental misma puede proporcionar las bases para tomar esa decisión. Una vez que se ha verificado que el modelo es “suficientemente bueno”, se puede proceder al empleo de éste en todo lo necesario para analizar y comprender el problema.

En esta parte experimental por principio es necesario comenzar con la prueba de los modelos contra el sistema real que en este caso es la base de datos (SMN) que fue hecha con datos reales aunque con algunas consideraciones para su uso, ya que la teoría nos dice que al emprender un experimento científico normalmente no estamos conscientes de la medida en que las propiedades de nuestro modelo y las de su contraparte con el mundo real se corresponden (Bair C., 1991).

Para lograr cumplir lo objetivos es necesario que nuestro diseño de trabajo esté en concordancia con nuestras hipótesis, ya que de principio se sabe cuáles son las necesidades de solución del problema, por lo que en el planteamiento del problema se tuvo que hacer la suposición de que al proponer por inicio intervalos de tiempo importantes y de significancia climática en la base de datos, se podrían determinar estos patrones de precipitación significativa, por lo que se tomaron cuatro de los meses más significativos de las estaciones del año siendo enero para invierno, abril para primavera, julio para verano y octubre para otoño.

El programa computacional para este trabajo es conocido como “R” en su versión 2.4.1. Este programa debido a que no es un compilador como “C” u otros programas facilitó ampliamente el estudio debido a que dentro de este se contienen librerías que tienen los algoritmos con las metodologías de análisis de conglomerados que igualmente fueron descritas anteriormente.

Dentro de “R” se encuentra la librería cluster y ésta tiene una función llamada “daysi” que calcula la matriz de distancia de una matriz de datos usando solamente distancias euclidea y manhattan y considerando además distintos tipos de variables mediante el uso del coeficiente de Gower, siendo estos métodos jerárquicos. Así también se comenzaron pruebas con los métodos de particionamiento (PAM), de esta forma se comenzó con el análisis del estudio y la prueba de los modelos de conglomerados para seleccionar el que era suficientemente bueno para la solución de nuestro problema. El método seleccionado fue (PAM) basado en particionar los conglomerados o grupos alrededor de los medoides, por lo que se inició el proceso de análisis y la determinación de eventos significativos de precipitación con este método y modelo.

#### **4.5 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN CONGLOMERADOS**

El proceso para la obtención de conglomerados, se realizó siguiendo parte de las etapas del análisis de conglomerados antes descritas siguiendo los pasos siguientes: 1) se decidió encontrar la distribución espacial y temporal de los patrones de precipitación para una área de estudio de la base de datos MAYA, 2) se desplegaron los datos del área de estudio visualizándolos mediante ArcView para detectar errores de magnitud en los datos, 3) se generó la malla (.grid) promedio para cada mes de los 40 años de análisis, usando la malla diaria, 4) se convirtió de formato malla a ASCII (.dat) para un fácil manejo de los mismo, 5) se filtraron los datos solo para el polígono del área de estudio  $[-93^{\circ}, -95^{\circ}]$  y  $[16^{\circ}, 18^{\circ}]$ , 6) se convirtió de formato ASCII a texto (.txt) por requisito de datos de entrada para “R”, 7) se crean matrices por requisito dentro de “R” para generar conglomerados, 8) se corre el algoritmo en “R” para la obtención de conglomerados utilizando el método y el número de conglomerados ya seleccionados en la etapa experimental y que para éste caso de estudio fue el de **particionamiento alrededor de los medoides**, 9) se

visualizan los resultados obtenidos con el programa “Surfer” en una proyección 3D para tener una mejor visualización, 10) se generan estadísticas de los conglomerados obtenidos como el promedio y la moda, así como los histogramas de frecuencia absoluta y relativa, tanto para los 40 años como para cada década de análisis, con el objetivo de observar la recurrencia de la distribución espacial y temporal de los patrones de precipitación ocurridos (eventos significativos), 11) finalmente se describen e interpretan los conglomerados obtenidos. El diagrama de la figura 4.4.1.a muestra el diagrama de flujo de la obtención de conglomerados.

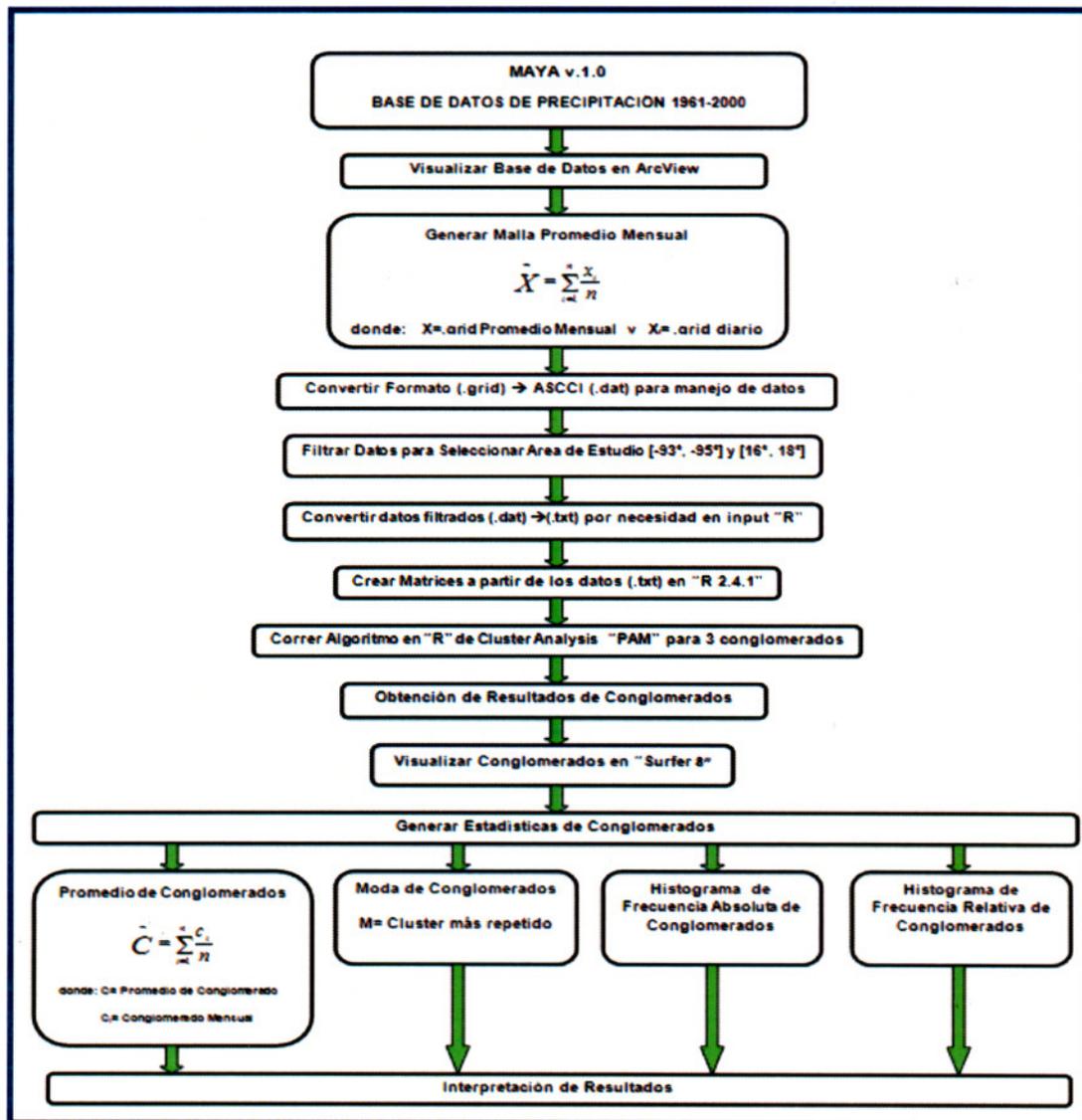


Fig. 4.4.1.a Diagrama de flujo del proceso de obtención de conglomerados

## 5.- RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1 RESULTADOS GENERALES

Los resultados obtenidos de la distribución espacial y temporal de los patrones de precipitación (eventos significativos) utilizando análisis de conglomerados se presentan en el anexo del capítulo 8. Éstos resultados se presentan mediante gráficas en 3D a lo largo de las cuatro décadas y para los meses de análisis, así como los histogramas de frecuencia absoluta y relativa tanto para el promedio como para la moda de los patrones, con el objetivo de poder observar la recurrencia de los mismos.

### 5.2 DISCUSIÓN GENERAL

El análisis de conglomerados en los 40 años de datos, muestra variaciones en cuanto a los patrones de precipitación encontrados, tanto espacial como temporal, esto se debe precisamente a los diferentes procesos meteorológicos que caracterizan la precipitación de una zona determinada a lo largo del año. De forma general, el análisis de conglomerados deja entrever una distribución de los patrones más homogéneos en el espacio y recurrentes en el tiempo en época seca, siendo los meses de enero y abril (**Fig. 8.1.1.a → Fig. 8.2.6.f**) y una distribución de los patrones más heterogénea en el espacio y no repetitivos en el tiempo para la temporada más importante de precipitación, siendo los meses de julio y octubre (**Fig. 8.3.1.a → Fig. 8.4.6.f**). Sin duda, parte de esto se debe a que durante la época seca, los sistemas que influyen en la precipitación de la región de estudio son sistemas frontales los cuales al ser de escala sinóptica tienden a dejar un patrón de precipitación más uniforme. Sin embargo, para la época más importante de precipitación, los sistemas meteorológicos de mayor importancia para la región provienen de sistemas como ondas del este, ciclones tropicales y sistemas convectivos de mesoescala (debido a la cercanía de la ZCIT), en los cuales los procesos de convección profunda

y la orografía juegan un papel determinante, y por lo cual el determinar un patrón de precipitación dominante es más complejo.

Como se menciona antes para el análisis de resultados por simplicidad se utilizaron únicamente tres tipos de conglomerados catalogados como precipitación de significancia baja, media y alta (clusters 1, 2 y 3 respectivamente). Así, para una región determinada, el algoritmo estará detectando mes a mes durante los 40 años los conglomerados en donde se presenta precipitación con intensidad (significancia) baja, media y alta independientemente de si ese mes en particular hubo más precipitación o no. Luego entonces, analizando la información para un mes en particular durante los cuarenta años podremos conocer si hay un patrón de precipitación bien definido o no.

### 5.2.1 DISCUSIÓN ENERO

Para el análisis del mes de enero de 1961-2000 donde, la precipitación promedio para el área de estudio es de 79.56mm (**Fig. 8.1.1.a**), se encontró en el histograma de frecuencia del promedio para el periodo de análisis (**Fig. 8.1.1.d**), que el 43% de los elementos se encuentran dentro del grupo del conglomerado de baja significancia cluster 1, el 23 % de mediana significancia cluster 2 y el 34% de alta significancia cluster 3, localizándose el patrón promedio de cluster 3 en la parte noreste del área de estudio. Además, en cuanto a lo que se refiere a la frecuencia relativa de la moda (**Fig. 8.1.1.g**) se encontró que el 45% se repitió como cluster 1, el 21% como cluster 2 y 34% como cluster 3, logrando observar que el cluster que mayormente persistió fue el cluster 1 para el mes de enero. En relación a la serie histórica del histograma de frecuencias (**Fig. 8.1.6.f**) se puede observar que 7 años del mes de enero, presentaron descensos muy visibles en cuanto al conglomerado de alta significancia (cluster 3) teniendo valores de menores o iguales del 19%,

los años de 1963, 1970, 1973, 1976, 1980, 1986, y 2000 encontrándose estos años por debajo del histograma de frecuencia promedio del cluster 3 (34%), en por lo menos el 44%.

### 5.2.2 DISCUSIÓN ABRIL

En el mes de abril de 1961 a 2000 se tiene una precipitación promedio en el área de estudio de 41.18 mm (**Fig. 8.2.1.a**) lo que significa que es 49% menor que la del mes de enero, perteneciendo todavía este mes a la temporada seca. Para este mes se encontró una pequeña variabilidad tanto espacial como temporal de los conglomerados, ya que entre 1961 a 2000 obtuvimos los conglomerados del cluster 3 en la parte norte, noreste y noroeste de nuestra área de estudio, teniendo en el histograma de frecuencia promedio (**Fig. 8.2.1.d**), el 32% de los elementos dentro del cluster 1, el 43% en el cluster 2 y el 25% en el cluster 3. En cuanto al histograma de frecuencia de la moda (**Fig. 8.2.1.g**), el orden de significancia cambió, ya que el 46% pertenecen al cluster 1, el 18% al cluster 2 y el 36% al cluster 3 por lo que se puede observar que la precipitación comienza a incrementarse espacialmente a un conglomerado de significancia alta (cluster 3), aunque el de mayor presencia en la zona fue el cluster 1. En cuanto a la serie historia de conglomerados en la zona de estudio (**Fig. 8.2.6.f**), se observa que en los años de 1966, 1973, 1974, 1985, 1995 y 1996 existen con una notoria disminución en el porcentaje en cuanto a conglomerados de alta significancia cluster 3, siendo menores o iguales al 12% en cada año encontrado y estando por debajo del histograma de frecuencia promedio del cluster 3 (25%) por lo menos en un 52%.

### 5.2.3 DISCUSIÓN JULIO

En lo que se refiere al mes de julio los patrones de precipitación encontrados en el análisis son complejos y no tan claros como en los otros meses de análisis, debido a que en este mes se tiene presencia de sistemas tropicales que tienen efectos directos a la zona. Para este mes de análisis,

durante el periodo de 1961-2000 se tiene que en promedio la precipitación en el área de estudio es de 262.28 mm (**Fig.8.3.1.a**), lo indica que la magnitud de la precipitación aumento en cada elemento de análisis. El histograma de frecuencia promedio (**Fig. 8.3.1.d**), muestra que el 23 % de los elementos pertenecen al cluster 1, el 65% pertenecen al cluster 2 y el 12 % al cluster 3, lo que indica que en promedio el 65% del área de estudio fue de significancia media, por otro lado el histograma de frecuencias de la moda (**Fig. 8.3.1.g**), indica que el 17% se comportó como cluster 1, el 44% como cluster 2 y el 40% como cluster 3 por lo que este último resultado muestra que los conglomerados de alta significancia aumentaron, así como también los de mediana significancia y ahora son los conglomerados que más predominan, también se pudo identificar que existió una recurrencia en la aparición del cluster 3 en la zona noroeste del área de estudio. Se observa que en el año de 1992 (**Fig. 8.3.6.f**), los conglomerados de alta significancia son menores a los del histograma de frecuencia promedio (**Fig. 8.3.1.d**), del cluster 3 (12%) en un 27% pero también se observa que los años 1969, 1971 y 1975 (**Fig. 8.3.6.f**), sobrepasan el histograma de frecuencia de la moda (**Fig. 8.3.1.g**), del cluster 3 (40%) en por lo menos el 0.5%.

#### **5.2.4 DISCUSIÓN OCTUBRE**

Para el mes de octubre se observa que el comportamiento de los patrones de precipitación es similar al del mes de enero pero con una magnitud mayor en la precipitación, teniendo para el periodo de 1961-2000 del mes de octubre y área de análisis de 229.82mm de precipitación (**Fig. 8.4.1.a**), denotándose el descenso de la actividad tropical y por ende la magnitud de precipitación en comparación al mes de julio. Los patrones de alta significancia tienden a estar nuevamente en la zona norte. noreste y noroeste de la zona de estudio con algunas pocas variantes en algunos años.

El histograma de frecuencia promedio (**Fig. 8.4.1.d**), muestra que el 44% de los elementos de análisis pertenecen al cluster 1 de baja significancia, el 26% al cluster 2 de mediana significancia y el 31% al cluster 3 de alta significancia. En cuanto al histograma de frecuencia de la moda (**Fig. 8.4.1.g**), muestra que el 46 % pertenece al cluster 1, el 19% al cluster 2 y el 35% al cluster 3 de alta significancia por lo que se puede decir que nuevamente predomino en el área de estudio el cluster 1. Para este mes se encontraron los años de 1977, 1980 y 1994 (**Fig. 8.4.6.f**), por debajo del histograma de frecuencia promedio (**Fig. 8.4.1.d**), para cluster 3 (31%) en por lo menos el 42%.

## 6.- CONCLUSIONES, TRABAJOS FUTUROS Y RELEVANCIA

### 6.1 CONCLUSIONES

Una de las particularidades de este trabajo es el haber empleado técnicas de análisis de conglomerados para estudiar la distribución espacial y temporal de los patrones de precipitación. El programa “R” fue una herramienta muy útil que permito usar y manipular las subrutinas de las técnicas de análisis de conglomerados utilizadas aquí. En cuanto a las metodologías de análisis de conglomerados se encontró que son adecuadas para el análisis y la determinación de eventos significativos de precipitación. En la parte de experimentación se pudo observar que los métodos jerárquicos tenían desventajas, en comparación con los métodos de particionamiento, en el uso de métricas como Manhathan y Euclidiana. Debido a lo anterior la viabilidad de su uso y al tiempo de procesamiento, entre otros, fue que se decidió usar los métodos “PAM” como técnica de análisis de conglomerados de este trabajo. El análisis de resultados mostró que siempre el algoritmo detectó los medoides en orden creciente y alrededor de ellos sus componentes de precipitación, siendo el primer medoide el de significancia baja, el segundo medoide como

significancia media y el tercer medoide como significancia alta, teniendo variaciones temporales y espaciales por lo que la metodología logró identificar los diferentes patrones precipitación sin ponerles rangos como comúnmente se hace.

En lo que respecta a los patrones de precipitación obtenidos, los meses de enero y abril, aun teniendo presencia de sistemas invernales, presentan patrones más homogéneos y recurrentes que ayudan a caracterizar el área de estudio, en patrones de precipitación con alta, media y baja significancia (**Fig.8.1.1.a → Fig.8.2.6.f**) Por otro lado para los meses de julio y octubre los patrones de precipitación fueron más heterogéneos y menos recurrentes, aunque en las gráficas de los conglomerados obtenidos para estos meses, se pueden visualizar algunos patrones recurrentes para algunos periodos que podrían caracterizar en el área de estudio zonas muy puntuales con patrones de precipitación de alta, media y baja significancia (**Fig. 8.3.1.a → Fig. 8.4.6.f**), esta mayor heterogeneidad se debe a los sistemas tropicales, como ondas del este, depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes que tiene presencia en esta zona y meses del año. Pero en general podrían existir otras causas como la variabilidad climática debida a los fenómenos de El Niño y La Niña que influyan en la distribución espacial y temporal de los patrones de precipitación obtenidos en este trabajo.

## 6.2 TRABAJOS FUTUROS

Se propone realizar la aplicación de esta misma metodología para otra zona del país, así como de otras variables climatológicas donde sea necesario conocer su distribución espacial y temporal, tomándose en cuenta las consideraciones mencionadas más adelante. También se propone analizar las causas físicas de los patrones encontrados en las diferentes épocas del año, como la variabilidad climática debida a los fenómenos de El Niño y la Niña. Nótese que dentro de los

alcances de este trabajo, éste se realizó a modo de un estudio de caso, además bajo una cierta hipótesis y algunas consideraciones, respondiendo de manera apropiada a la metodología para este caso en particular. Lo anterior no necesariamente significa que esta misma metodología satisficará completamente a otro estudio de caso, por lo que se recomienda tomar en consideración en trabajos futuros la experimentación necesaria de las metodologías para cualquier otra zona; ya que si ninguna de estas metodologías y en particular la métricas satisficiera la solución del problema, se tendría que realizar el desarrollo o modificación de una métrica acorde a la satisfacción de la solución del problema. Finalmente, un trabajo importante que se debe realizar es la evaluación de calidad de estos métodos con alguna de las metodologías ya existentes.

### **6.3 RELEVANCIA**

Como relevancia se puede decir que este trabajo es novedoso en el área de estudio debido a que no se encontró dentro la revisión del estado del arte algún trabajo igual o similar, por lo que éste dio un aporte en la aplicación para determinar y entender los patrones significativos de precipitación de una nueva forma.

## 7.- REFERENCIAS

Aparicio J., 2005, Fundamentos de Hidrología de Superficie, Edit. LIMUSA, México, 303p

Baird C., 1991, Experimentation, An Introduction to Measurement Theory and Experiment Design, Edit. Prentice Hall.

Beck U., 2001, Retorno a la Teoría de la Sociedad del Riesgo, Boletín de la A.G.E. N.º30-2000, págs. 9-20.

Bezdek C., 1981, Pattern Recognition with Fuzzy Objectives Function Algorithms, Plenum Press, New York.

Cabello M., Orza J. and Galiano V., 2008, Air Mass Origin and its Influence over the Aerosol Size Distribution: a Study in SE Spain, 7<sup>th</sup> EMS Annual Meeting and 8<sup>th</sup> European Conference on Applications of Meteorology, pp. 47-52.

Campos D., 1987, Procesos del Ciclo Hidrológico, Volumen 1, Edit. UASP.

CENAPRED. 2008. (Centro Nacional de Prevención de Desastres). Diagnostico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. México D.F. pp: 104-156.

Correa J. y González N., Gráficos Estadísticos con R, Universidad Nacional-Sede Medellin.

Diaz B., Moniche L. y Morillas A., 2005, Identificación de Sectores Clave Mediante Análisis de Conglomerados Difuso el Caso de España, University of California at Berkeley, Universidad de Málaga.

Dunn C., 1973, A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Cluster, Journal of Cybernetics 3: 32-57.

Elias F. y Castellvi F., 2001, Agrometrología, 2da edición, Edit. Mundi Prensa.

García E., 2003, Distribución de la Precipitación en la Republica Mexicana, Investigaciones Geográficas, UNAM, pp. 67-76.

Gutiérrez J., Cano R., Cofiño A. y Sordo C., 2004 Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas pp.81-89.

Hair J., Anderson R., Thatam R. y Black W., 1999, Análisis Multivariante, Edit., Pearson

Ieesuck J., Sunil K. and Kuruvilla J., 2002, Impact of Meteorology on the Fine Particulate Matter Distribution in Central and Southeastern Ohio.

Ihaka R. and Gentleman R., 1996, R., A language for data Analysis and Graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics 5: 299-314.

Jaimes L., 2004, Uso de Técnicas de Clasificación en Conglomerados para Describir Perfiles en Grandes Bases de Datos Educativas, Tesis de maestría en ciencias en computación científica, Universidad de Puerto Rico

Jorba O., Pérez C., Rocabosch F. and Baldasano J., 2004, Cluster Analysis of -Day Back Trajectories Arriving in the Barcelona Area, Spain, from 1997 to 2002. Journal of Applied Meteorology, pp. 887-901.

Kaufman L. and Rousseeuw P., 1990, Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis, Wiley, New York.

Maderey L. y Jimenez A., 2005. Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico. Instituto de Geografía, UNAM. Serie de Textos Universitarios, Num. 1. Pp. 18-21.

Magaña O., 2004, Los Impactos del Niño en México, Edit. Victor O. Magaña R.

Pavón N., Ramos J. y Montero J., 2009, Análisis de la Tendencia Tormentas Moderadas Basado en la Técnica de Conglomerados, XVIII Congreso Mexicano de Meteorología y III Congreso Internacional de Meteorología.

Ramos J., Montero J. and Traversoni L. , 2008, Determination of Significant Rainfall Events using Cluster Analysis, using a personal Computer, 1<sup>st</sup> Young Water Professional Conference.

Scofield A. and Kuligowski R., 2003. Status and Outlook of Operational Satellite Precipitation Algorithms for Extreme Precipitation Events. Wea. Forecasting, 18, 1037-1051.

Serafín S., Bertó A. and Zardi D., 2004, Application of Cluster Analysis Techniques to the Verification of Quantitative Precipitation Forecast. University of Trento.

Sumner G., 1988, Precipitation, Process and Analysis, Edit. Wiley.

Tamayo J., 1999, Geografía Moderna de México pp. 113-152 edit. Trillas.

Terán A., Gutierrez M., Ramos J. and Davydova V., 2010, Rainfall Analysis by Using a Geographic Information System During the Flooding of Tabasco and Chiapas in 2007, Canadian Journal on Environmental, Construction and Civil Engineering, Vol. 1, No 2, June 2010.

Terán A., 2010, Análisis de lluvia en México, Tesis doctoral en medio ambiente y desarrollo, CIEMAD, Instituto Politécnico Nacional.

Tryon C., 1939, Cluster Analysis, New York, Mc Graw-Hill

Walpole R., Myers R. and Myers S., 1998, Probabilistic and Statistics for Engineers and Scientists, Prentice Hall.

## 8.- ANEXO

### 8.1 RESULTADOS DE ANÁLISIS “ENERO”

#### 8.1.1 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ENERO 1961-2000

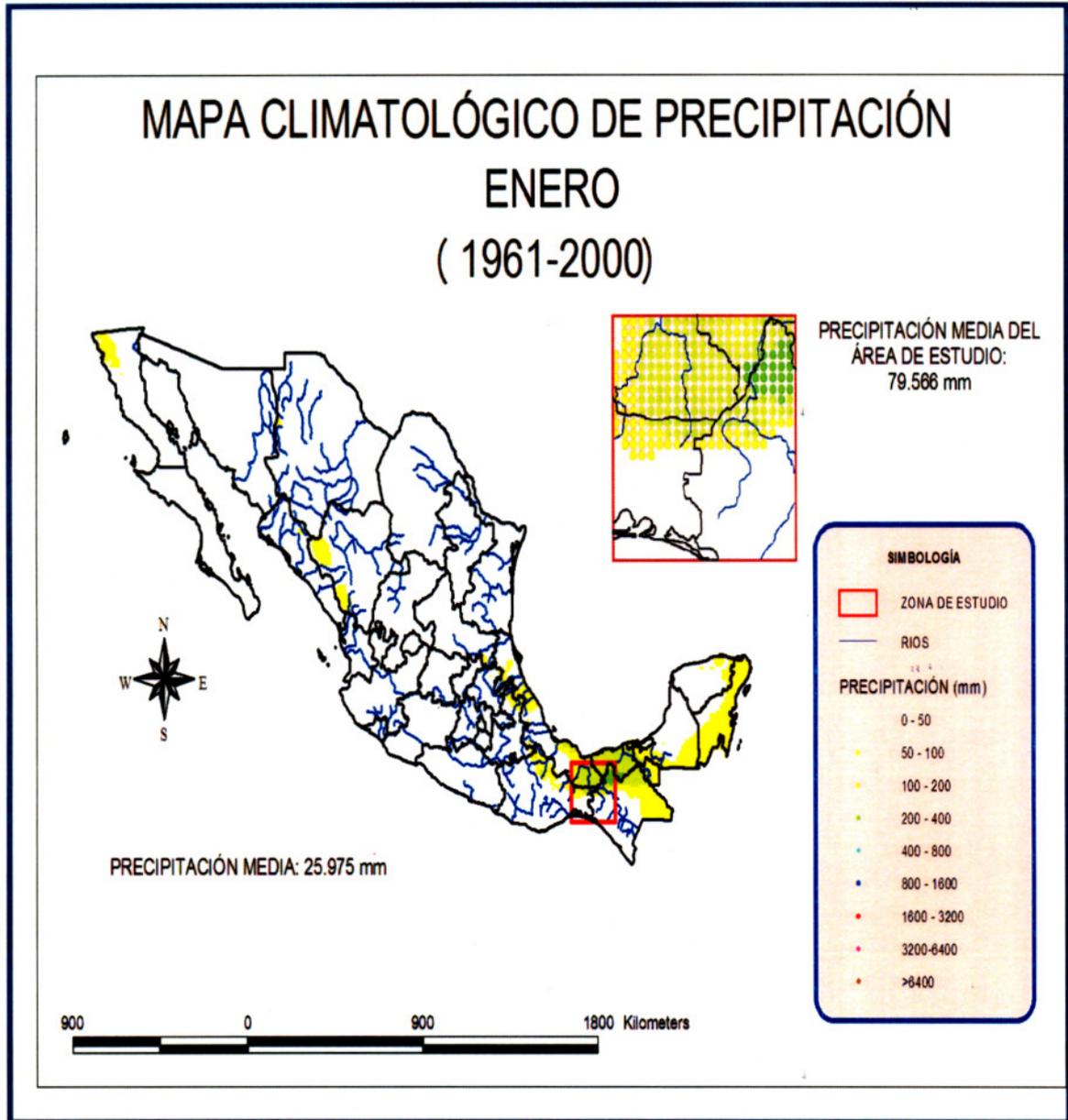


Fig. 8.1.1.a Climatología de precipitación enero 1961-2000

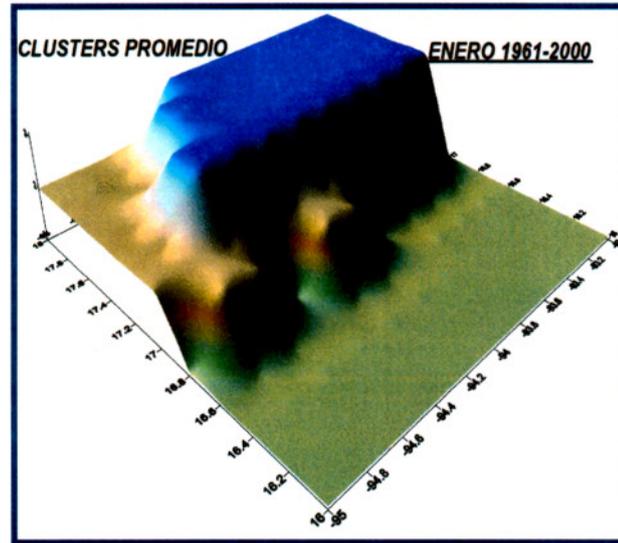


Fig.8.1.1.b Promedio de conglomerados enero 1961-2000

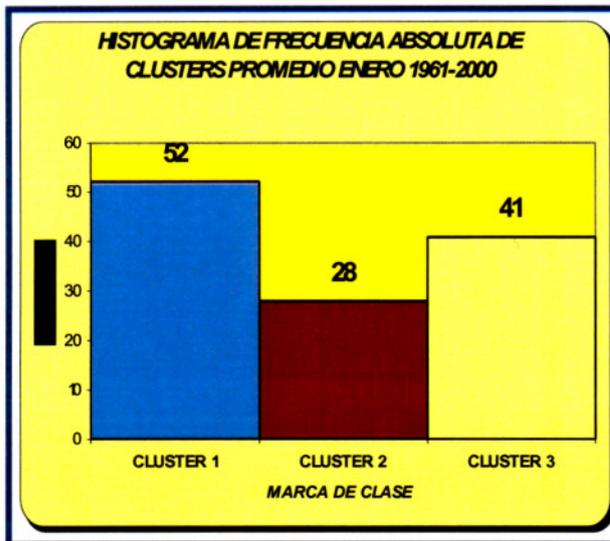


Fig. 8.1.1.c Histograma de frecuencia absoluta promedio enero 1961-2000

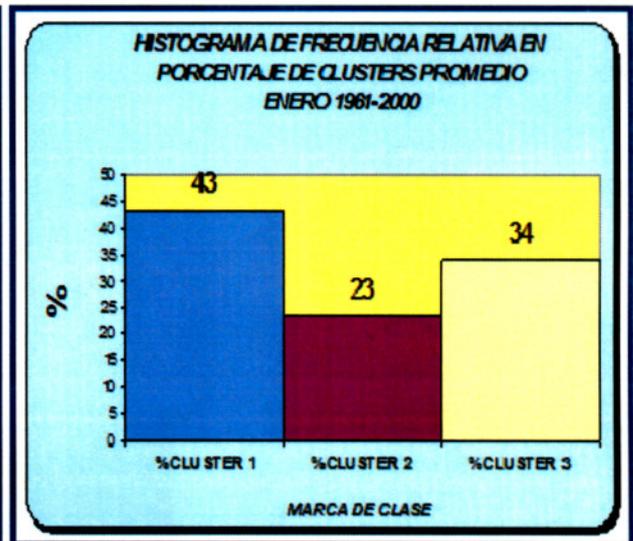


Fig. 8.1.1.d Histograma de frecuencia relativa promedio enero 1961-2000

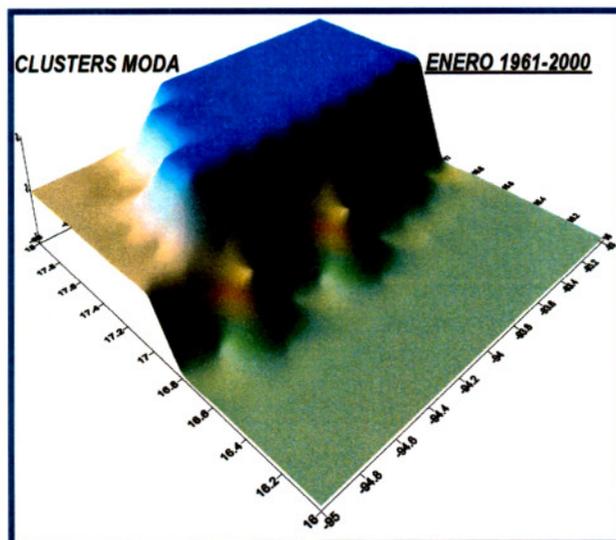


Fig. 8.1.1.e Moda de conglomerados  
 enero 1961-2000

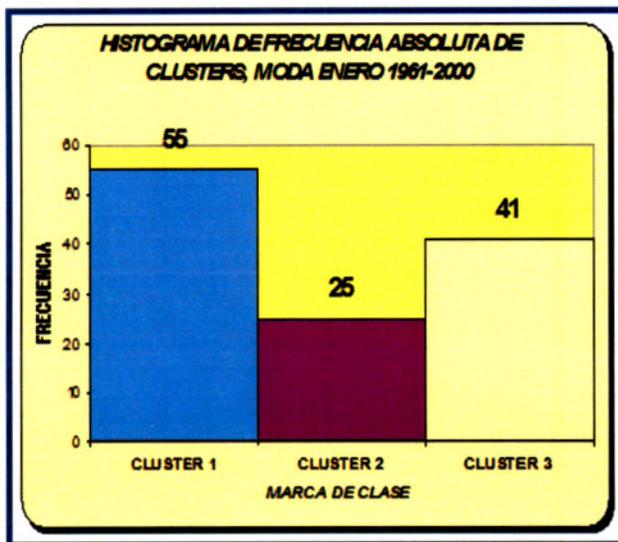


Fig. 8.1.1.f Histograma de frecuencia absoluta  
 moda enero 1961-2000

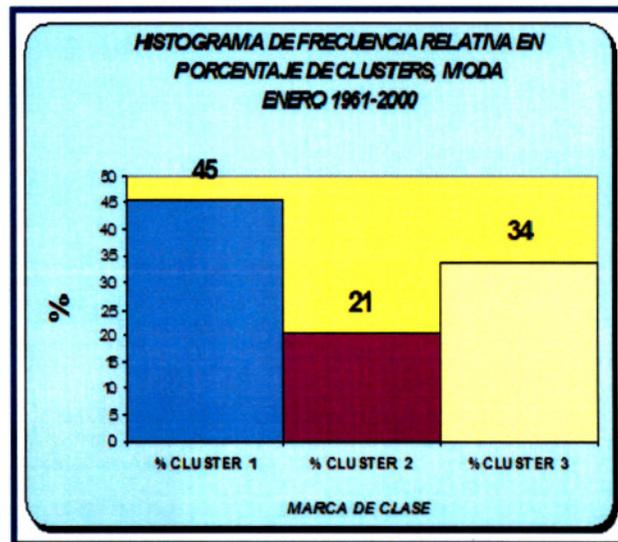


Fig. 8.1.1.g Histograma de frecuencia relativa  
 moda enero 1961-2000

### 8.1.2 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ENERO DE 1961-1970

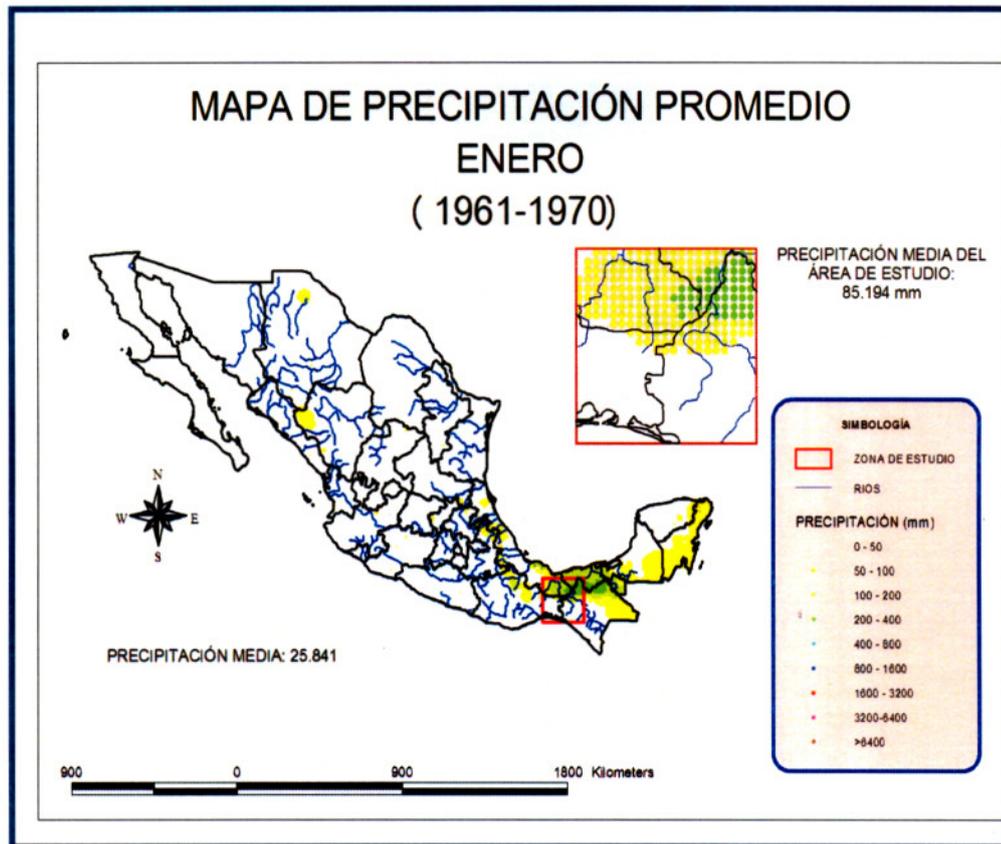


Fig. 8.1.2.a Precipitación promedio  
 enero 1961-1970

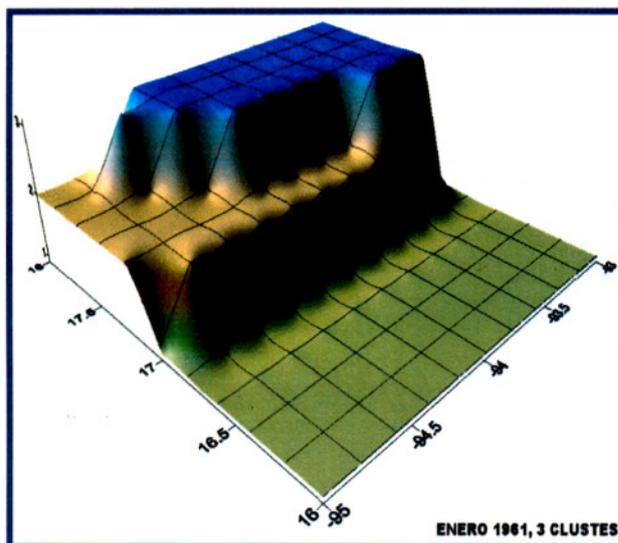


Fig. 8.1.2.b Conglomerados enero 1961

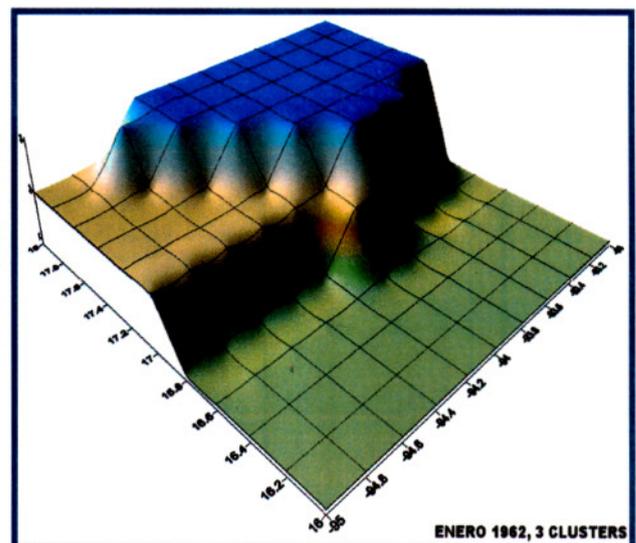


Fig. 8.1.2.c Conglomerados enero 1962

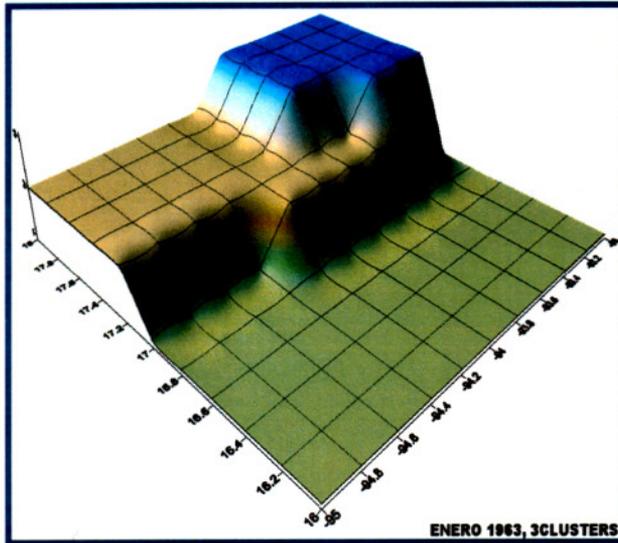


Fig. 8.1.2.d Conglomerados enero 1963

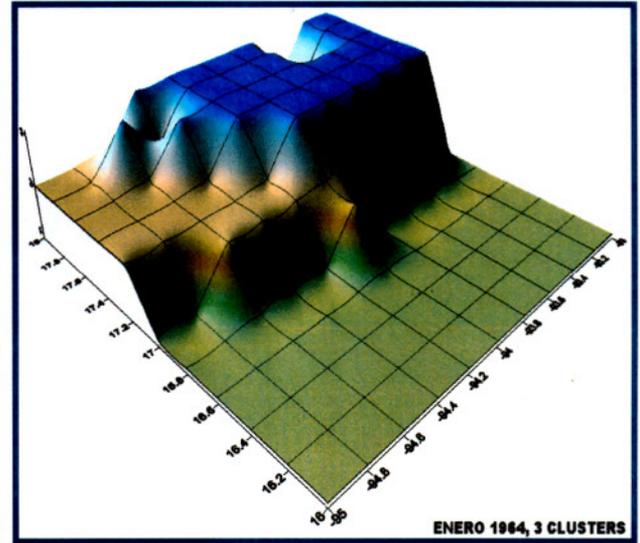


Fig. 8.1.2.e Conglomerados enero 1964

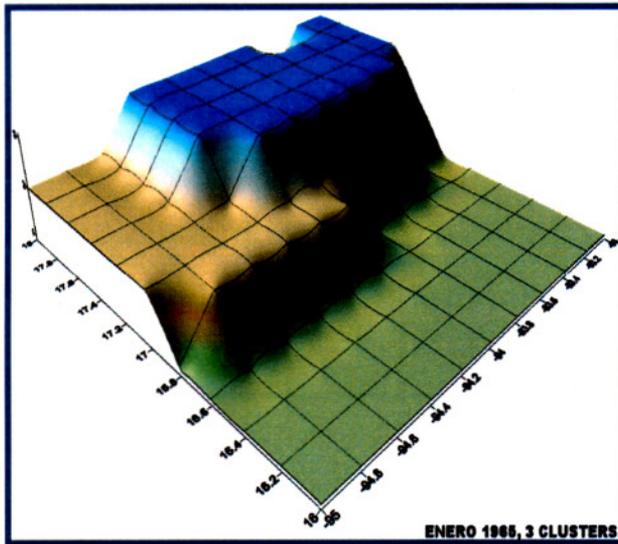


Fig. 8.1.2.f Conglomerados enero 1965

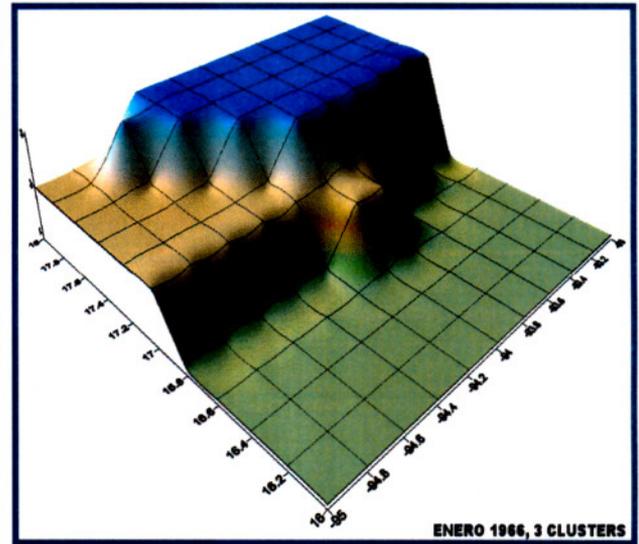


Fig. 8.1.2.g Conglomerados enero 1966

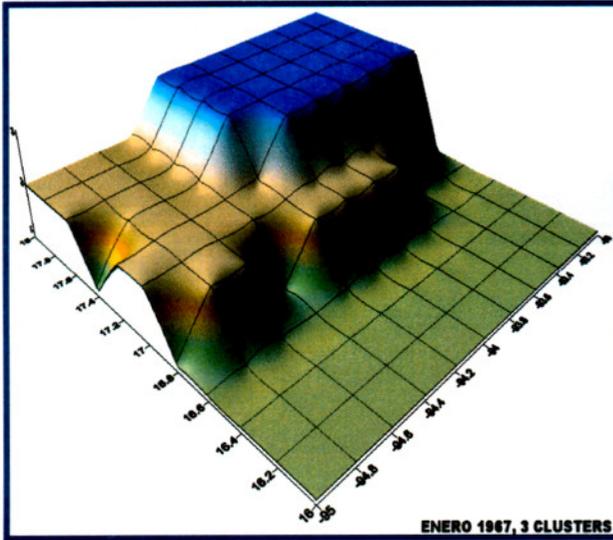


Fig. 8.1.2.h Conglomerados enero 1967

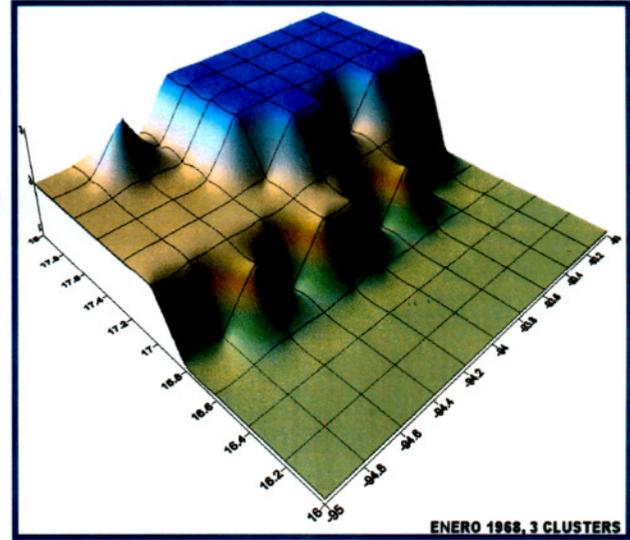


Fig. 8.1.2.i Conglomerados enero 1968

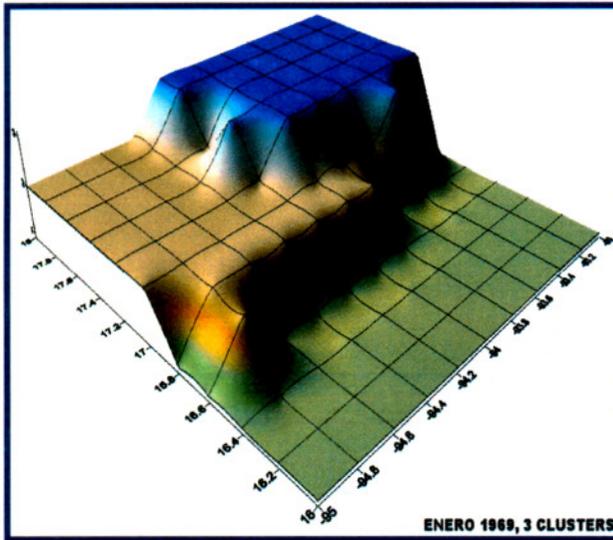


Fig. 8.1.2.j Conglomerados enero 1969

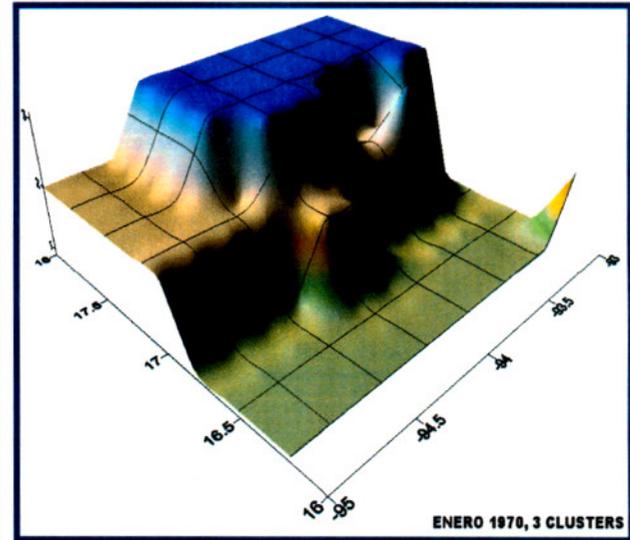


Fig. 8.1.2.k Conglomerados enero 1970

### 8.1.3 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ENERO DE 1971-1980

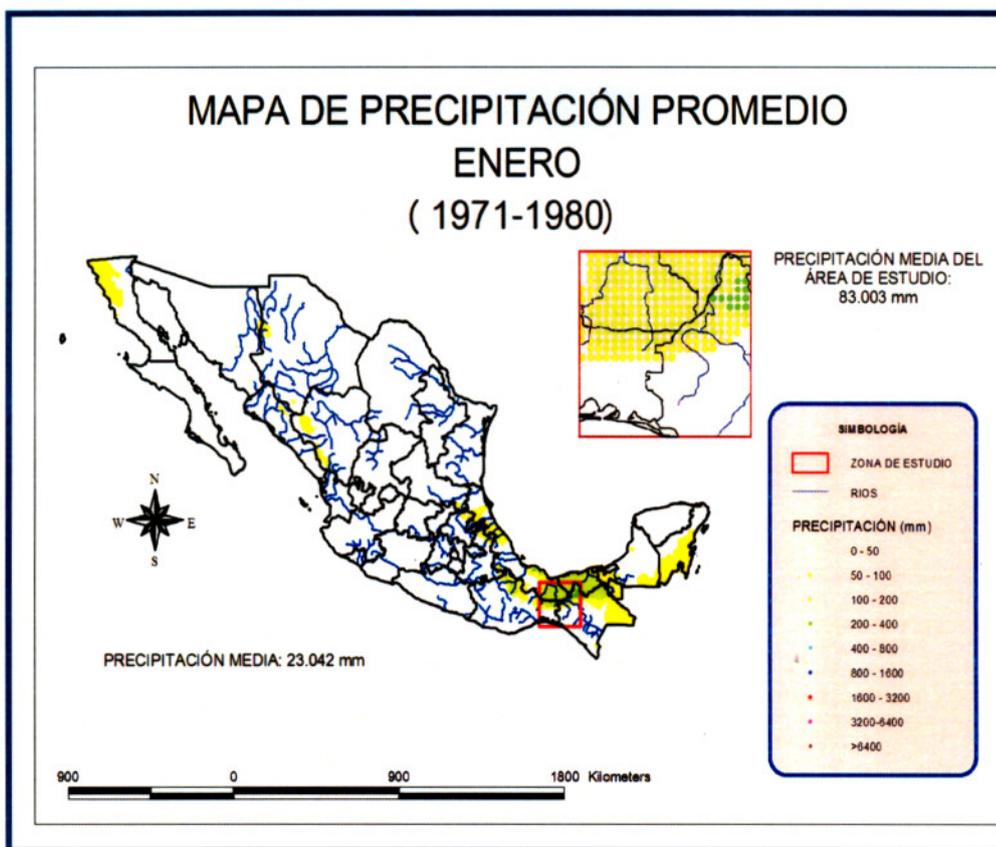


Fig. 8.1.3.a Precipitación promedio enero 1971-1980

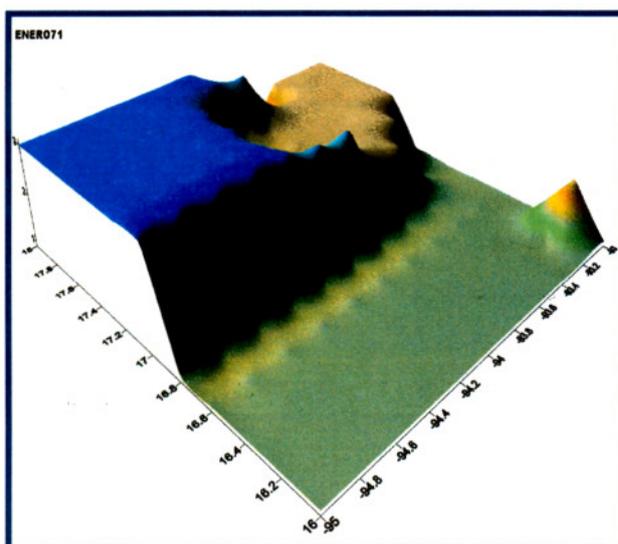


Fig. 8.1.3.b Conglomerados enero 1971

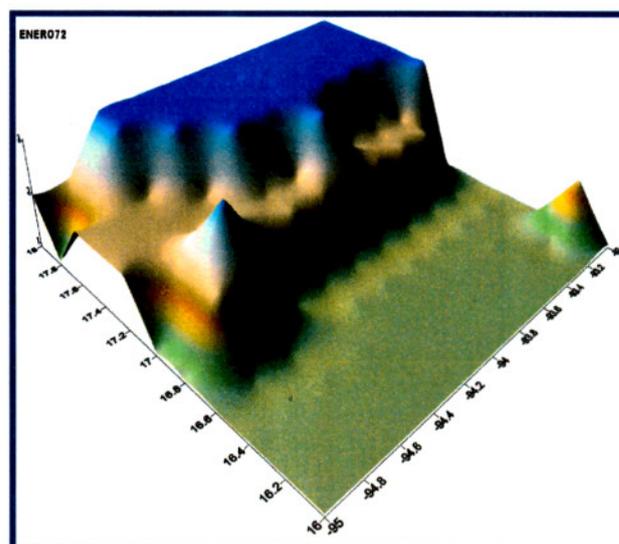


Fig. 8.1.3.c Conglomerados enero 1972

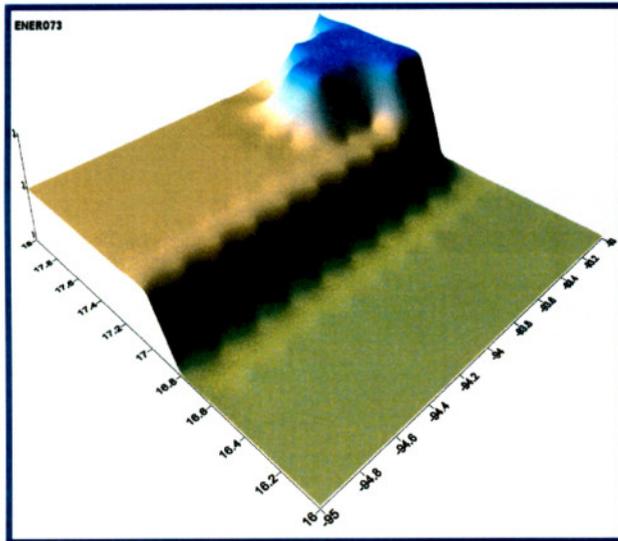


Fig. 8.1.3.d Conglomerados enero 1973

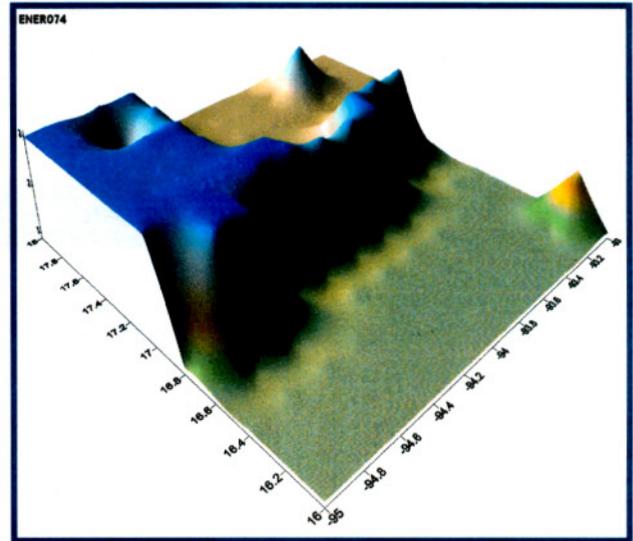


Fig. 8.1.3.e Conglomerados enero 1974

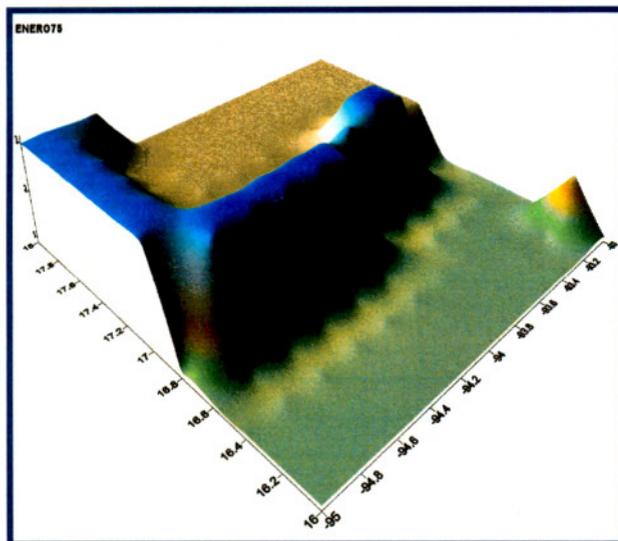


Fig. 8.1.3.f Conglomerados enero 1975

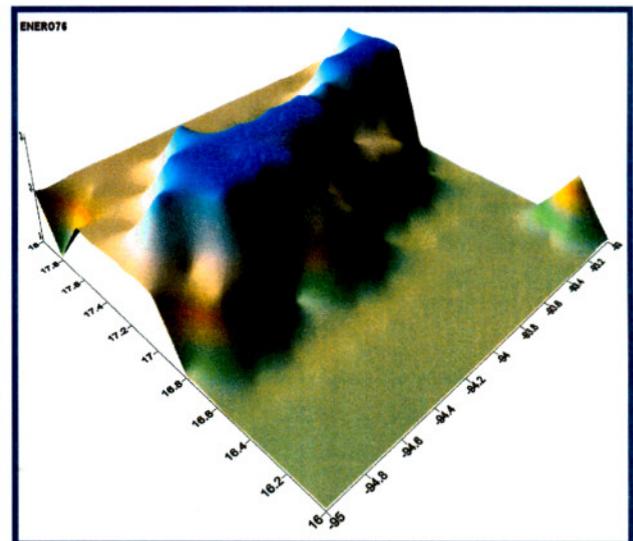


Fig. 8.1.3.g Conglomerados enero 1976

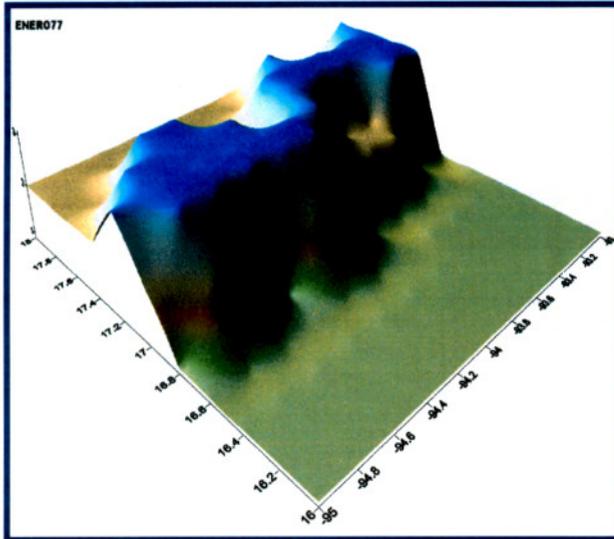


Fig. 8.1.3.h Conglomerados enero 1977

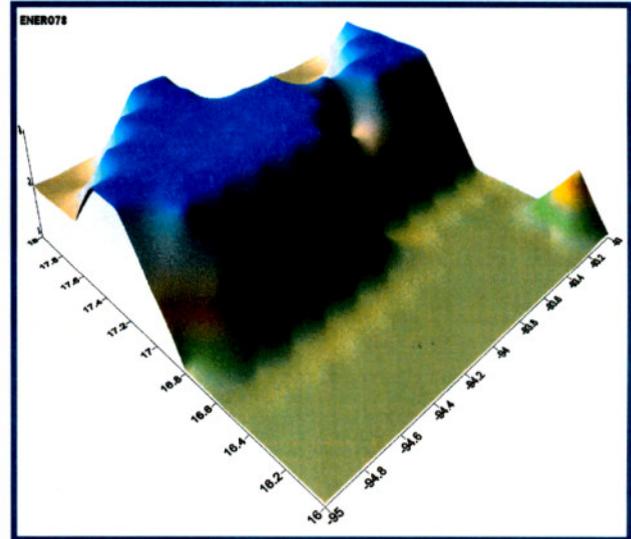


Fig. 8.1.3.i Conglomerados enero 1978

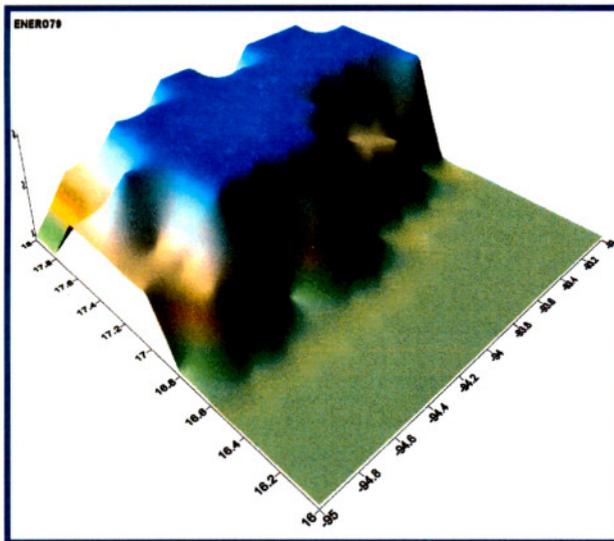


Fig. 8.1.3.j Conglomerados enero 1979

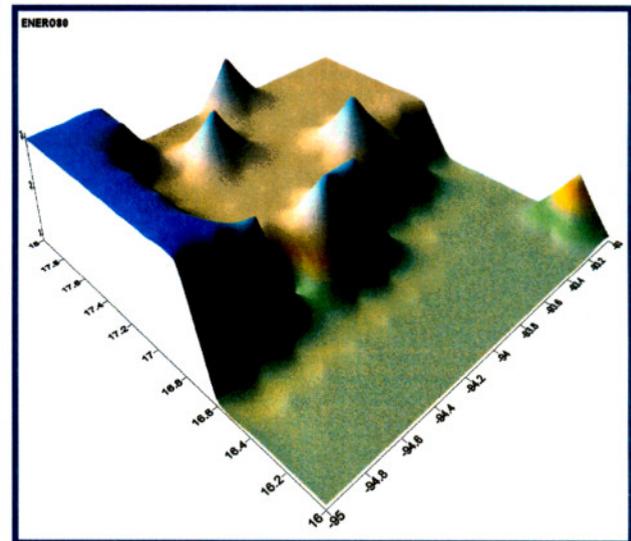


Fig. 8.1.3.k Conglomerados enero 1980

### 8.1.4 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ENERO DE 1981-1990

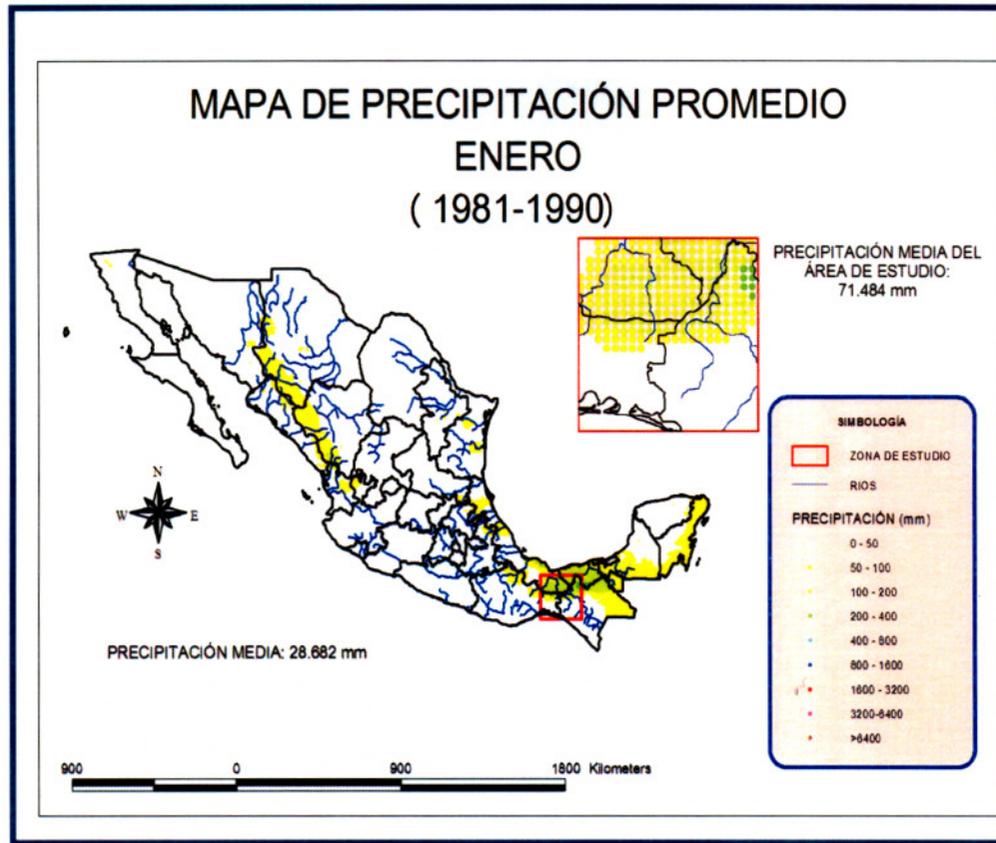


Fig. 8.1.4.a Precipitación promedio  
enero 1981-1990

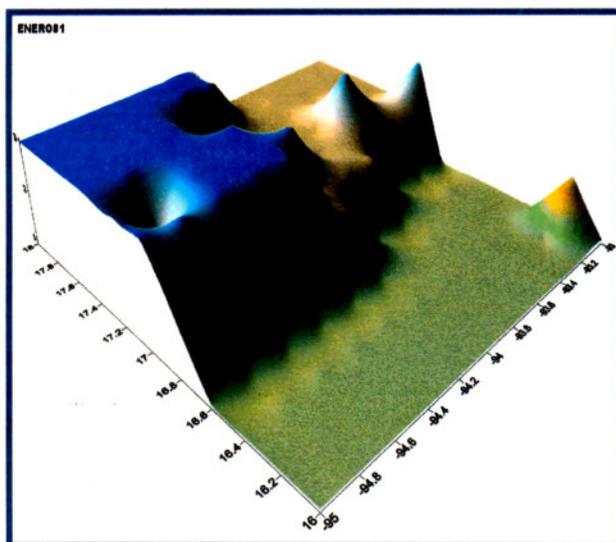


Fig. 8.1.4.b Conglomerados enero 1981

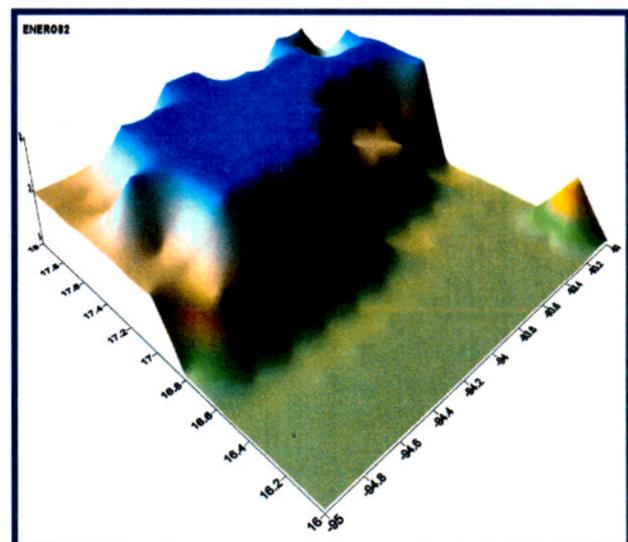
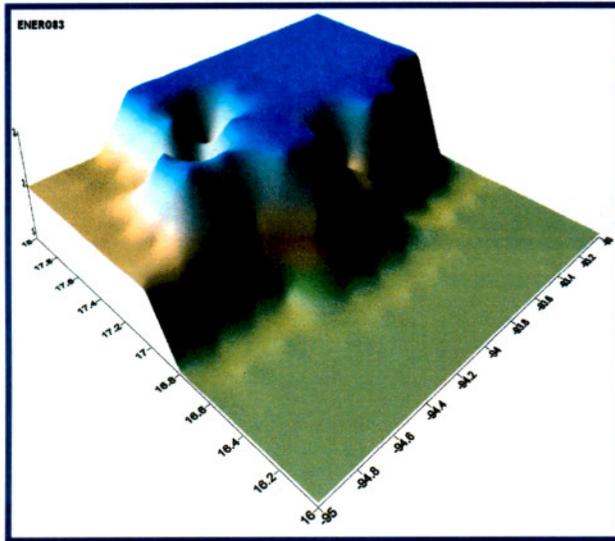


Fig. 8.1.4.c Conglomerados enero 1982



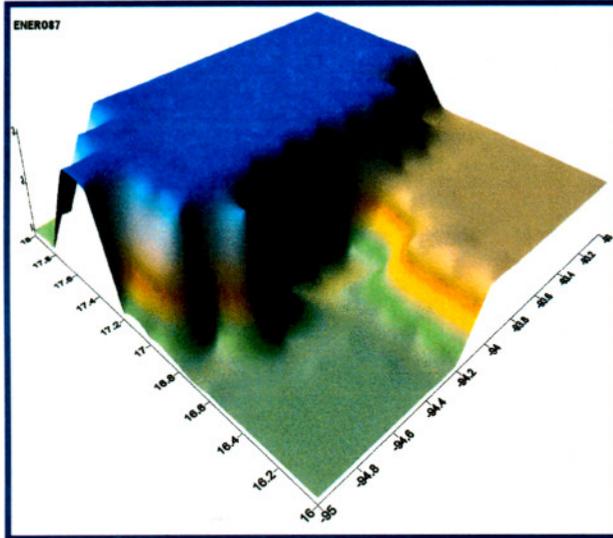


Fig. 8.1.4.h Conglomerados enero 1987

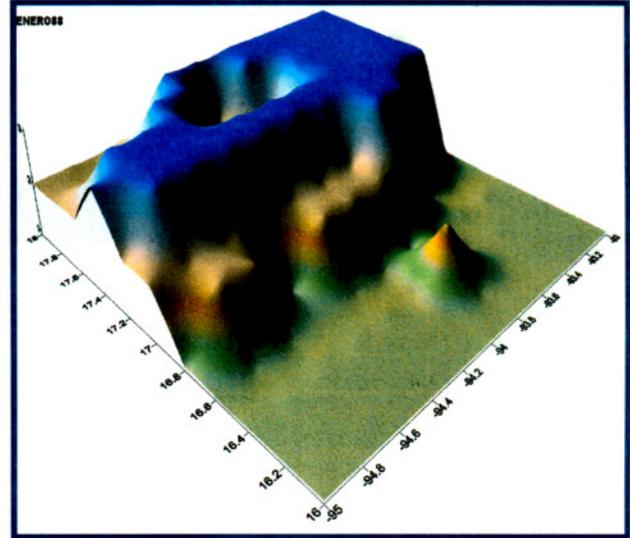


Fig. 8.1.4.i Conglomerados enero 1988

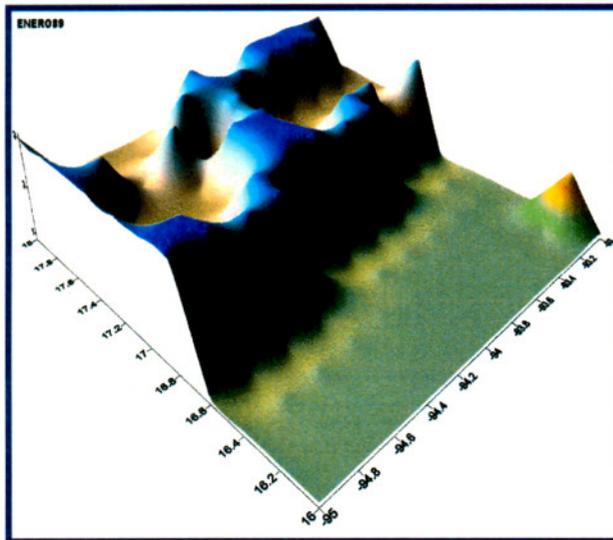


Fig. 8.1.4.j Conglomerados enero 1989

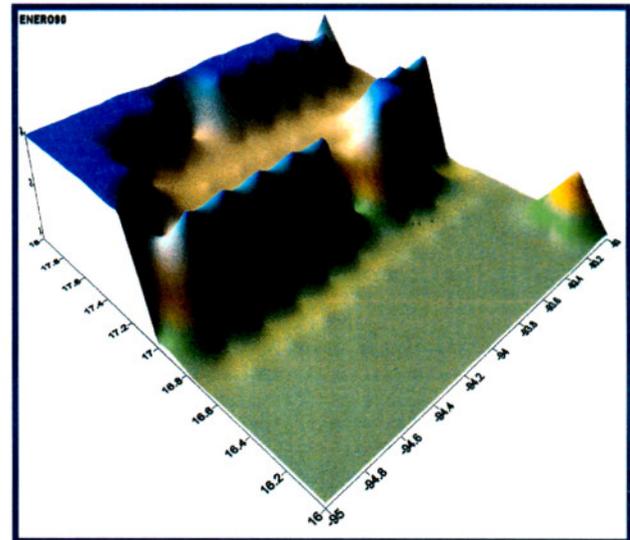


Fig. 8.1.4.k Conglomerados enero 1990

### 8.1.5 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ENERO DE 1991-2000

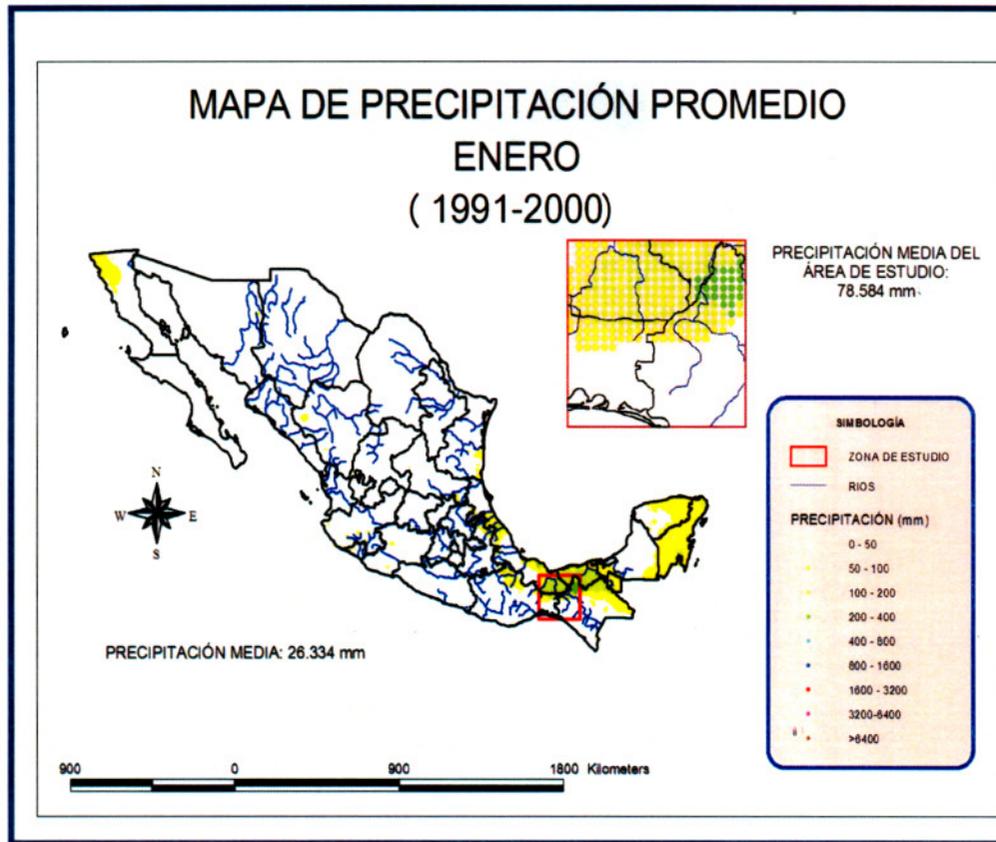


Fig. 8.1.5.a Precipitación promedio  
enero 1991-2000

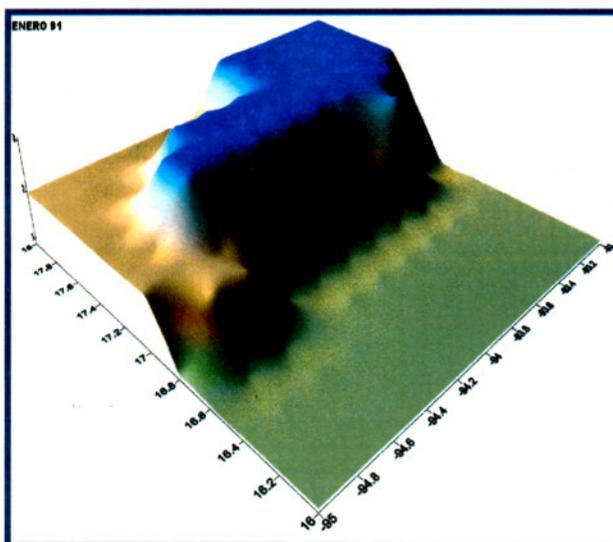


Fig. 8.1.5.b Conglomerados enero 1991

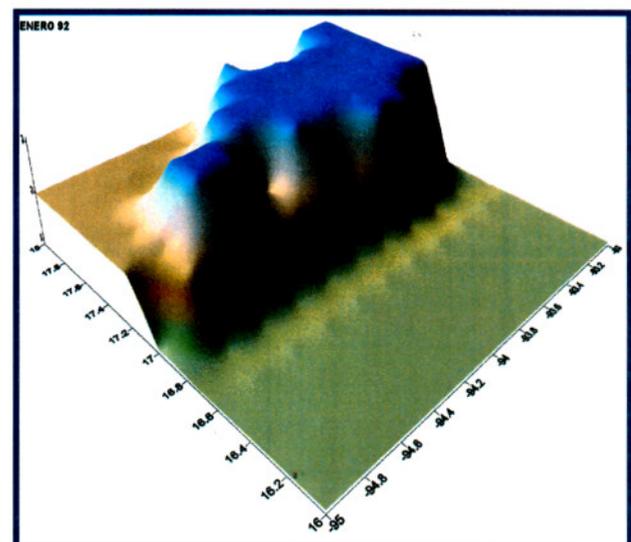


Fig. 8.1.5.c Conglomerados enero 1992

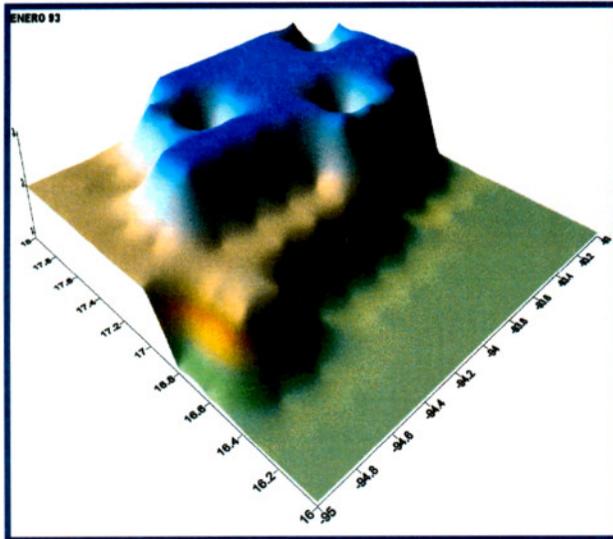


Fig. 8.1.5.d Conglomerados enero 1993

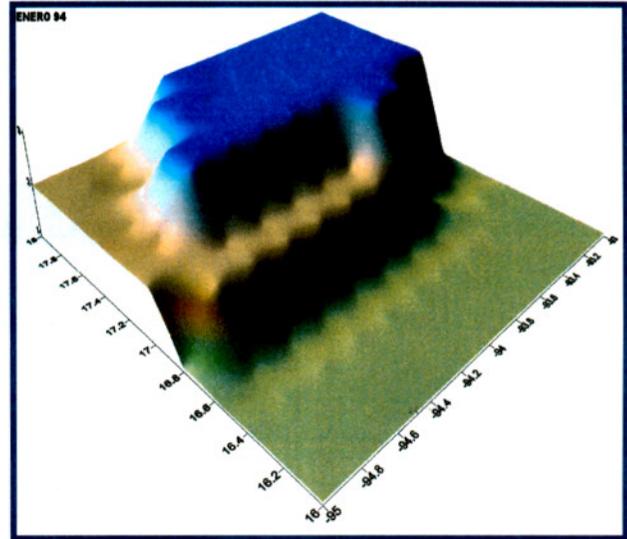


Fig. 8.1.5.e Conglomerados enero 1994

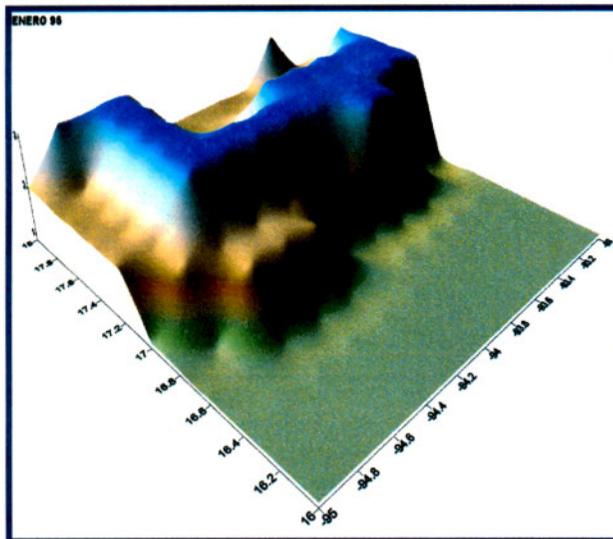


Fig. 8.1.5.f Conglomerados enero 1995

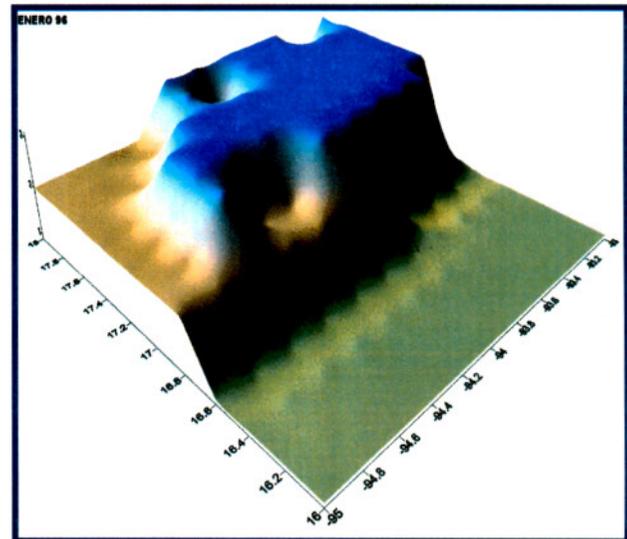


Fig. 8.1.5.g Conglomerados enero 1996

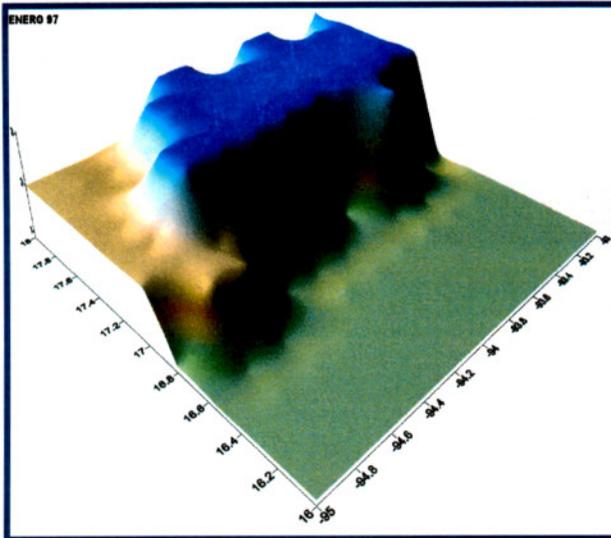


Fig. 8.1.5.h Conglomerados enero 1997

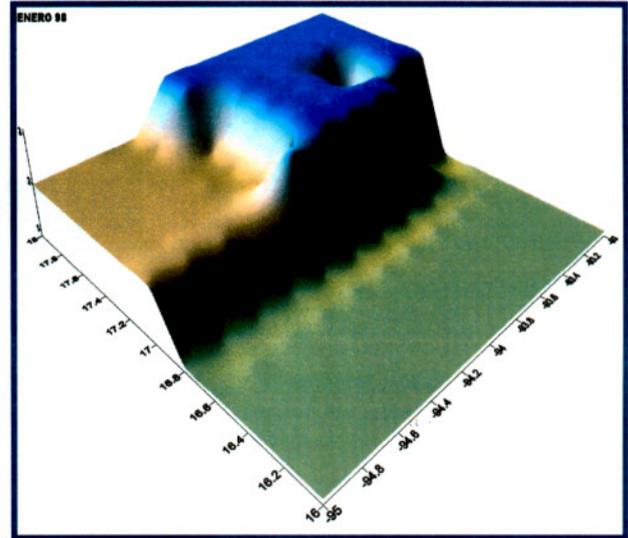


Fig. 8.1.5.i Conglomerados enero 1998

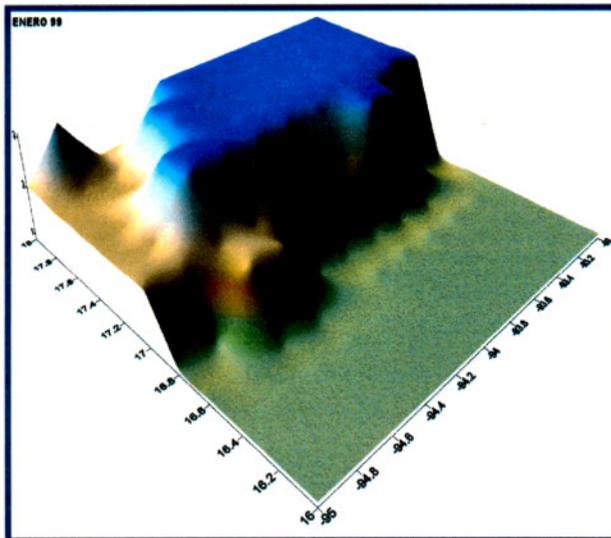


Fig. 8.1.5.j Conglomerados enero 1999

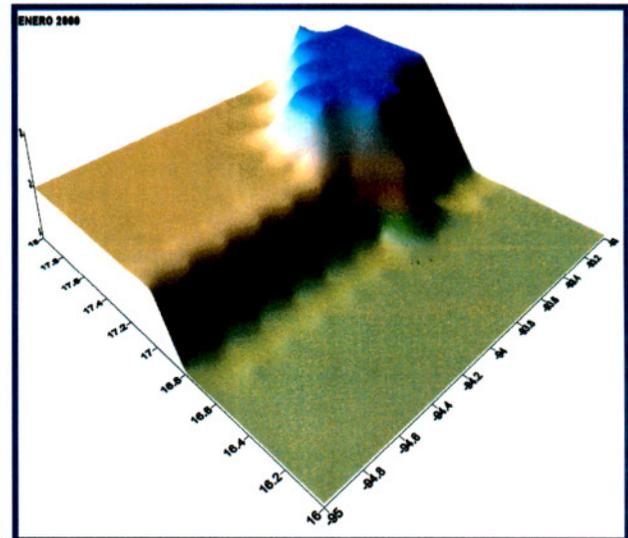


Fig. 8.1.5.k Conglomerados enero 2000

### 8.1.6 HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA ABSOLUTA Y RELATIVA DE CONGLOMERADOS ENERO 1961-2000

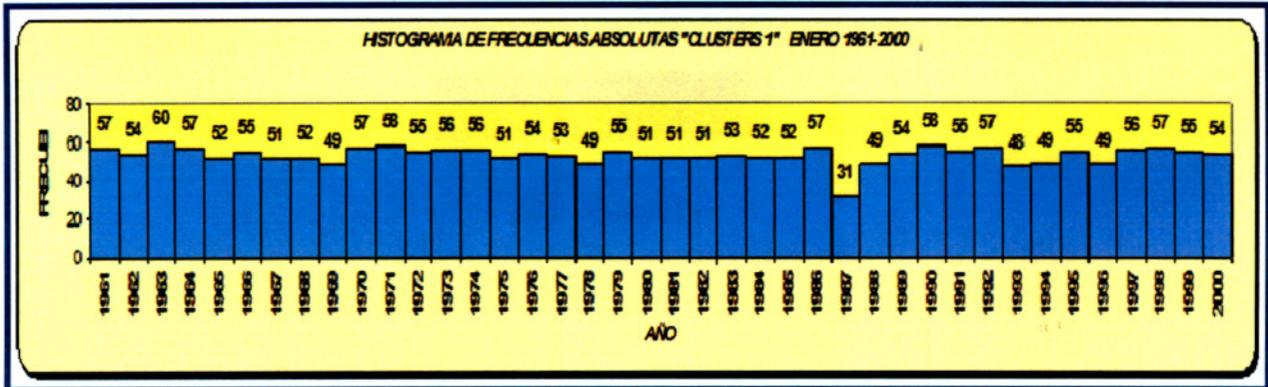


Fig. 8.1.6.a Histograma de frecuencia absoluta, cluster 1, enero 1961-2000

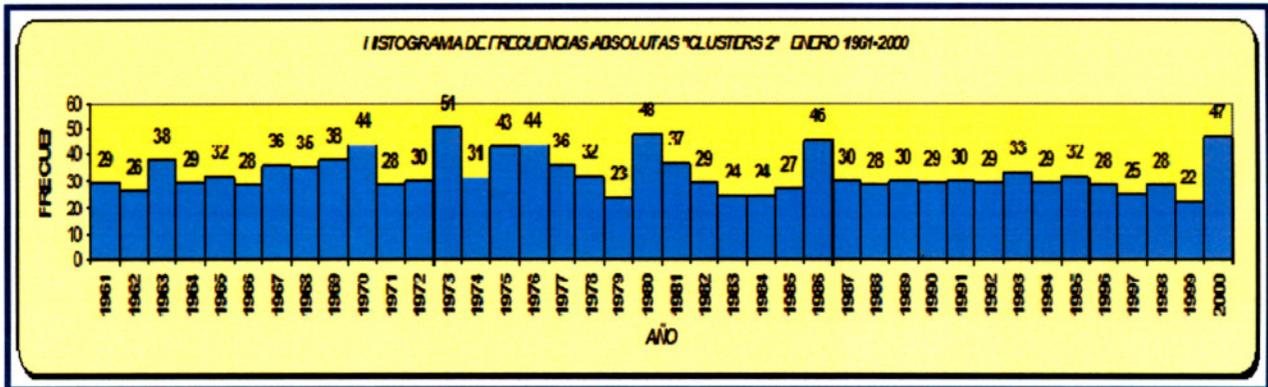


Fig. 8.1.6.b Histograma de frecuencia absoluta, cluster 2, enero 1961-2000

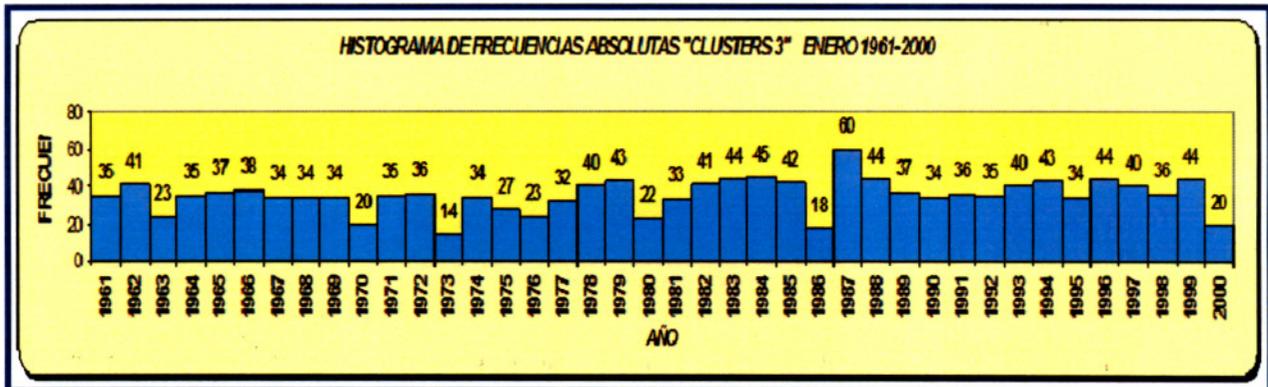


Fig. 8.1.6.c Histograma de frecuencia absoluta, cluster 3, enero 1961-2000

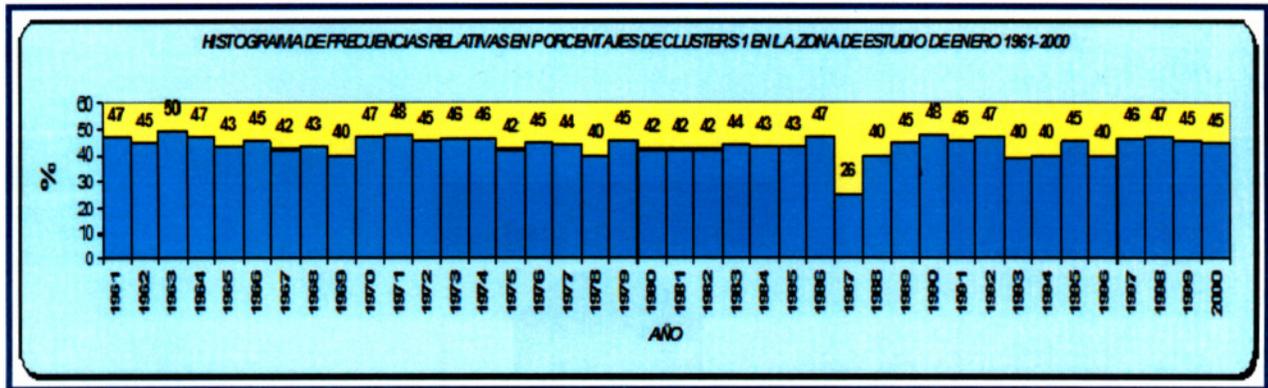


Fig. 8.1.6.d Histograma de frecuencia relativa, cluster 1, enero 1961-2000

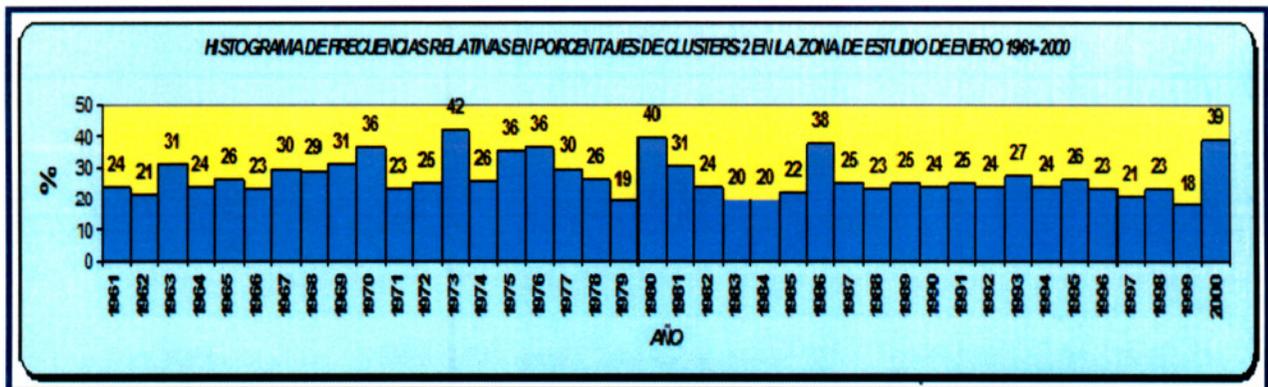


Fig. 8.1.6.e Histograma de frecuencia relativa, cluster 2, enero 1961-2000

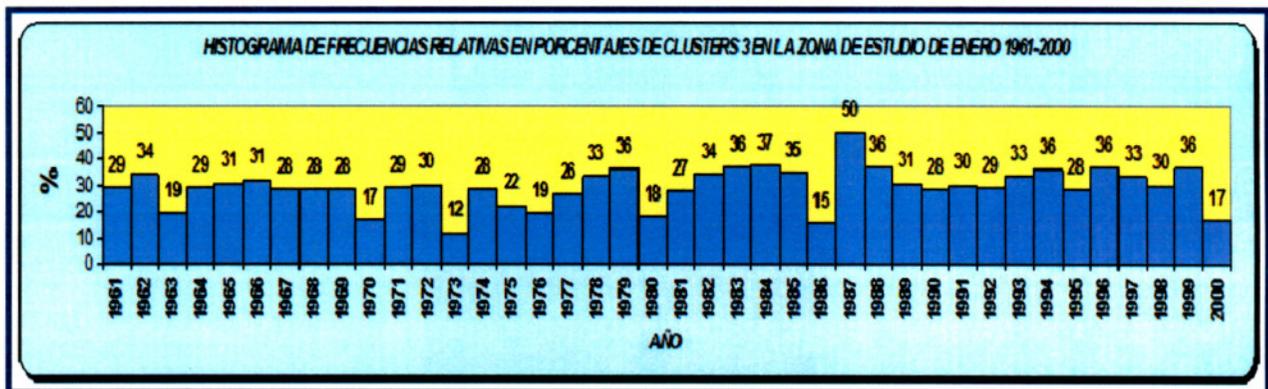


Fig. 8.1.6.f Histograma de frecuencia relativa, cluster 3, enero 1961-2000

## 8.2 RESULTADOS DE ANÁLISIS “ABRIL”

### 8.2.1 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ABRIL 1961-2000

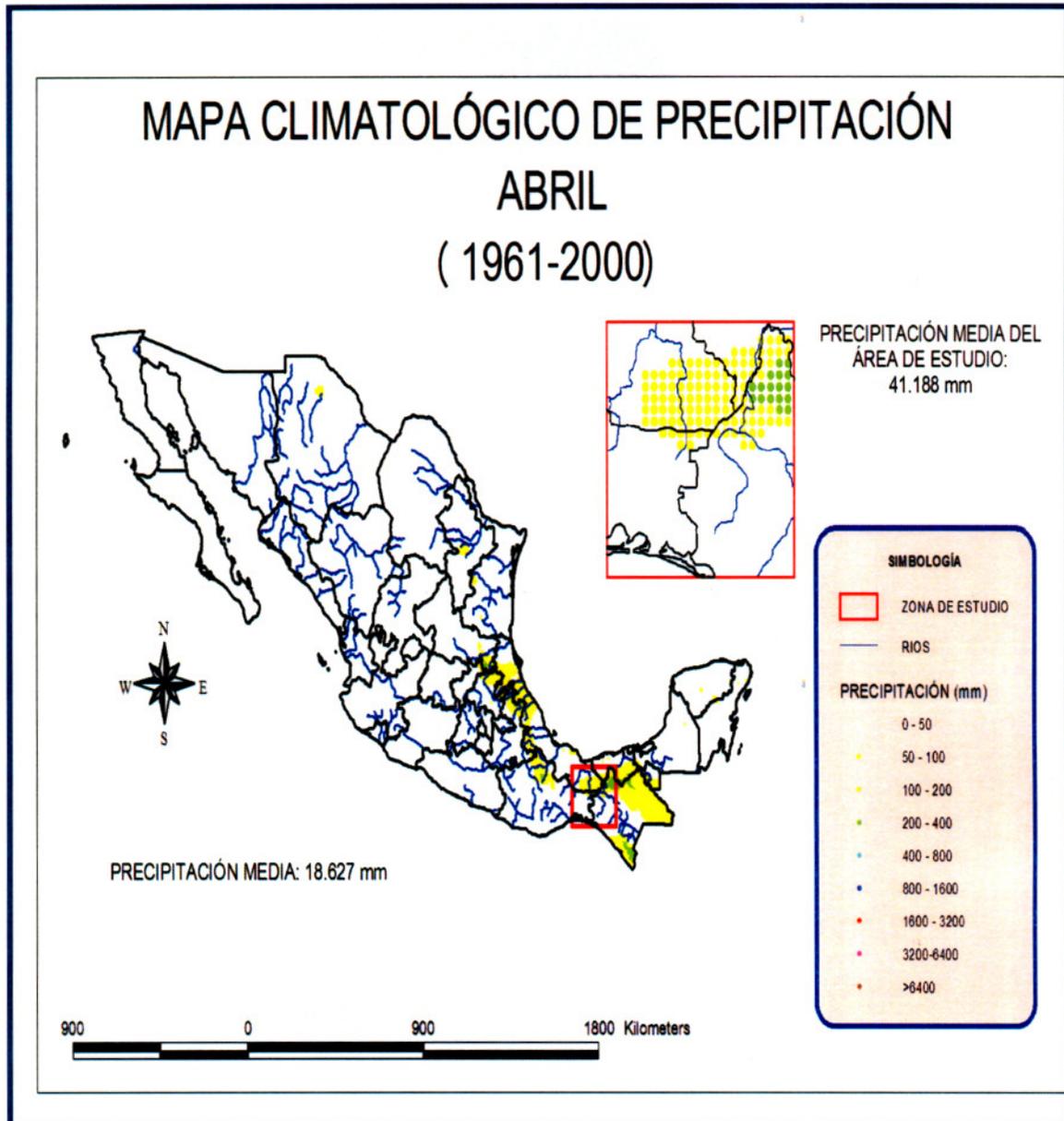


Fig. 8.2.1.a Climatología de precipitación abril 1961-2000

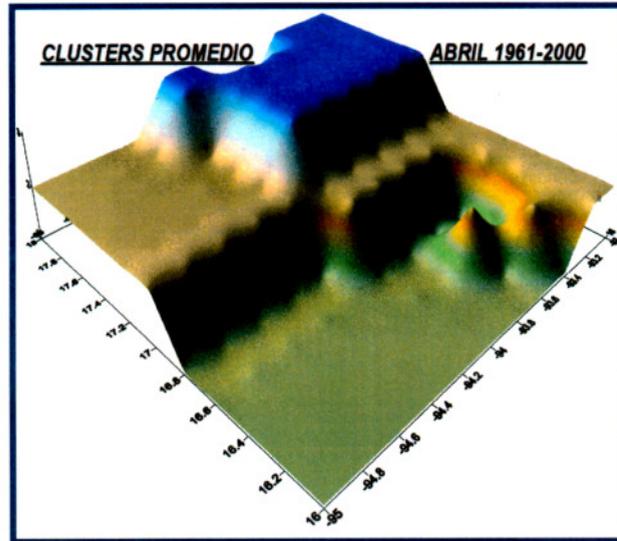


Fig. 8.2.1.b Promedio de conglomerados abril 1961-2000

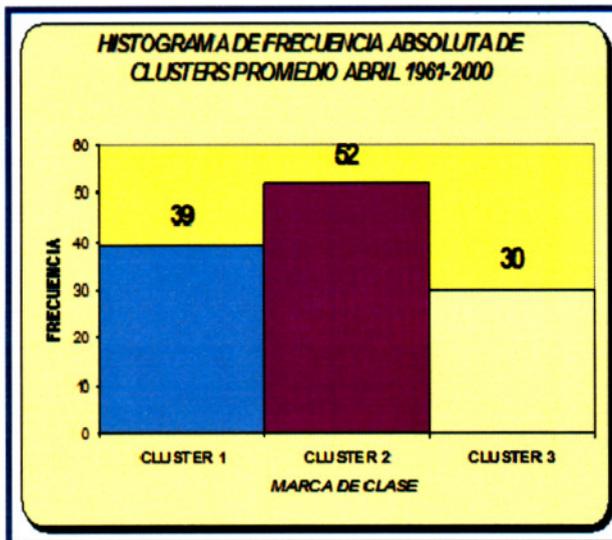


Fig. 8.2.1.c Histograma de frecuencia absoluta promedio abril 1961-2000

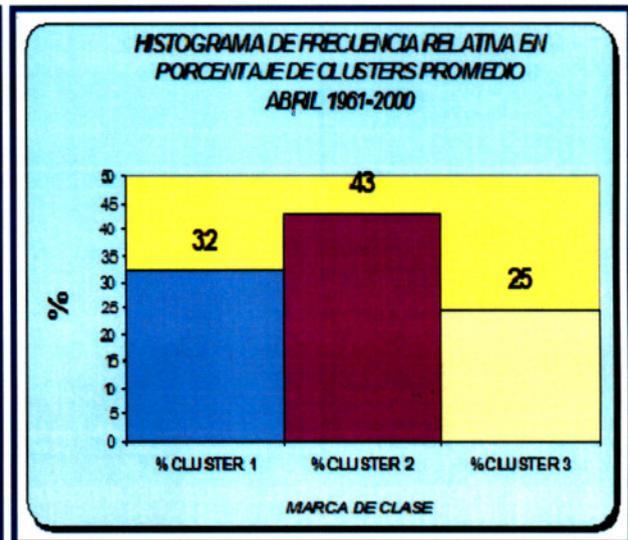


Fig. 8.2.1.d Histograma de frecuencia relativa promedio abril 1961-2000

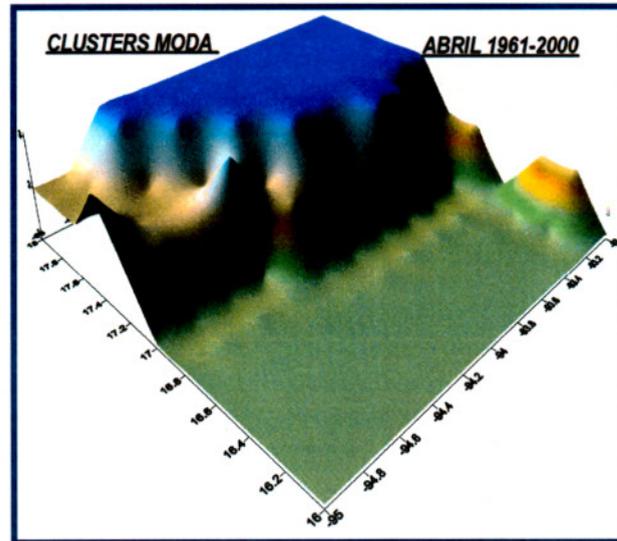


Fig. 8.2.1.e Moda de conglomerados  
abril 1961-2000

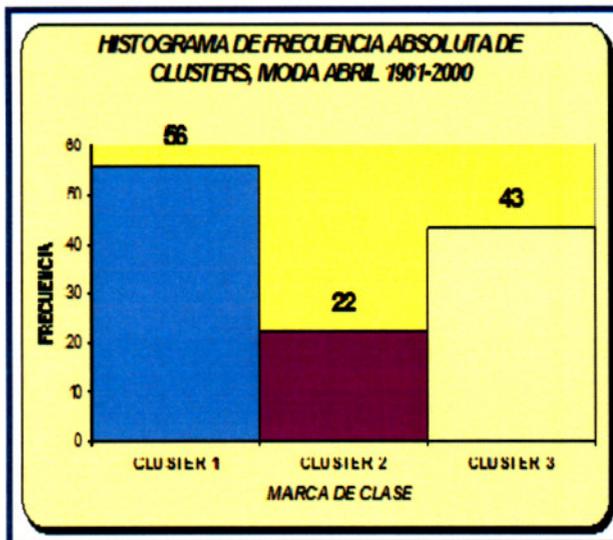


Fig. 8.2.1.f Histograma de frecuencia absoluta  
moda abril 1961-2000

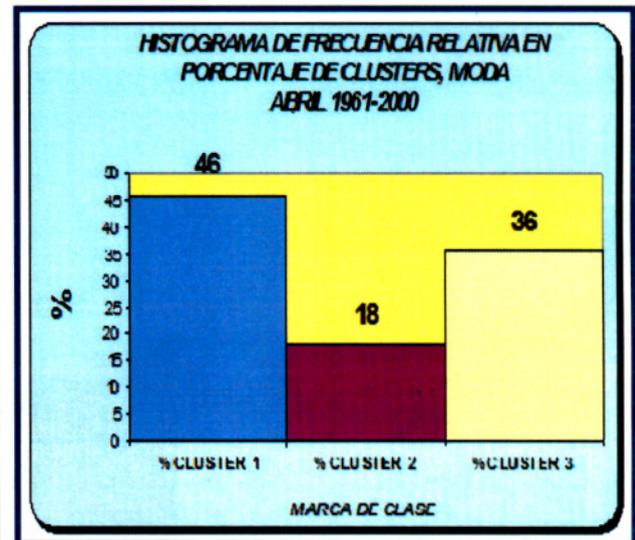


Fig. 8.2.1.g Histograma de frecuencia relativa  
moda abril 1961-2000



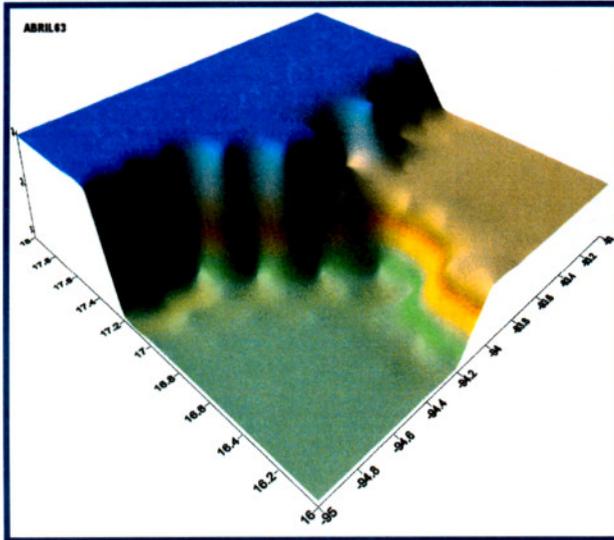


Fig. 8.2.2.d Conglomerados abril 1963

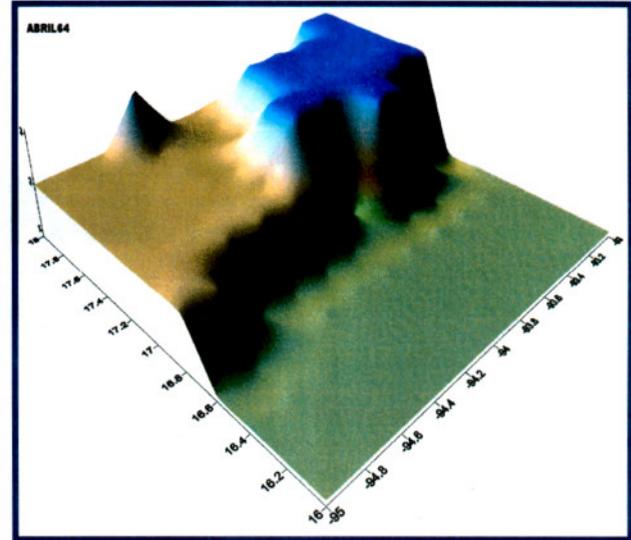


Fig. 8.2.2.e Conglomerados abril 1964

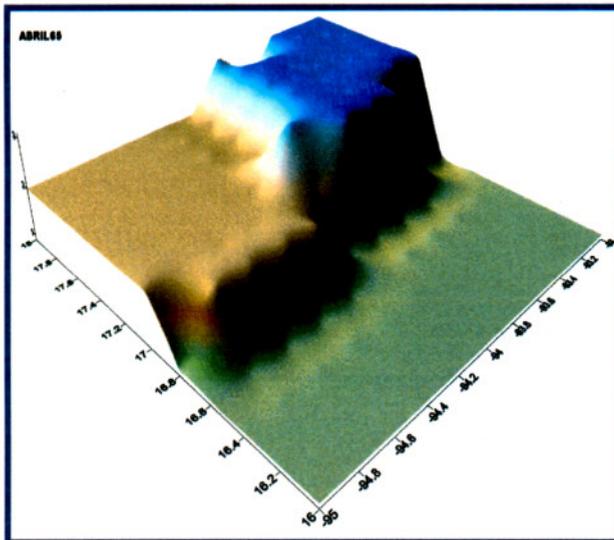


Fig. 8.2.2.f Conglomerados abril 1965

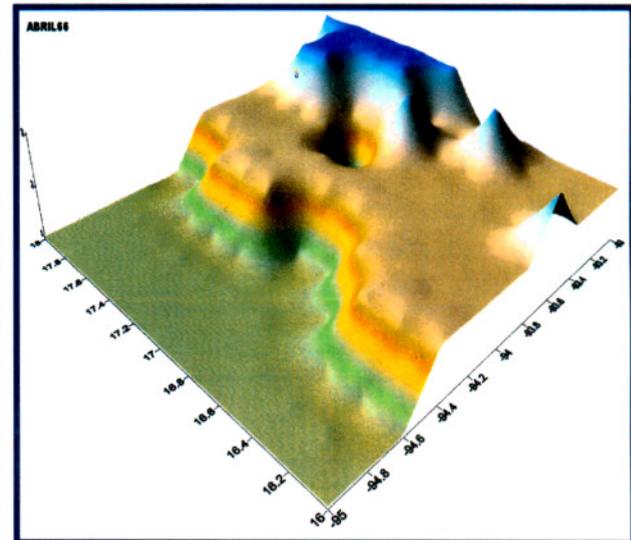


Fig. 8.2.2.g Conglomerados abril 1966

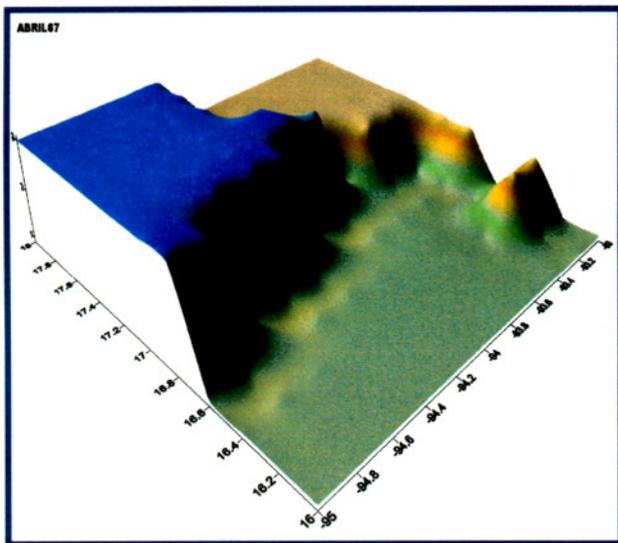


Fig. 8.2.2.h Conglomerados abril 1967

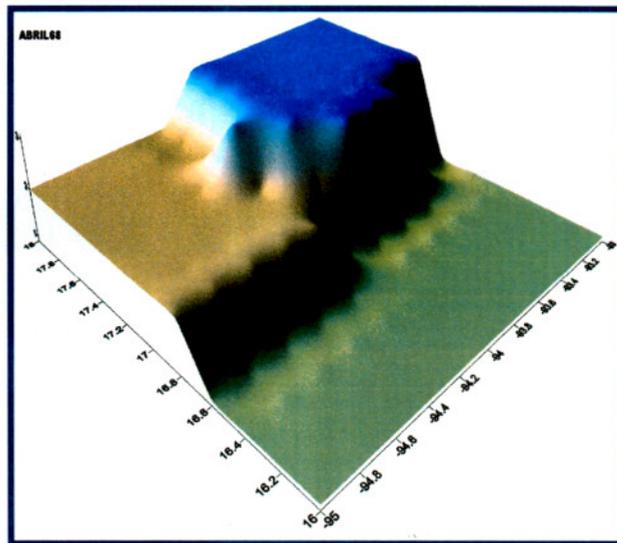


Fig. 8.2.2.i Conglomerados abril 1968

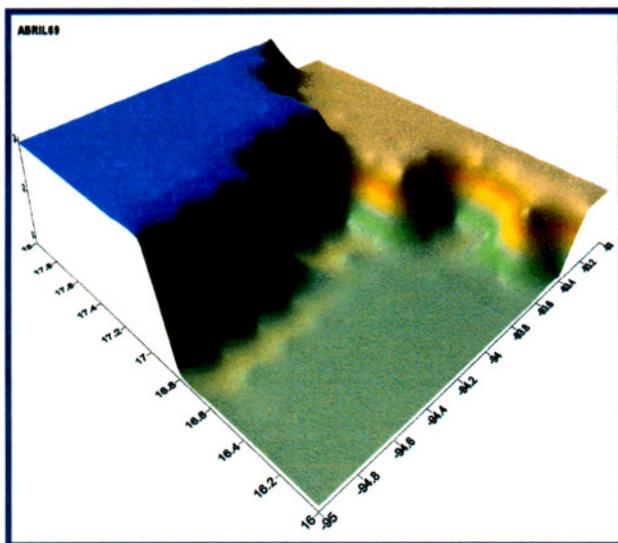


Fig. 8.2.2.j Conglomerados abril 1969

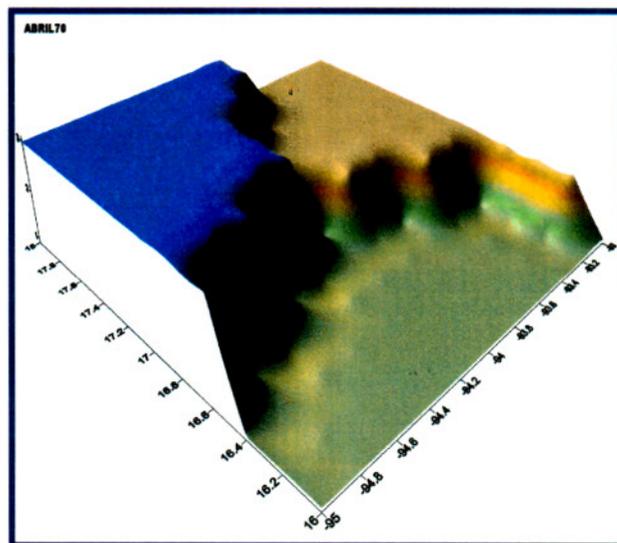


Fig. 8.2.2.k Conglomerados abril 1970

### 8.2.3 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ABRIL DE 1971-1980

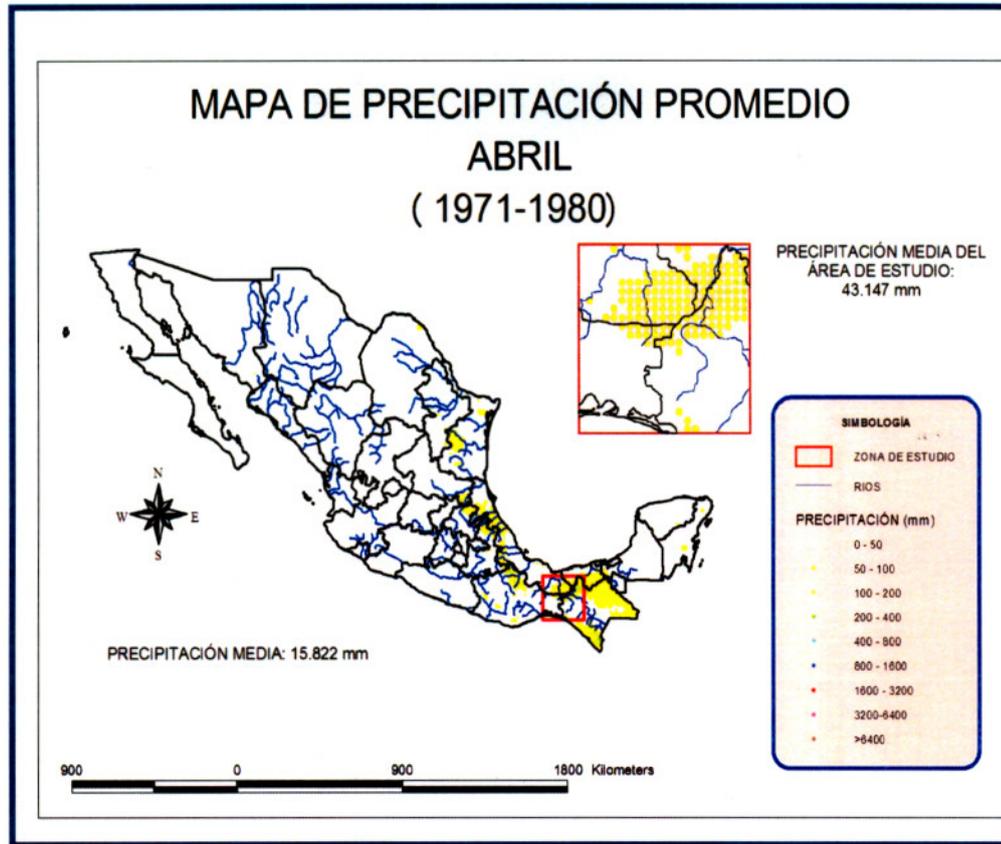


Fig. 8.2.3.a Precipitación promedio  
abril 1971-1980

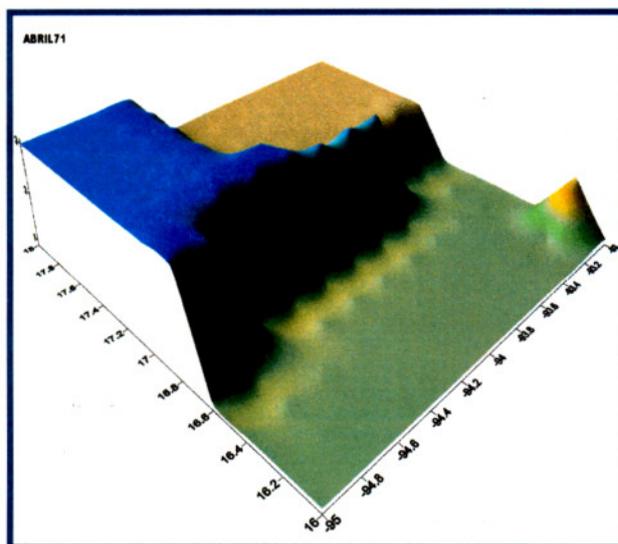


Fig. 8.2.3.b Conglomerados abril 1971

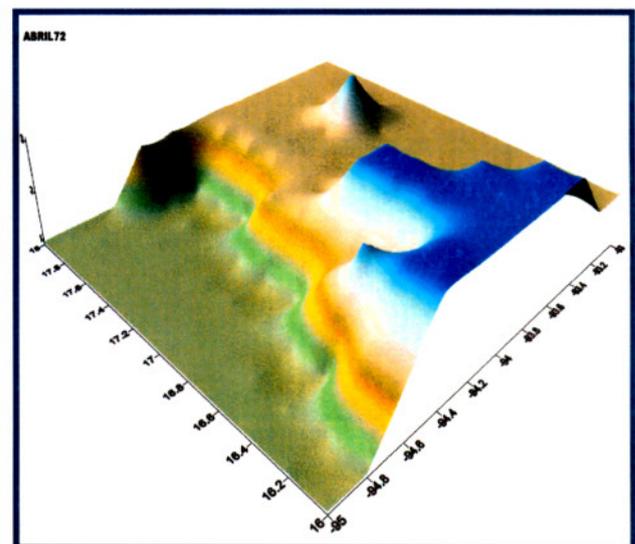


Fig. 8.2.3.c Conglomerados abril 1972

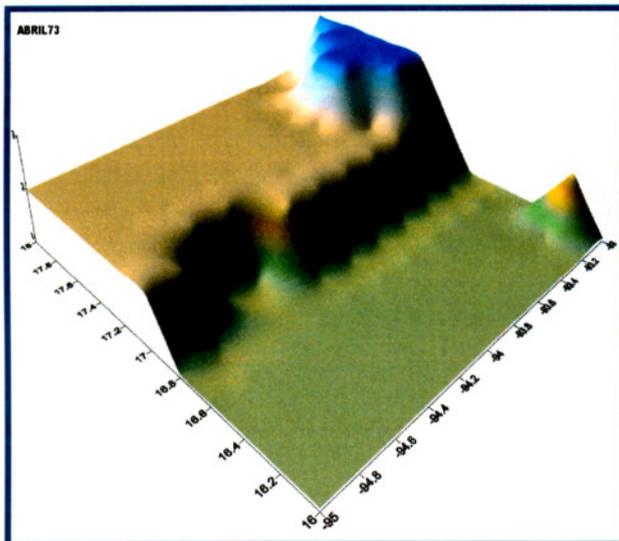


Fig. 8.2.3.d Conglomerados abril 1973

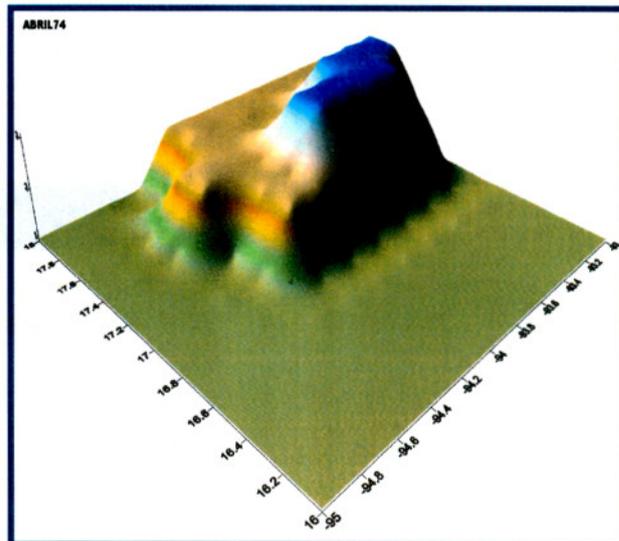


Fig. 8.2.3.e Conglomerados abril 1974

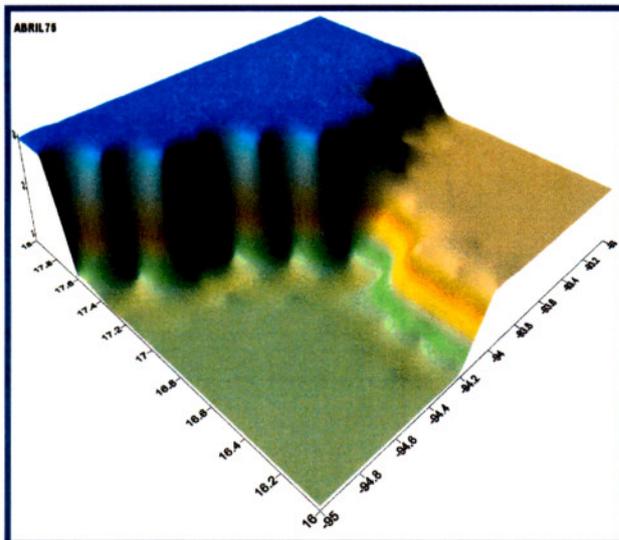


Fig. 8.2.3.f Conglomerados abril 1975

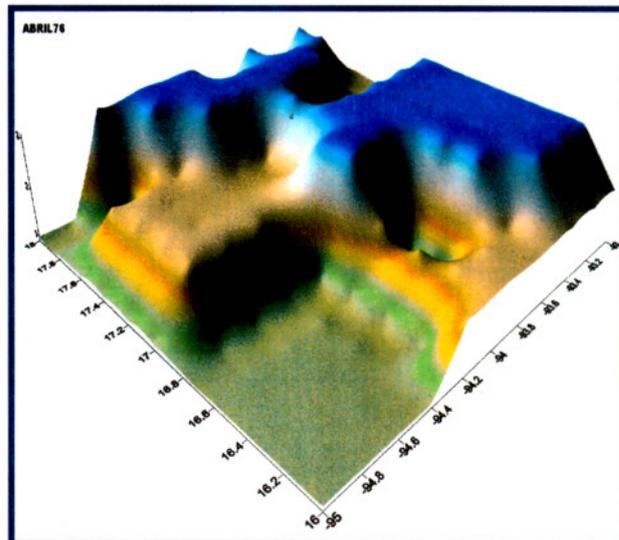


Fig. 8.2.3.g Conglomerados abril 1976

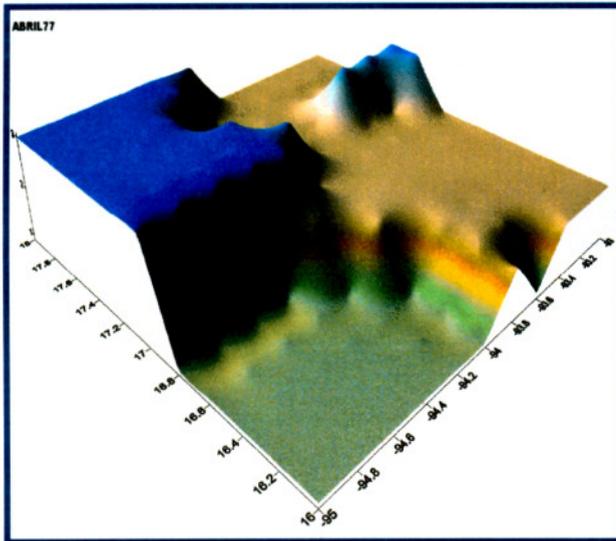


Fig. 8.2.3.h Conglomerados abril 1977

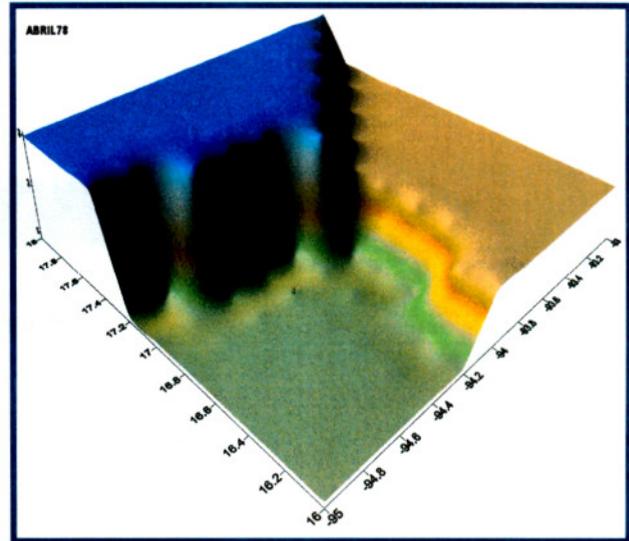


Fig. 8.2.3.i Conglomerados abril 1978

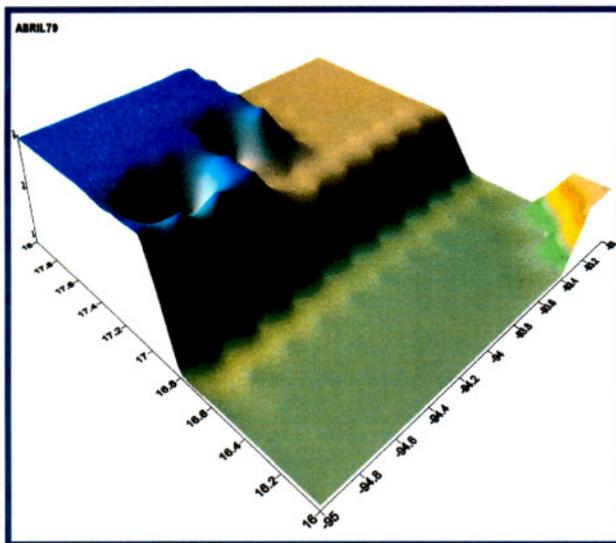


Fig. 8.2.3.j Conglomerados abril 1979

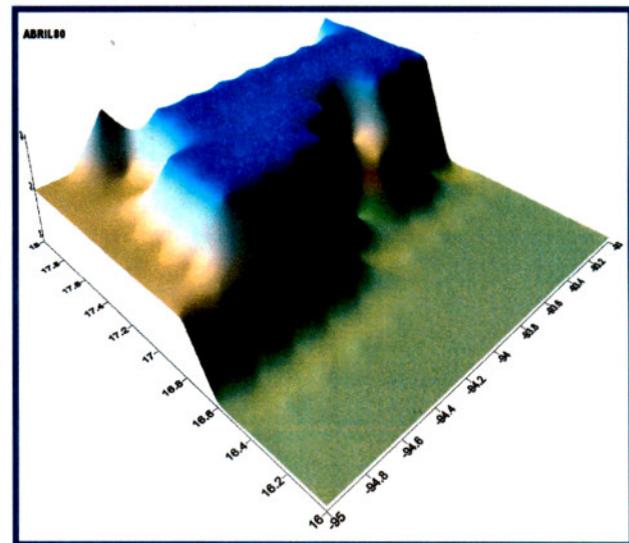


Fig. 8.2.3.k Conglomerados abril 1980

### 8.2.4 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ABRIL DE 1981-1990

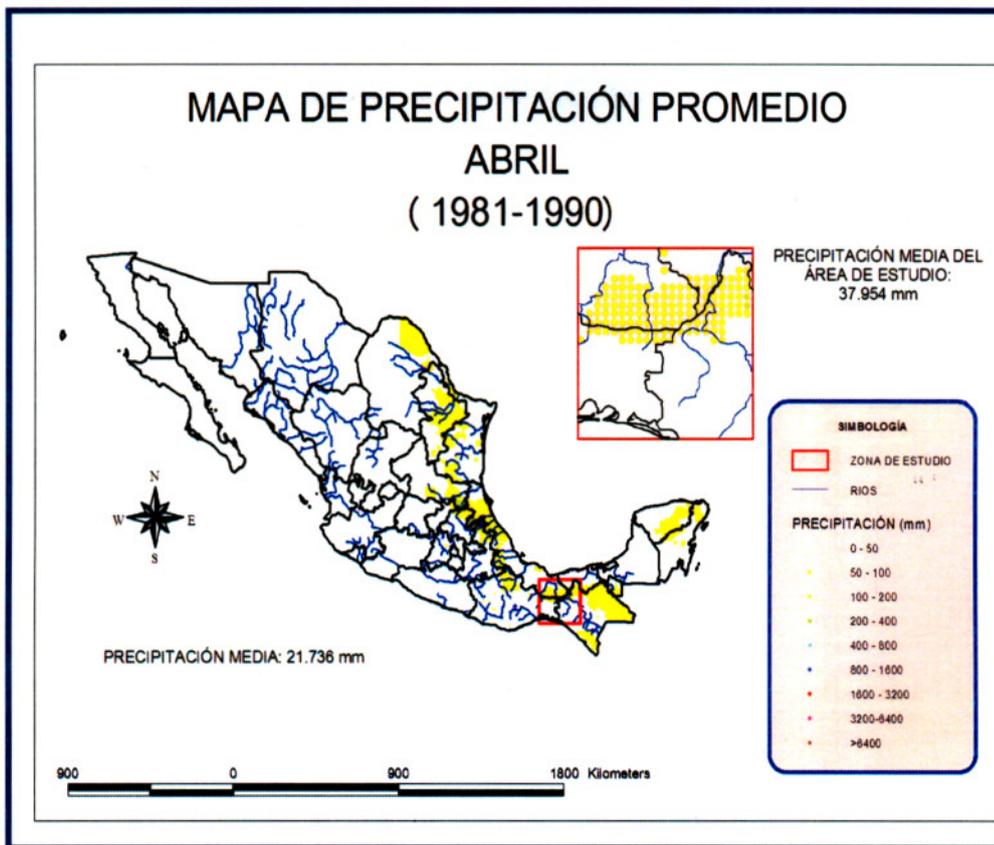


Fig. 8.2.4.a Precipitación promedio  
 abril 1981-1990

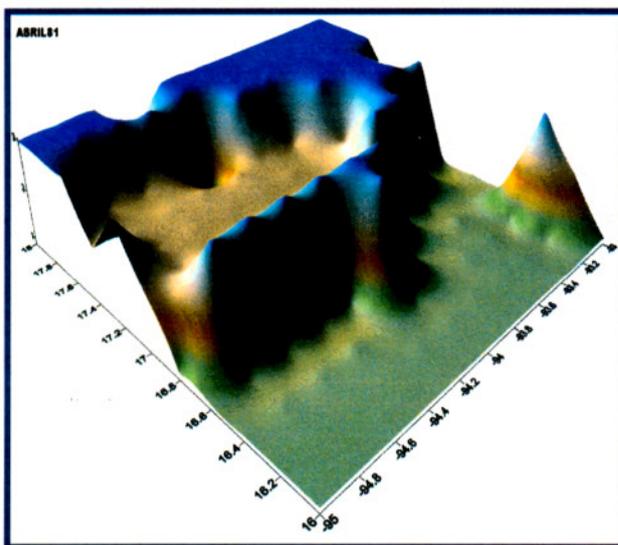


Fig. 8.2.4.b Conglomerados abril 1981

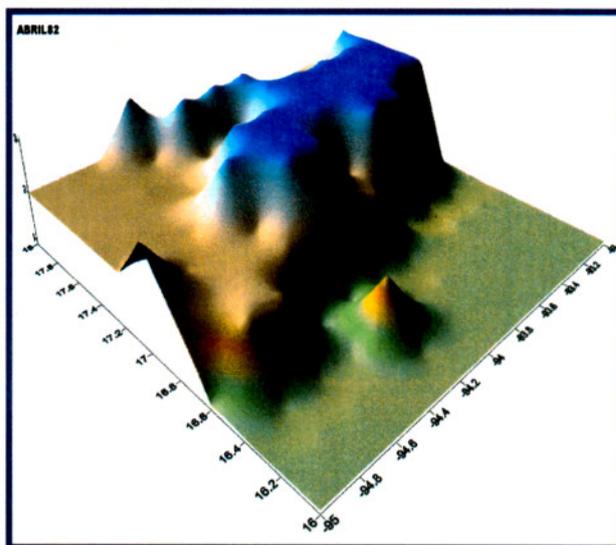


Fig. 8.2.4.c Conglomerados abril 1982

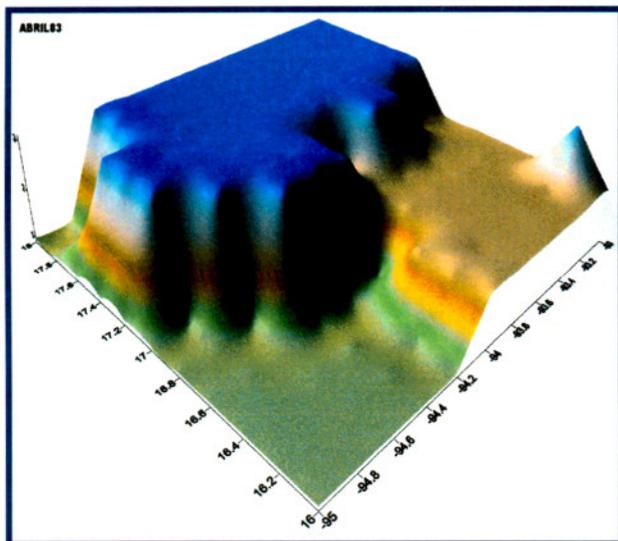


Fig. 8.2.4.d Conglomerados abril 1983

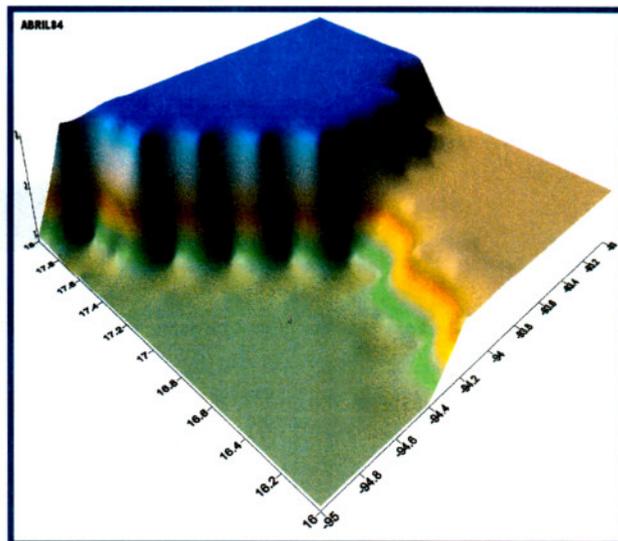


Fig. 8.2.4.e Conglomerados abril 1984

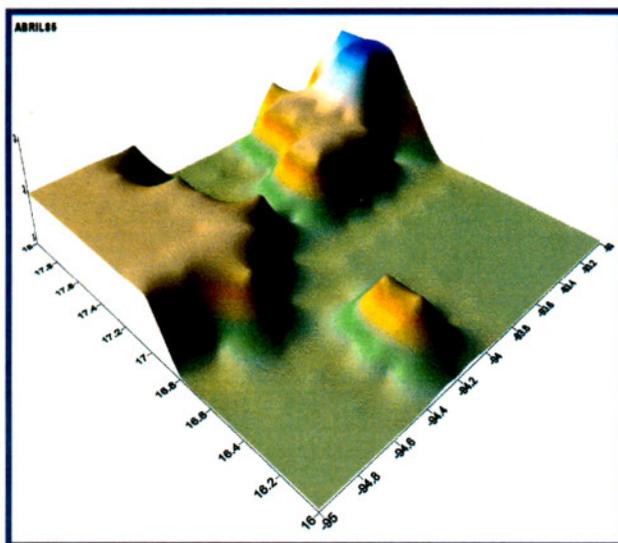


Fig. 8.2.4.f Conglomerados abril 1985

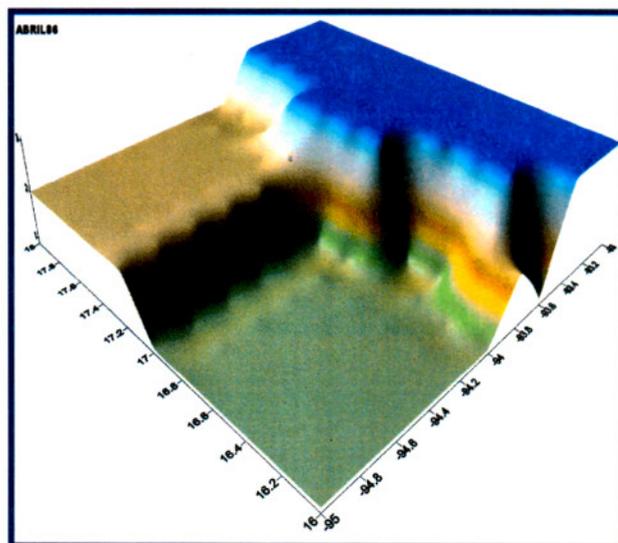


Fig. 8.2.4.g Conglomerados abril 1986

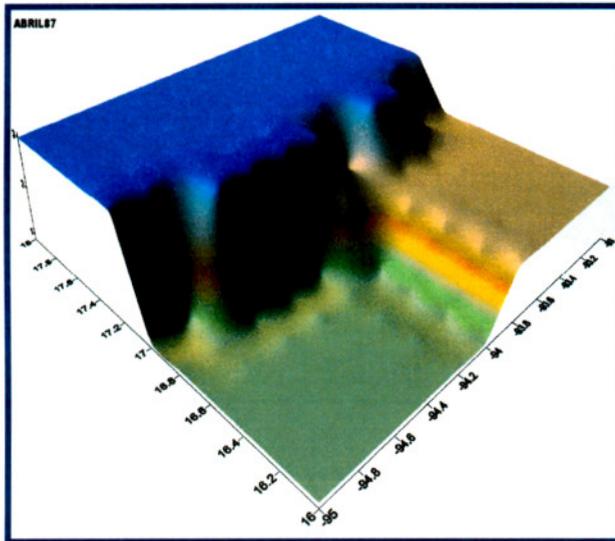


Fig. 8.2.4.h Conglomerados abril 1987

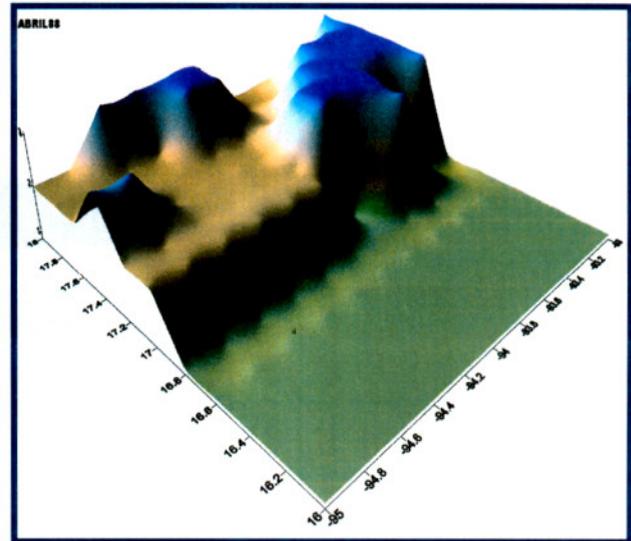


Fig. 8.2.4.i Conglomerados abril 1988

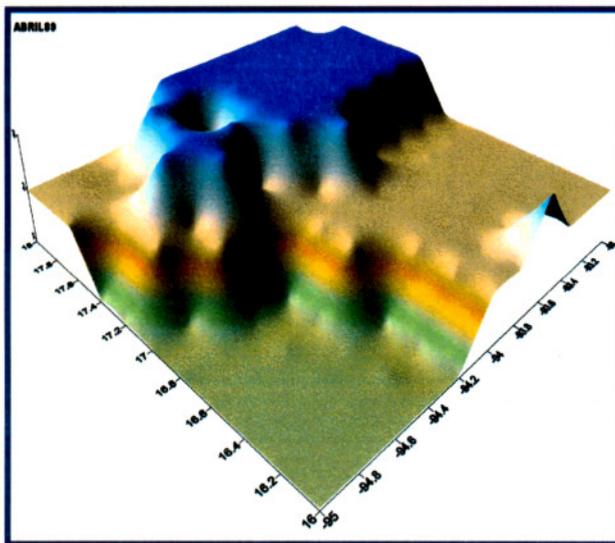


Fig. 8.2.4.j Conglomerados abril 1989

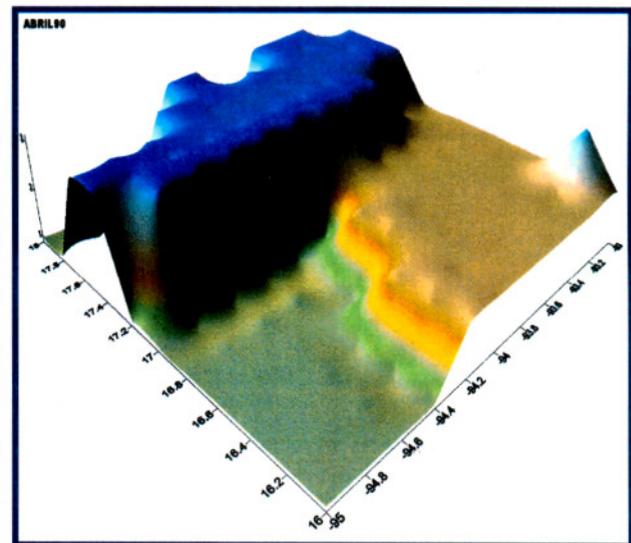


Fig. 8.2.4.k Conglomerados abril 1990

## 8.2.5 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE ABRIL DE 1991-2000

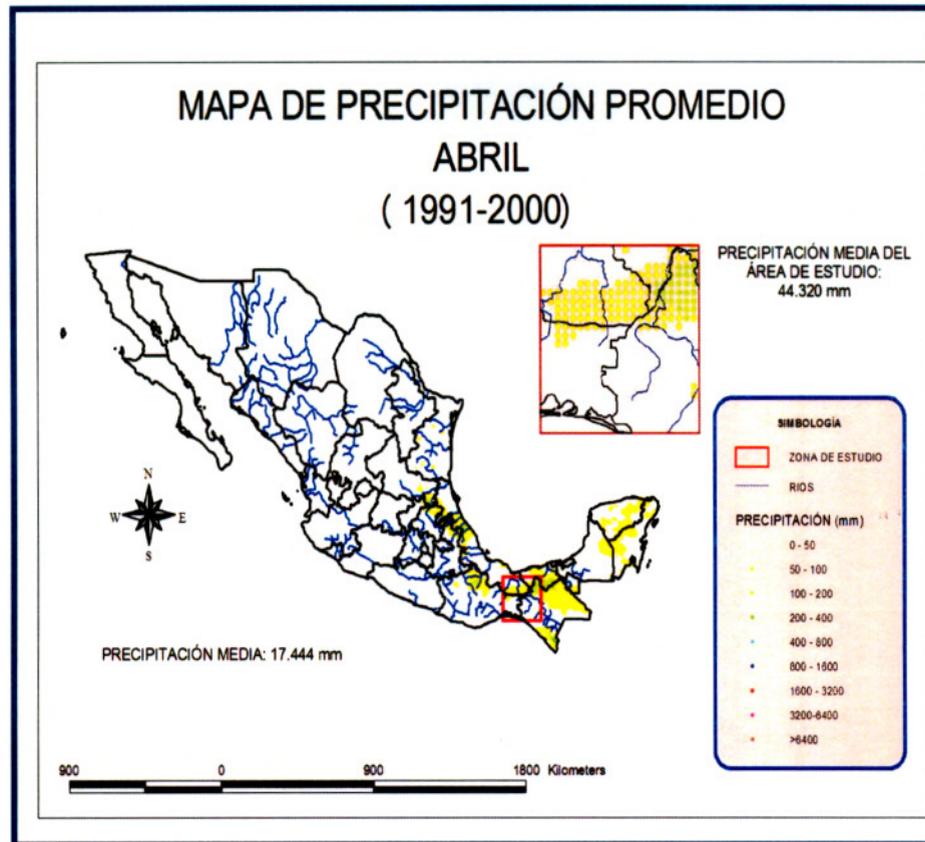


Fig. 8.2.5.a Precipitación promedio  
abril 1991-2000

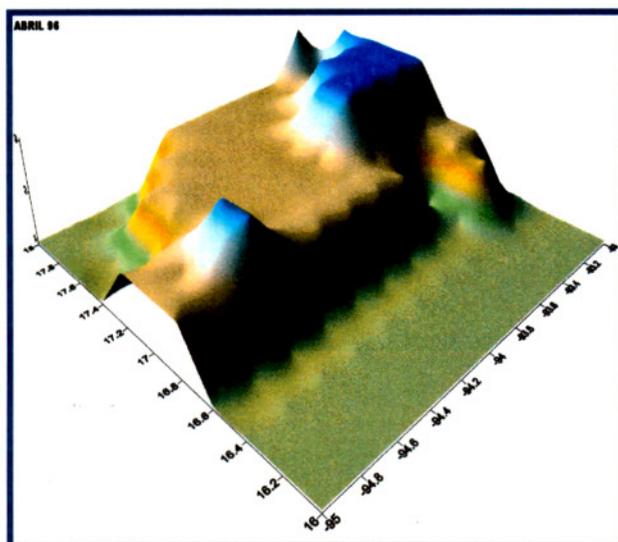


Fig. 8.2.5.b Conglomerados abril 1991

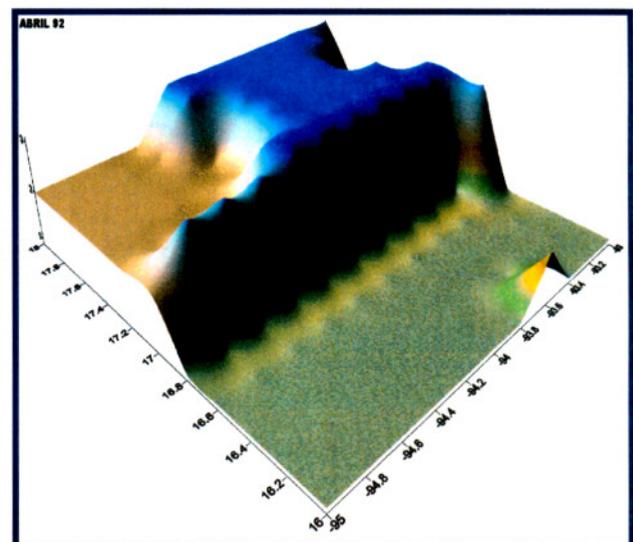


Fig. 8.2.5.c Conglomerados abril 1992

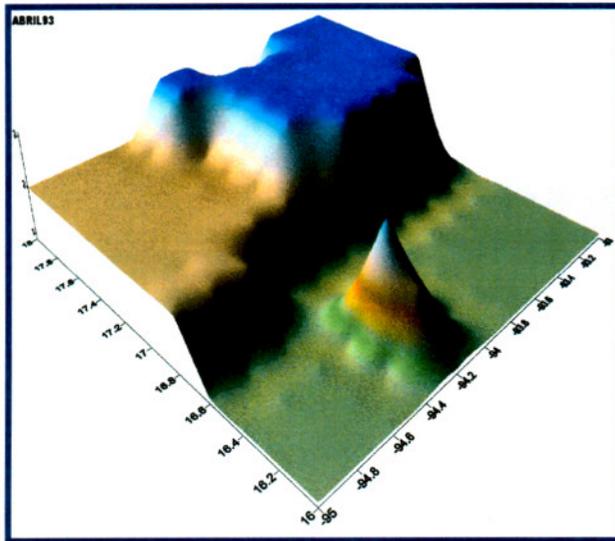


Fig. 8.2.5.d Conglomerados abril 1993

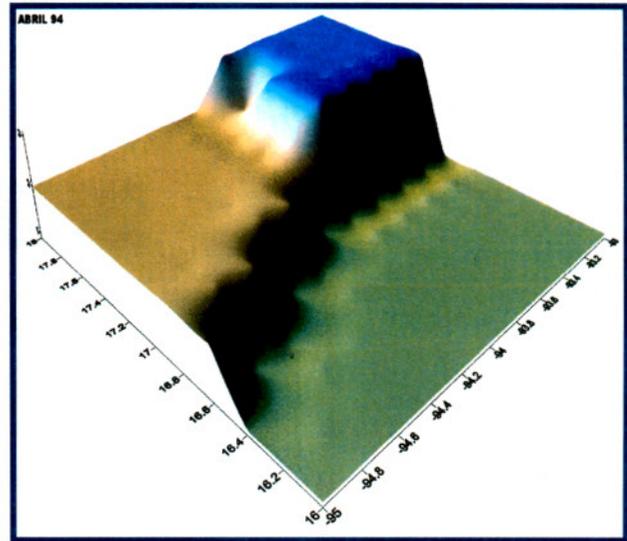


Fig. 8.2.5.e Conglomerados abril 1994

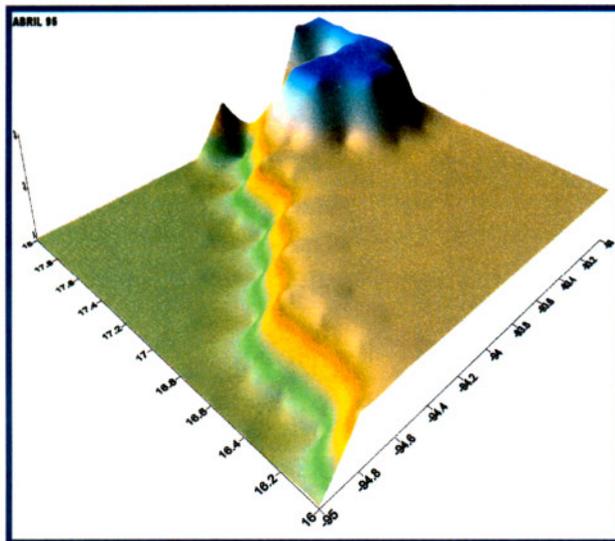


Fig. 8.2.5.f Conglomerados abril 1995

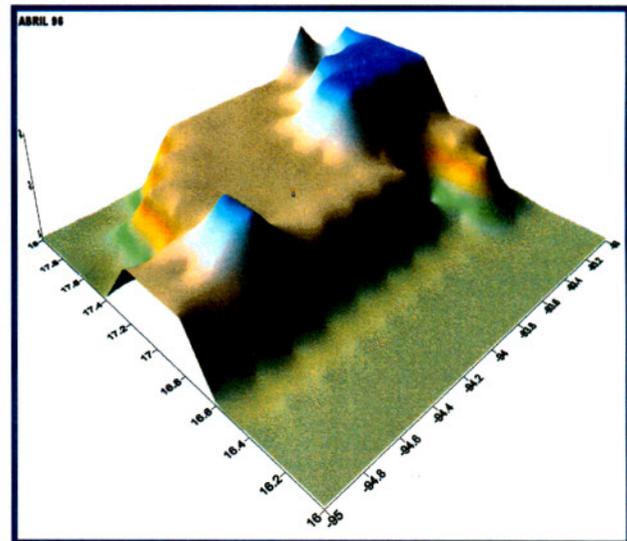


Fig. 8.2.5.g Conglomerados abril 1996

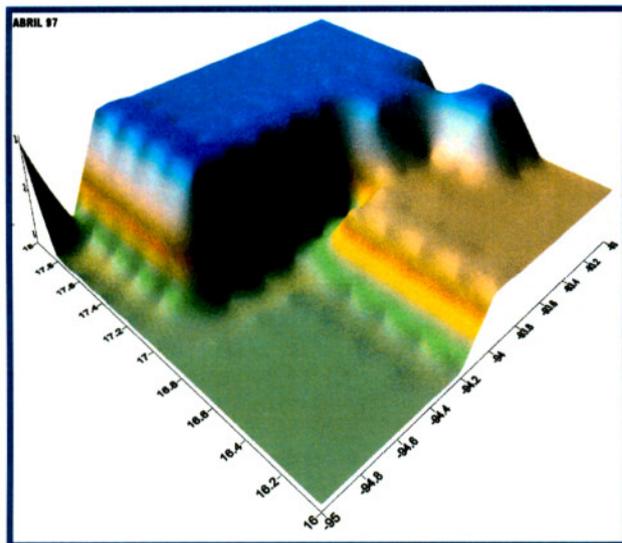


Fig. 8.2.5.h Conglomerados abril 1997

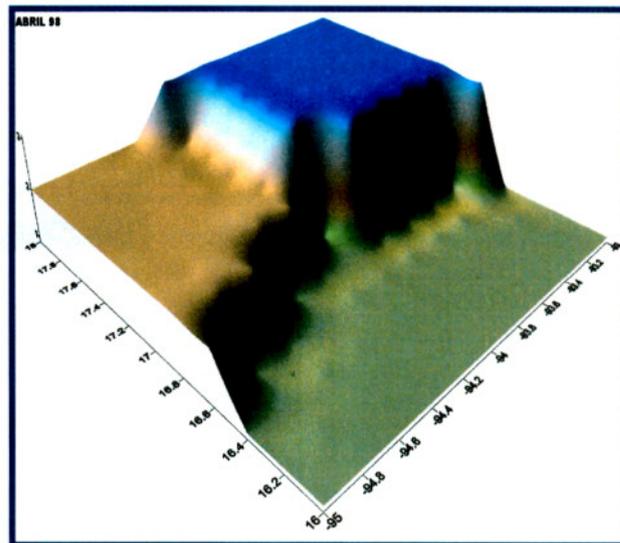


Fig. 8.2.5.i Conglomerados abril 1998

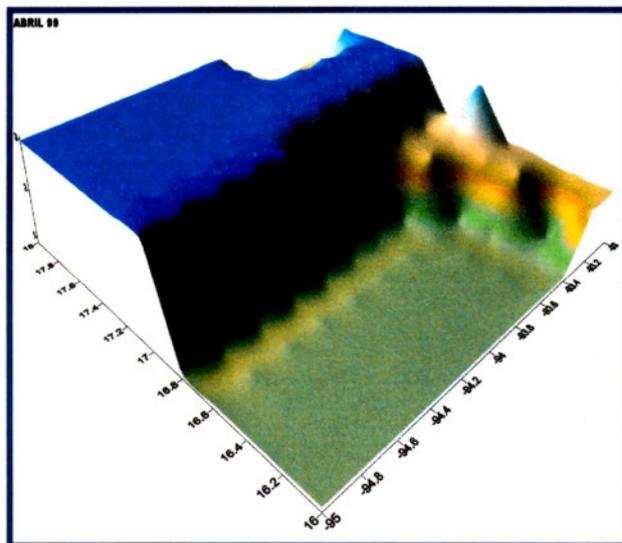


Fig. 8.2.5.j Conglomerados abril 1999

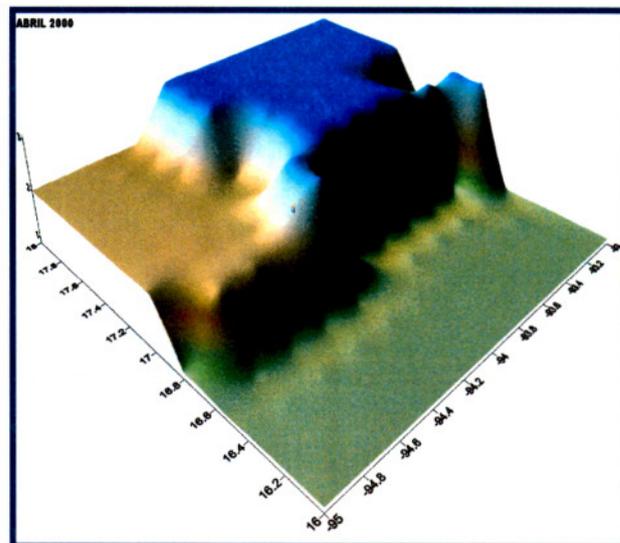


Fig. 8.2.5.k Conglomerados abril 2000

### 8.2.6 HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA ABSOLUTA Y RELATIVA DE CONGLOMERADOS ABRIL 1961-2000

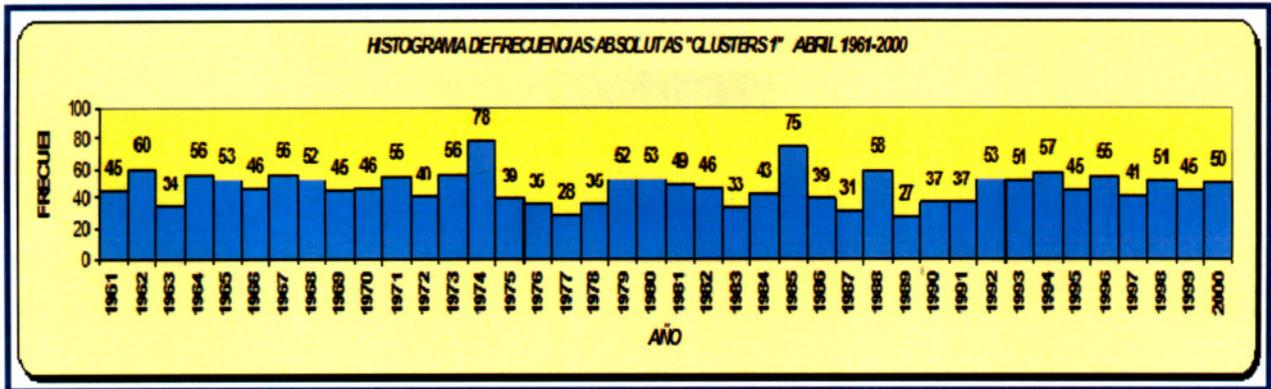


Fig. 8.2.6.a Histograma de frecuencia absoluta, cluster 1, abril 1961-2000

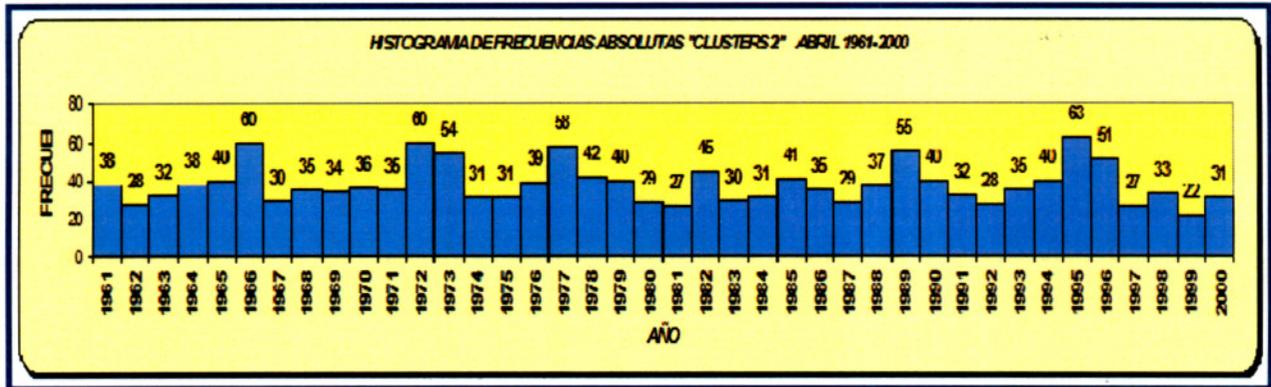


Fig. 8.2.6.b Histograma de frecuencia absoluta, cluster 2, abril 1961-2000

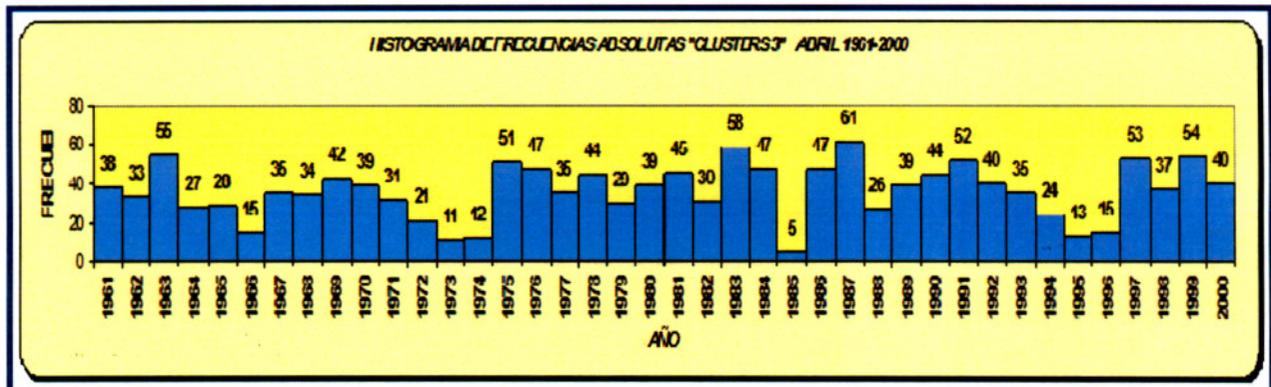


Fig. 8.2.6.c Histograma de frecuencia absoluta, cluster 3, abril 1961-2000

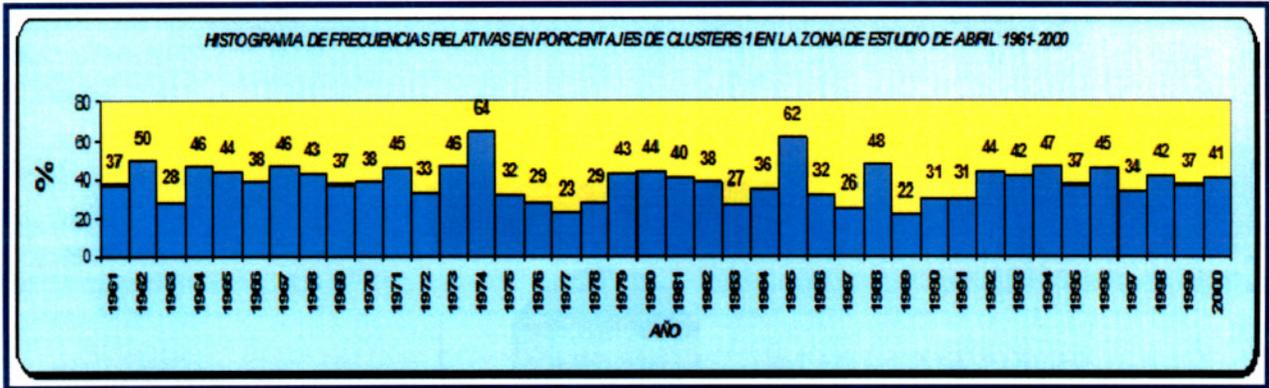


Fig. 8.2.6.d Histograma de frecuencia relativa, cluster 1, abril 1961-2000

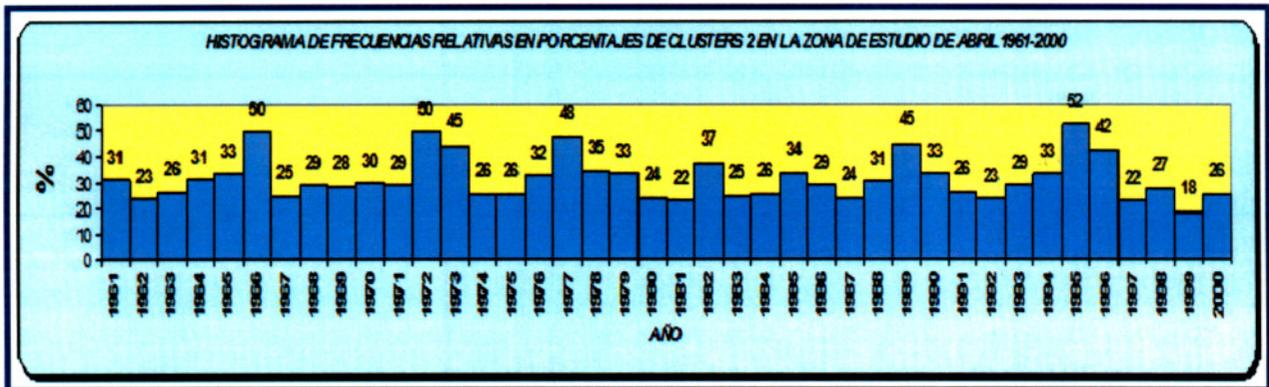


Fig. 8.2.6.e Histograma de frecuencia relativa, cluster 2, abril 1961-2000

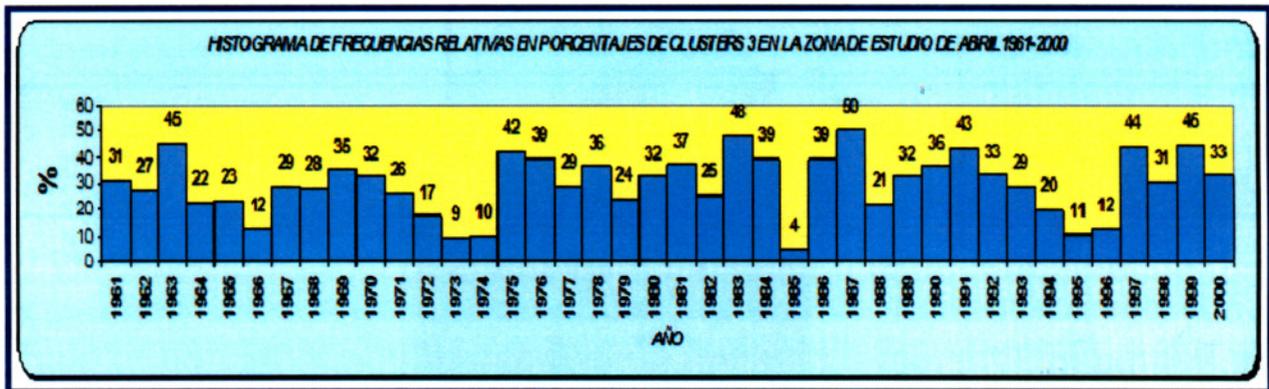


Fig. 8.2.6.f Histograma de frecuencia relativa, cluster 3, abril 1961-2000

### 8.3 RESULTADOS DE ANÁLISIS “JULIO”

#### 8.3.1 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE JULIO DE 1961-2000

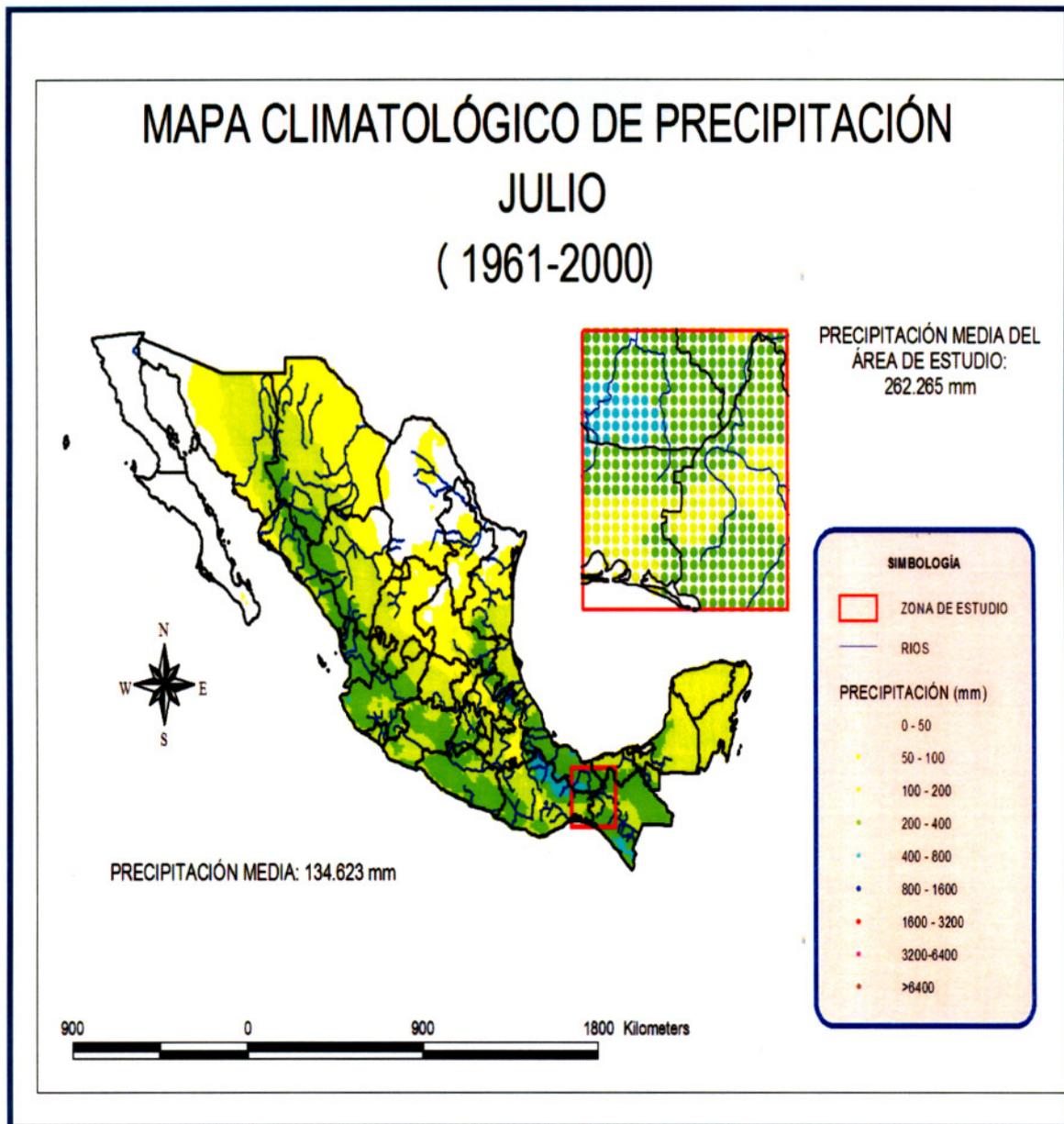


Fig. 8.3.1.a Climatología de precipitación julio 1961-2000

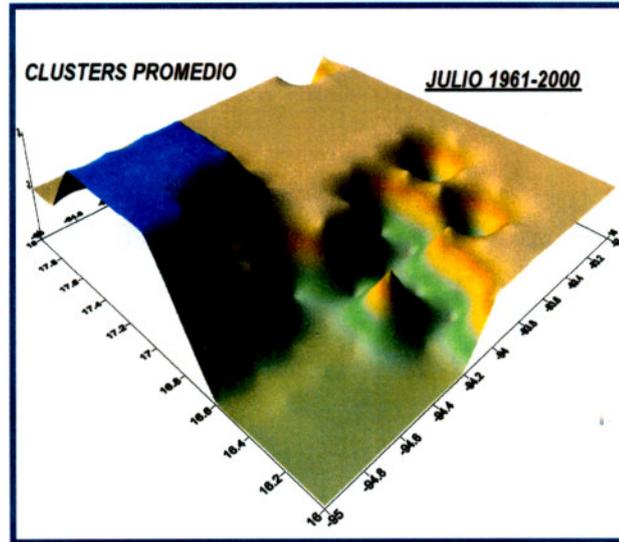


Fig. 8.3.1.b Promedio de conglomerados julio 1961-2000

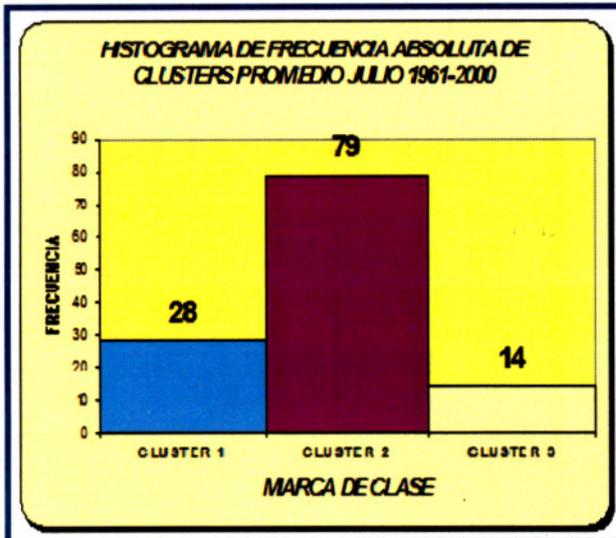


Fig. 8.3.1.c Histograma de frecuencia absoluta promedio julio 1961-2000

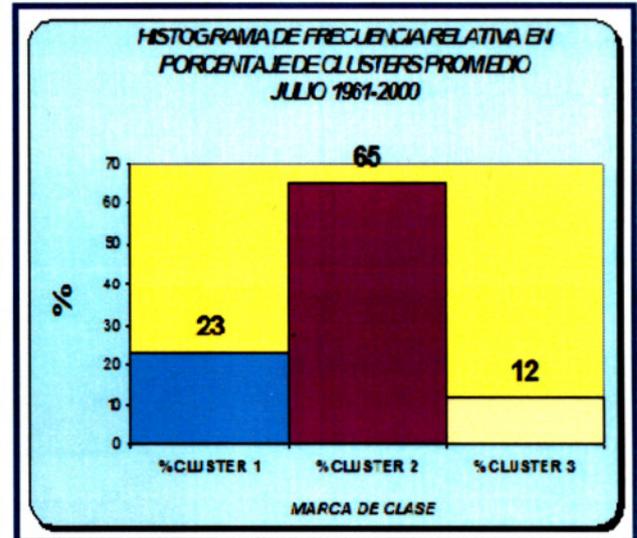


Fig. 8.3.1.d Histograma de frecuencia relativa promedio julio 1961-2000

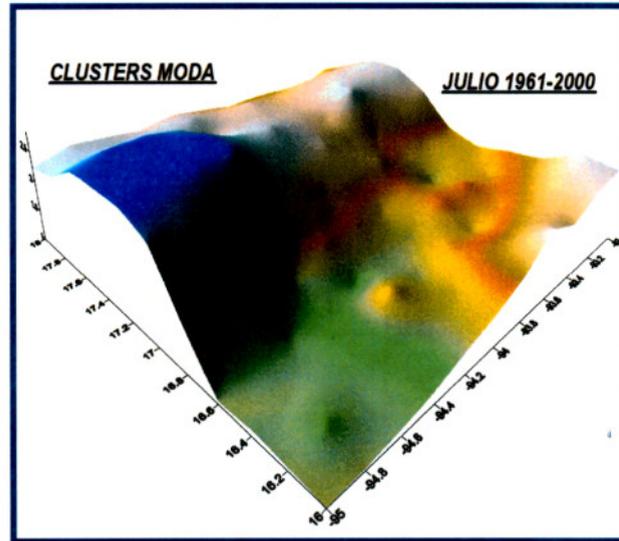


Fig. 8.3.1.e Moda de conglomerados julio 1961-2000

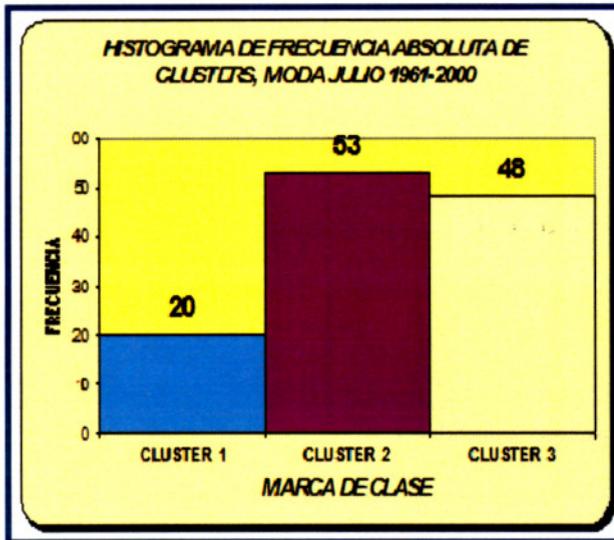


Fig. 8.3.1.f Histograma de frecuencia absoluta moda julio 1961-2000

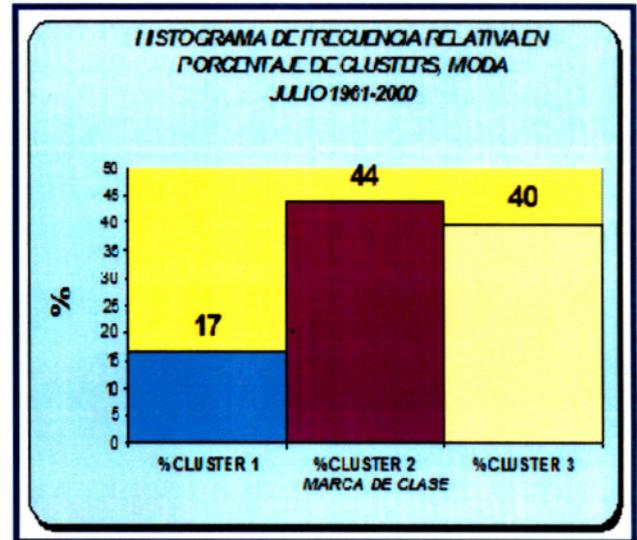


Fig. 8.3.1.g Histograma de frecuencia relativa moda julio 1961-2000

### 8.3.2 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE JULIO DE 1961-1970

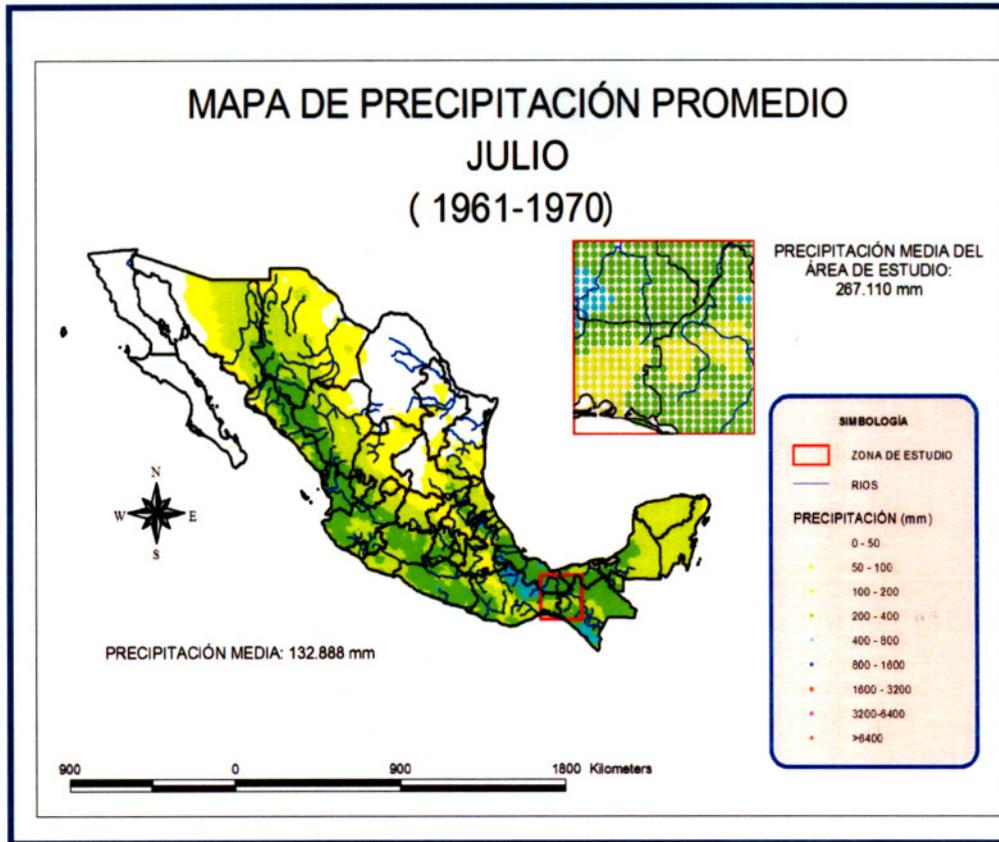


Fig. 8.3.2.a Precipitación promedio julio 1961-1970

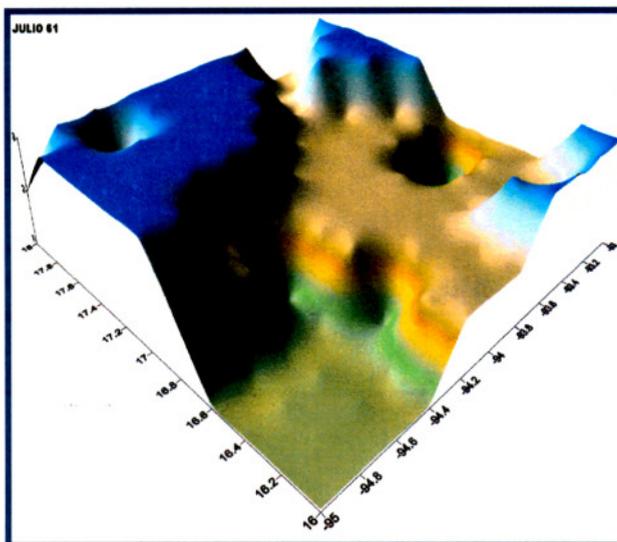


Fig. 8.3.2.b Conglomerados julio 1961

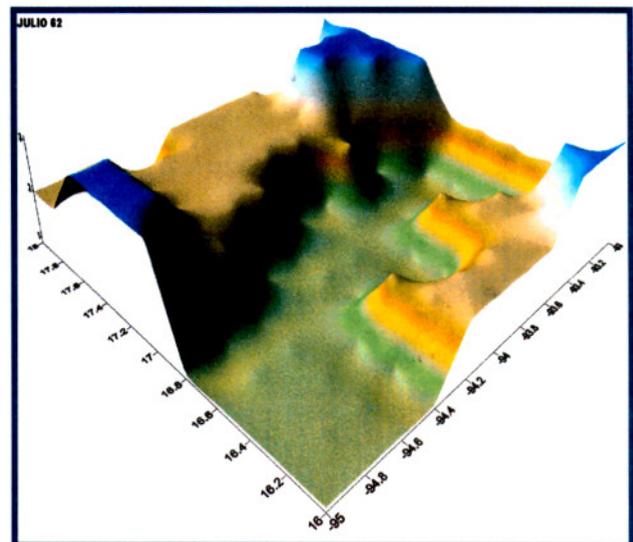


Fig. 8.3.2.c Conglomerados julio 1962

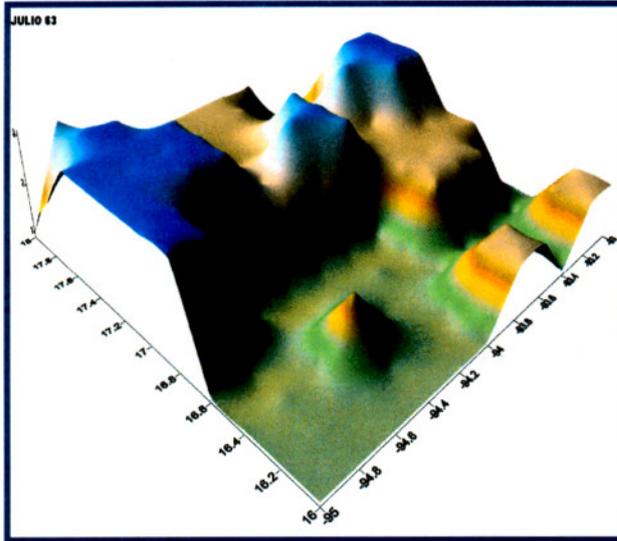


Fig. 8.3.2.d Conglomerados julio 1963

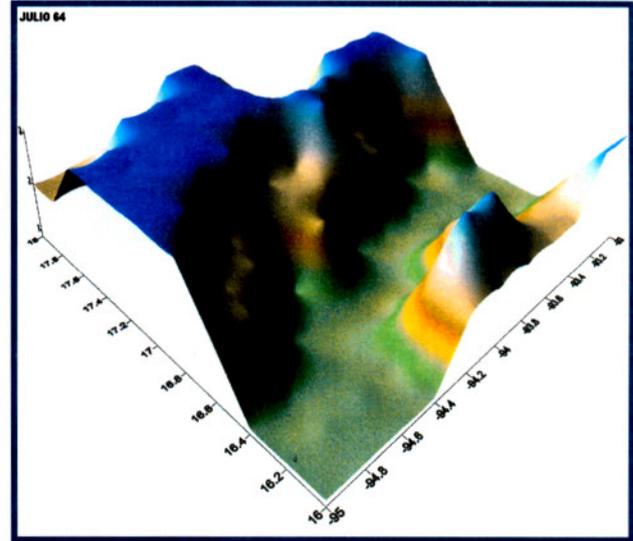


Fig. 8.3.2.e Conglomerados julio 1964

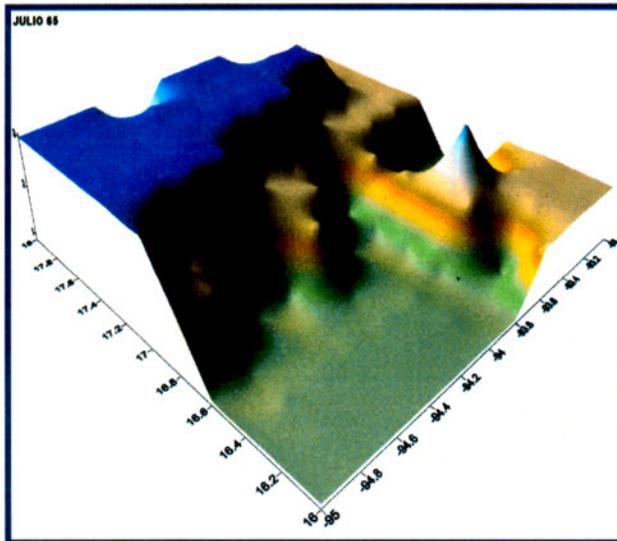


Fig. 8.3.2.f Conglomerados julio 1965

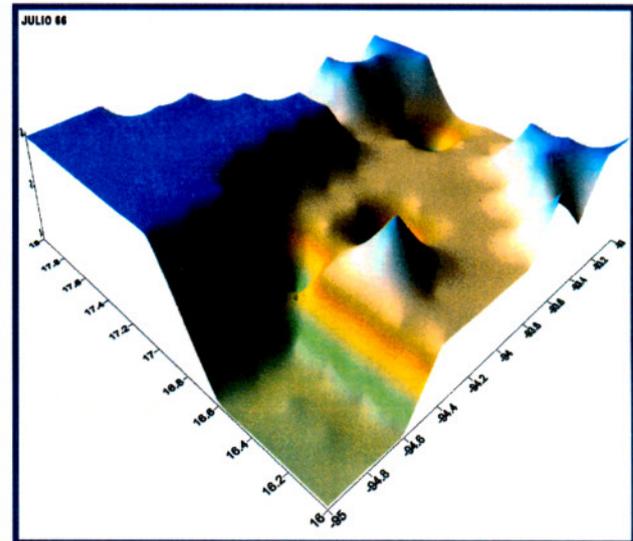


Fig. 8.3.2.g Conglomerados julio 1966

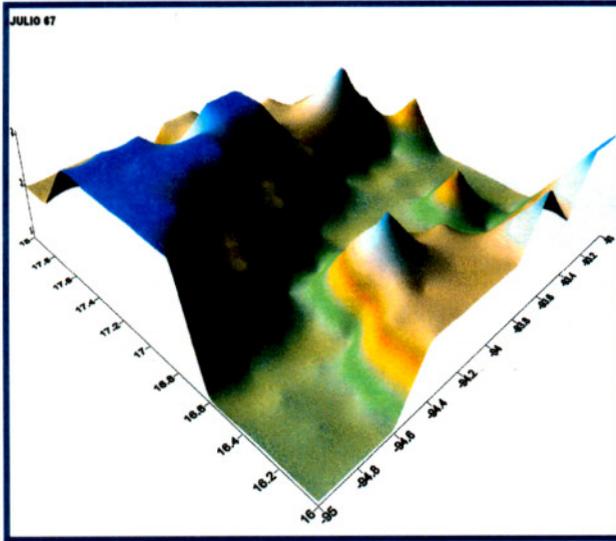


Fig. 8.3.2.h Conglomerados julio 1967

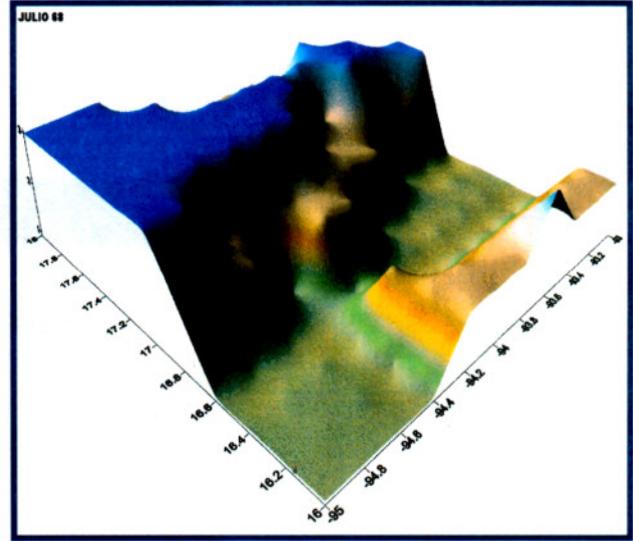


Fig. 8.3.2.i Conglomerados julio 1968

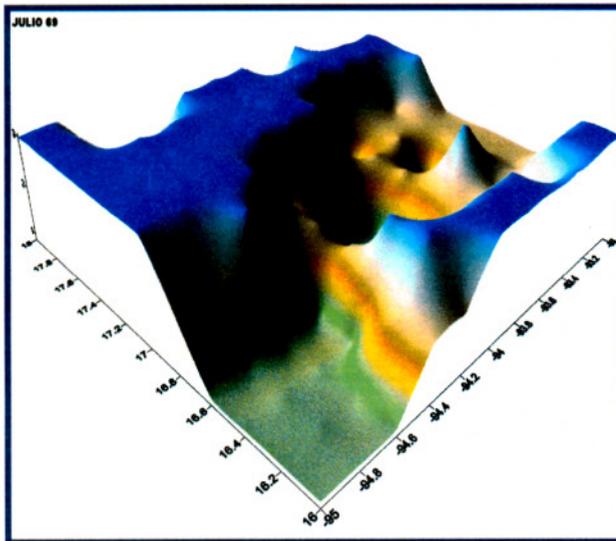


Fig. 8.3.2.j Conglomerados julio 1969

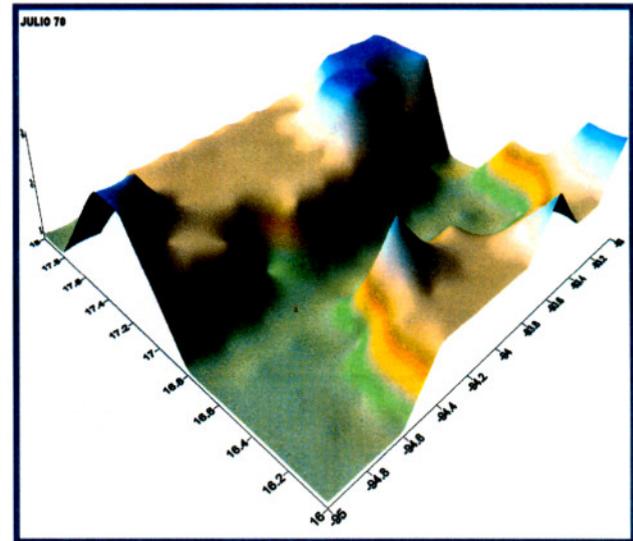


Fig. 8.3.2.k Conglomerados julio 1970

### 8.3.3 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE JULIO DE 1971-1980

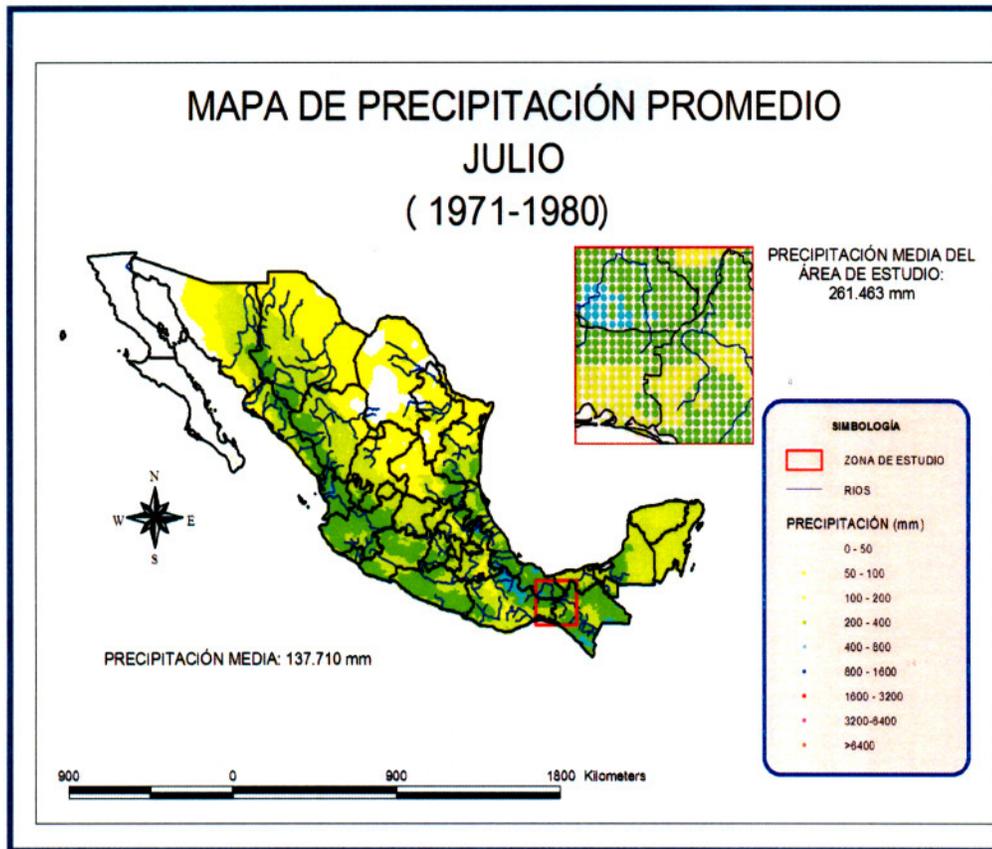


Fig. 8.3.3.a Precipitación promedio julio 1971-1980

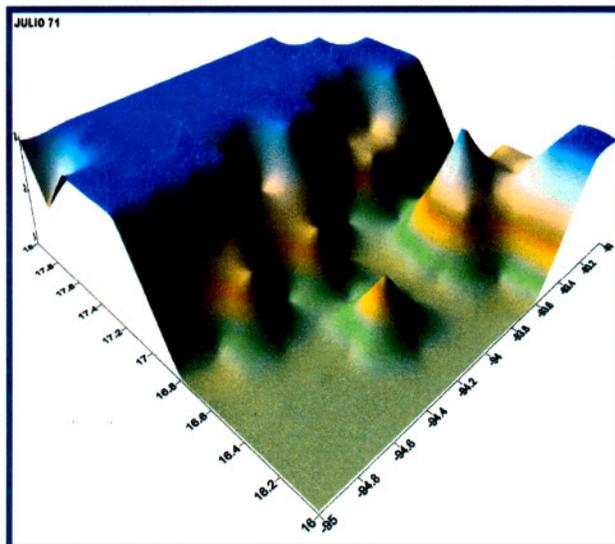


Fig. 8.3.3.b Conglomerados julio 1971

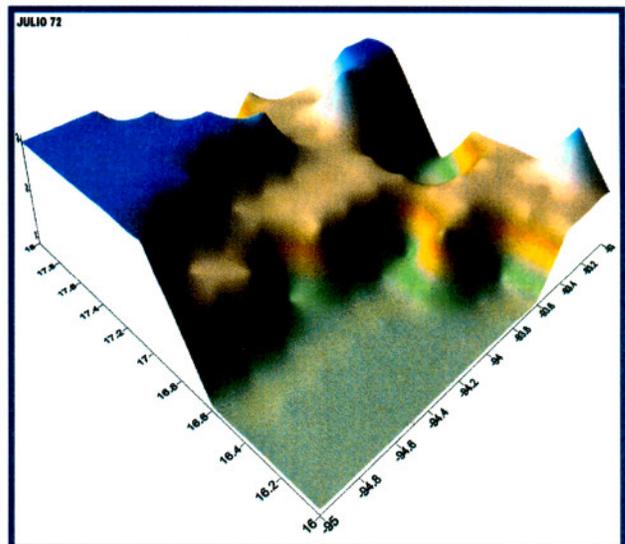


Fig. 8.3.3.c Conglomerados julio 1972

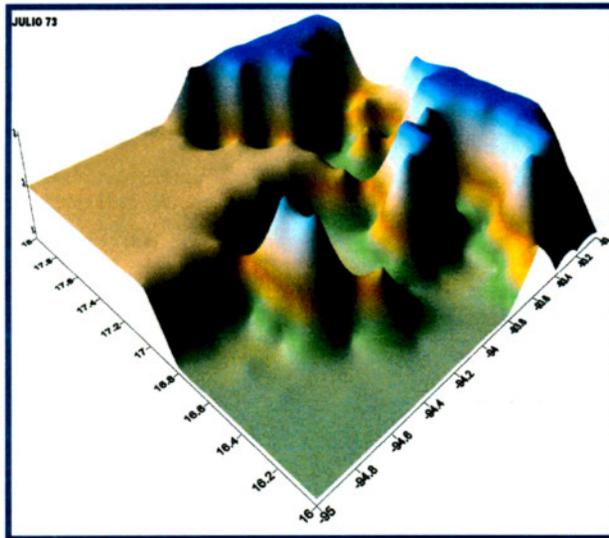


Fig. 8.3.3.d Conglomerados julio 1973

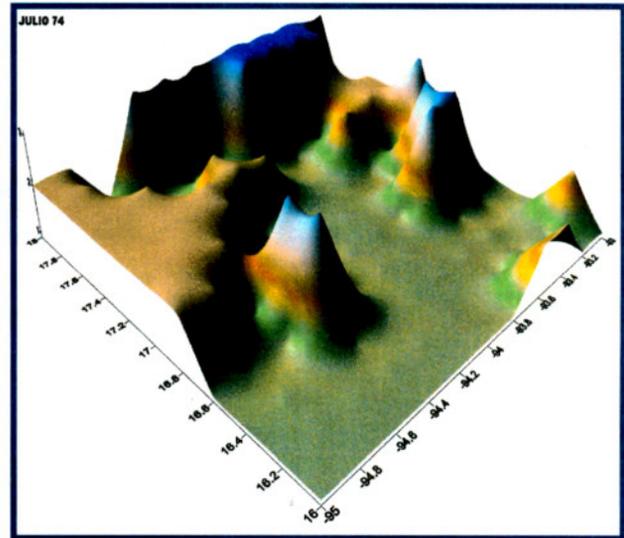


Fig. 8.3.3.e Conglomerados julio 1974

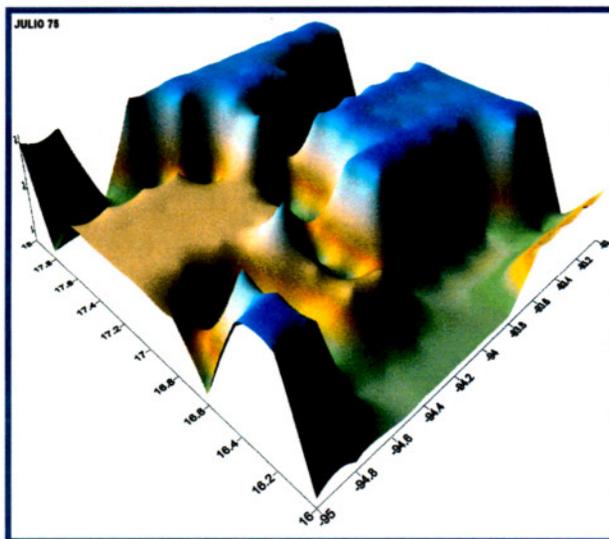


Fig. 8.3.3.f Conglomerados julio 1975

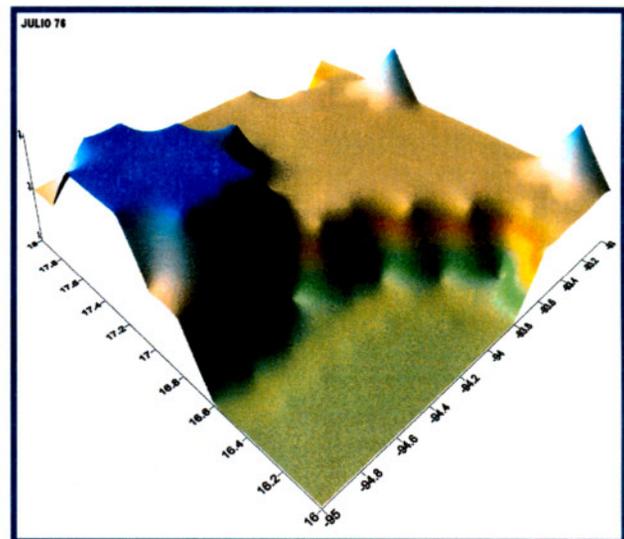


Fig. 8.3.3.g Conglomerados julio 1976

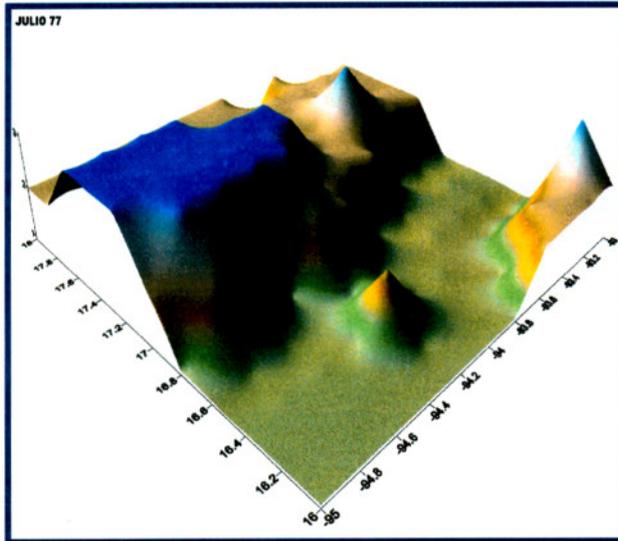


Fig. 8.3.3.h Conglomerados julio 1977

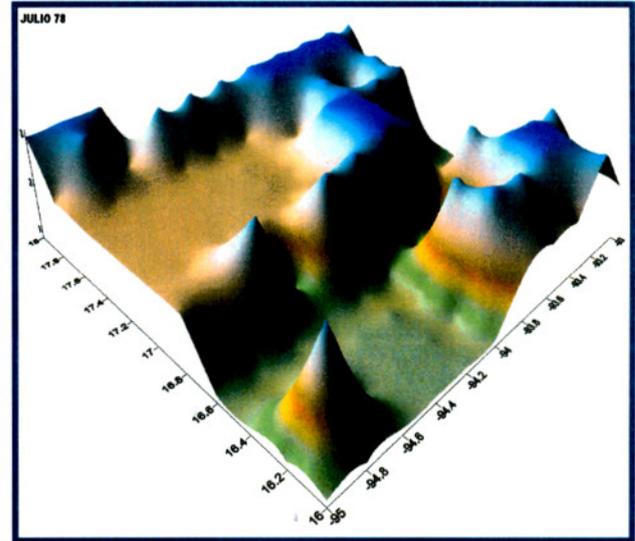


Fig. 8.3.3.i Conglomerados julio 1978

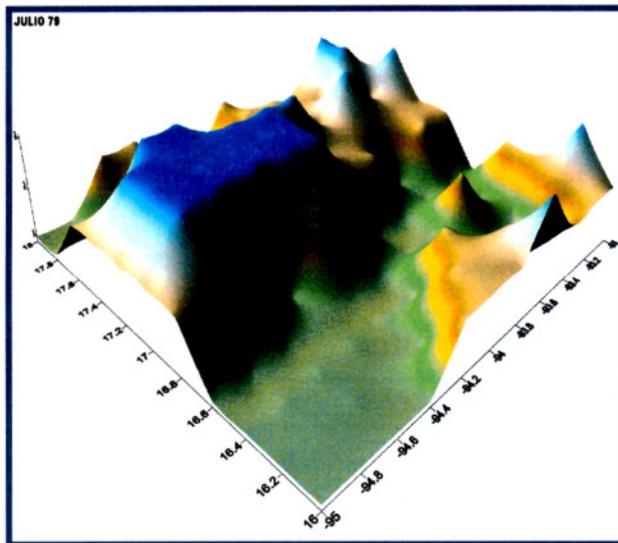


Fig. 8.3.3.j Conglomerados julio 1979

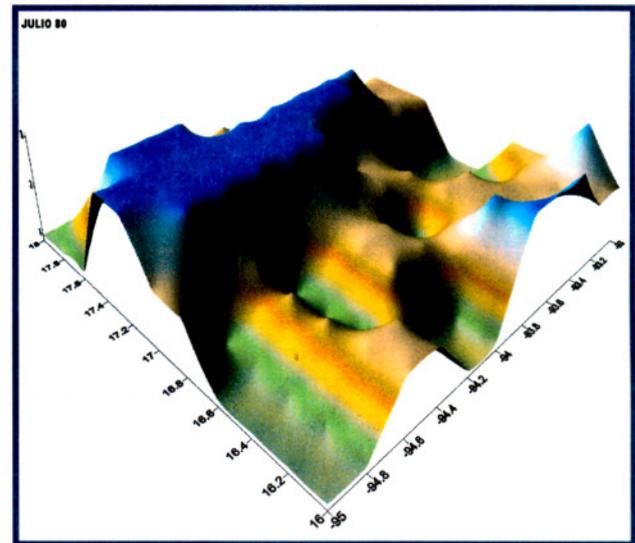


Fig. 8.3.3.k Conglomerados julio 1980

### 8.3.4 PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE JULIO DE 1981-1990

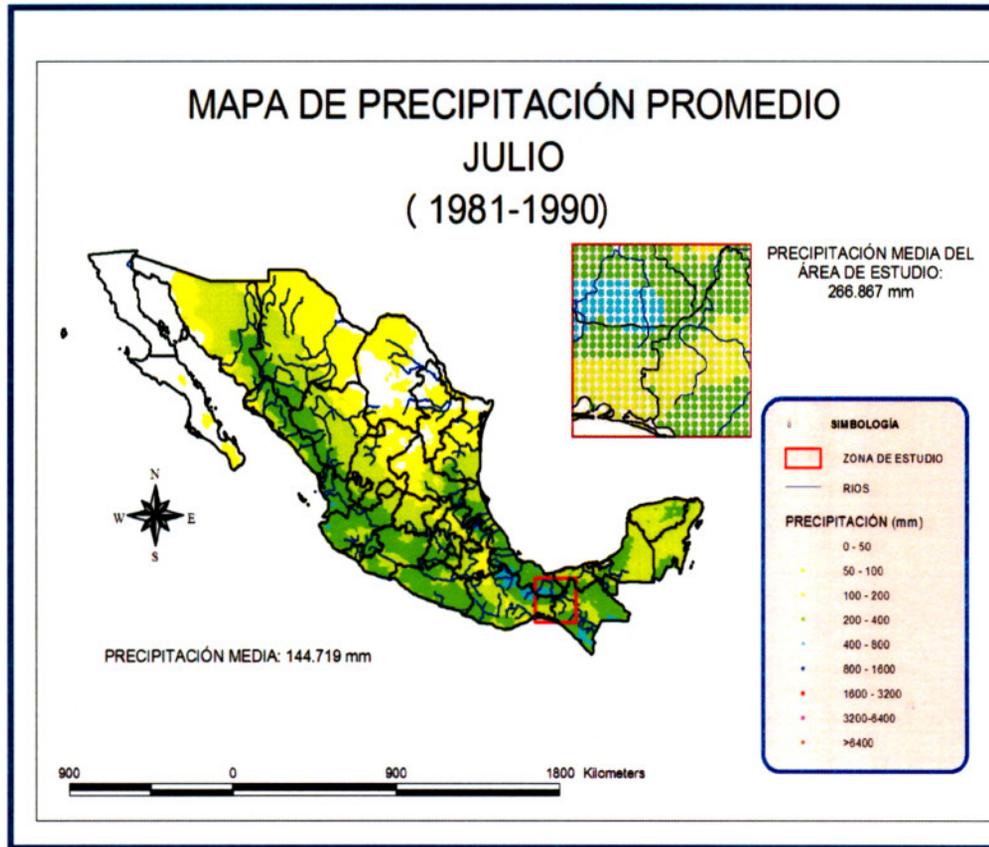


Fig. 8.3.4.a Precipitación promedio julio 1981-1990

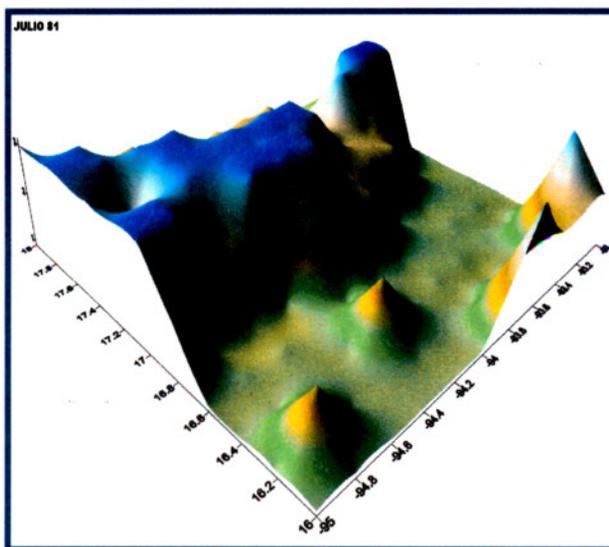


Fig. 8.3.4.b Conglomerados julio 1981

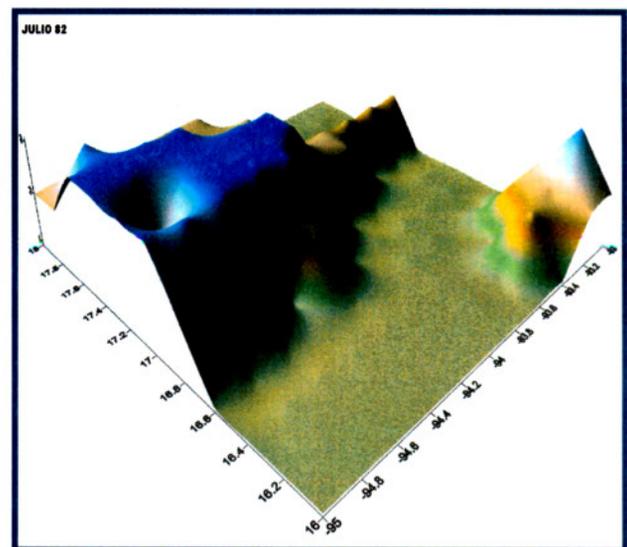


Fig. 8.3.4.c Conglomerados julio 1982

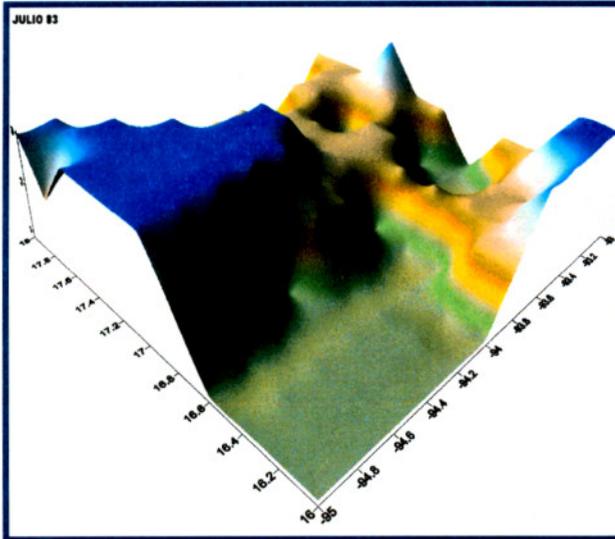


Fig. 8.3.4.d Conglomerados julio 1983

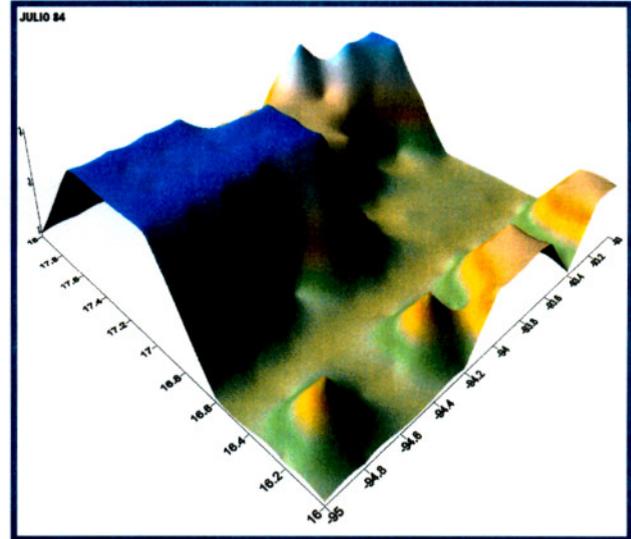


Fig. 8.3.4.e Conglomerados julio 1984

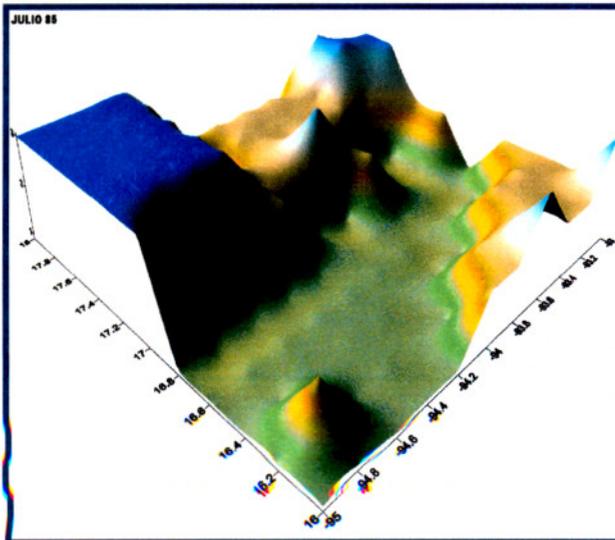


Fig. 8.3.4.f Conglomerados julio 1985

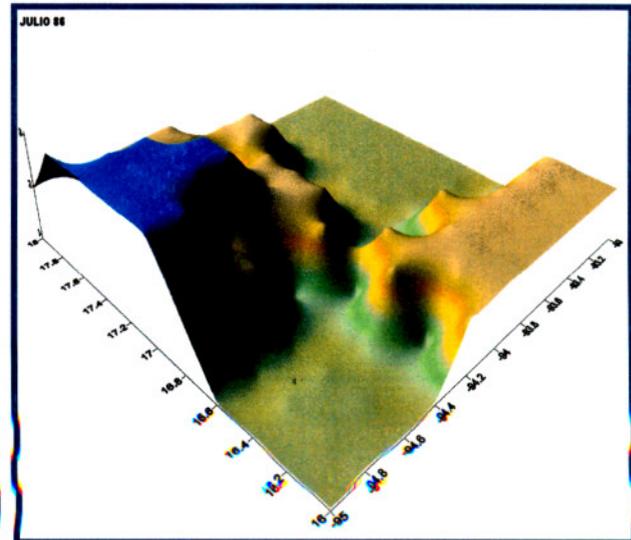


Fig. 8.3.4.g Conglomerados julio 1986

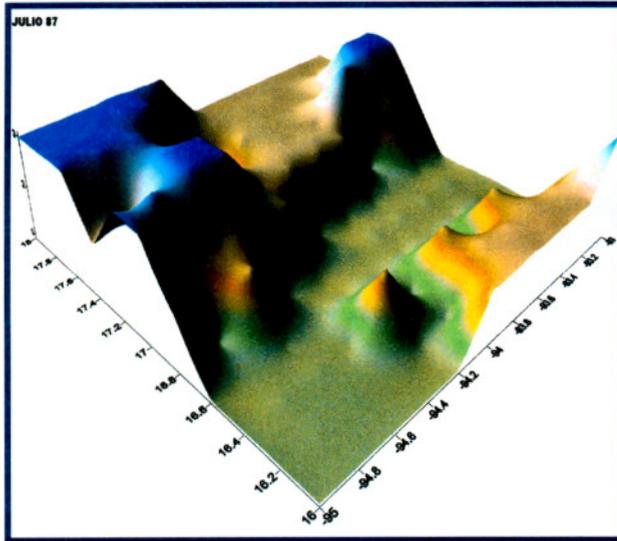


Fig. 8.3.4.h Conglomerados julio 1987

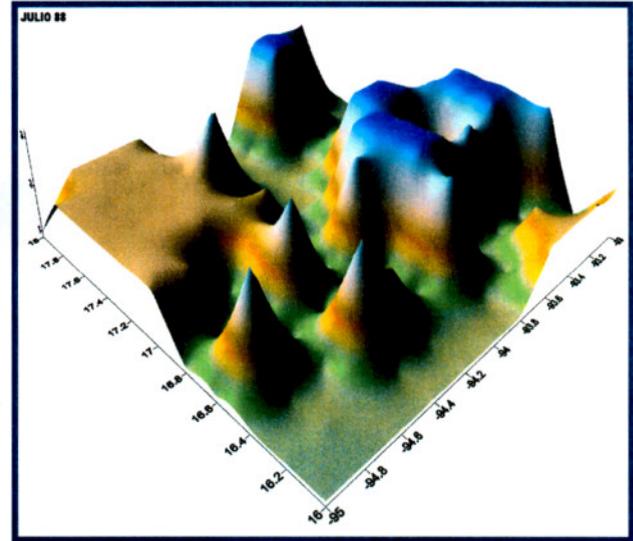


Fig. 8.3.4.i Conglomerados julio 1988

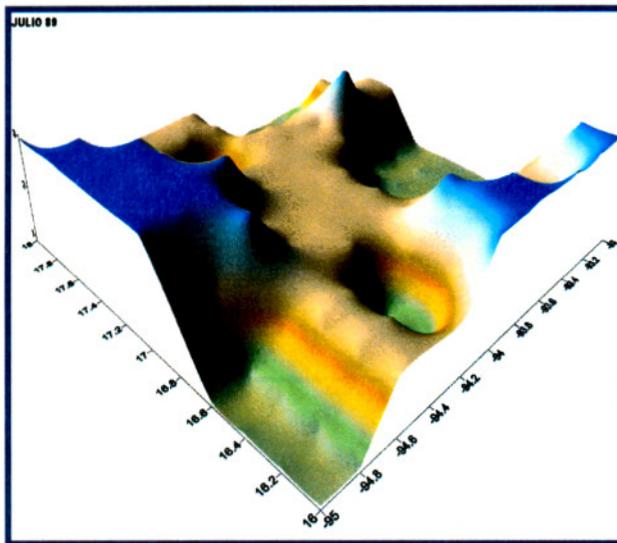


Fig. 8.3.4.j Conglomerados julio 1989

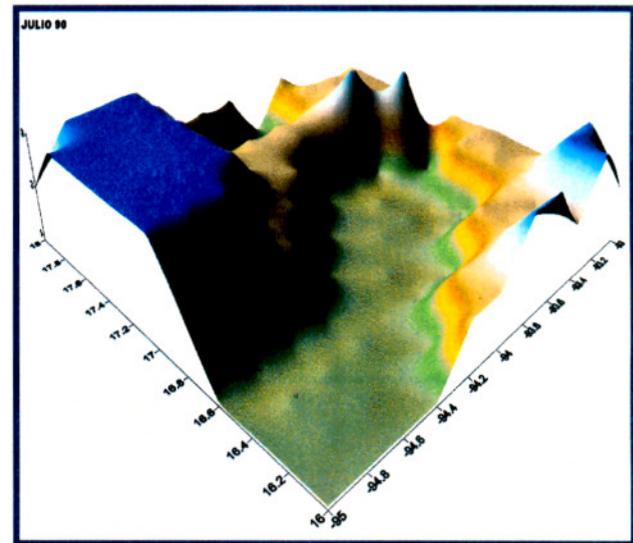


Fig. 8.3.4.k Conglomerados julio 1990

### 8.3.5 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE JULIO DE 1991-2000

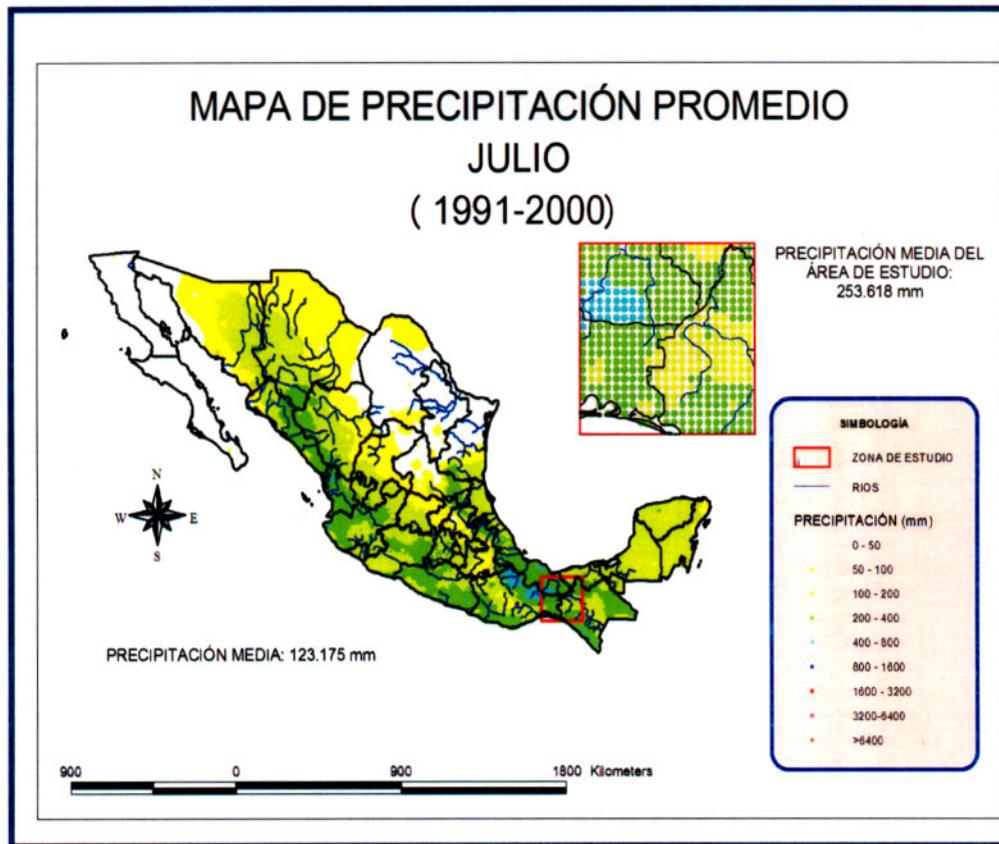


Fig. 8.3.5.a Precipitación promedio julio 1991-2000

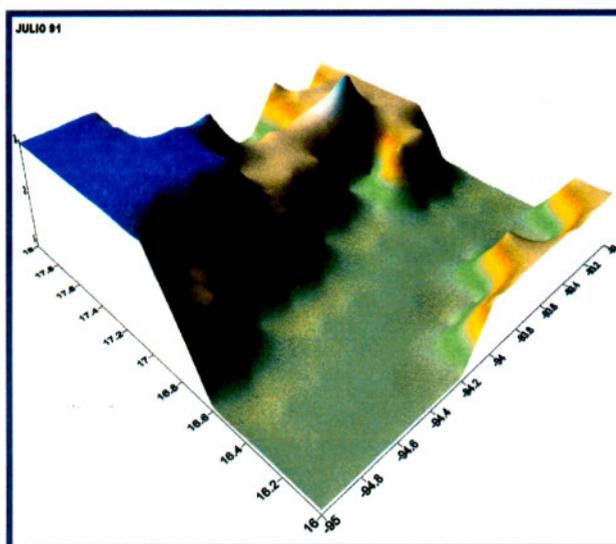


Fig. 8.3.5.b Conglomerados julio 1991

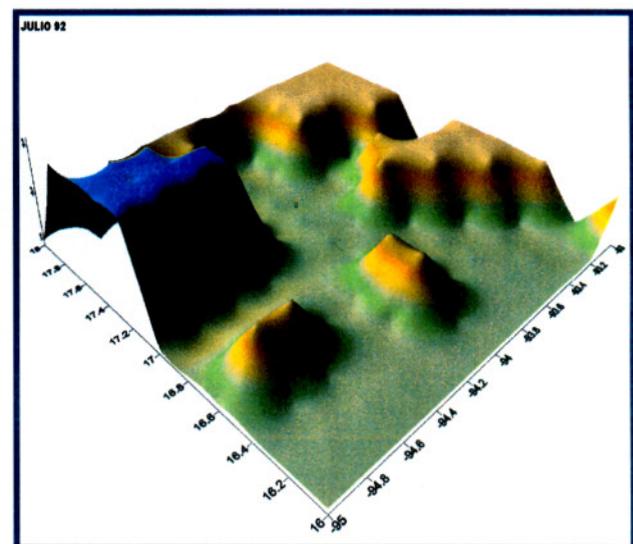


Fig. 8.3.5.c Conglomerados julio 1992

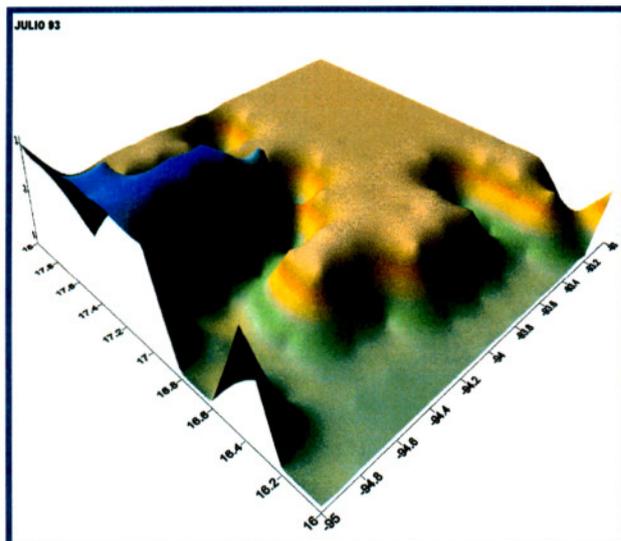


Fig. 8.3.5.d Conglomerados julio 1993

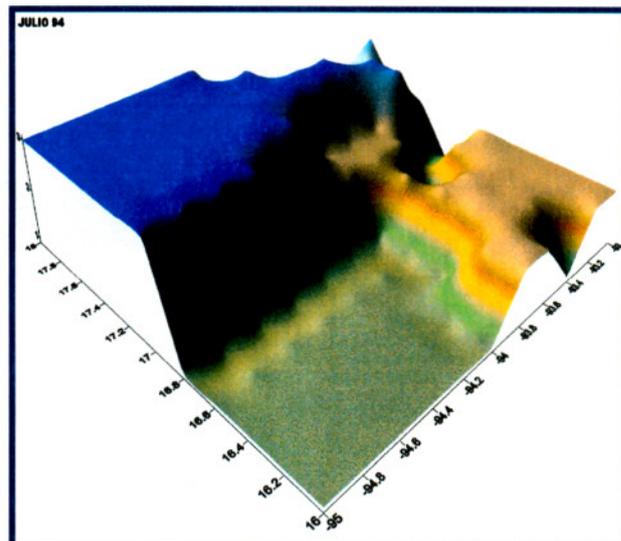


Fig. 8.3.5.e Conglomerados julio 1994

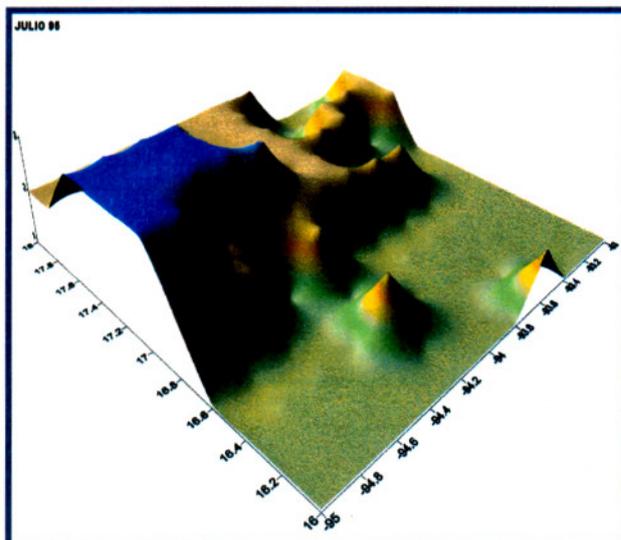


Fig. 8.3.5.f Conglomerados julio 1995

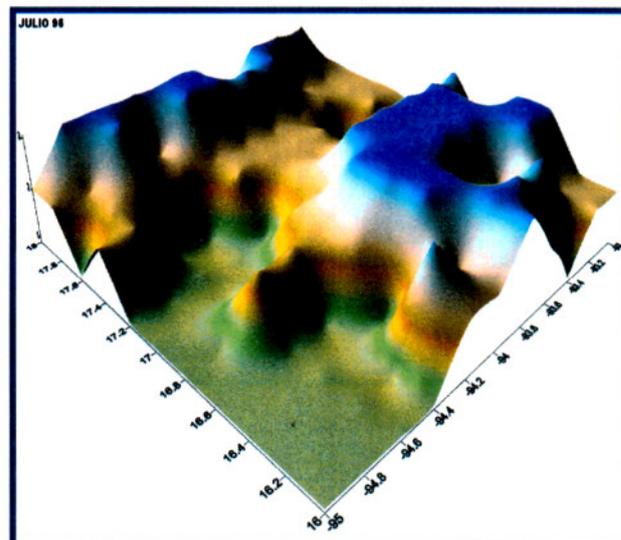


Fig. 8.3.5.g Conglomerados julio 1996

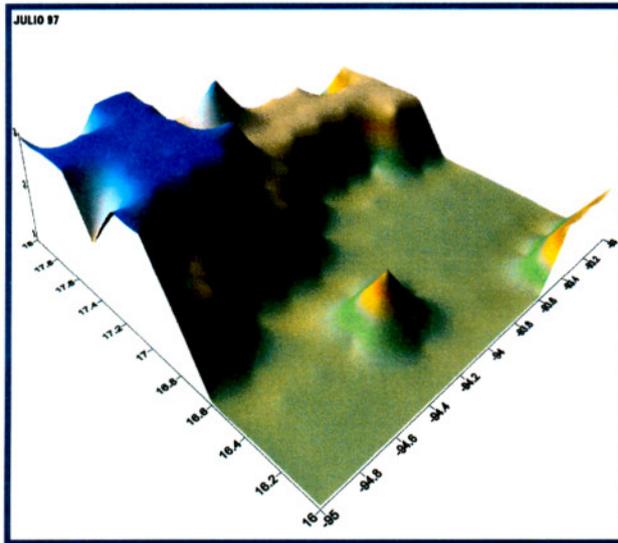


Fig. 8.3.5.h Conglomerados julio 1997

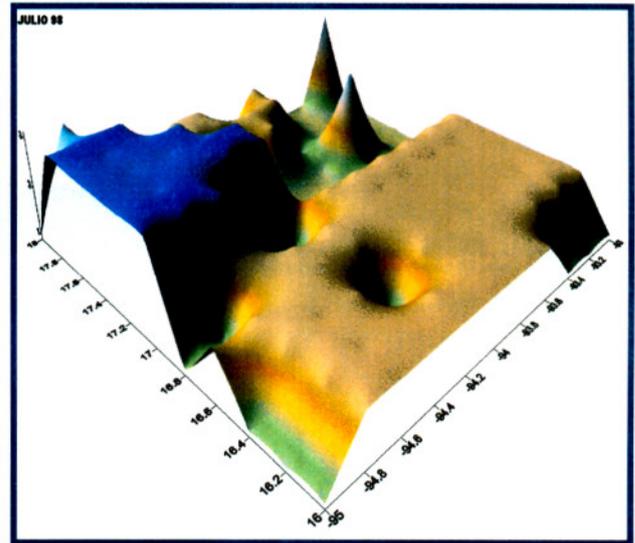


Fig. 8.3.5.i Conglomerados julio 1998

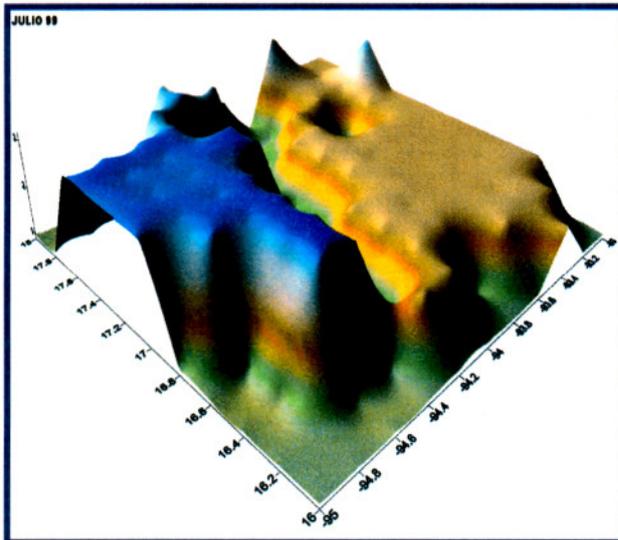


Fig. 8.3.5.j Conglomerados julio 1999

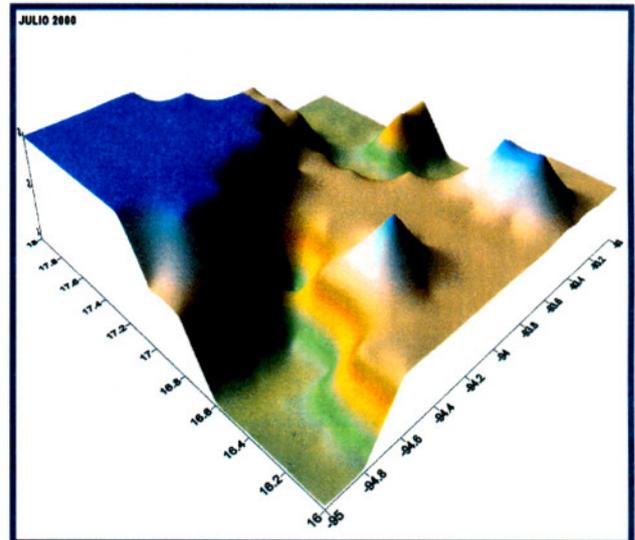


Fig. 8.3.5.k Conglomerados julio 2000

### 8.3.6 HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA ABSOLUTA Y RELATIVA DE CONGLOMERADOS JULIO 1961-2000

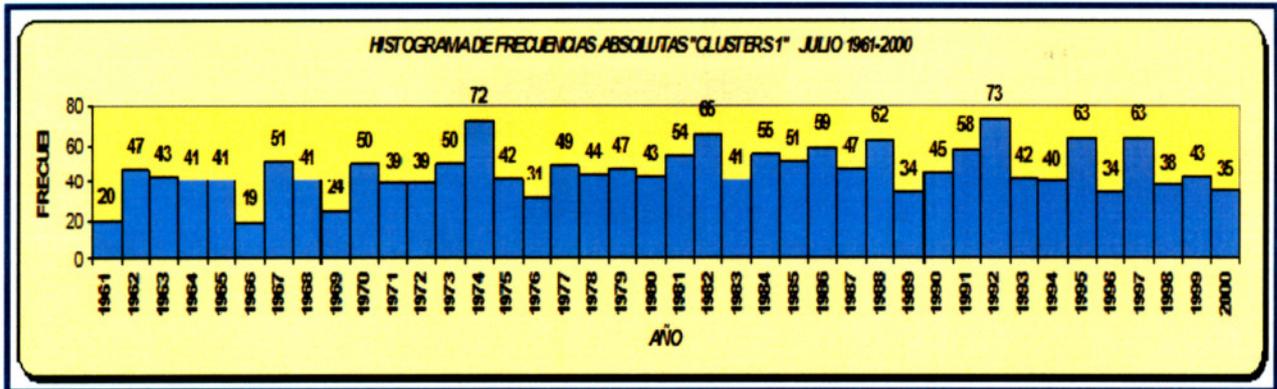


Fig. 8.3.6.a Histograma de frecuencia absoluta, cluster 1, julio 1961-2000

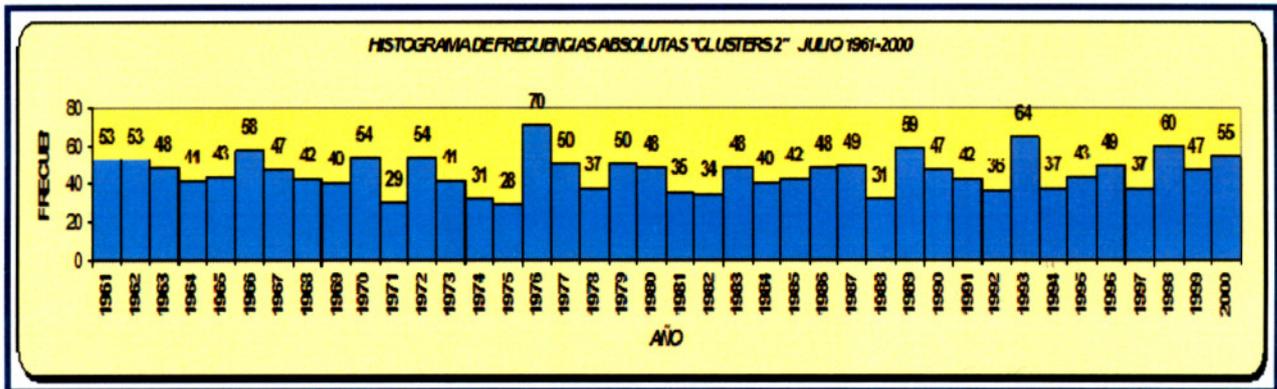


Fig. 8.3.6.b Histograma de frecuencia absoluta, cluster 2, julio 1961-2000

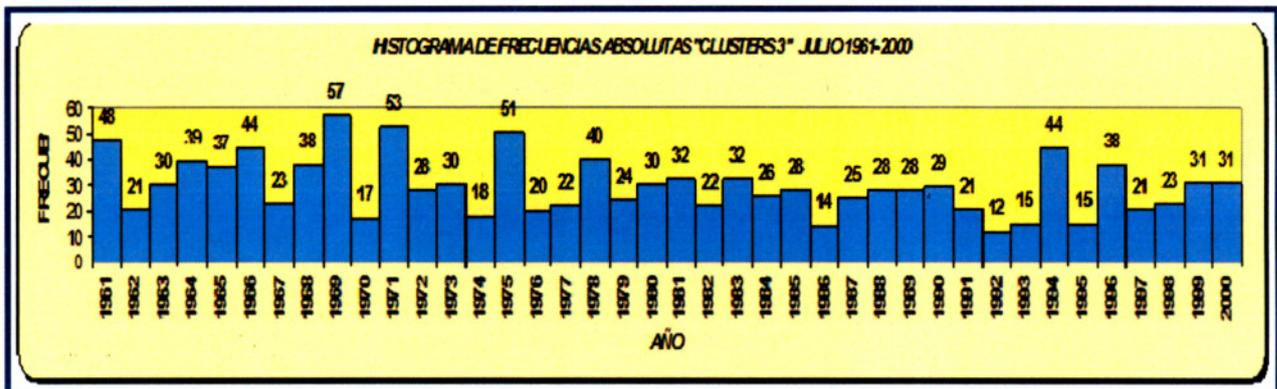


Fig. 8.3.6.c Histograma de frecuencia absoluta, cluster 3, julio 1961-2000

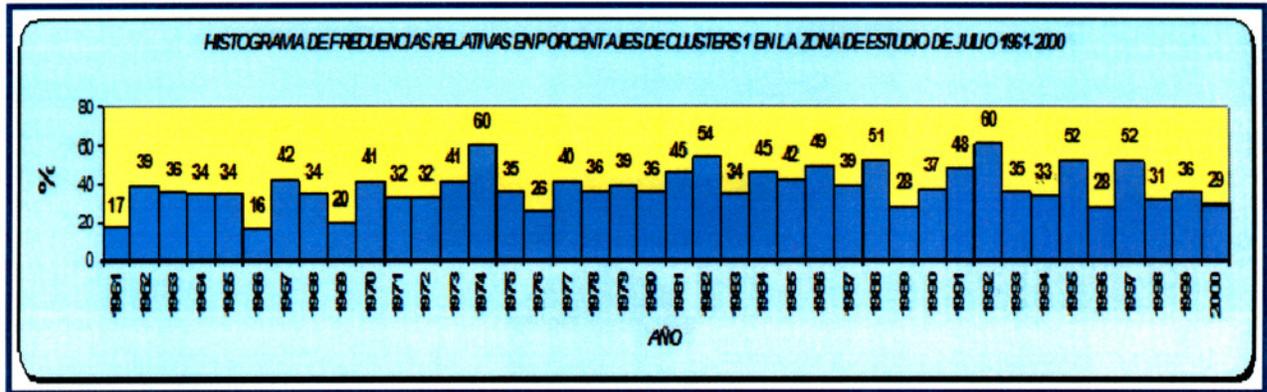


Fig. 8.3.6.d Histograma de frecuencia relativa, cluster 1, julio 1961-2000

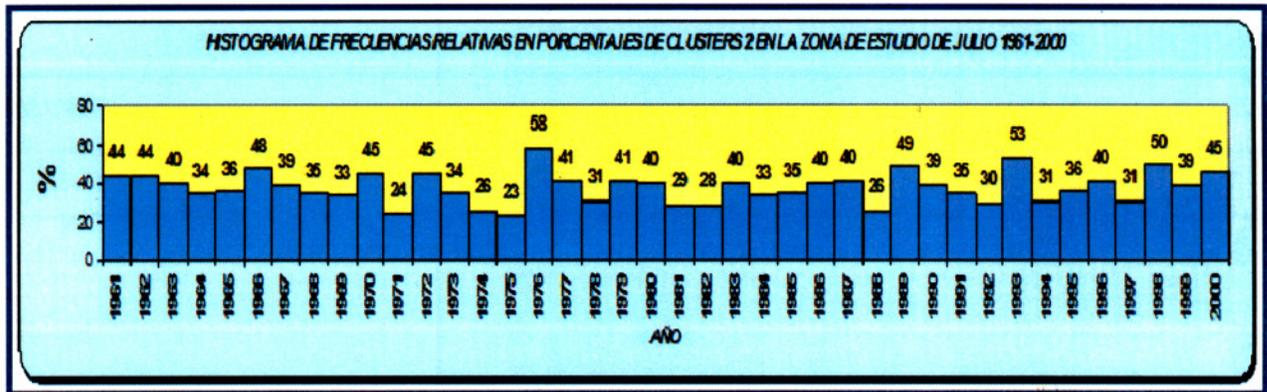


Fig. 8.3.6.e Histograma de frecuencia relativa, cluster 2, julio 1961-2000

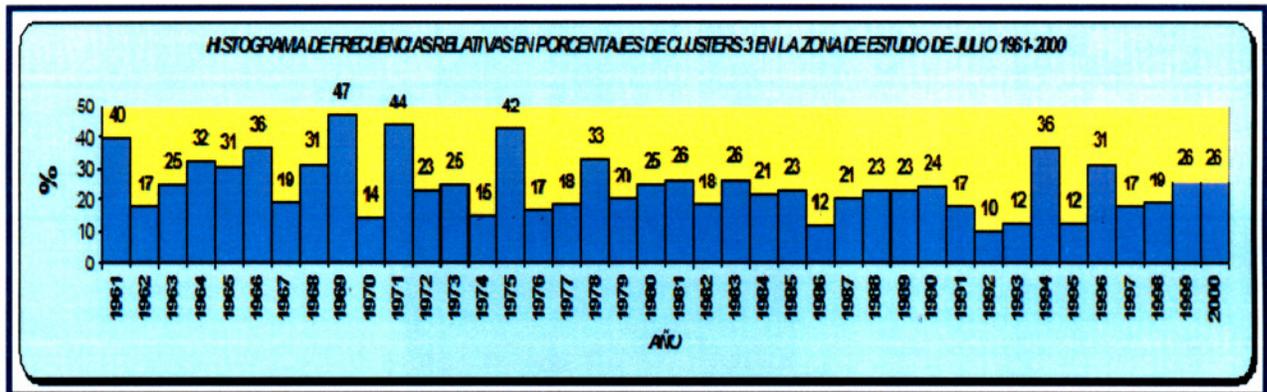


Fig. 8.3.6.f Histograma de frecuencia relativa, cluster 3, julio 1961-2000

## 8.4 RESULTADOS DE ANÁLISIS “OCTUBRE”

### 8.4.1 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE OCTUBRE DE 1961-2000

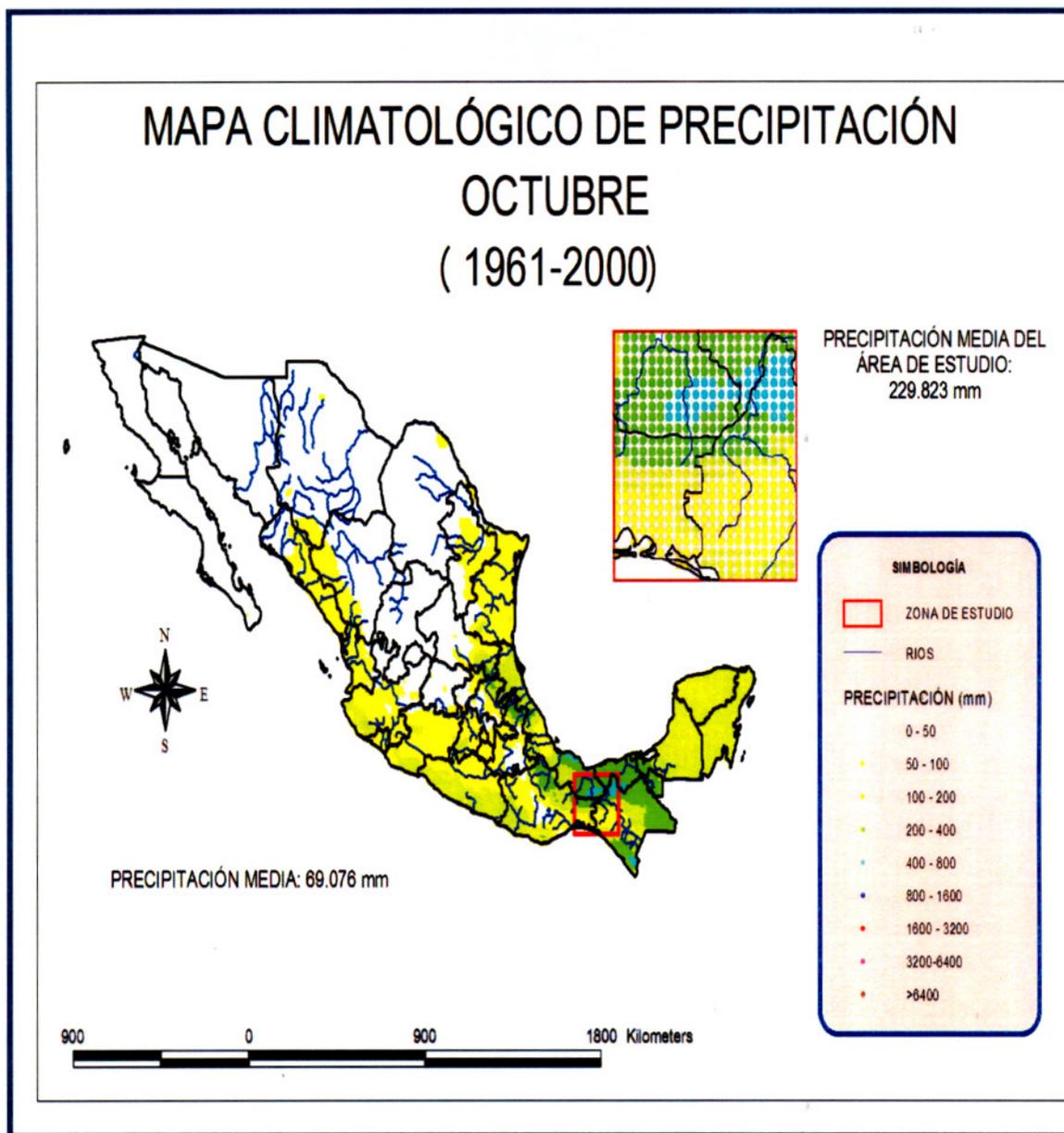


Fig. 8.4.1.a Climatología de precipitación octubre 1961-2000

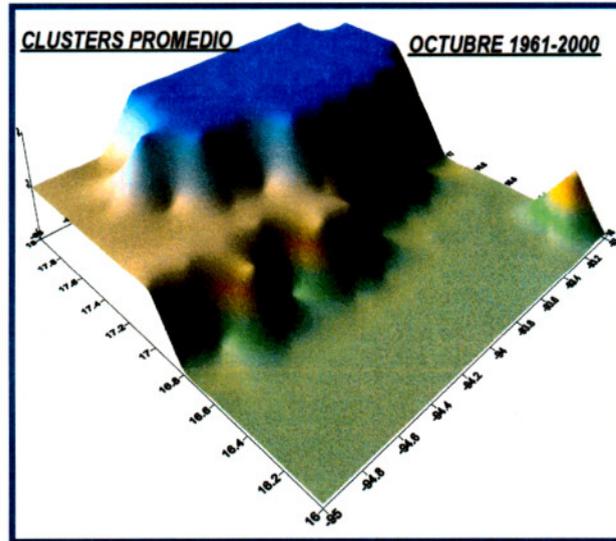


Fig. 8.4.1.b Promedio de conglomerados octubre 1961-2000

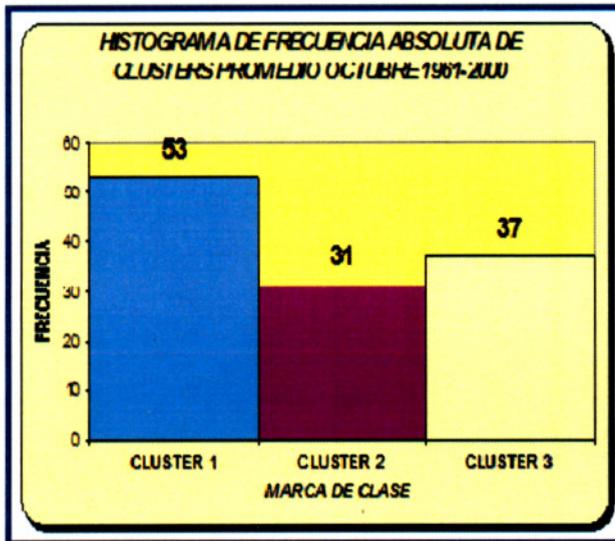


Fig. 8.4.1.c Histograma de frecuencia absoluta promedio octubre 1961-2000

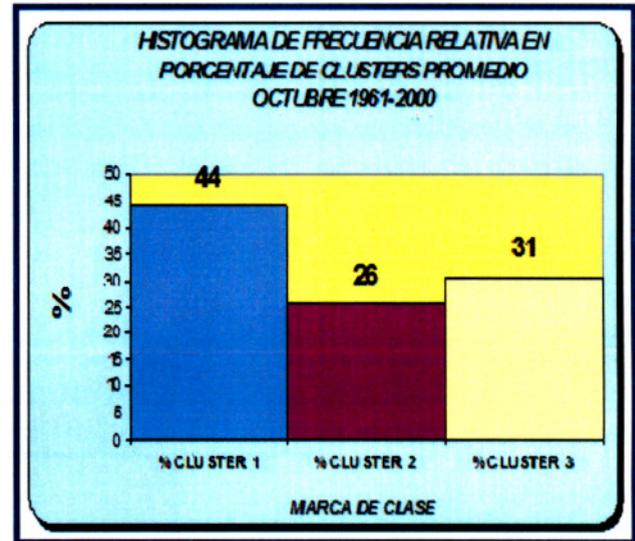


Fig. 8.4.1.d Histograma de frecuencia relativa promedio octubre julio 1961-2000

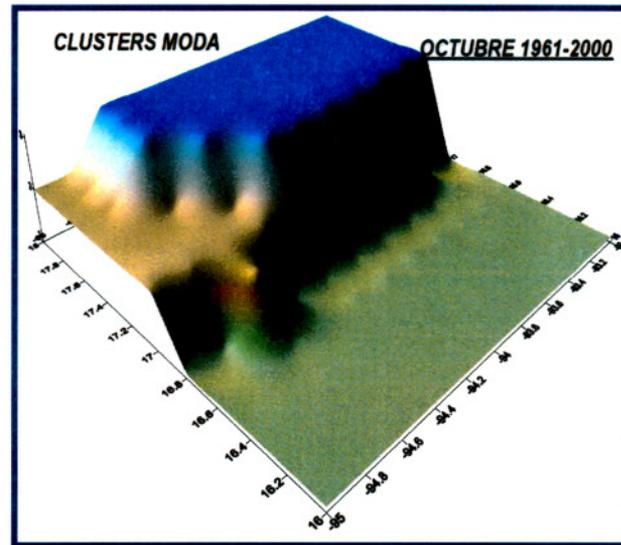


Fig. 8.4.1.e Moda de conglomerados  
 octubre 1961-2000

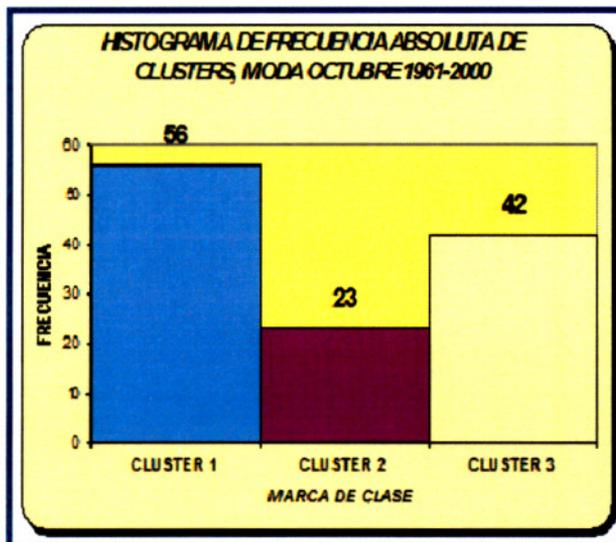


Fig. 8.4.1.f Histograma de frecuencia absoluta  
 moda octubre 1961-2000

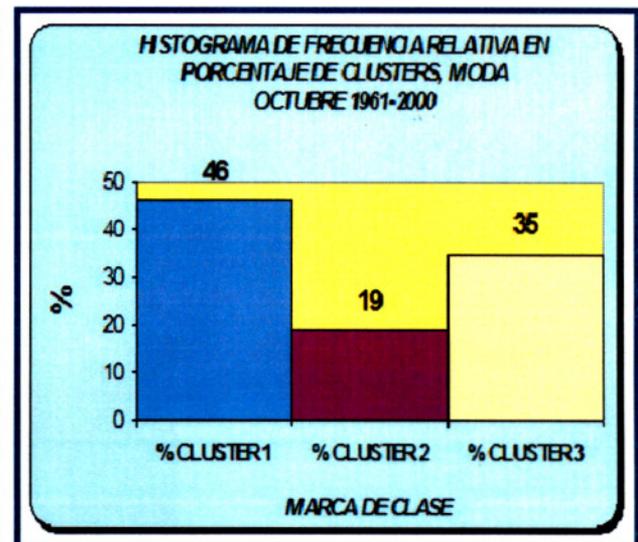


Fig. 8.4.1.g Histograma de frecuencia relativa  
 moda octubre 1961-2000

### 8.4.2 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE OCTUBRE DE 1961-1970

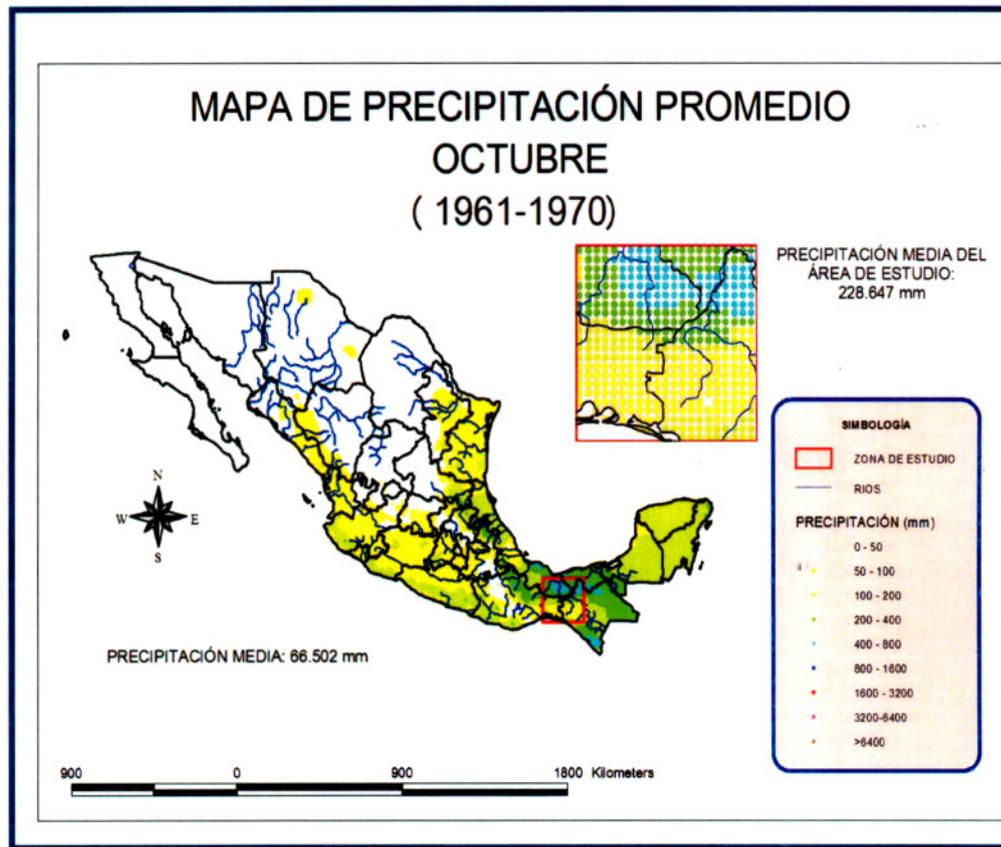


Fig. 8.4.2.a Precipitación promedio octubre 1961-1970

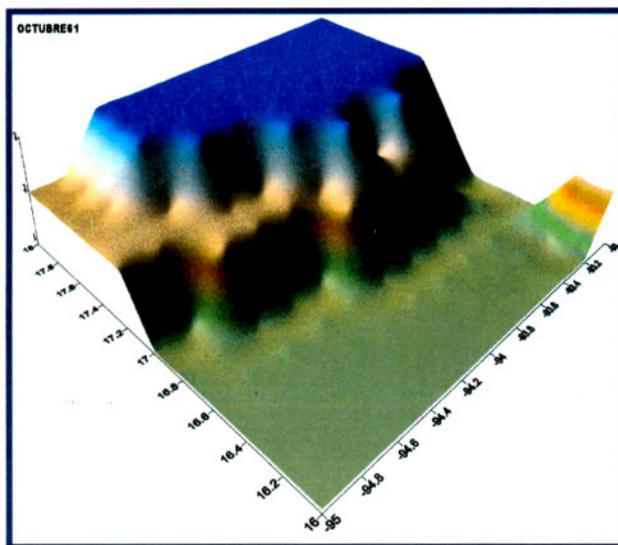


Fig. 8.4.2.b Conglomerados octubre 1961

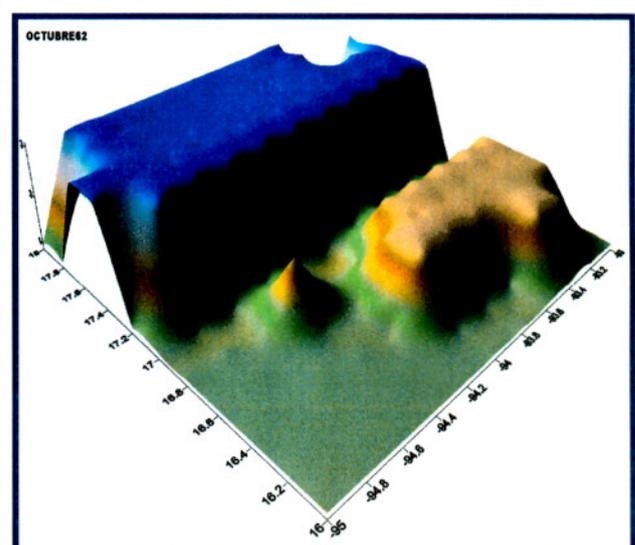


Fig. 8.4.2.c Conglomerados octubre 1962

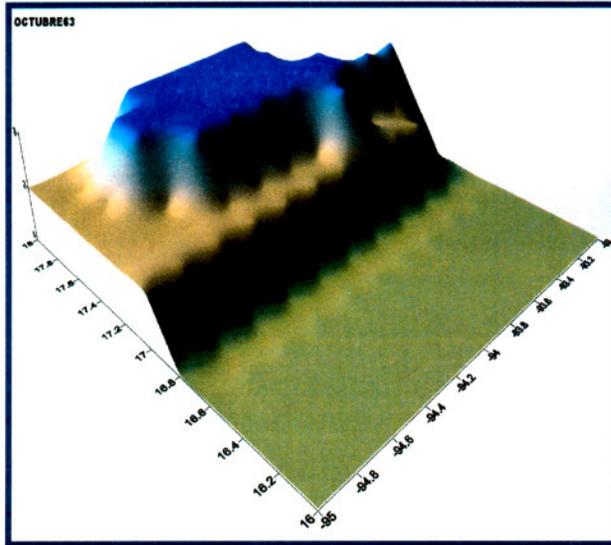


Fig. 8.4.2.d Conglomerados octubre 1963

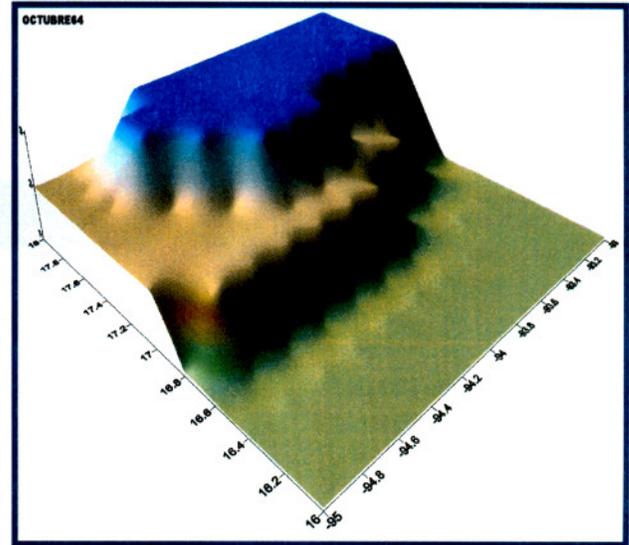


Fig. 8.4.2.e Conglomerados octubre 1964

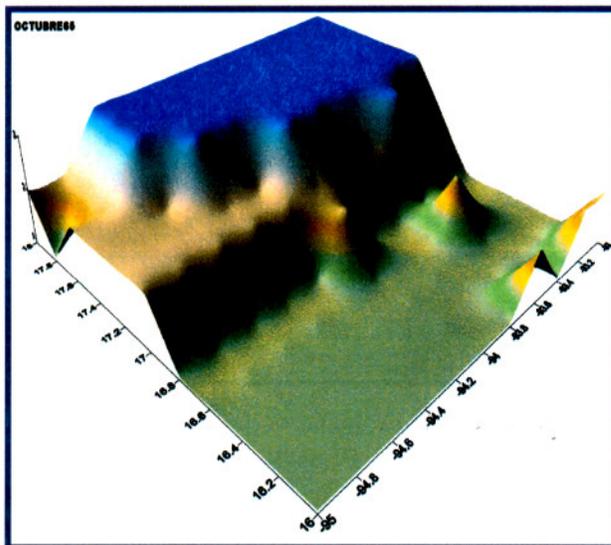


Fig. 8.4.2.f Conglomerados octubre 1965

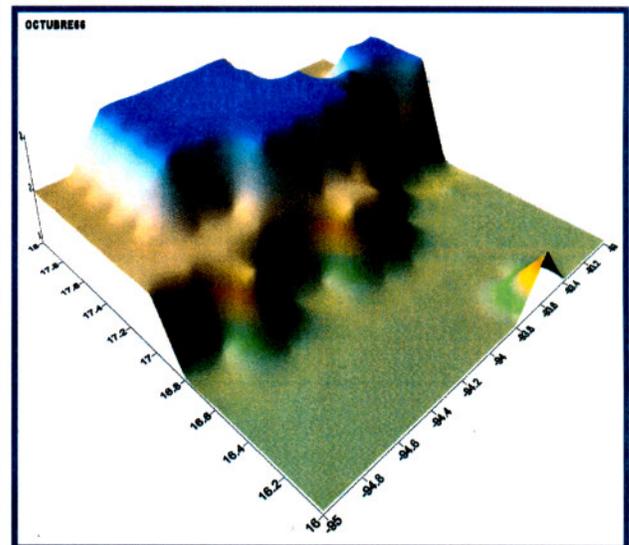


Fig. 8.4.2.g Conglomerados octubre 1966

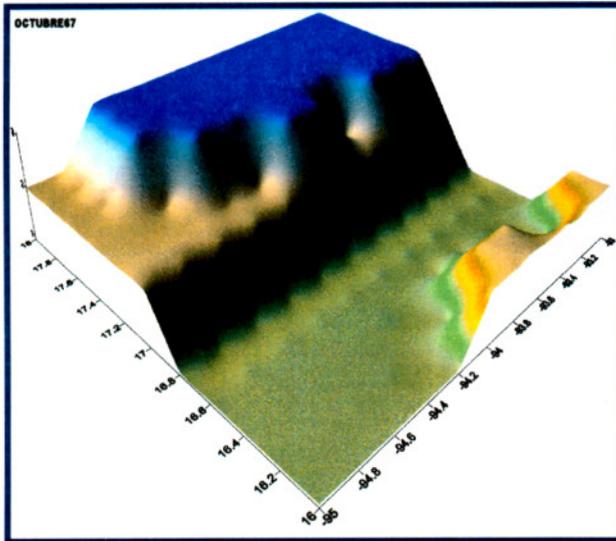


Fig. 8.4.2.h Conglomerados octubre 1967

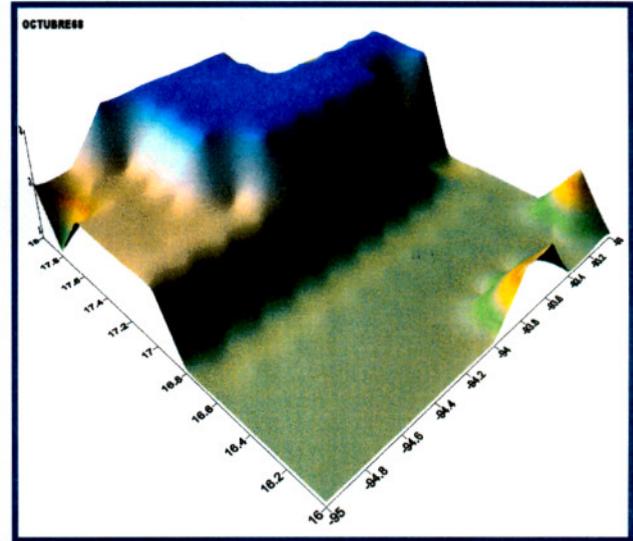


Fig. 8.4.2.i Conglomerados octubre 1968

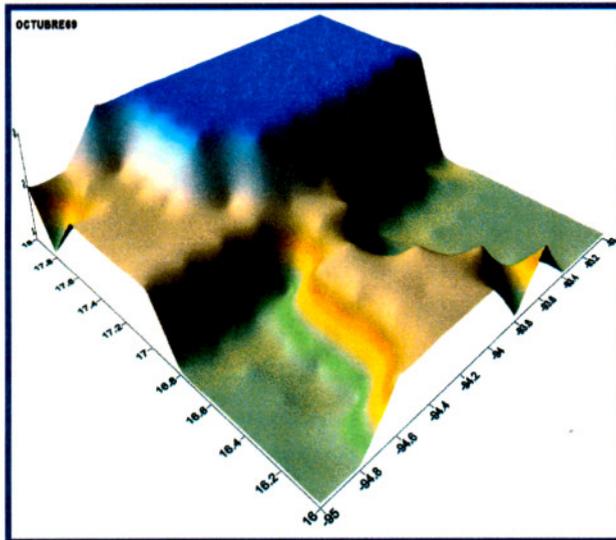


Fig. 8.4.2.j Conglomerados octubre 1969

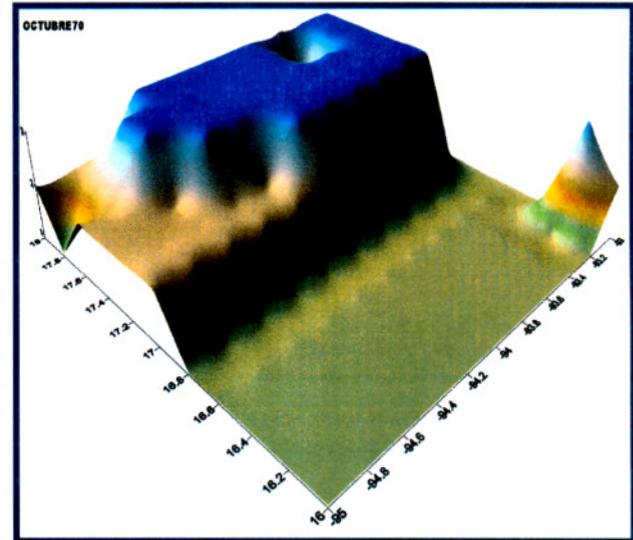


Fig. 8.4.2.k Conglomerados octubre 1970

### 8.4.3 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE OCTUBRE DE 1971-1980

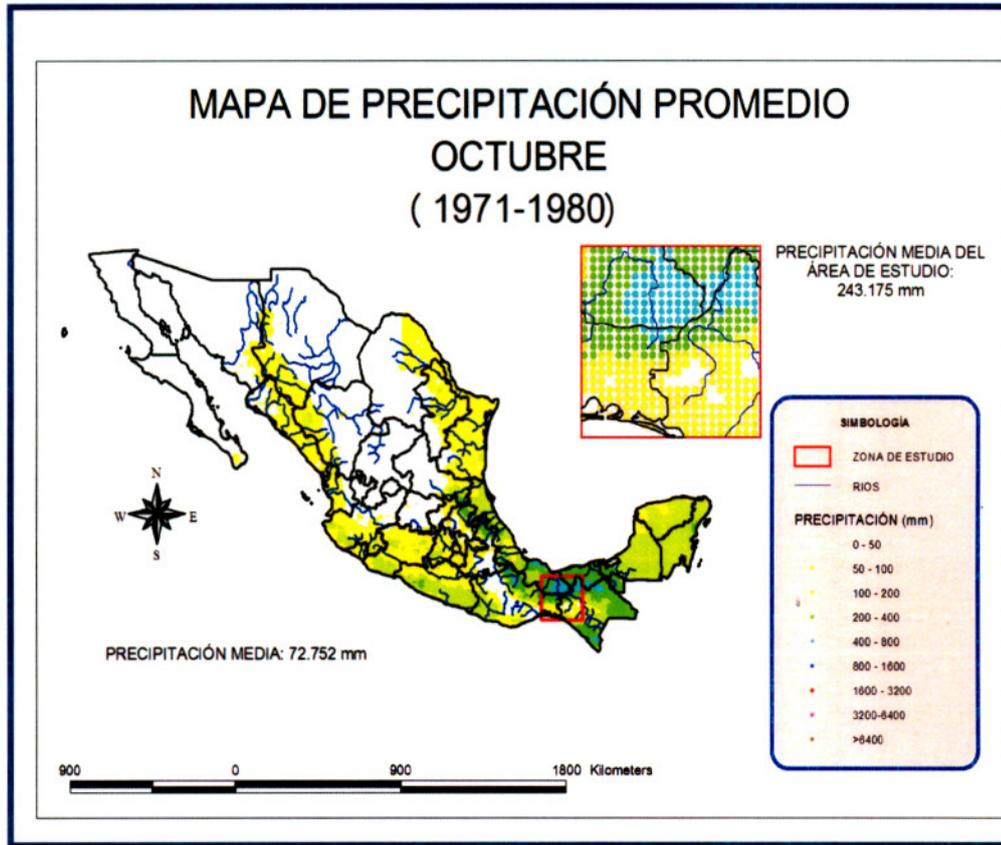


Fig. 8.4.3.a Precipitación promedio  
 octubre 1971-1980

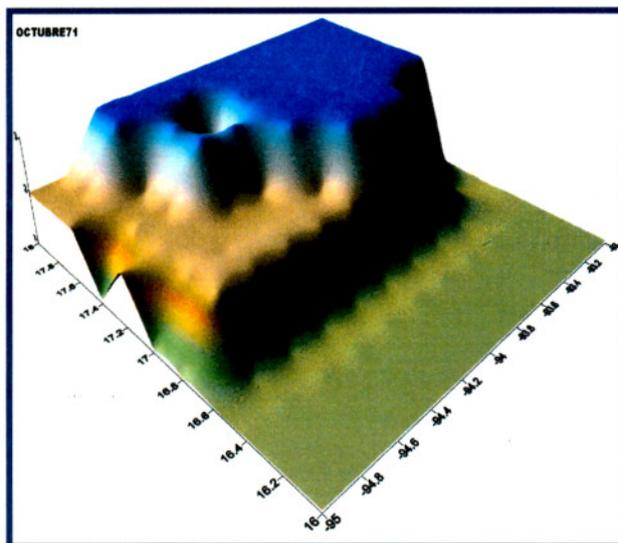


Fig. 8.4.3.b Conglomerados octubre 1971

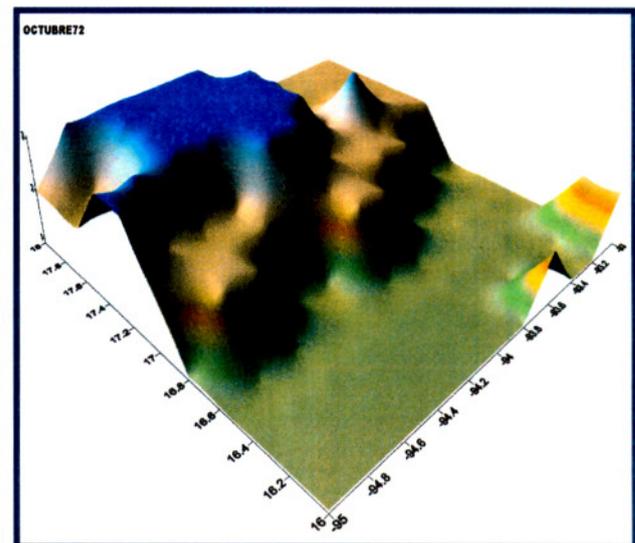


Fig. 8.4.3.c Conglomerados octubre 1972

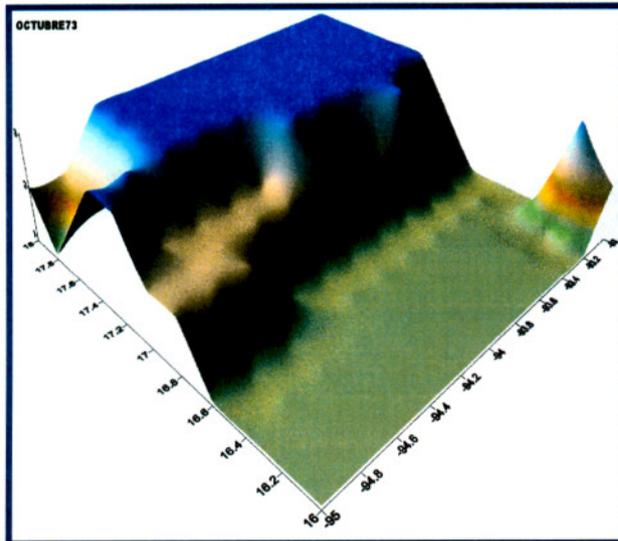


Fig. 8.4.3.d Conglomerados octubre 1973

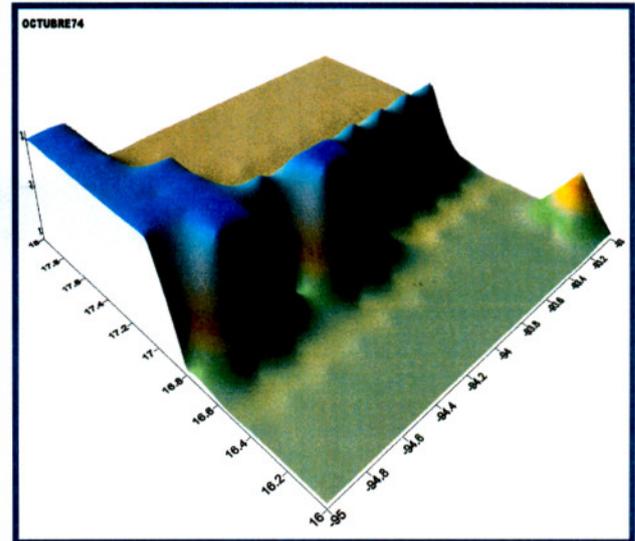


Fig. 8.4.3.e Conglomerados octubre 1974

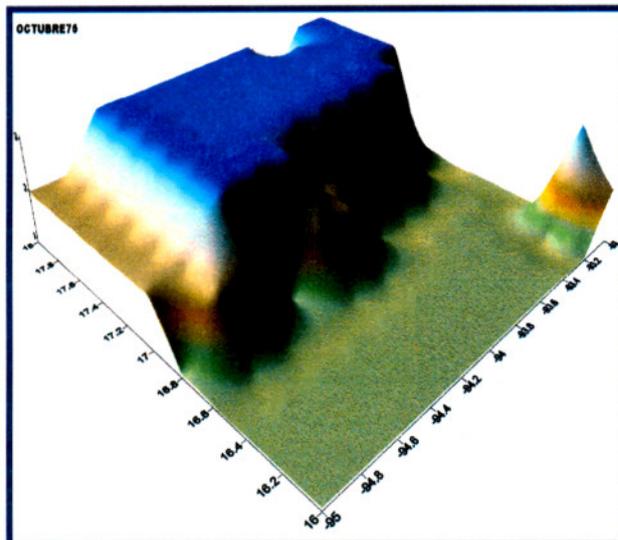


Fig. 8.4.3.f Conglomerados octubre 1975

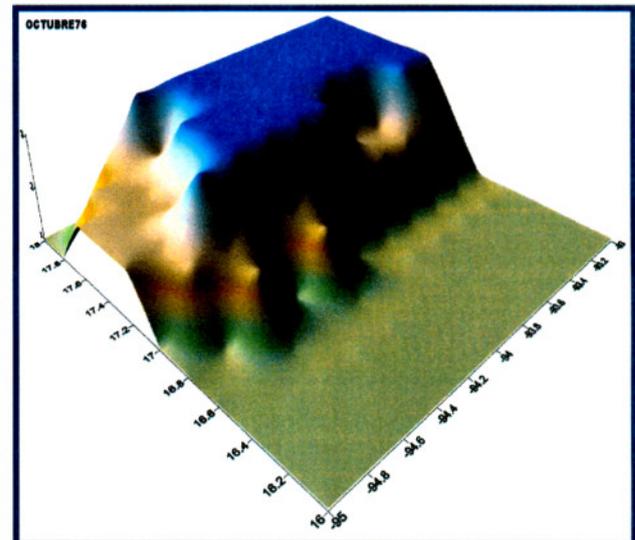


Fig. 8.4.3.g Conglomerados octubre 1976

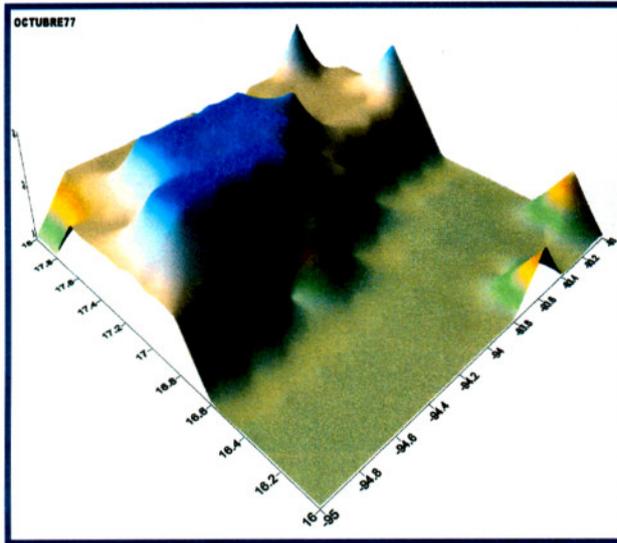


Fig. 8.4.3.h Conglomerados octubre 1977

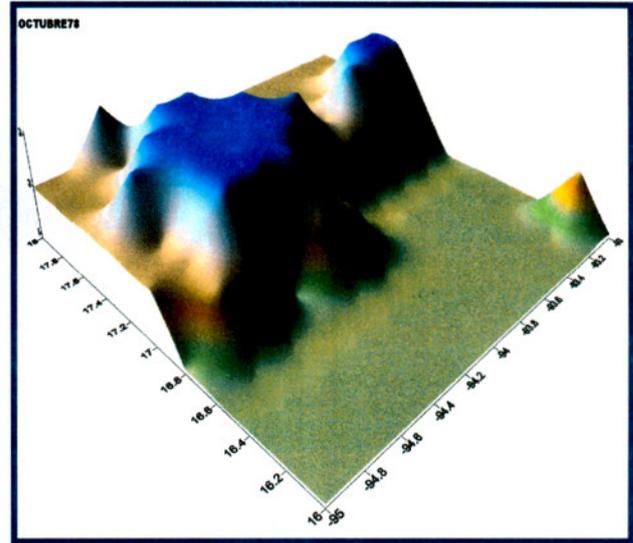


Fig. 8.4.3.i Conglomerados octubre 1978

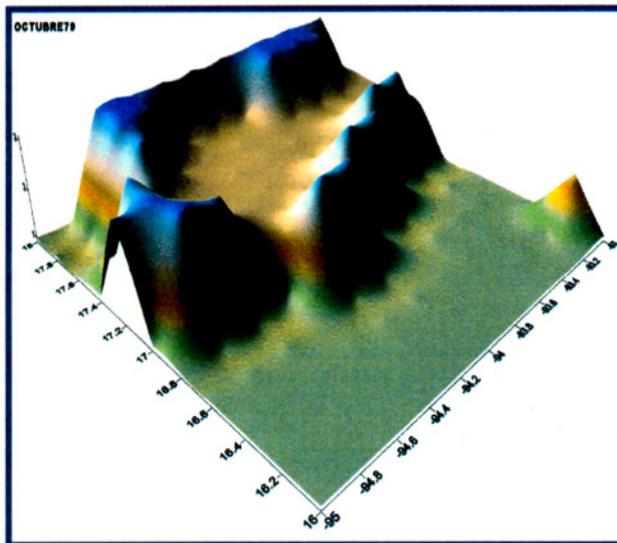


Fig. 8.4.3.j Conglomerados octubre 1979

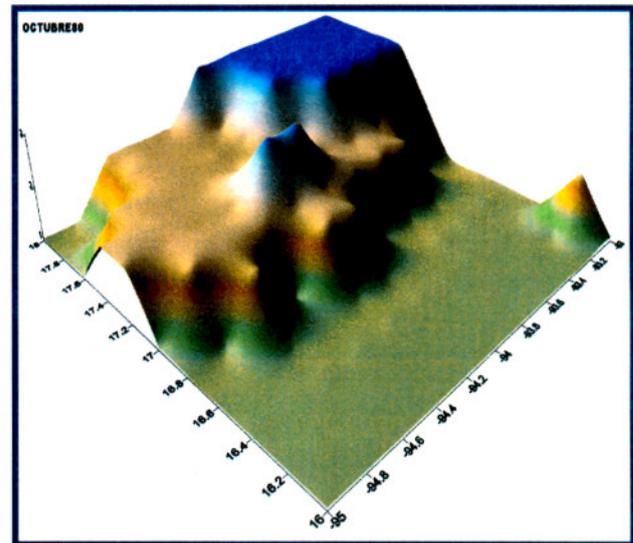


Fig. 8.4.3.k Conglomerados octubre 1980

### 8.4.4 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE OCTUBRE DE 1981-1990

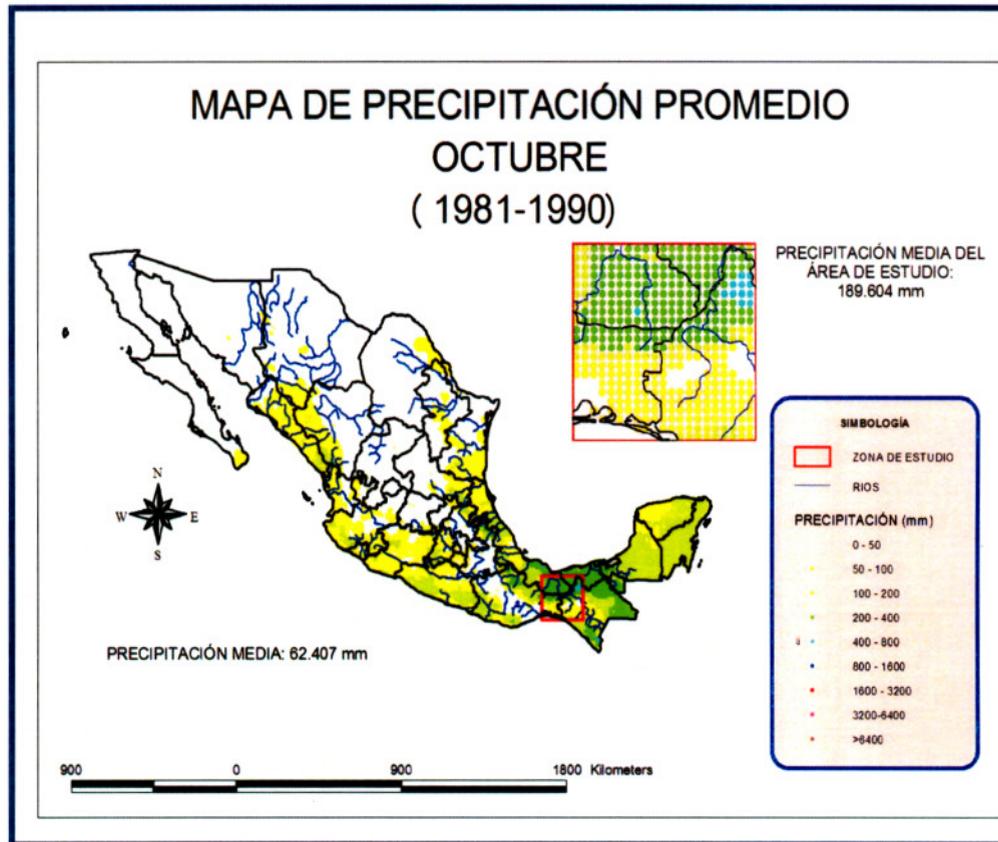


Fig. 8.4.4.a Precipitación promedio  
octubre 1981-1990

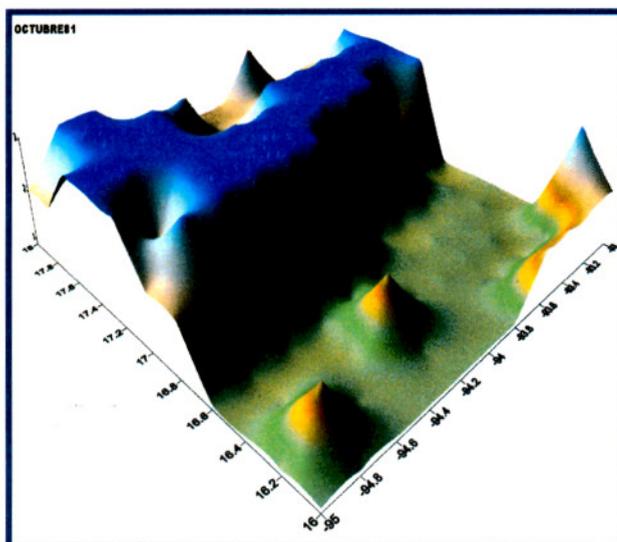


Fig. 8.4.4.b Conglomerados octubre 1981

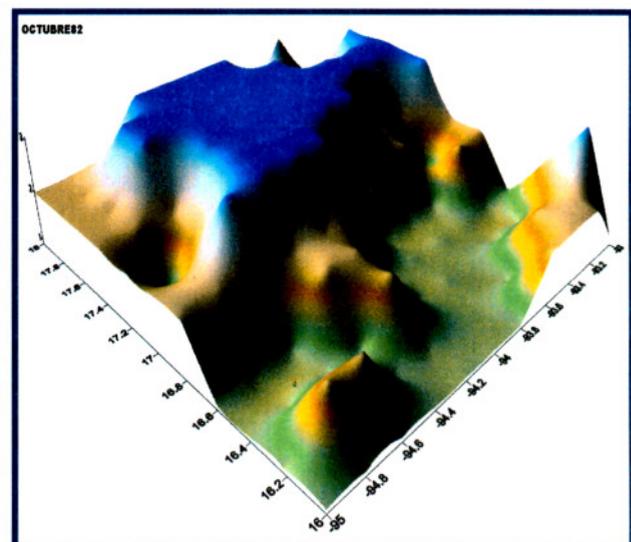


Fig. 8.4.4.c Conglomerados octubre 1982

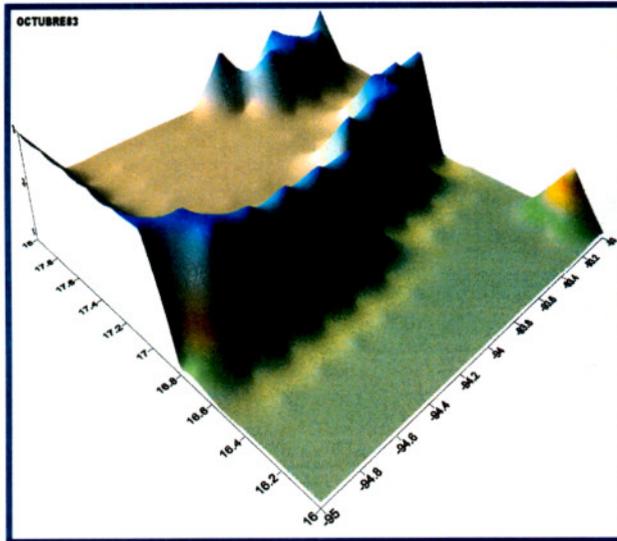


Fig. 8.4.4.d Conglomerados octubre 1983

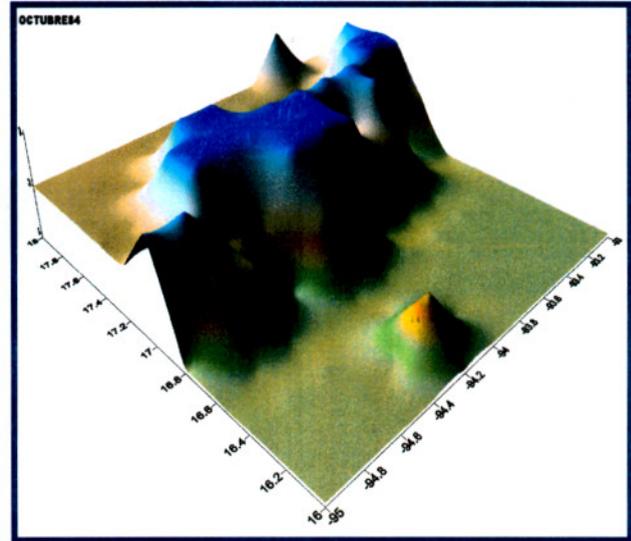


Fig. 8.4.4.e Conglomerados octubre 1984

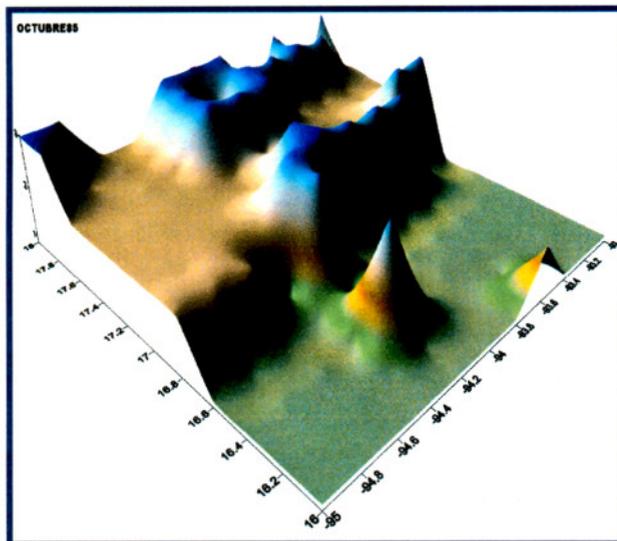


Fig. 8.4.4.f Conglomerados octubre 1985

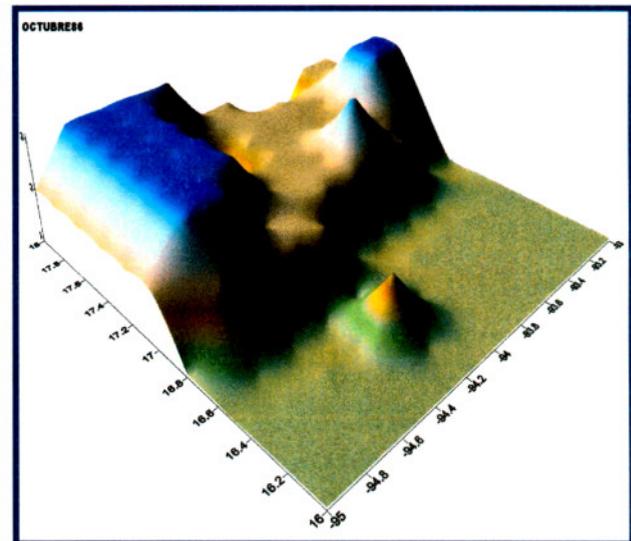


Fig. 8.4.4.g Conglomerados octubre 1986

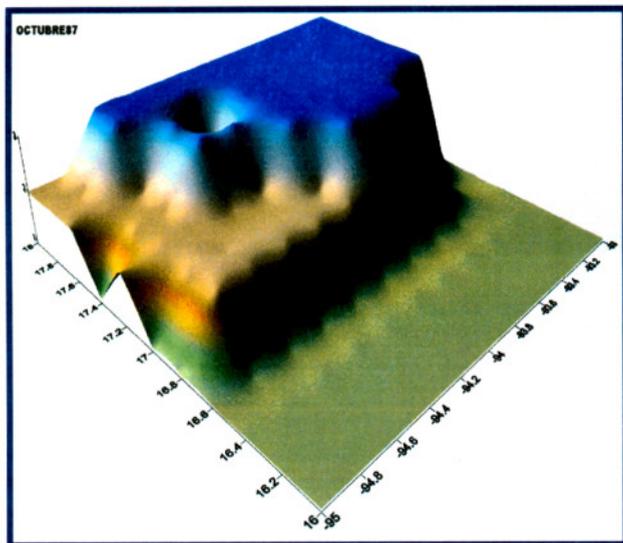


Fig. 8.4.4.h Conglomerados octubre 1987

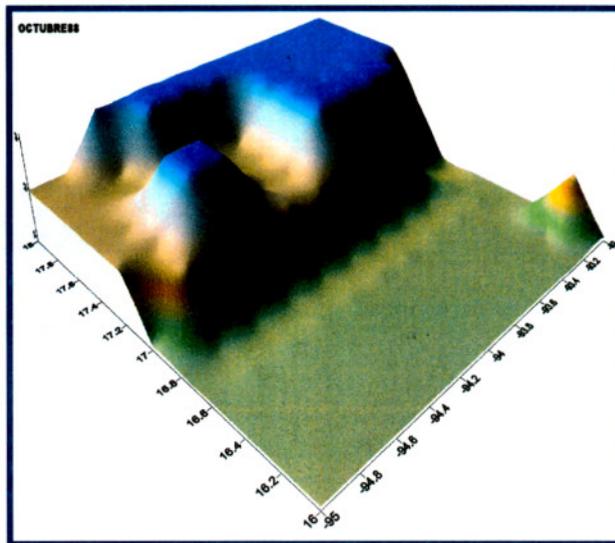


Fig. 8.4.4.i Conglomerados octubre 1988

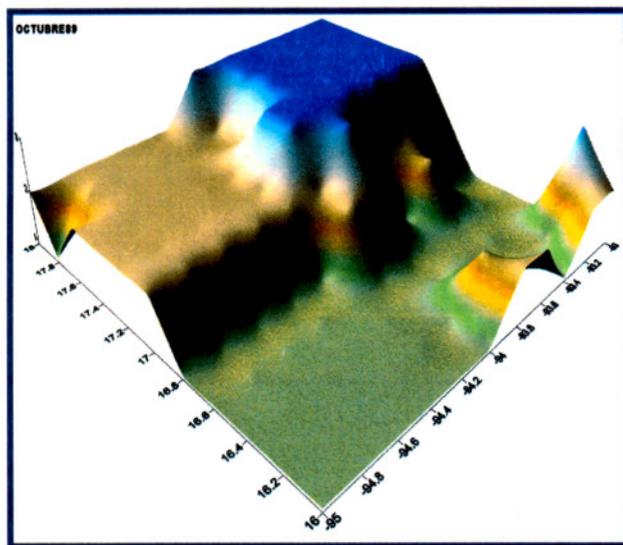


Fig. 8.4.4.j Conglomerados octubre 1989

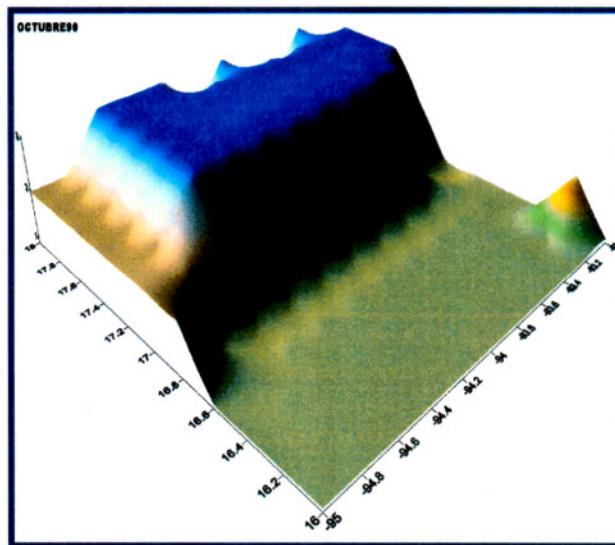


Fig. 8.4.4.k Conglomerados octubre 1990

### 8.4.5 PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE OCTUBRE DE 1991-2000

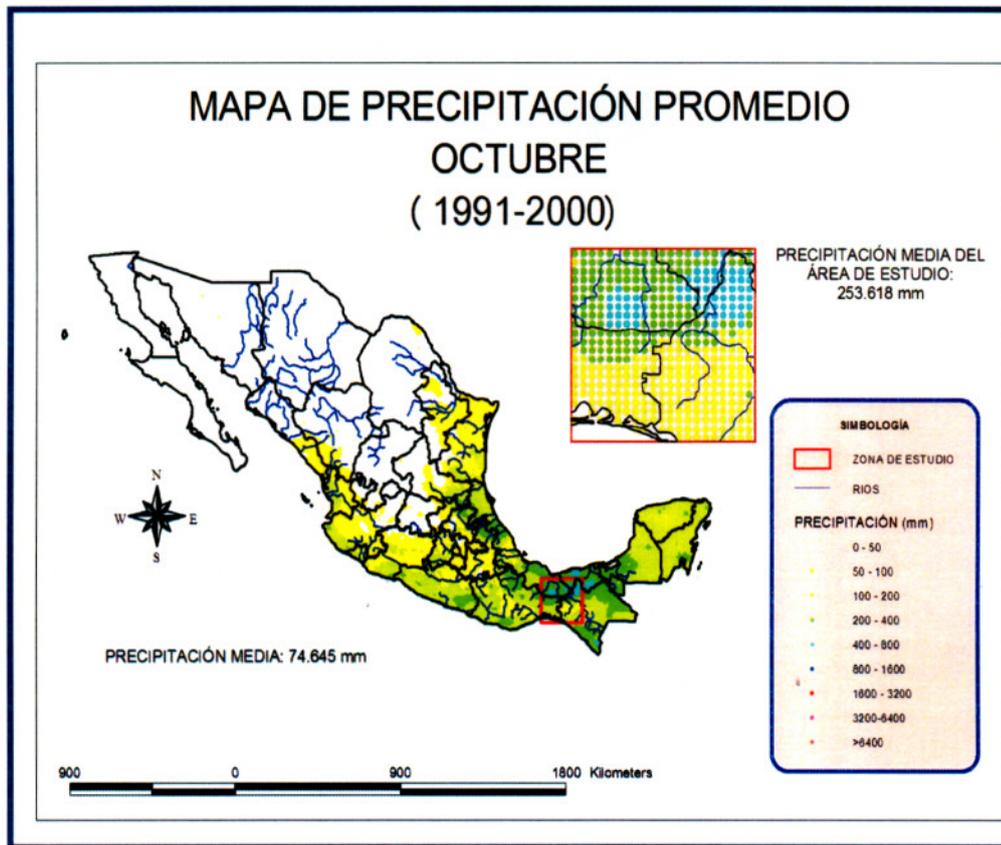


Fig. 8.4.5.a Precipitación promedio octubre 1991-2000

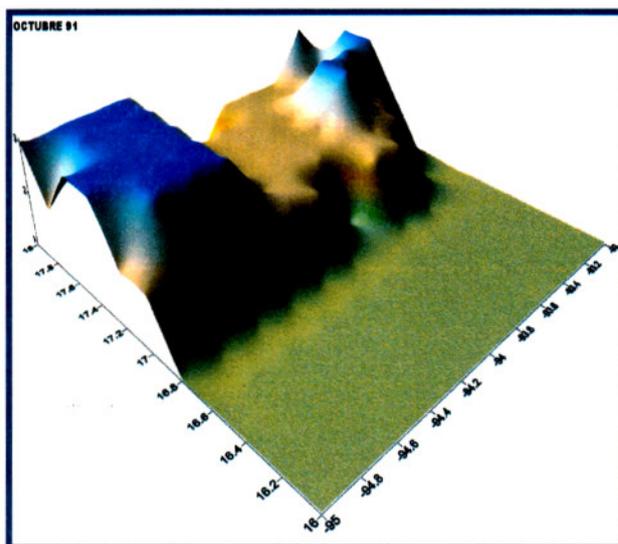


Fig. 8.4.5.b Conglomerados octubre 1991

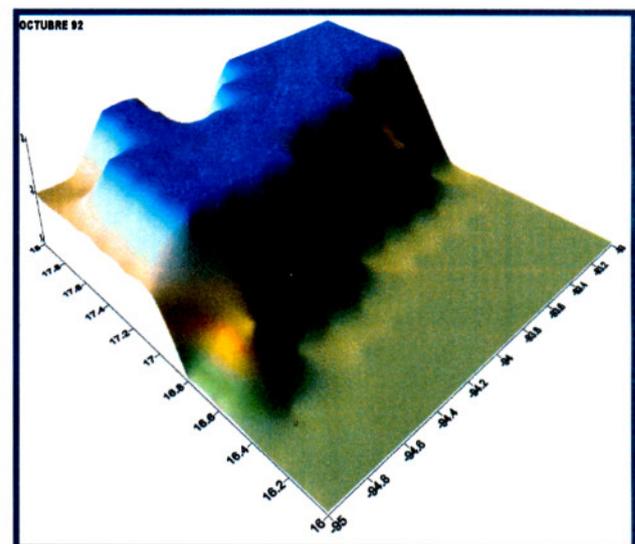


Fig. 8.4.5.c Conglomerados octubre 1992

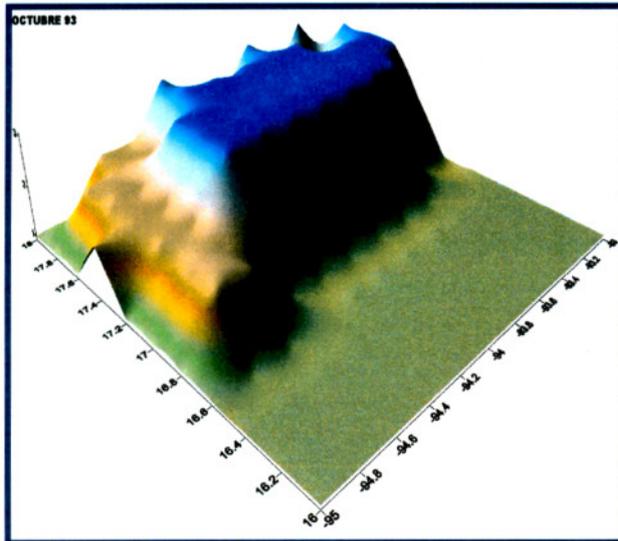


Fig. 8.4.5.d Conglomerados octubre 1993

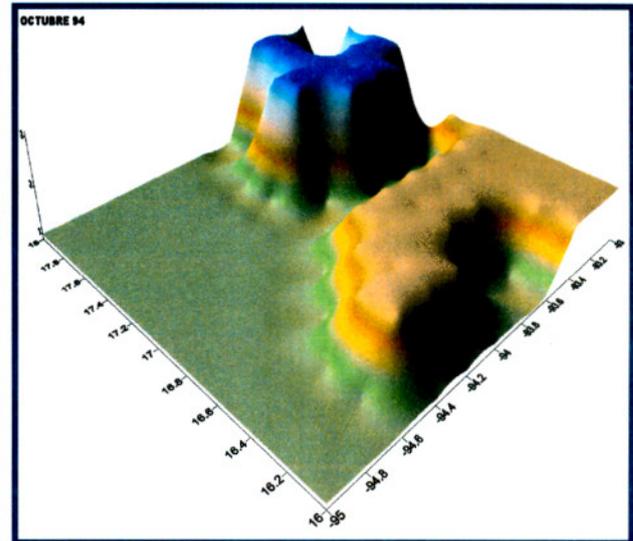


Fig. 8.4.5.e Conglomerados octubre 1994

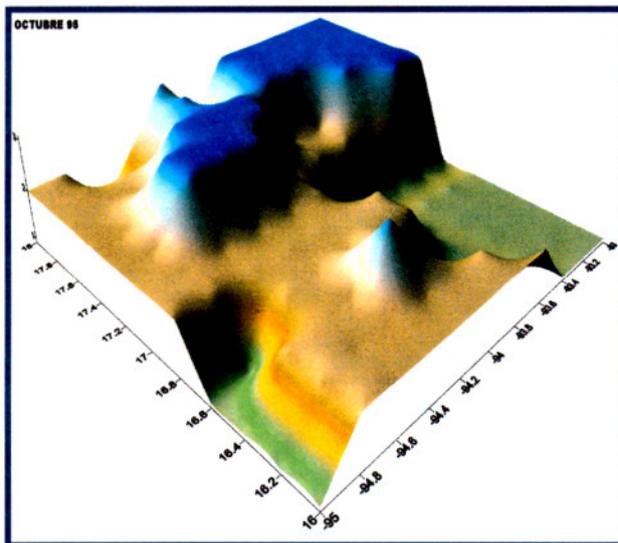


Fig. 8.4.5.f Conglomerados octubre 1995

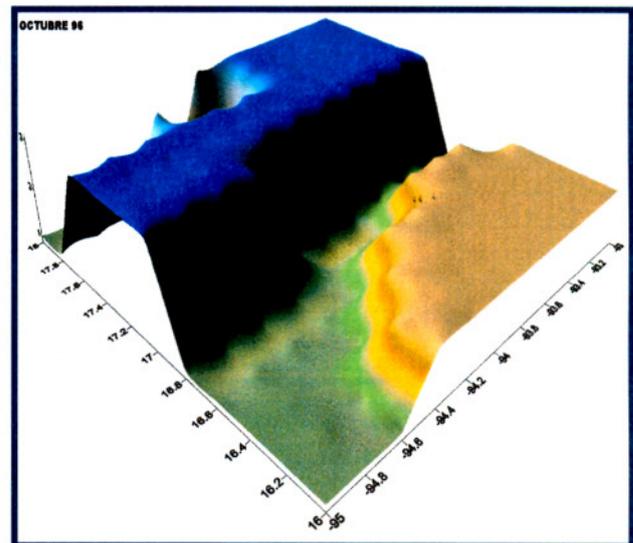


Fig. 8.4.5.g Conglomerados octubre 1996

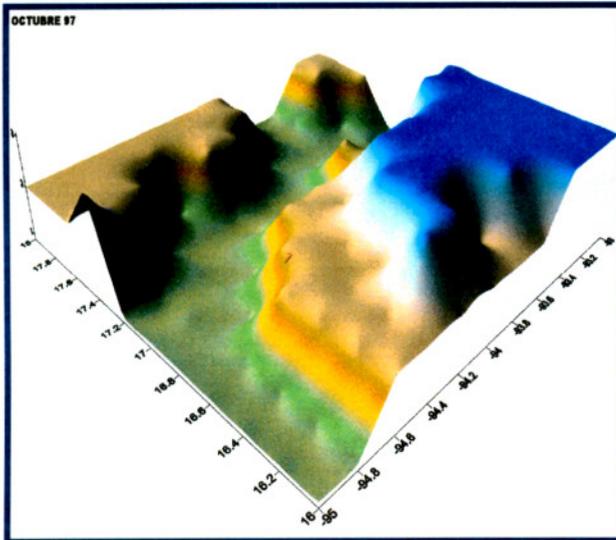


Fig. 8.4.5.h Conglomerados octubre 1997

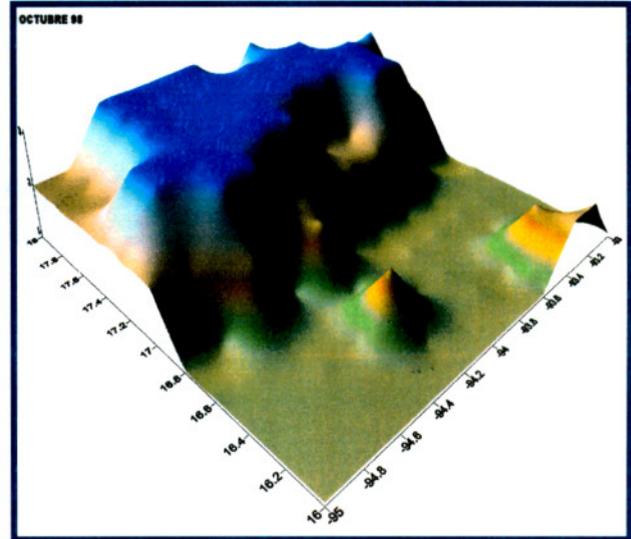


Fig. 8.4.5.i Conglomerados octubre 1998

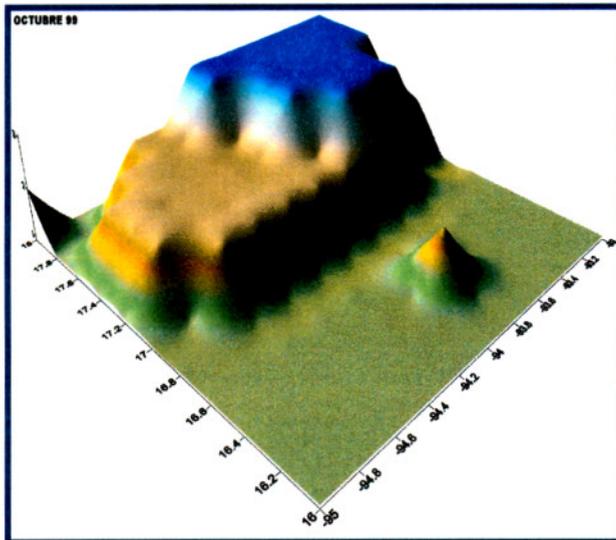


Fig. 8.4.5.j Conglomerados octubre 1999

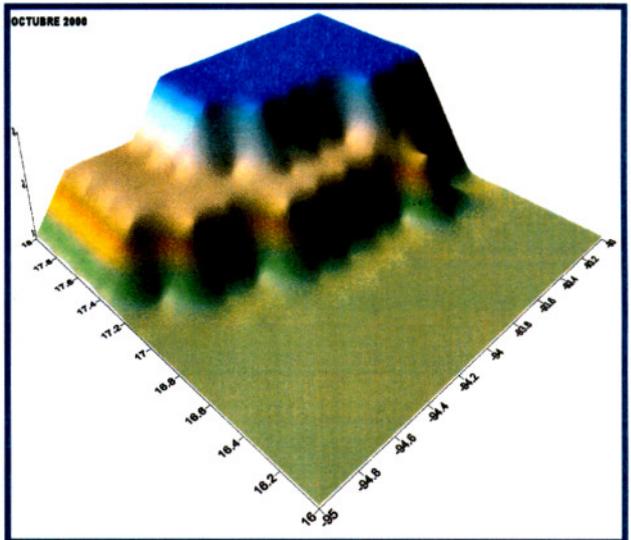


Fig. 8.4.5.k Conglomerados octubre 2000

### 8.4.6 HISTOGRAMAS DE FRECUENCIA ABSOLUTA Y RELATIVA DE CONGLOMERADOS OCTUBRE 1961-2000

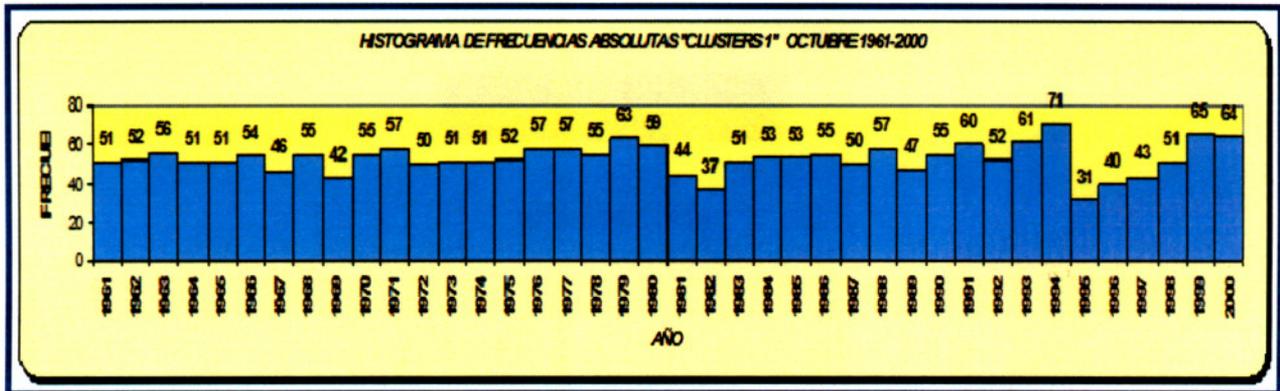


Fig. 8.4.6.a Histograma de frecuencia absoluta, cluster 1, octubre 1961-2000

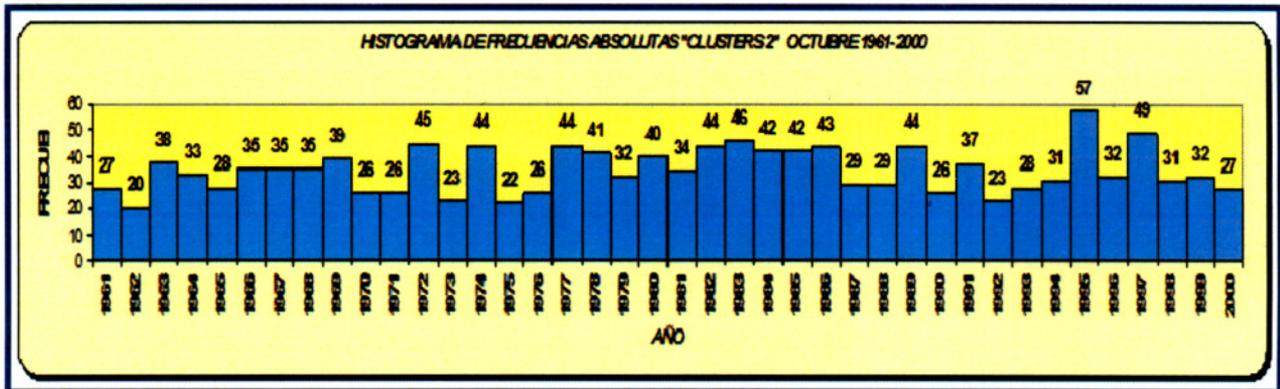


Fig. 8.4.6.b Histograma de frecuencia absoluta, cluster 2, octubre 1961-2000

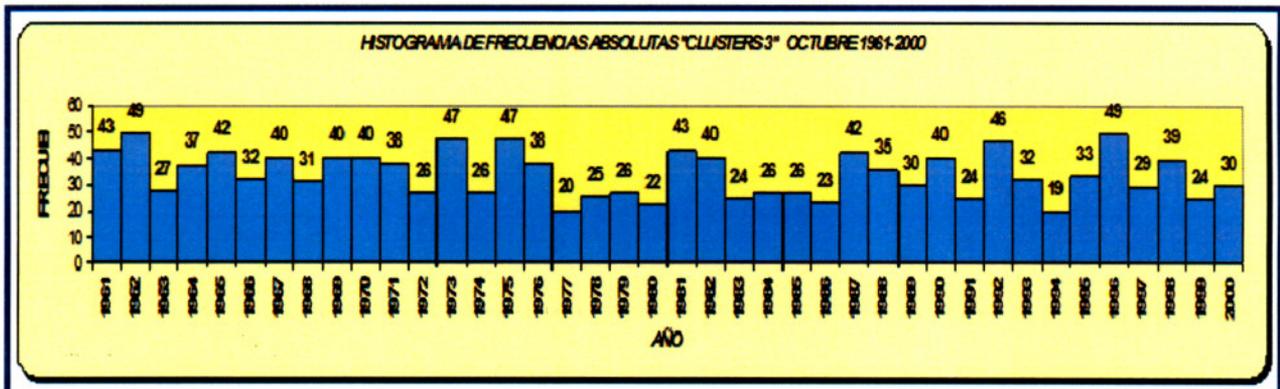


Fig. 8.4.6.c Histograma de frecuencia absoluta, cluster 3, octubre 1961-2000

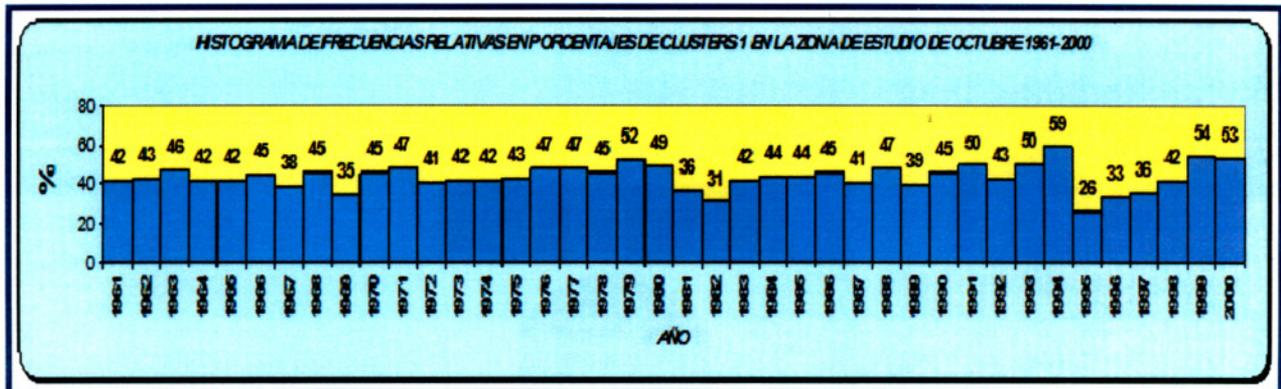


Fig. 8.4.6.d Histograma de frecuencia relativa, cluster 1, octubre 1961-2000

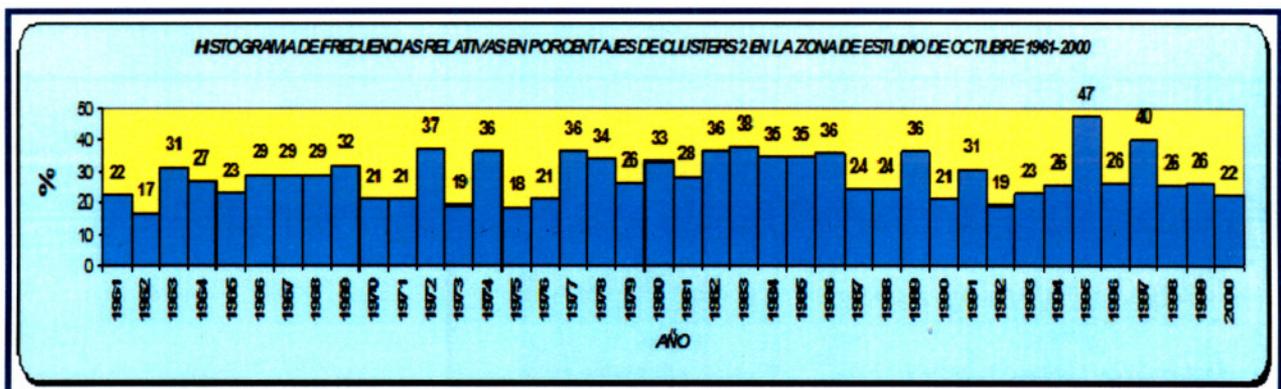


Fig. 8.4.6.e Histograma de frecuencia relativa, cluster 2, octubre 1961-2000

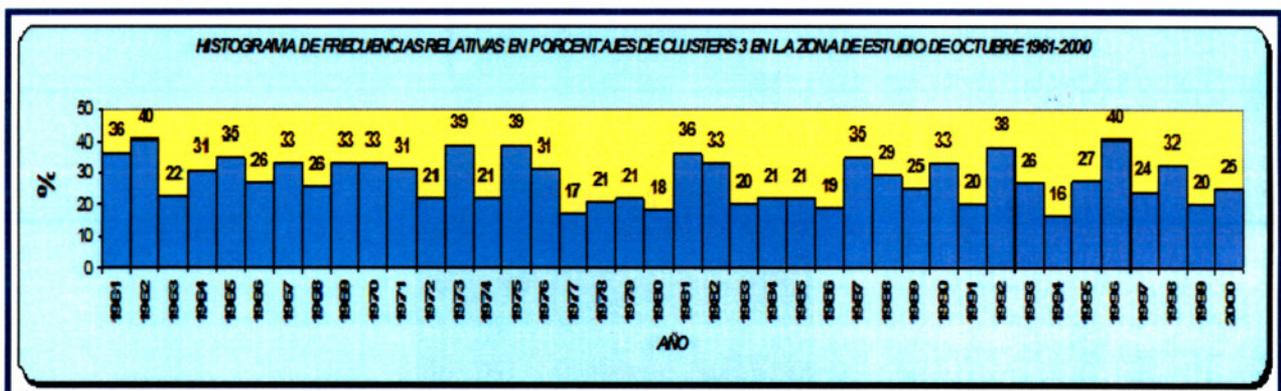


Fig. 8.4.6.f Histograma de frecuencia relativa, cluster 3, octubre 1961-2000