

01159



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA**

**ANALISIS DE LA PRECIPITACION EN EL
DISTRITO FEDERAL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA CIVIL
(HIDRAULICA)**

P R E S E N T A :

GABRIELA ALVAREZ OLGUIN

ASESOR DE TESIS:

DR. CARLOS ESCALANTE SANDOVAL



MEXICO, D. F.,

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICADO A:

Mis padres y a Miguel, por su apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS:

A la UNAM por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.

Al Dr. Carlos Escalante S., por sus enseñanzas y el tiempo dedicado a la dirección de esta tesis.

A la DGCOH, que proporcionó la información necesaria para la realización de este trabajo.

INTRODUCCIÓN.....	1
1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	3
1.1 UBICACIÓN.....	3
1.2 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS.....	3
1.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	4
1.4 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS.....	4
1.5 CARACTERÍSTICAS ADMINISTRATIVAS.....	7
1.6 SUELO DE CONSERVACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL.....	9
1.6.1 Descripción geológica y geomorfológica.....	10
1.6.2 Rocas volcánicas.....	11
1.6.3 Distribución espacial geológica.....	12
1.6.4 Suelos.....	12
1.6.5 Flora y Fauna.....	13
1.6.6 Áreas naturales.....	17
1.6.7 Susceptibilidad a la erosión.....	18
1.6.8 Degradación forestal y deforestación.....	19
1.6.9 Asentamientos humanos.....	20
1.6.10 Uso del suelo.....	21
1.6.11 Aspectos socioeconómicos de la zona rural.....	24
2 TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS.....	28
3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	35
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	35
3.1.1 Información pluviométrica.....	35
3.1.2 Información pluviográfica.....	36
3.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	39
3.2.1 Información pluviométrica.....	39
3.2.1.1 Contenido de la información.....	39
3.2.1.2 Regionalización.....	40
3.2.1.3 Análisis de la variación espacial y temporal de la lluvia.....	41
3.2.2 Información pluviográfica.....	41
3.2.2.1 Variación espacial y temporal de las series anuales y mensuales.....	41
3.2.2.2 Homogeneidad e independencia de las series anuales.....	42
3.2.2.3 Potencial erosivo de la lluvia.....	43
4 RESULTADOS Y COMENTARIOS.....	54
4.1 ANÁLISIS DE LA LLUVIA EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO.....	54
4.1.1 Contenido de información.....	54
4.1.2 Regionalización.....	59
4.1.3 Análisis de la variación espacial y temporal de la lluvia.....	65
4.2 ANÁLISIS DE LA LLUVIA EN EL DISTRITO FEDERAL.....	74
4.2.1 Lluvia mensual.....	74

4.2.2	<i>Lluvia anual</i>	90
4.2.2.1	Homogeneidad e independencian de las series anuales	90
4.2.2.2	Comportamiento espacial y temporal de la lluvia acumulada anual	93
4.2.2.3	Regionalización.....	95
4.2.3	<i>Tormentas máximas anuales en 24 horas</i>	96
4.2.4	<i>Potencial erosivo de la lluvia</i>	99
5	CONCLUSIONES	103
6	REFERENCIAS	105

Introducción

La cuenca del Valle de México, de acuerdo con la clasificación realizada por la Comisión Nacional del Agua, se ubica dentro de la Región Hidrológica 26, Pánuco, perteneciente a la Región Administrativa XIII, Valle de México. La extensión de esta Región Administrativa es la mínima del país, ya que corresponde tan sólo al 0.83% de la superficie del territorio nacional; sin embargo, en cuanto al número de habitantes y al producto interno bruto, se encuentran los valores máximos, esto es, habitan alrededor de 20 millones de habitantes y se genera el 31.3% del PIB nacional (CNA, 2001). El peso mayor de estas cifras está en relación directa con la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la cual está conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal y 17 municipios del estado de México (AIC y ANIAC, 1995).

Paralelamente al desarrollo de las actividades económicas de la ZMVM, se encuentra la creciente demanda de servicios y espacios. La rápida expansión demográfica junto a las demandas de un acelerado desarrollo económico y social que atiendan a las necesidades básicas de los habitantes, generan una presión cada vez mayor sobre los ecosistemas naturales. La agricultura y la explotación forestal, la urbanización, la instalación de industrias y la construcción de carreteras destruyen parcial o totalmente la cubierta vegetal, acelerando la erosión de determinados tipos de suelos e incrementando el escurrimiento superficial del agua de lluvia.

En el Distrito Federal más de la mitad de su territorio (87,204 ha que representan aproximadamente 59% de la superficie de la entidad) es Suelo de Conservación (SC); el Suelo de Conservación posee características que además de favorecer la existencia de especies de flora y fauna de valor comercial, ofrece bienes y servicios ambientales en beneficio de toda la población del Distrito Federal. Entre los bienes y servicios que proporcionan se encuentran: la infiltración de agua para la recarga del acuífero, del cual proviene aproximadamente el 70% del agua que consume la ciudad de México; barrera contra partículas producto de la contaminación, tolvaneras e incendios; captura de CO₂ (gas que contribuye al calentamiento del planeta) y estabilidad de suelos al evitar la erosión.

A pesar de la importancia del Suelo de Conservación, la dinámica de crecimiento de la zona urbana continúa invadiéndolo, poniendo en peligro sus características físicas y biológicas. Se calcula que en el Distrito Federal en promedio se pierden 500 ha de bosque al año y la tendencia de crecimiento de la mancha urbana ha sido de 8.5% anual en el periodo 1950-1990.

Dentro de la problemática que trae consigo la degradación de los suelos del Distrito Federal, está la que afecta directamente a la población. La erosión de los suelos y el incremento en los escurrimientos aumentan el riesgo de derrumbes, deslaves, inundaciones, la socavación de carreteras y la

obstrucción por sedimentos del sistema de drenaje. Un gran porcentaje de la población se encuentra dentro de los índices de marginalidad y sus viviendas se ubican en las barrancas y cauces de los ríos, por lo que son mas vulnerables a este tipo de desastres.

La degradación constante del Suelos de Conservación del Distrito Federal, plantea la necesidad de establecer un equilibrio entre el uso inmediato de los recursos y su preservación; todo ello dentro de un marco de desarrollo sustentable.

Para alcanzar una condición sustentable en la región es necesario contar con la información actualizada del estado que guarda el medio físico, dentro del cual se encuentra la hidrología. Con la realización de este trabajo se pretende obtener información actualizada del comportamiento de la lluvia en la Cuenca del Valle de México, principalmente de los eventos del Distrito Federal.

En el capítulo 1 de este trabajo, se describen los rasgos físicos y biológicos, así como los aspectos socioeconómicos de la Cuenca del Valle de México y el Suelo de Conservación del Distrito Federal. En el capítulo 2, se han incluido algunas de las técnicas que en la práctica se utilizan para la conservación de los suelos.

Se ha recopilado la información pluvial de la Cuenca del Valle de México y sus alrededores, del periodo comprendido entre los años de 1961 y 2002; los resultados de esta recopilación, así como las metodologías usadas en el análisis de la información se describen en el capítulo 3. Con la recopilación de la información se ha determinado el contenido de la información existente, esto es, la cantidad y calidad de los registros, y como ha cambiado espacial y temporalmente la lluvia. Se han empleado técnicas estadísticas y estocásticas para zonificar la cuenca, tratando de identificar patrones de comportamiento de la lluvia. Se ha calculado el potencial erosivo de la lluvia en el Distrito Federal, siguiendo la metodología propuesta por Escalante y Reyes (2002), con el cual se pretende identificar las zonas en las que la erosión de los suelos se favorece por el comportamiento de los eventos de lluvia. Los resultados de aplicar las metodologías, así como las observaciones realizadas a los mismos se muestran en el capítulo 4.

Se ha concluido que la información pluviométrica a partir del año de 1989 es insuficiente para determinar el comportamiento de la lluvia dentro de la cuenca. Las zonas en las que se presentan eventos simultáneos de lluvia se encuentran en las partes de pendiente baja y media. La representación espacial del potencial erosivo de la lluvia en el Distrito Federal, ha permitido identificar que las delegaciones en las que la lluvia tienen mayor capacidad para erosionar los suelos son: Álvaro Obregón, Cuajimalpa, La Magdalena Contreras y Tlalpan.

1 Descripción de la zona de estudio

1.1 Ubicación

La cuenca del Valle de México se circunscribe al rectángulo formado por las líneas que cruzan por las coordenadas geográficas 19° 00' a 20° 10' de latitud norte y 98° 10' a 99° 30' de longitud oeste. Dentro de la cuenca se abarca en su totalidad al Distrito Federal, así como parcialmente a los estados de Hidalgo, México y Tlaxcala. Se sitúa en el borde meridional del Altiplano Mexicano, y está rodeada por las sierras siguientes: al norte Pachuca; Tepozán al este; Calpulalpan, Río Frio y Nevada al sureste; Chichinautzin y Ajusco al sur; Las Cruces y Monte Alto al suroeste, y Monte Bajo y de La Catedral al oeste (AIC y ANIAC, 1995). En la figura 1.1, se muestra un esquema donde se representa la ubicación de la cuenca.

Al suroeste de la cuenca se encuentra el Distrito Federal, ocupa una extensión aproximada de 1498.3 km²; colinda hacia el norte, este y oeste con el estado de México y al sur con el estado de Morelos.

1.2 Características geográficas

En la superficie de la cuenca pueden distinguirse claramente tres zonas: la parte baja, donde se encontraba el lecho de los antiguos lagos; el área cubierta por las montañas, y la transición o piamonte, que se extiende entre la parte baja y las montañas.

Las elevaciones de las partes bajas están comprendidas entre los 2240 y 2250 msnm. En las partes altas que forman el parteaguas sobresalen los puntos siguientes: en el norte, los cerros El Manantial, con 3190 msnm, Los Pitos, 3000 msnm, San Antonio con 2570 msnm; al este, Agua Azul, 3040 msnm, La Paila, 3200 msnm, Las Tetillas, 3020 msnm, San Nicolás 3080 msnm, La Peñuela, 3350 msnm y Los Cides 3240 msnm; al sureste, El Mirador y El Telapón con más de 4000 msnm, y los valores máximos asociados a los volcanes Iztaccíhuatl, 5220 msnm y Popocatepetl, 5500 msnm; al sur, el Pico del Águila, en el Ajusco, con un valor de 3952 msnm; al oeste, las elevaciones máximas son del orden de 3500 msnm.

En el interior de la cuenca, en la sierra de Guadalupe, se encuentra el Cerro Gordo, con una elevación de 3060 msnm, y otras menores como en la sierra de Santa Catarina, La Caldera, el volcán Xico, el cerro del Pino, el Peñón de los Baños, el Peñón del Marques, el cerro de La Estrella y el de Chiconautla (INEGI, 1996).

1.3 Características climáticas

El clima de la ciudad de México se puede clasificar como subtropical de altura, templado, semiseco, con un invierno no bien definido. La temperatura media es de 20° C; el periodo de lluvias comprende de mayo a octubre. La precipitación anual es de 700 mm, distribuida irregularmente en el valle. La magnitud de su volumen total es de aproximadamente 210 m³/s. La precipitación aumenta con la elevación incrementándose del noreste al sudoeste. Las laderas más bajas son más secas que las cumbres de las montañas, y esto se manifiesta en la vegetación nativa. El potencial anual de evapotranspiración es de aproximadamente 1,400 mm. En la figura 1.2, se muestra la distribución espacial del clima en la cuenca según el INEGI (1996).

1.4 Características hidrológicas

La república Mexicana está dividida en 37 regiones hidrológicas; la cuenca del Valle de México se encuentra dentro de la región hidrológica No. 26, Pánuco. Para el desempeño de sus funciones, la Comisión Nacional del Agua (CNA) cuenta con 13 regiones administrativas; la cuenca de estudio pertenece a la región administrativa XIII, Valle de México, cuya extensión territorial es de 16,400 km², de los cuales 9,600 km² corresponden a la cuenca del Valle de México (CNA, 2001).

Las fuentes de agua para abastecer a los usos doméstico, público, agrícola e industrial son, en orden decreciente de importancia, el agua subterránea, el agua superficial, importada de cuencas vecinas y de la cuenca propia, la proveniente de manantiales y finalmente la de intercambio y reúso.

En la tabla 1.1 se presenta el resumen de las fuentes de agua para la Zona Metropolitana del Valle de México.

<i>Fuente de agua cruda</i>	<i>Distrito Federal (m³/s)</i>	<i>Estado de México (m³/s)</i>	<i>Total (m³/s)</i>	<i>%</i>
Agua subterránea	27.0	21.3	48.3	80.1
Valle de México	22.7	20.3	43.0	71.3
Lerma	4.3	1.0	5.3	8.8
Agua superficial	8.3	3.7	12.0	19.9
Sistema Cutzamala	7.6	3.0	10.6	17.6
Río Magdalena	0.2		0.2	0.3
Presa Madín		0.5	0.5	0.8
Manantiales y deshielos	0.5	0.2	0.7	1.2
Abastecimiento total de agua	35.3	25.0	60.3	100

Tabla 1.1. Fuentes de agua potable para la Zona Metropolitana del Valle de México. (Tomada de AIC y ANIAC, 1995).

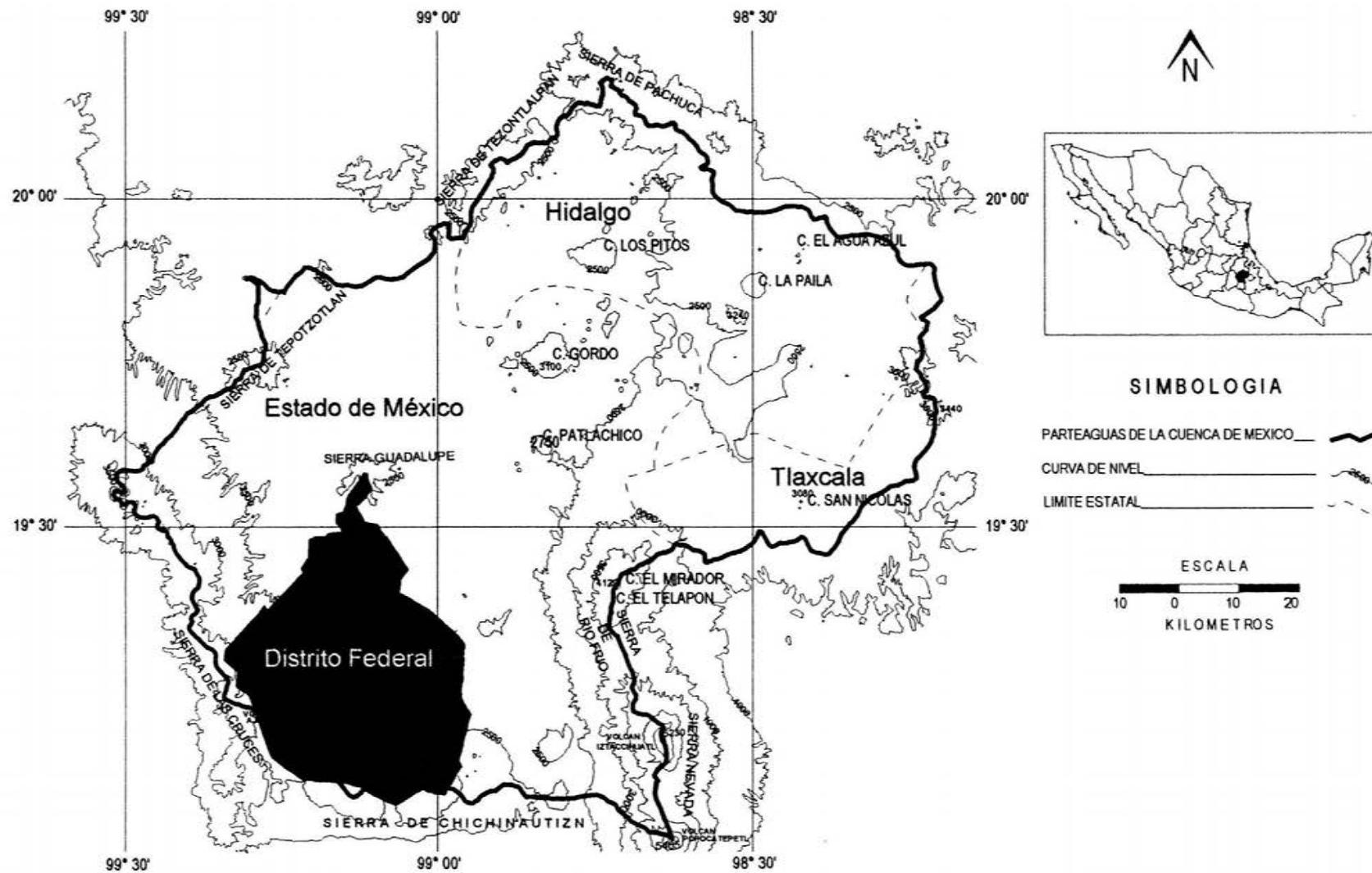


Figura 1.1. Localización de la zona de estudio

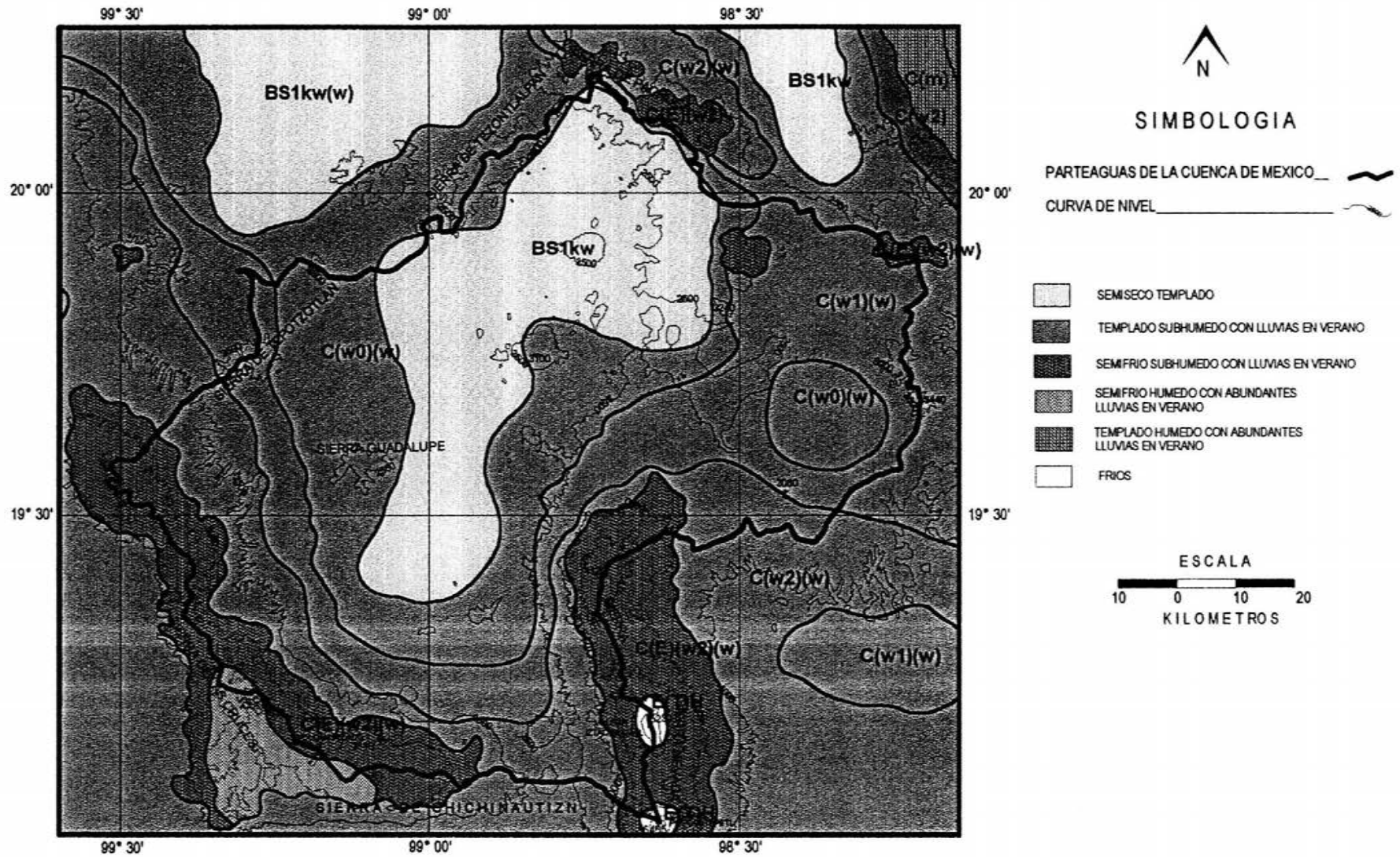


Figura 1.2. Distribución del clima en la Cuenca del Valle de México

1.5 Características administrativas

Dentro de los límites de la cuenca, en la parte sur, se asienta el núcleo urbano más grande del país, la denominada Zona Metropolitana del Valle de México, la cual está constituida por 17 municipios del Estado de México y las 16 delegaciones del Distrito Federal. En la figura 1.3 se presenta un esquema con los diferentes límites políticos y administrativos, y en la tabla 1.2 aparecen los nombres de las delegaciones y municipios.

<i>Delegaciones Políticas (DF)</i>	<i>Municipios conurbados (Edo. de México)</i>
1. Atzacapozalco	1. Huixquilucan
2. Gustavo A. Madero	2. Naucalpan
3. Miguel Hidalgo	3. Tlalnepantla
4. Cuauhtémoc	4. Atizapan de Zaragoza
5. Venustiano Carranza	5. Villa Nicolás Romero
6. Benito Juárez	6. Cuautitlán Izcalli
7. Iztacalco	7. Tultitlán
8. Álvaro Obregón	8. Cuautitlán
9. Iztapalapa	9. Ecatepec
10. Magdalena Contreras	10. Coazalco
11. Cuajimalpa	11. Tecamac
12. Coyoacán	12. Nezahualcóyotl
13. Tlalpan	13. Chimalhuacán
14. Tláhuac	14. Chicoloapan
15. Xochimilco	15. La Paz
16. Milpa Alta	16. Ixtapaluca
	17. Chalco

Tabla 1.2. Nombre de las delegaciones y municipios que forman la Zona Metropolitana del Valle de México (Tomado de AIC y ANIAC, 1995.).

En la administración del agua dentro de la ZMVM comparten la responsabilidad el Distrito Federal, el Estado de México y la Comisión Nacional del Agua (CNA). El Distrito Federal, cuya extensión total es de aproximadamente 1,504 km², es el responsable de la provisión de agua potable, así como de la recolección y disposición final de las aguas de desecho en todo su territorio. Desgraciadamente, existen zonas que no cuentan todavía con estos servicios y se atienden por medio de pipas.

Alrededor del Distrito Federal existen 17 municipios del Estado de México, los cuales suman una superficie de 2,269 km². El gobierno de ese estado es responsable de la provisión de agua potable y de la recolección y disposición final de aguas de desecho en su jurisdicción. La CNA es la autoridad federal responsable de entregar en bloque tanto el agua importada del sistema Lerma – Cutzamala como de algunos de los sistemas de pozos ubicados dentro de la cuenca. La CNA también opera las plantas de potabilización y tratamiento tales como la de la presa Madín y la de los Berros.



Figura 1.3. Límites políticos y administrativos en la Zona Metropolitana del Valle de México

1.6 Suelo de Conservación en el Distrito Federal.

El Distrito Federal ocupa una extensión aproximada de 149,830 ha de las cuales 61,179 ha están destinadas a las áreas urbanas y el resto 88,652 (59%) a la zona rural. El área del Distrito Federal se puede dividir en dos áreas básicas considerando los usos de suelo y las actividades que la población ha desarrollado durante las últimas décadas: área de desarrollo humano (ADU) y área de conservación ecológica, hoy denominada Suelo de Conservación (SC). En la primera, se llevan a cabo las actividades de uso y destino del suelo inherentes a la zona urbana de la ciudad de México. Para esta zona, los Programas Operacionales de Desarrollo Urbano definen qué usos de suelo y tipo de construcciones pueden ser desarrolladas en función de las características físicas y urbanas de la zona.

El Suelo de Conservación posee características que, además de favorecer la existencia de especies de flora y fauna de valor comercial, ofrece bienes y servicios ambientales en beneficio de toda la población del Distrito Federal a través del papel común multifuncional de los recursos naturales que albergan.

Además de incluir suelos con aptitud para el desarrollo de actividades económicas primarias, como las agrícolas, pecuarias y acuícolas, en el Suelo de Conservación también se localizan Áreas Naturales Protegidas (ANP's), importantes para la conservación de la diversidad biológica del Distrito Federal. El establecimiento del sistema de ANP's y los programas de manejo que se derivan de las mismas, constituyen instrumentos de política ambiental relevante, ya que deberán estar en concordancia con los objetivos de desarrollo de los pueblos ejidos y comunidades que habitan dentro o en su periferia.

El Suelo de Conservación ocupa parte del territorio de las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa de Morelos, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, La Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco. De acuerdo a programas oficiales como el Programa General de Desarrollo Urbano, los Programas Delegacionales, la declaratoria de la línea limítrofe entre el área urbana y el área de conservación, entre otros, se estimó que la superficie considerada como Suelo de Conservación era de 86,804 ha, lo que constituye el 57% de la superficie total del territorio de Distrito Federal; sin embargo, a través de la utilización del sistema de información geográfica (SIG) herramienta utilizada para el almacenamiento, manejo y reporte de datos referenciados geográficamente, y con base en la descripción proporcionada por los documentos citados, se determinó que la superficie actual de Suelo de Conservación es de 87,204 ha, que corresponden a poco más del 59% del área total del Distrito Federal. Los límites del Suelo de Conservación son: al norte, este y oeste, el estado de México y al sur, el estado de Morelos.

La mayor proporción (93%) del Suelo de Conservación se ubica en las serranías que delimitan al Valle de México: hacia el sur, la Sierra Chichinautzin y la Sierra del Ajusco; hacia el suroeste, la Sierra de Las Cruces; y hacia el norte, la Sierra de Guadalupe. El resto (7%) se incluye dentro del área lacustre de Xochimilco y Tláhuac. De este modo, si bien la altitud del SC varía de 2,200 a casi 4,000 msnm, prácticamente la mitad (48%) se ubica por arriba de los 3,000 msnm. Esta característica del SC se refleja en la precipitación media anual y en la temperatura media anual; las delegaciones con precipitaciones mayores y temperaturas menores son Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Contreras, Milpa Alta y Tlalpan.

Como se puede apreciar en la tabla 1.3, tres delegaciones políticas abarcan la mayor proporción del Suelo de Conservación; casi dos terceras partes se ubican en las delegaciones Milpa Alta (32%), Tlalpan (29%) y Xochimilco (12%).

<i>Delegación</i>	<i>Superficie total (ha)</i>	<i>SC (ha)</i>	<i>% SC de la delegación</i>	<i>% del SC del DF</i>
Álvaro Obregón	8,850	2,735	30,9	3,1
Cuajimalpa	8,101	6,593	81,4	7,5
Gustavo A. Madero	8,729	1,238	14,2	1,4
Iztapalapa	11,605	1,218	10,5	1,4
Magdalena Contreras	6,609	5,199	78,7	5,8
Milpa Alta	28,464	28,464	100,0	32,1
Tláhuac	8,321	6,405	77,0	7,2
Tlalpan	30,870	26,077	84,5	29,4
Xochimilco	12,836	10,532	82,0	11,9
Total	124,686	88,442		100

Tabla 1.3. Distribución del suelo de conservación en el Distrito Federal

1.6.1 Descripción geológica y geomorfológica

Es posible reconocer ocho unidades estratigráficas cuaternarias en la cuenca de México, que incluyen sedimentos clásticos, tefra, suelo y caliche. Estas unidades no han sido cartografiadas; no obstante, existe una zonificación de las áreas: las que subyacen los depósitos aluviales que circundan los vasos lacustres antiguos que se ubican dentro de la denominada zona de transición; mientras que los que subyacen depósitos lacustres que se localizan en la zona del lago.

Por otra parte, la extensión y el espesor del material aluvial a lo largo de los ríos y arroyos son reducidas. El material aluvial está constituido por gravas y arenas de espesores finos. Los depósitos lacustres consisten en arcillas generadas de tobas y cenizas volcánicas que se sedimentaron en las tranquilas aguas del lago. En el pozo Texcoco 1, el espesor de los depósitos de arcillas es de 53 m.

1.6.2 Rocas volcánicas

Las serranías del SC forman parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y presentan dos unidades morfoestructurales: (1) Talud Transicional (pedimento) y (2) Estructuras Tectovolcánicas mayores. Estas se originan de dos etapas tectónicas que se han prolongado durante los últimos 50 millones de años. La primera es 45 millones de años de duración, genera el conjunto de sistemas de bloques y fosas que tienen una dirección suroeste a noreste. La segunda, todavía activa, ha perdurado desde hace cinco millones de años y ha producido una serie de las estructuras con dirección generalizada oeste-este, las cuales se caracterizan por presentar un sistema de bloques con fosas que se desintegran en escalones hacia su interior. Estos procesos tectónicos aún activos son evidentes en la cañada de Contreras, que presenta un arreglo de chimeneas y depósitos volcánicos con desplazamiento en dirección sur, movimientos horizontales y fracturamiento cortical.

La unidad morfoestructural de Talud Transicional consistente en sedimentos que delimitan la zona de transición entre las superficies casi planas de la cuenca y los sistemas de levantamiento volcánico. Se reconoce por sus pendientes variables (entre 2° y 60°) y su alto grado de disección (las barracas de la Sierra de Las Cruces).

Además, se pueden distinguir dos escalones en el talud: el escalón bajo, que corresponde al cuaternario, y presenta un relieve acumulativo (de tipo aluvial, deluvial y proluvial) y tiene una elevación de 2,500 msnm, el escalón alto, que data del Pleistoceno superior y del Holoceno, que presenta relieve erosivo y alcanza los 2,800 msnm. En la Sierra de Las Cruces, el talud se extiende paralelamente a esta sierra y lo surcan numerosos arroyos. Esta área tiene interés económico por el material para construcción que se extrae de numerosas minas de arena, las que a su vez han ocasionado asentamientos y hundimientos del terreno.

La sierra de Las Cruces y la sierra de Chichinautzin tienen su origen en la actividad volcánica del Cenozoico Superior. La Sierra de Las Cruces presenta depósitos provenientes tanto de la actividad volcánica de la sierra como de la erosión y acumulación de vulcanoclastos. Ello explica la presencia de depósitos de espesor variable, en estado caótico y cementados, dentro de una matriz lodosa que se intercala con depósitos de origen volcánico.

En la sierra de Las Cruces, el vulcanismo inicia a finales del Mioceno y perdura hasta el cuaternario caracterizándose por efusiones de andesitas y dacitas, a través de estratovolcanes. La actividad volcánica crea extensos abanicos en las lomas al pie de esta sierra, los cuales corresponden a la formación Las Cruces y a la formación Tarango. La formación Las Cruces presenta flujos lávicos y depósitos piroclásticos del Plioceno, mientras que la formación Tarango está constituida por tobas, aglomerados, depósitos fluviales, capas delgadas de pómez, horizontes de cenizas y arenas, e intercalaciones de lahares y brechas.

La Sierra Chichinautzin se originó de periodos de vulcanismo durante el Cuaternario Superior. Es la estructura tectovolcánica más joven y extensa de la Cuenca de México. Comprende más de un centenar de conos cineríticos y extravasación de derrames de lavas. Contiene a la Formación Chichinautzin cuya edad no excede los 40,000 años y más recientemente, al derrame de lava del Pedregal de San Ángel que tiene una edad de 2,400 años. La magnetización normal de las rocas indica un proceso para esta sierra de alrededor de 700,000 años.

1.6.3 Distribución espacial geológica

El Suelo de Conservación presenta doce tipos de roca. La extensión de sedimento lacustre abarca 7.5% del SC y se ubica principalmente en las delegaciones Tláhuac y Xochimilco. En Tláhuac, los sedimentos lacustres ocupan una extensión de 55% del SC de la delegación, mientras en Xochimilco ocurre en proporción menor (28%). El basalto abarca la mayor extensión del SC (27%), en las delegaciones Iztapalapa, Milpa Alta, Tlalpan, Magdalena Contreras y Xochimilco. La superficie que abarca la brecha volcánica comprende 17% del SC; incluye todas las delegaciones excepto Álvaro Obregón y Magdalena Contreras. La Roca ígnea extrusiva intermedia se reparte en 17% del SC, en las delegaciones de Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Tlalpan. La roca ígnea extrusiva básica y la toba se extienden en prácticamente la misma proporción (10% cada una) dentro del Suelo de Conservación.

1.6.4 Suelos

El Suelo de Conservación presenta quince tipos de suelo, de los cuales el Andosol Húmico, el Litosol y el Feozem Háplico abarcan 81% del área del SC. El Andosol Húmico ocupa 32% del SC y se localiza en las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco; el Litosol ocupa 26% del SC y se distribuye en las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Gustavo A. Madero, Magdalena Contreras, Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta donde ocupa

42% del SC de la delegación; el Feozem Háplico cubre 24% del SC y se reparte en todas las delegaciones.

1.6.5 Flora y Fauna

El Suelo de Conservación se ubican en la provincia florística Serranías Meridionales, región Mesoamericana de Montaña. Es una zona de transición entre el Reino Holártico y Neotropical. Presenta dos regiones ambientales bien definidas en cuanto a la cobertura vegetal, que corresponden a los dos sistemas terrestres: (1) Sierra de Las Cruces, la cual presenta suelos desarrollados y clima subhúmedo, y (2) Sierra Chichinautzin, con suelos escasamente desarrollados y condiciones más secas. Estas dos estructuras tectovolcánicas abarcan la mayor proporción del Suelo de Conservación. Se caracterizan porque la cobertura del suelo es muy compleja, ya que presentan seis tipos de vegetación, distribuidos a lo largo de un gradiente altitudinal y climático. El bosque de oyamel, que ocupa la mayor superficie, siguiéndole en orden de importancia el área agrícola-pastizal-urbano, el bosque encino y el matorral.

<i>Clases litológicas</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Porcentaje</i>
Andesita	1,231.1	1.4
Brecha volcánica	15,349.2	17.3
Suelo aluvial	1,935.4	2.2
Arenisca	5.7	0.0
Suelo residual	2,917.9	3.3
Ígnea extrusiva básica	8,467.9	9.6
Andesita	1,231.1	1.4
Brecha volcánica	15,349.2	17.3
Suelo aluvial	1,935.4	2.2
Arenisca	5.7	0.0
Suelo residual	2,917.9	3.3
Ígnea extrusiva básica	8,467.9	9.6
Suelo lacustre	6,621.6	7.5
Toba	9,096.7	10.3
Ígnea extrusiva intermedia	14,746.1	16.6
Basalto	24,047.3	27.1
Basalto-brecha volcánica básica	2,140.4	2.4
Toba basáltica	2,092.7	2.4
Total	88,652.0	100.0

Tabla 1.4. Distribución de los tipos de rocas en el Distrito Federal

<i>Clase edafológica</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Porcentaje</i>
Litosol	22,729.1	25.6
Feozem háplico	21,170.7	26.9
Solonchak mólico	552.5	0.6
Solochak gleyco	859.6	1.0
Feozem lúvico	2,128.5	2.4
Regosol éutrico	2,317.8	2.6
Cambisol crómico	176.8	0.2
Luvisol crómico	122.6	0.1
Andosol húmico	28,000.7	31.6
Feozem gleyco	1,087.1	1.2
Gleysol mólico	1,351.7	1.5
Andosol mólico	6,605.1	7.5
Fluvisol calcárico	545.4	0.6
Andosol ócrico	757.5	0.9
Cambiosol éurico	646.8	0.3
Total	88,652.0	100.0

Tabla 1.5. Distribución de los suelos en el Distrito Federal

En el Distrito Federal se encuentra la vegetación de dos ecosistemas: templado-frío (bosques) y zonas áridas (árido y semiárido). En estos grandes tipos de ecosistemas se encuentran representados, según Rzedowki (1978), los tipos de vegetación siguiente: bosque de Coníferas (bosque de pino, bosque de oyamel y vegetación de cañadas), Bosque en Encino, Matorral Xerófilo, Pastizal y Vegetación acuática y subacuática.

Flora y fauna Silvestre

Según la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO, en el Distrito Federal se han registrado los números de especies por clase taxonómica de vertebrados terrestres, invertebrados y plantas vasculares, mostrados en la tabla 1.6.

Estas cifras representan solamente especies registradas en las bases de datos de proyectos que la CANABIO ha apoyado, por lo que no constituye una lista completa de la región y es indispensable realizar trabajos de campo complementarios para obtener una lista más completa.

De estos registros, los grupos de vertebrados con mayor número de especies son las aves y reptiles, que representan aproximadamente 85% del total de especies reportadas. Por otra parte, el número de especies de plantas reportadas para la zona y también es importante. La biodiversidad que se encuentra en el Distrito Federal se debe a la ubicación de la misma, ya que responde a su carácter

transicional biodemográfico. Una de las zonas de relevancia para la biodiversidad es la de los humedales de Tláhuac-Xochimilco, la cual es refugio de una gran variedad de aves acuáticas propias de la zona y otras migratorias, además de su importante papel en la hidrodinámica del área.

Especies endémicas

Diversos estudios demuestran que el eje Neovolcánico es una de las regiones de México con mayor concentración de géneros y especies endémicas de vertebrados terrestres. De acuerdo a estos estudios, en la porción que corresponde a las estructuras tectovolcánicas de las sierras Chichinautzin y de las cruces, existen registradas 47 especies de vertebrados endémicas del país, siendo la clase reptiles la que presenta el mayor número de especies; seguida por aves, mamíferos y anfibios. La proporción de endemismos en las estructuras tectovolcánicas es mayor a la del país para los casos de reptiles y anfibios.

<i>Clase</i>	<i>No de especies</i>	<i>No de especies en la NOM 059 ECOL 1994</i>	<i>No de especies endémicas*</i>
Mamíferos	27	3	2
Aves	241	30	11
Reptiles	46	25	14
Anfibios	21	13	10
Peces	1	0	0
Subtotal vertebrados	336	71	47
Invertebrados	45	0	0
Plantas	304	3	0
Briofitas	2	0	0
Total	687	74	47

* Sólo incluye especies por categoría

Tabla 1.6. Numero de especies de flora y fauna silvestre

Con respecto a las especies de géneros endémicos, en las estructuras tectovolcánicas se distribuye el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*). Las especies exclusivas de las estructuras tectovolcánicas son la víbora de cascabel del Ajusco (*Crotalus transversus*), una salamandra (*Pseudoerycea altamontana*) y dos la lagartijas (*Sceloporus anahuacus* tanto y *S. spinque osus*). Estas especies exclusivas están en peligro de extinción por la transformación de la cubierta natural y la destrucción de los habitats.

Por otra parte, se han descubierto cuando menos tres nuevas especies en la zona de estudio a lo largo de las dos últimas décadas: dos lagartijas y un ave (*Grallaria* sp).

Especies migratorias

Sólo se han registrado especies migratorias de mamíferos y aves en las estructuras tectovolcánicas de las Sierras Chichinautzin y de Las Cruces. Las aves migratorias representan 36% del total de las especies y, por lo general, son especies pequeñas mientras los mamíferos representan 5% del total de especies. De las trece familias de áreas que cuentan con especies migratorias, se distinguen las familias Tyrannidae (mosquiteros y papamoscas) y Emque berizidae (chipes y gorriones), por su número de especies.

A pesar de que no existen estudios específicos sobre su importancia en los bosques del sur del Distrito Federal, las aves migratorias influyen en la dinámica de las comunidades ornitológicas de otras regiones del país. No obstante, las aves migratorias no acuáticas han sufrido decrementos notables en sus poblaciones en las últimas décadas, provocadas por la destrucción de su hábitat.

En los mamíferos, las especies migratorias son relativamente pocas y todas pertenecen al orden Chiroptera (murciélagos); destaca, por la magnitud de sus desplazamientos, el murciélago guanero (*Tadarida brasiliensis*) y el murciélago cenizo (*Lasiurus cinereus*) que alcanzan cientos de kilómetros. Existen otras especies, *Plecotus mexicanus* y *Myotis velifer* entre las montañas y los valles de Cuernavaca y de México.

Especies en riesgo de extinción

La mayoría de las especies en riesgo pertenecen a la clase aves (14 especies), seguida de mamíferos (7 especies), reptiles (3 especies) y anfibios (7 especies). Sin embargo, en términos relativos, los anfibios presentan un grado de riesgo mayor que las demás clases (78%). En general las especies en riesgo enfrentan problemas severos de destrucción de su hábitat y, en menor escala, cacería y efectos por la contaminación.

Distribución y densidad de la flora y fauna

La distribución y la densidad población al de las especies de vertebrados terrestres mantienen una relación estrecha con el tipo de vegetación, las asociaciones vegetales y los microhábitats. En general, las comunidades animales de las estructuras tectovolcánicas muestran diferencias profundas en composición, riqueza de especies y abundancias relativas, asociadas con la composición, diversidad y estructura de las comunidades vegetales.

Se han documentado cuatro patrones de distribución de especies de vertebrados terrestres: (1) En las áreas caracterizadas por los bosques densos se encuentra la mayor concentración de vertebrados terrestres, (2) La mayor diversidad de especies se localiza en los bosques de encino, seguida por los bosques de pino y de oyamel, (3) existen decrementos pronunciados en la diversidad a lo largo de gradientes altitudinales; y (4) en tipos de vegetación menos diversos hay concentraciones de especies endémicas o en peligro de extinción.

1.6.6 Áreas naturales

El Distrito Federal cuenta actualmente con quince áreas naturales protegidas (ANP), mostradas en la tabla 1.7; que comprenden una superficie de 11,900 ha, de las cuales 3,705 corresponden a los parques nacionales y 8,195 a otras áreas con otras categorías de conservación. A pesar de la importancia de estas áreas, las consecuencias del crecimiento demográfico, el favorecimiento de otras actividades sobre las acciones de manejo y conservación, la carencia de normatividad y de una política oficial específica, ha provocado que los parques nacionales presenten una disminución considerable de su superficie original.

<i>Delegación</i>	<i>Parques Nacionales</i>	<i>Zonas de Conservación Ecológica</i>	<i>Zona Protectora Forestal</i>	<i>Parque Urbano</i>	<i>Superficie por delegación (ha)</i>
Coyoacán	1***				39
Cuajimalpa	2*				1,526.7
Gustavo A. Madero	1***	1			868.1
Iztapalapa	1***	1**			272.4
Magdalena Contreras	1		1		3,433
Tlalpan	2	1		1	1,915.4
Xochimilco		1			2,657
Tláhuac		1**			465
Álvaro Obregón	1*				338.3
Miguel Hidalgo		2			226.0
Total					11,441.2

* Un Parque Nacional se ubica en las delegaciones Cuajimalpa y Álvaro Obregón

** Una Zona Sujeta a Conservación Ecológica se ubica en las delegaciones Tláhuac e Iztapalapa

*** Corresponde al área libre del ANP, no a la decretada.

Tabla 1.7. Áreas naturales en el Distrito Federal

Las pérdidas de superficie, especies, suelo, agua y recursos minerales, así como la contaminación ambiental, las plagas, enfermedades forestales y la indefinición de la propiedad legal del suelo son algunos de los factores que integran la problemática actual entorno a las áreas naturales protegidas y que amenazan su permanencia.

La protección de estas áreas es indispensable para la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de una buena calidad ambiental en la ciudad de México, ya que su existencia permite que sigan ocurriendo procesos ecológicos y funciones de importancia vital, entre los que se encuentran la recarga de los acuíferos; la producción de oxígeno; la regulación microclimática; el control de erosión; las barreras contra viento, polvo, contaminantes particulados y el ruido; refugios para la biodiversidad; recreación; educación ambiental e investigación científica.

1.6.7 Susceptibilidad a la erosión

Las formas de erosión en el Suelo de Conservación varían entre moderadas a fuertes e intensas. Los procesos más importantes del deterioro edáfico en la zona son la erosión hídrica y la salinización. La ecuación universal de pérdida de suelo (Wischmeier y Smith, 1958) se expresa como:

$$A=R*K*SL*C*P$$

Donde: *A* es la susceptibilidad a la erosión, *R* es el factor que mide el potencial erosivo de la lluvia, *K* es el factor que toma en cuenta el tipo de suelo, *SL* el factor de longitud y pendiente del terreno, *C* factor de cobertura vegetal y *P* el factor de prácticas de cultivo y conservación de suelos.

Utilizando la ecuación anterior, se ha calculado la susceptibilidad a la erosión hídrica. Los resultados muestran tres rangos de susceptibilidad a la erosión o promedio anual de pérdida de suelo: erosión baja (0-500 ton/ha), erosión alta (500-3,500 ton/ha) y erosión extremadamente alta (3,500-10,000 ton/ha). Cerca de 71.4% de Suelo de Conservación presenta una susceptibilidad a la erosión baja, mientras que 21.7% tiene susceptibilidad alta y 6.3% susceptibilidad extremadamente alta.

<i>Susceptibilidad a la erosión</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Porcentaje</i>
Sin susceptibilidad aparente	560.8	0.6
Baja	63,260.5	71.4
Alta	19,269.3	21.7
Extremadamente alta	5,561.4	6.3

Tabla 1.8 Susceptibilidad a la erosión en el SC del Distrito Federal

La susceptibilidad a la erosión alta está ubicada principalmente en las delegaciones Milpa Alta y Tlalpan, en las laderas de los volcanes, y en menor medida, en las delegaciones de Iztapalapa y Tláhuac. Por su parte la susceptibilidad extremadamente alta está localizada en las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan. Este tipo de riesgo a la Erosión está sobre las laderas de las cañadas, así como en las faldas del volcán Ajusco y la Sierra de Santa Catarina.

1.6.8 Degradación forestal y deforestación

Según el Inventario Nacional Forestal Periódico (1994), la superficie perturbada de la entidad se ha calculado en 12,779 ha, cifra que ubica al D.F. en el lugar 32 a nivel nacional. Estos terrenos han perdido "calidad" en el recurso forestal debido a procesos de perturbación y fragmentación atribuidos a la disminución de biomasa y la pérdida del potencial productivo del área, así como a la alteración del suelo, flora, fauna y otros recursos naturales.

Por otra parte, la deforestación promedio anual se ha estimado en 500 ha. Las causas principales de la deforestación son el cambio de uso de suelo, la tala clandestina, incendios forestales (principalmente a aquellos provocados para aumentar la productividad de pastos destinados al ganado), plagas y enfermedades forestales.

La tasa de deforestación fue obtenida para todo el Suelo de Conservación, con los siguientes resultados:

<i>Vegetación y uso del suelo</i>	<i>Superficie en 1970 (ha)</i>	<i>Superficie en 1997 (ha)</i>	<i>Diferencia 1970 a 1997</i>	<i>Tasa de deforestación (ha/año)</i>
Bosque de coníferas	33,745.1	32,552.4	1,192.7	44.17
Bosque mixto	1,772.5	2,628.9	-856.5	-31.72
Bosque de latifoliadas	3,069.8	2,978.8	91.0	3.37
Reforestación	113.1	541.0	-427.9	-15.85
Matorral	1,077.5	498.1	579.3	21.46
Pastizal	10,977.4	10,889.0	88.4	3.27
Uso agrícolas	36,151.5	34,158.0	1,993.6	73.84
Uso urbano	1,745.3	4,405.8	-2,660.5	-98.54

Tabla 1.9. Deforestación del SC del Distrito Federal

A través de un análisis cartográfico con las coberturas de uso de suelo y vegetación de 1970 y 1997, se evaluaron las tendencias en el cambio de uso de suelo. En este análisis se encontró que en el lapso de 27 años, el bosque de coníferas perdió el 3.5% (1,193 ha) de su cobertura original. Este tipo de vegetación cambió principalmente hacia el pastizal y el uso agrícola.

Por su parte, es importante anotar que la superficie agrícola disminuyó casi 2,000 ha. Este dato no implica que la frontera agrícola no se haya extendido en los últimos 27 años, al contrario, el uso agrícola avanzó sobre los pastizales y el bosque; sin embargo, una importante superficie agrícola fue transformada a pastizal y principalmente al uso urbano, el cual se incrementó en un 150%. De esta manera, es fácil ver que el primer paso para la urbanización en el Suelo de Conservación, es la conversión de vegetación natural al sistema agrícola, el cual, cuando ya no sea productivo, será urbanizado.

Al relacionar los factores socioeconómicos con la vegetación natural, se obtiene que ni la densidad de población ni el nivel de marginación están correlacionados con la tasa de transformación. Este resultado indica que los procesos de deforestación y fragmentación de la cobertura natural obedecen a agentes socioeconómicos regionales en el Valle de México y no únicamente a las condiciones de vida de la población en el Suelo de Conservación.

1.6.9 Asentamientos humanos

Durante los últimos años, la oferta de viviendas en la ciudad de México ha enfrentado serios problemas, entre los que destacan, el crecimiento de la población, la inmigración, los múltiples gravámenes fiscales, la falta de programas de financiamiento y aplicación de programa de vivienda desarrollados por diversas instituciones públicas y privadas; adicionalmente, el crecimiento desordenado de la ciudad hacia su periferia junto con la falta de suelo con aptitud habitacional han ocasionado el establecimiento de asentamientos humanos en zonas que no son aptas para su desarrollo ni dónde está permitido este tipo de uso.

Con base en datos censales del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), se observa que en 1960 la población del distrito federal era de 4,870,876 habitantes y para 1990 existían 8,235,744, es decir, en esos 30 años la población se incremento 41%, estas cifras permiten identificar la magnitud del crecimiento y nos dan idea sobre la grave problemática que existe en la ciudad originada por el desmesurado crecimiento poblacional.

A continuación se presentan datos de población de los años 1960 a 1995, con el propósito de precisar más este asunto:

Distrito Federal	1960	1970	1980	1990	1995
Habitantes	4,870,876	6,874,165	8,029,498	8,235,744	8,489,007

En el Distrito Federal, los asentamientos se pueden clasificar en regulares e irregulares con base en su ubicación y la normativa que rige en el área donde establecen. El proceso de urbanización en el territorio de conservación del Distrito Federal se debe principalmente, a la ocupación inmobiliaria denominada hormiga, es decir a la expansión de las construcciones individuales que se localizan dentro de los asentamientos existentes, así como la consolidación de las construcciones que los conforman. Por otra parte, aunque en menor medida, este proceso se debe a la ocupación masiva de predios, debido a la venta ilegal de terrenos de propiedad social o de propiedad privada, en donde no se permite el uso habitacional, constituyendo fraccionamientos clandestinos.

Además de los 35 poblados rurales de 1998, en el Suelo de Conservación se tiene registradas 626 asentamientos humanos; de éstos, 174 son regulares y 452 son irregulares. Hasta septiembre de 1998, estos asentamientos albergaban a más de 54,000 familias.

<i>Delegación</i>	<i>Regulares</i>	<i>Irregulares</i>	<i>Total</i>	<i>No. de familias promedio</i>	<i>Superficie (ha)</i>
Álvaro Obregón	10	3	13	3,465	83.7
Cuajimalpa	8	54	62	5,187	791
Gustavo A. Madero	1	21	22	3,090	56.0
Iztapalapa	56	59	115	12,787	122.0
Magdalena Contreras	4	15	19	4,219	312
Milpa Alta	0	44	44	1,510	39
Tláhuac	19	51	70	4,259	326
Tlalpan	37	106	143	9,033	777
Xochimilco	62	102	164	12,632	126
Total	197	455	560	56,182	2,632.7

Tabla 1.10. Información sobre asentamientos humanos en Suelos de Conservación

Debido a la demanda de vivienda de la población y a la ausencia de una estrategia de planeación regional de instrumentos jurídicos y administrativos, así como a la definición de la propiedad de la tierra, se han establecido más de 600 asentamientos humanos, regulares e irregulares en el Suelo de Conservación que afectan directa o indirectamente a los bienes y servicios que proporciona a la población.

1.6.10 Uso del suelo

Como ya se mencionó anteriormente, el Distrito Federal se divide en dos grandes zonas con base en el uso del suelo y la delimitación de los asentamientos humanos: el Área de Desarrollo Urbano y el Suelo de Conservación. Este último también ha sido denominado zona rural y corresponde a la zona donde aún se llevan a cabo actividades productivas tanto primarias como secundarias.

El principal uso del Suelo de Conservación del Distrito Federal corresponde al sector forestal (un 42% de la superficie total) con bosques distribuidos en aproximadamente 37,400 ha. Por su parte, la agricultura representa aproximadamente a 35,00 ha del Suelo de Conservación. El resto del Suelo de Conservación está ocupado por matorrales, pastizales, vegetación introducida y uso urbano.

Uso forestal

El uso forestal ocupa 37,400 ha y se ubica en las delegaciones Gustavo A. Madero, Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, Milpa Alta y Xochimilco. En estas delegaciones predomina el pino (50% y 6.42%) y el oyamel (27.33%), ubicándose principalmente en las sierras de Las Cruces y del Ajusco, comprendidas en las delegaciones Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Tlalpan. Las asociaciones de pino-encino y juniperus representan 7.44%, la vegetación de encino 4.37%, el bosque cultivado 0.76% y matorral 3.68%.

Con respecto a la cobertura forestal, las delegaciones Milpa Alta y Tlalpan incluyen 70% de la superficie de los bosques en el Suelo de Conservación, mientras que la Magdalena Contreras y Cuajimalpa abarcan alrededor del 20% del Suelo de Conservación. Los matorrales solamente cubren el 6% del SC y se encuentran en Xochimilco, Gustavo A. Madero, Milpa Alta, Tlalpan y Tláhuac.

La superficie forestal del Distrito Federal se ubica en el lugar 32 en relación con el total nacional. El estado no es una entidad con tradición en actividades forestales y su producción maderable ocupa el lugar 23 a nivel nacional.

El uso maderable más importante a que se destinan los recursos forestales en el D.F. son la madera aserrada, productos celulósicos y contrachapados, postes y leña para combustible en el caso del pino, mientras que en el encino es utilizado para la obtención de madera aserrada, mangos de herramientas, lambrín, parquet, carbón, taninos y otros.

En cuanto a los recursos no maderables existentes en los bosques, se pueden mencionar la obtención de fibras, ceras, gomas, resinas, plantas medicinales y comestibles, así como pastos y arbustos para la alimentación del ganado.

Uso agrícola

De las 36,500 ha agrícolas existentes en las siete delegaciones con área rural se distinguen dos tipos de prácticas agrícolas: la agricultura de riego y la de temporal; esta última es la más extensa en la región. De manera general se siembran 28 cultivos anuales cíclicos (ciclo corto) y 8 perennes (ciclo largo). En los últimos 17 años la superficie sembrada ha variado entre ambos tipos de cultivos pero en conjunto han rebasado la 25,000 ha anuales. En los últimos años los cultivos de ciclo corto muestran una tendencia a la baja y los perennes amplían su cobertura de manera significativa; entre los cuales destaca el nopal-verdura en Milpa Alta y las plantas de ornato como la rosa y la nochebuena en Xochimilco; en lo general aparecen nuevos cultivos hortícolas, flores y forrajes principalmente.

Cultivos	1980	%	1990	%	1995	%
Perennes	3,981	14.2	4,211	14.5	4,744	17.8
Anuales	23,995	85.8	24,775	85.5	21,899	82.2
Total Agrícola	27,976	100	28,986	100	26,643	100

Tabla 1.11. Superficie agrícola por tipo de cultivo (ha)

En general, la agricultura anual del Distrito Federal se ha diversificado y la superficie total agrícola sembrada tiende a disminuir, sin embargo destacan dentro de esta superficie la siembra de cultivos cíclicos como el maíz, la avena forrajera y el nopal verdura de ciclo largo, ocupando el 75% del suelo anualmente cultivado.

Cultivos	1980	1990	1995
Nopal hortaliza	3,150	3,499	4,057
Maíz	10,300	12,064	10,267
Avena forrajera	6,100	9,910	8,419
Total	21,530	27,463	24,738

Tabla 1.12. Cultivos con mayor extensión superficial (ha)

Las principales delegaciones con actividad agrícola y que cubrían el 90% de superficie sembrada anualmente son: Tlalpan con una fuerte producción de avena forrajera; Milpa Alta en la que se siembra casi el 100% del nopal; igualmente Tláhuac Xochimilco por el cultivo de flores y hortalizas. La delegaciones Magdalena Contreras, Cuajimalpa y Álvaro Obregón en conjunto no representan en cifras reales ni 1,700 ha de área cultivada y en ellas se da la producción de frutales.

Uso ganadero

De acuerdo al anuario de las SAGAR, entre 1970 y 1985 existían más de 200,000 cabeza de ganado bovino, porcino y caprino en el que destacan 120,000 porcinos, a diferencia de los bovinos que descendieron de 91,777 a 60,465, y los ovinos y caprinos que casi se duplicaron. Este periodo se caracteriza por una baja sensible y continua en el inventario ganadero de las especies mencionadas hasta llegar a 1995 con un número de cabezas menor al 70% respecto al período señalado.

Años	Total	Bovinos	Porcinos	Ovinos	Caprinos
1970	221,915	91,777	97,798	25,820	6,520
1975	284,049	80,846	121,425	68,783	12,995
1980	282,364	78,892	128,460	61,875	13,137
1985	267,264	60,465	143,398	51,326	12,075
1993	53,500	10,200	24,300	17,700	1,300
1995	82,313	15,790	35,188	29,512	1,823

Tabla 1.13. Inventario del ganado del Distrito Federal (No. de cabezas)

Tenencia de la tierra

Dentro de los diferentes tipos de tenencia de la tierra existen 3 modalidades principales: ejidal, comunal y la propiedad privada; y una más que puede considerarse como la Propiedad Federal adquirida por causas de utilidad pública vía la expropiación (Tabla 1.14).

<i>Delegación</i>	<i>Ejidal</i>	<i>Comunal</i>	<i>Expropiación</i>	<i>Propiedad privada</i>	<i>Total</i>
Álvaro Obregón	120	773	-	1,775	2,668
Cuajimalpa	291	3,375	1,529	2,278	7,473
Gustavo A. Madero	51	-	683	517	1,251
Iztapalapa	57	-	193	166	416
M. Contreras	2,020	2,221	-	156	4,397
Milpa Alta	1,789	24,000	-	2,586	28,375
Tláhuac	3,447	-	-	3,904	7,351
Tlalpan	2,918	17,976	1,048	2,915	24,857
Xochimilco	523	1,905	1,754	5,830	10,012
Total	11,216	50,250	5,207	20,127	

Tabla 1.14. Superficie de tenencia de la tierra en el Suelo de Conservación (ha)

1.6.11 Aspectos socioeconómicos de la zona rural

Delegación Xochimilco

Esta delegación ocupa una superficie de 12,517 ha, lo que representa 8.4% de la superficie total del Distrito Federal. El 80% de esta superficie se considera rural y el 20% restante urbano. Tiene un papel relevante en la captación pluvial del Valle de México y comprende importantes zonas de recarga del acuífero. Cuenta además con cuerpos de agua en forma de canales, ríos, lagunas y chinampas, que son muy importantes para preservar el equilibrio ecológico y la biodiversidad de la región; además de su contribución en la regulación climática del Valle de México. Su población es del orden de los 332,314 habitantes, acorde con los datos de conteo de población y vivienda efectuados en 1995 por el INEGI, constituyendo 3.92% del total del Distrito Federal. De los usos del suelo en la delegación, el de conservación es el más importante con 70.9%. La cobertura de servicios urbanos alcanza al 93% con agua potable 81%, 89% en cuanto a drenaje y luz eléctrica en 87%, siendo insuficientes principalmente en los poblados rurales de la zona de la montaña. En Xochimilco se presentan muchos asentamientos irregulares, la mayoría sobre suelo de conservación, debido a la elevada presión hacia la urbanización en forma de ocupación de predios y especulaciones inmobiliarias. Otros problemas son: la baja rentabilidad de la actividad agropecuaria, la falta de fondos de empleo, la sobre explotación de los acuíferos (que además ha creado zonas con riesgo de hundimientos y derrumbes), el uso de canales y zanjas como drenaje y la consiguiente contaminación y baja productividad de las chinampas.

Delegación Tláhuac

Tiene una extensión territorial de 8,534 hectáreas, equivalentes a 6.74% del total del territorio del Distrito Federal. De éstas, una tercera parte se considera urbana y las otras dos partes constituyen áreas de conservación ecológica, que juegan un papel importante en la captación de agua pluvial del Valle de México. Se trata principalmente de planicies rodeadas por algunas elevaciones como la porción sur de la Sierra de Santa Catarina. Se ubica también una zona de canales y otra de inundación permanente. Hay pocas zonas boscosas, pero en cambio hay extensas áreas destinadas al cultivo al sur y al este de la delegación. Su población se estima en 255,891 habitantes, su infraestructura de servicios alcanza 94% en agua potable y 95% en drenaje. El mismo porcentaje se aplicará al servicio de energía eléctrica.

La delegación Tláhuac se considera en transición de lo rural a lo urbano, aunque juega un importante papel en el equilibrio ecológico urbanos por la contribución que la recarga de los acuíferos y las zonas de producción agrícolas con que cuenta. Existen además poblados rurales que conserva sus tradiciones y patrimonio.

Su problemática está marcada por los asentamientos irregulares ubicados en el Suelo de Conservación, en áreas agrícolas o en zonas de riesgo por encharcamientos y fallas de subsuelo. Se observa incendios con frecuencia en la zona de protección ecológica además, existe un conflicto de límites con el estado de México, en el lindero con el nuevo municipio del Valle de Chalco-Solidaridad.

Delegación Milpa Alta

Milpa Alta constituye 19.18% de la superficie total del Distrito Federal, ocupando 27,820 ha de las cuales 4.6% corresponden al área urbana y 95.4% se destinan a usos de suelo agrícola, forestal y pecuario. La zona forestal se localiza, en gran parte, en la sierra de Chichinautzin y se compone de bosque de coníferas y pastizales, ubicadas en zona de conservación y que son una importante fuente de recarga de los acuíferos de valle. La población de la delegación es de 81,102 habitantes, con una densidad de 2.45 habitantes/ha, siendo la más baja de esta ciudad. El área rural se estima que abarca 7% de las tierras de Milpa Alta, la de uso forestal 58% y la de uso agrícola 35%; que con su diversidad de cultivos constituyen 40% de las tierras de labor en todo el Distrito Federal. Es importante señalar que la tenencia de la tierra es comunal en 88%. Sus principales problemas son la irregularidad en el abastecimiento de agua potable, los asentamientos irregulares, las escasas vías de comunicación con que cuenta (lo que dificulta la comercialización de su producción agrícola) y la carencia de drenaje en 50% de las viviendas de la delegación.

Delegación Cuajimalpa de Morelos

Esta demarcación ocupa una superficie de 7,100 ha, que representan 4.7% del Distrito Federal. Se ubican sobre una porción de la Sierra de Las Cruces y su infraestructura urbana está determinada totalmente por su topografía, que está formada principalmente por depresiones y relieves montañosos, barracas y cañadas. En la delegación se ubica el Parque Nacional Miguel Hidalgo y el Parque Nacional del Desierto de los Leones, dos de las reservas forestales más importantes para el Valle de México. Los usos del suelo corresponden en 80% a los de conservación y el 20% restante se considera suelo urbano. Su población es de 136,873 habitantes y cuenta con servicios de agua entubada en 94%, drenaje en 88.6% y energía eléctrica en 98.5%, aunque un alto número de viviendas se encuentra en condiciones precarias y de hacinamiento. Se calculan más de cincuenta asentamientos irregulares dispersos en la delegación. En los últimos años se han trasladado hacia Cuajimalpa grandes desarrollos inmobiliarios en forma de fraccionamientos de altos ingresos, observándose uno de los ritmos de crecimiento urbano más altos en el Distrito Federal. Desde el punto de vista ambiental, Cuajimalpa es relevante para la ciudad de México por su aporte de agua, ya que infiltra grandes cantidades del líquido a los mantos acuíferos del Valle de México. Es además un importante regulador climático que genera importantes cantidades de oxígeno y es una reserva natural de la flora y fauna regionales.

Delegación Álvaro Obregón

Álvaro Obregón cuenta con una superficie total de 7,720 ha que representan 6.38% del total del Distrito Federal, 66.2% son de suelo urbano, y 33.8% son de Suelo de Conservación. Forma parte de la Cuenca de México en la vertiente oriental de la Sierra de Las Cruces y se constituye principalmente por pies de monte y laderas montañosas cortadas por una extensa red de cañadas, sobre las que corren ocho ríos y se forman diez cuerpos de agua. Su población es de 676,440 habitantes, con una elevada tasa de crecimiento anual. Alrededor de 20% de esta población se encuentra dentro de los índices de marginalidad y habitan zonas clasificadas de alto riesgo (por deslaves, inundaciones y derrumbes) pues muchas viviendas se ubican en las barrancas y cauces de los ríos, mientras que otras se construyeron sobre viejas minas que se ubicaban sobre este lomerío. A pesar de contar con varios manantiales que siguen siendo fuente consumo público, el abasto de la agua es insuficiente, especialmente en los poblados rurales. Todos los ríos y barracas se utilizan como drenaje; se requiere la construcción de colectores marginales. El crecimiento del área urbanizada ejerce una gran presión inmobiliaria y de especulación del suelo sobre las tierras de uso agrícola y forestal de la delegación, sobre las que ya se ubican varios asentamientos irregulares.

Delegación Magdalena Contreras

Cuenta con una superficie total de 7,580 hectáreas, ocupando el 5.11% del total del Distrito Federal, de las cuales 58% se consideran suelo de conservación y el 42% restante, suelo de uso urbano. Su relieve es variable, se observan elevaciones por encima de la 3,700 msnm con una altitud promedio es 2500 msnm. Se localizan también varias barracas que funcionan como cauces de las aguas de los manantiales y las pluviales. Su principal aporte ambiental a la ciudad es el agua que infiltra su suelo, además de que contribuye a la oxigenación del aire y a la regulación del clima.

Tiene una población de 211,898 habitantes, con una tendencia de crecimiento de 1.65% anual. La red de agua potable, alcantarillado y energía eléctrica cubren 98.7%, 88% y 98% respectivamente, de las viviendas de la delegación; muchas de éstas se encuentran de manera irregular sobre suelo conservación ecológica. Las actividades agropecuarias han afectado al equilibrio forestal de Contreras, acelerando el desmonte y la erosión a través del pastoreo desordenado e incluso incendios provocados. Asimismo, en sus barracas y ríos se vierten aguas negras a cielo abierto.

Delegación Tlalpan

Cuenta con una superficie de 30,961 hectáreas, siendo la demarcación más grande del Distrito Federal puesto que abarca 20.7% de la superficie total. Su relieve es predominantemente montañoso y de origen volcánico, con algunas planicies lacustres. Abarca cuatro grandes unidades ambientales de vocación eminentemente forestal: La Sierra del Ajusco, el Pedregal del Xitle, el Cinturón norte Ajusco-Teutli y el cinturón sur Pelado-Tilcuayo; importantes por su contribución a la recarga de acuífero, su generación de oxígeno y cómo reserva genética de la biodiversidad regional. Se considera que el 16.4% de la superficie corresponde a suelo urbano, mientras que el 83.6% a suelo de conservación, sobre el cual se asientan siete poblados rurales. En ellos, la infraestructura de servicios urbanos es de 70% para luz y energía eléctrica, agua potable el 80% y drenaje tan sólo el 23% de los poblados rurales, mismos que descargan sus aguas residuales en fosas sépticas o al río San Buenaventura.

Su población es de 552,516 habitantes y una buena parte de su población económicamente activa ocupada no percibe más de dos salarios mínimos. Además, la población rural se ha visto afectada por la baja rentabilidad de la actividad agropecuaria. En la delegación se encuentran muchos asentamientos irregulares en la zona de conservación.

2 Técnicas para la conservación de los suelos

En México, sin que a la fecha exista un monitoreo real, se estima que el deterioro anual de suelos impacta entre 150 mil y 200 mil hectáreas (CNA, 2003). En total, se estima que alrededor del 64% de la superficie del territorio nacional (1.25 millones de km²) está afectada por diversos procesos e intensidades de degradación de suelos.

Los principales procesos de degradación son la erosión hídrica (que afecta 37% del territorio) y la erosión eólica (presente en 15% de la superficie nacional). Sigue la degradación química (por ejemplo la salinización), que si bien sólo se encuentra en 7% de los suelos del país, afecta principalmente tierras irrigadas de alto potencial productivo. También se presenta pérdidas de nutrientes, de materia orgánica y de microorganismos del suelo, así como compactación, acidificación y otros procesos.

La erosión es un proceso natural de naturaleza física y química que desgasta y destruye continuamente los suelos y rocas de la corteza terrestre. La erosión es el resultado de la acción combinada de varios factores, los más importantes son los siguientes:

Agua: La fuerza de la precipitación pluvial, así como su desplazamiento por la superficie en forma de corriente causa la remoción y transportación del suelo.

Viento: Desprende y carcome las rocas; transporta y deposita las partículas del suelo que son arrastradas. Un ejemplo de ello son los remolinos, que en la temporada de secas se mueven muy de prisa formando columnas de aire que arrastran las partículas o pedacitos de suelo, trasladándolas a grandes distancias.

Temperatura: Los cambios de temperatura ocurridos durante el día y la noche, así como los cambios entre las estaciones de verano e invierno, provocan que las rocas se resquebrajen y que el suelo se reseque, permitiendo su arrastre por el aire o el agua.

Agentes biológicos: Destruyen las rocas y exponen el suelo a la erosión causada por el agua y el viento.

La erosión del suelo puede dividirse en clases:

Erosión geológica: Ocasionada por diversos fenómenos naturales. Es un proceso muy lento, que necesita muchos años para producir cambios en la superficie de la tierra. La erosión natural es un proceso constante que seguirá desarrollándose a pesar de todo lo que haga el hombre para evitarlo.

Erosión inducida: Causada por el hombre; acelera la pérdida de los suelos al destruir la cubierta vegetal con las labores de los cultivos, el exceso de los barbechos y rastras continuas que dejan demasiado suelto el suelo, facilitando que el agua y el viento lo arrastre; las talas desmedidas y los sobrepastoreos, y la quema de rastrojos y bosques.

La lluvia al caer sobre terrenos con vegetación escasa, remueve el suelo no protegido; las capas de agua enturbada por el material terroso suspendido, corre a través de las superficies desnudas, para caer nuevamente en el suelo en forma de lodo, el cual se deposita entre las cavidades o poros del suelo. Este lodo, llamado limo, que al secarse parece una costra, cierra los poros del suelo e impide la infiltración del agua; bajo estas condiciones la mayor parte del agua se convierte en escurrimiento; la cantidad y velocidad del escurrimiento influye en la erosión.

Las condiciones de los terrenos determinan la cantidad de agua que se infiltra en ellos. Se infiltra poca agua en los terrenos con pendiente pronunciada ya que el agua pasa rápido y no tiene el tiempo suficiente para penetrar la tierra. Se infiltra mas agua en un suelo con suficiente vegetación que el que carece de ella, ya que cada tallo reduce la velocidad del agua, las raíces perforan el suelo, el follaje hace sombra y evita la evaporación y hay más materia orgánica que absorbe fácilmente el agua.

A continuación se describen las técnicas que se utilizan en la práctica para la conservación de los suelos contra la erosión hídrica:

1. Cubrir el suelo para evitar el contacto directo de la lluvia

Una de las medidas que se emplean para evitar la erosión del suelo, es protegerlo del golpeteo de las gotas de la lluvia, para lo cual se pueden usar dos clases de cubiertas:

Cubierta muerta: rastrojo de maíz, cáscaras de todas clases, virutas, aserrín, ramas, paja de trigo, hojas secas de árboles, etc.

Cubierta viva: pastizal, árboles frutales, cultivos como maíz, papa, chícharo, tomate, frijol, camote, trigo, arroz, etc. La mejor cubierta viva la forman los cultivos densos como alfalfa, cebada, avena, trébol, etc.

2. Roturación y mullimiento de los suelos

Por roturación de suelos se entiende romper la capa arable del suelo (a una profundidad de 20 a 30 cm) para facilitar la penetración de agua, luz, aire, raíces, etc., y para que los macro y microorganismos trabajen mejor dentro de la tierra y logre un mejor drenaje. El suelo se rotura con palas, arado de tracción animal o mecánico.

3. Medidas mecánicas

Para evitar la erosión y aumentar la infiltración del agua, en un terreno escarpado, deben realizarse curvas a nivel o desnivel; terrazas continuas e individuales; terrazas de camellón; barreras vivas; barreras muertas, y diques. A continuación se describen los procedimientos necesarios para llevar a cabo estas medidas.

Determinar la pendiente del terreno

Si observamos un terreno, notaremos que existen partes en las que la inclinación es más pronunciada que en otras. Para saber qué tipo de medida de conservación debemos realizar en determinado terreno, es preciso conocer el porcentaje de inclinación. La clasificación de las pendientes de los terrenos, son las siguientes:

<i>Pendiente (%)</i>	<i>Tipo</i>
1-2	Plana
3-5	Suavemente inclinada
6-12	Moderadamente inclinada
13-20	Fuertemente inclinada
21-40	Moderadamente escarpada
41-60	Escarpada
60 o más	Muy Escarpada

Tabla 2.1 Grados de inclinación de los terrenos

La distancia entre zanjas o terrazas son diferentes en cada terreno según su inclinación. Por ejemplo, en un terreno que tiene 20% de desnivel, la distancia horizontal entre zanjas debe ser de 14 m; mientras que para una ladera con 10% de desnivel la distancia entre éstas debe ser de 20 m, porque mientras mayor sea el porcentaje de inclinación de la ladera, el agua escurrirá más rápido y en mayor cantidad.

Seleccionar la distancia entre las zanjas o terrazas

En laderas con más de 45% de inclinación es recomendable la construcción de las terrazas individuales o continuas; en caso contrario se deben construir zanjas. Para saber la distancia entre zanjas debe consultarse la tabla siguiente:

<i>Pendiente del terreno (%)</i>	<i>Distancia horizontal entre zanjas (m)</i>
2	30
5	28
8	24
10	20
14	18
16	16
20	14
25	12
30	10
35	8
40	6
45	4

Tabla 2.2. Distancia entre zanjas en relación con la pendiente del terreno

Si el terreno tienen más de 60% de pendiente, su uso es recomendable únicamente para la vegetación nativa.

En terrenos con más de 45% de inclinación, la distancia entre terrazas será de tres metros.

4. Siembra de barreras vivas y construcción de barreras muertas

Estas barreras son construidas con el objeto de retener la mayor parte del suelo agrícola y la materia orgánica que son arrastrados por los escurrimientos. Estas barreras pueden ser de dos clases: vivas o vegetales y muertas. Las primeras consisten en sembrar especies de pasto en el lado superior de las zanjas, terrazas continuas o terrazas de banco. Estos pastos deben retener y amarrar el suelo con sus raíces, y el pasto obtenido de estas barreras puede usarse para la alimentación del ganado, la construcción de aboneras para incorporarlas como abono verde o cubierta del suelo, semilleros o viveros, así como para colchón de animales en los pesebres o caballerizas. Según la región, hay muchas plantas que sirven para barreras vivas: maguey, nopal, caña de azúcar, sorgo y árboles frutales. La siembra de pasto para barreras vivas deberá hacerse en hileras dobles o simples por el lado superior de las zanjas o terrazas, separadas de 15 a 20 cm. En caso de que se siembren estacas, éstas deberán tener desde 20 cm hasta un metro de largo; los canutos cortos se pueden sembrar inclinados y las cañas largas completamente acostadas.

Las barreras muertas se construyen con piedras hasta formar un muro de 50 cm de alto y 40 cm de ancho, siempre en el contorno de la zanja.

5. Medidas agronómicas

Se pueden emplear prácticas agronómicas que refuerzan la conservación de suelos y agua, en particular las vinculadas con el manejo adecuado de los cultivos, de tal manera que mantenga las condiciones de fertilidad y permita aumentar la producción.

- **Cultivos en contorno**

Es recomendable trazar los surcos de acuerdo con las zanjas a nivel. Esto permite una mejor distribución y filtración del agua y evita el rompimiento de surcos. Esta forma de trazar los surcos hace que cada uno funcione como una zanja a nivel, distribuyendo la humedad y reteniendo agua. Los surcos se hacen a partir de las partes superiores de los terrenos hacia las partes más bajas. Es probable que en algunas zonas del terreno la distancia entre dos zanjas a nivel o desnivel no sea uniforme, lo que provocará que algunos surcos no finalicen. Éstos deben quedar en la parte baja de cada faja.

- **Cultivos en faja**

La faja (llamada también cajón, melga o metepantle) son los terrenos que se encuentran entre las zanjas. En una parcela dividida se puede sembrar cada cajón con un cultivo distinto para aprovechar mejor el terreno. Por esta razón, es necesario conocer la forma y labores de cada cultivo. Podemos distinguir dos clases de cultivos: limpios (los que requieren escardas) y los densos (los que se siembran al voleo).

Cultivos limpios	Cultivos densos
Maíz	Trigo
Frijol	Cebada
Haba	Alfalfa
Soya	Trébol
Sorgo	Ebo
Calabaza	Chicharo
Melón	Avena
Sandía	Veza
	Lenteja

Tabla 2.3. Tipo de cultivos limpios y densos

Deben sembrarse alternadamente, en un cajón un cultivo limpio y en otro un cultivo denso, y al siguiente ciclo cambiarlos. De esta manera se obtienen las siguientes ventajas: mejor control de las malas hierbas, enfermedades y plagas; los cultivos densos refuerzan las medidas mecánicas y disminuyen la erosión, y se obtienen varios productos, lo que evita la dependencia de un producto.

- **Rotación de cultivos**

Esto significa cambiar el tipo de cultivo, alternando un ciclo con leguminosas y al siguiente gramíneas, o de otra familia (tabla 2.4). De esta manera, aumentará la producción, disminuyendo la presencia de plagas, enfermedades y malas hierbas.

<i>Gramíneas</i>	<i>Leguminosas</i>	<i>Cucurbitáceas</i>	<i>Solanáceas</i>
Maíz	Frijol	Calabaza	Papa
Trigo	Haba	Pepino	Tomate
Cebada	Chicharo	Sandía	Jitomate
Sorgo	Ebo	Melón	Yuca
Centeno	Trébol	Chilacayote	Camote
Avena	Alfalfa	Chayote	
Caña de azúcar	Veza		
Alpiste	Lupinus		
Ajonjolí	Lenteja		
Arroz			

Tabla 2.4. Familias de cultivos que se pueden sembrar alternadamente para mantener la calidad de los suelos.

6. Cortina rompevientos

Se entiende por cortina rompevientos a la plantación de árboles en las orillas de los terrenos con la finalidad de proteger nuestros cultivos de los vientos. De esta forma evitamos los acamamientos de los cultivos. Los árboles sembrados sobre las curvas a nivel sirven también como barreras vivas.

7. Controlar el flujo de agua en los arroyos

La erosión hídrica acelerada es considerada sumamente perjudicial para los suelos, pues debido a este fenómeno, grandes superficies de suelos fértiles se pierden; ya que el material sólido que se desprende en las parte media y alta de la cuenca, provocan el asolvamiento de la infraestructura hidráulica, eléctrica, agrícola y de comunicaciones que existen en la parte baja.

Para detener el proceso erosivo, una buena solución es la construcción de presas filtrantes a base de gaviones, las cuales detienen el material de transporte, evitando el abatimiento del lecho. Para proyectar las presas es necesario que el lecho del cauce tenga una pendiente controlada, de tal forma que la corona de la presa de aguas abajo más la pendiente de compensación buscada, sean la base de la siguiente presa de aguas arriba.

La construcción de presas filtrantes a base de gaviones, es bastante efectiva, ya que logra controlar la erosión que se produce en los cauces, como consecuencia de eventos extraordinarios; pues disminuye el poder erosivo del caudal y su velocidad, a la vez que el material sólido en suspensión, queda atrapado en el paramento aguas arriba de la presa logrando con esto una estabilización del cauce.

3 Procesamiento de la información

En este capítulo se describe la recopilación de la información pluvial de la Cuenca del Valle de México, así como las metodologías utilizadas en el análisis de dicha información.

3.1 Recopilación de información

La información recopilada corresponde a 236 estaciones pluviométricas, ubicadas dentro y en los alrededores de la Cuenca del Valle de México, las cuales están bajo cargo de la Comisión Nacional del Agua (CNA); y a 49 estaciones pluviográficas automatizadas a cargo de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), de las cuales 43 se encuentran ubicadas dentro Distrito Federal y 6 en el estado de México.

3.1.1 Información pluviométrica

La información pluviométrica se obtuvo del Extractor Rápido de Información Climatológica versión 2, (ERIC II), el cual contiene la información de la base de datos climatológica nacional del Servicio Meteorológico Nacional, de la CNA.

Las estaciones meteorológicas seleccionadas se ubican dentro de la superficie comprendida entre los paralelos 18° 50' y 20° 15' de latitud norte y los meridianos 98° 11' y 99° 45' de longitud oeste, esto con la finalidad de disminuir los efectos de frontera al llevar a cabo las interpolaciones en la configuración de isoyetas. El periodo seleccionado, dada la cantidad y calidad de los datos, fue de 1961 a 1998.

En la figura 3.1, se muestra la localización de las estaciones pluviométricas dentro y en los alrededores de la cuenca. La clave de cada estación indica el estado al que pertenece: la serie de números que comienzan con 13, se ubican en Hidalgo; las que empiezan con 15 son del estado de México; las que inician con 17, de Morelos y las que inician con 09 son del Distrito Federal.

3.1.2 Información pluviográfica

La DGCOH, tiene actualmente bajo su cargo la operación de 78 estaciones pluviográficas automatizadas, de las cuales 49 comenzaron a operar en 1982 y las 29 restantes en 2002.

A pesar de que se tienen registros desde 1982, solo fue posible obtener en formato digital, la información pluviográfica correspondiente al periodo comprendido entre 1988 y 2002. La localización de las estaciones para las cuales fue posible obtener información, se encuentra en la figura 3.2.

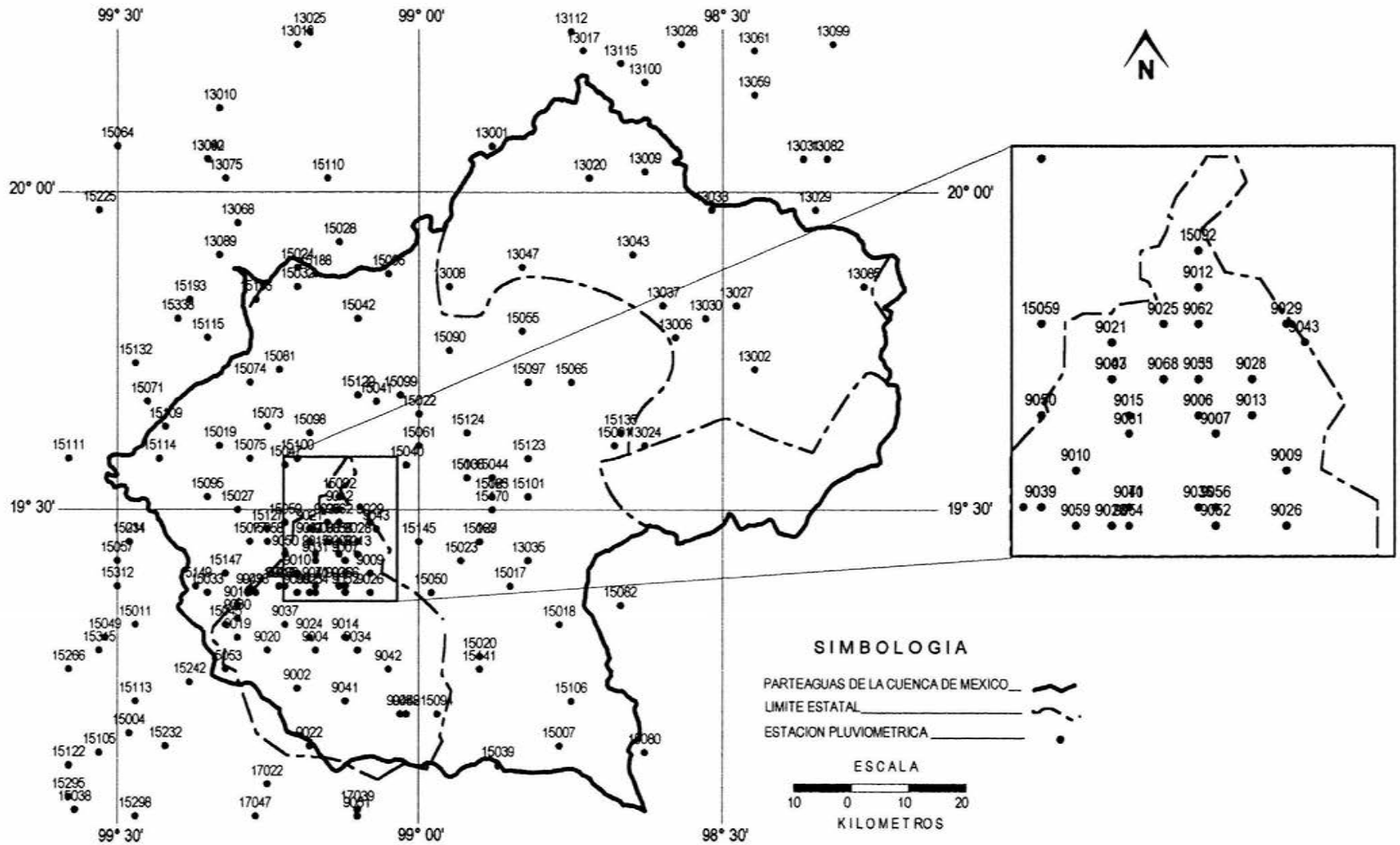


Figura 3.1. Localización de estaciones pluviométricas

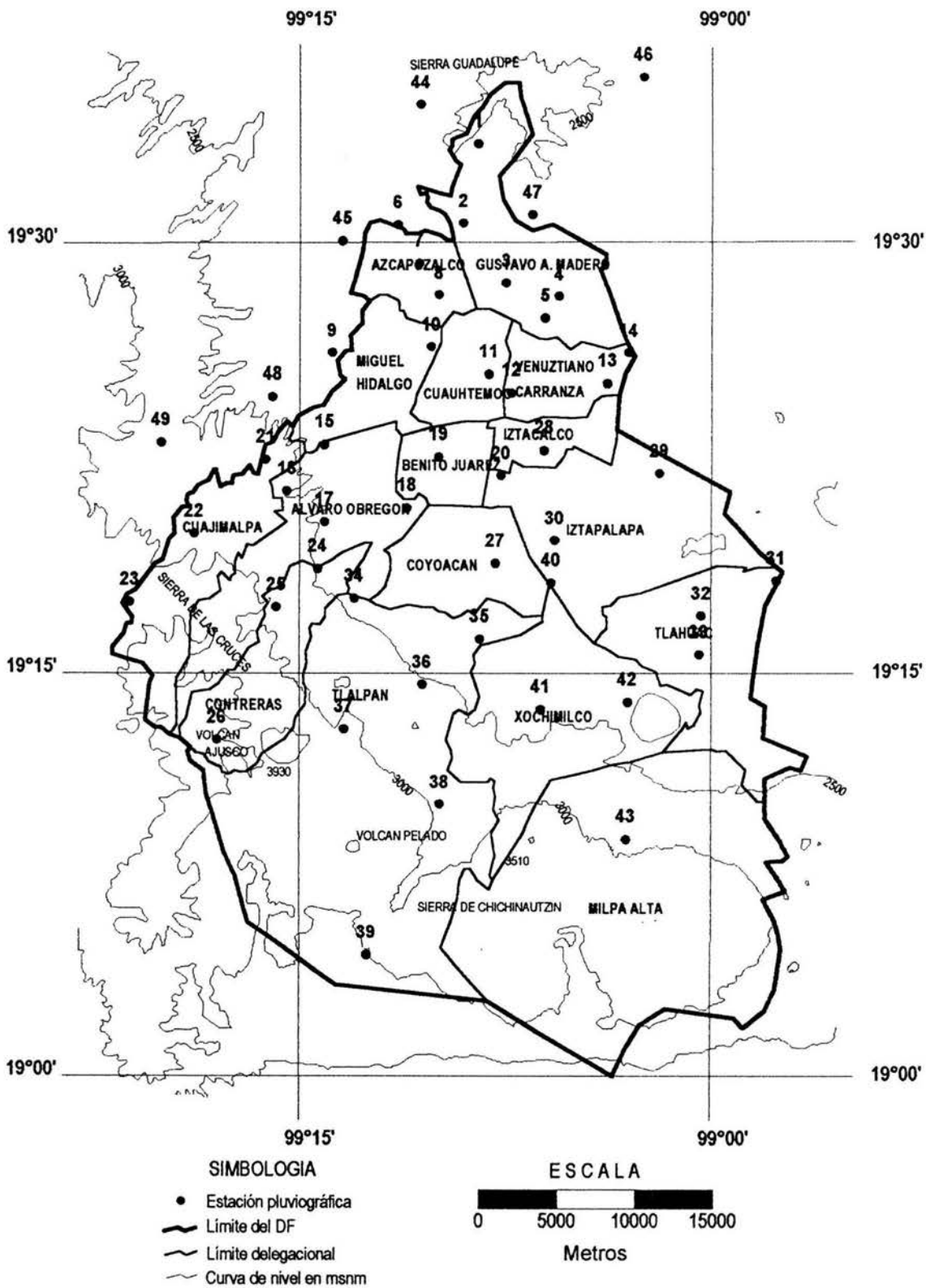


Figura 3.2. Localización de estaciones pluviográficas

3.2 Análisis de la información

La información pluviométrica y pluviográfica fue analizada de manera independiente. Con el análisis de la información pluviométrica se pretende obtener una visión general del comportamiento espacial y temporal de la lluvia en la Cuenca del Valle de México y sus alrededores; mientras que el análisis de la información pluviográfica permitirá conocer de manera confiable, el comportamiento de la lluvia en magnitud e intensidad y la estimación de la susceptibilidad a la erosión hídrica, en el Distrito Federal.

3.2.1 Información pluviométrica

3.2.1.1 Contenido de la información

La confiabilidad de los resultados que se obtengan del análisis de la información, dependen en gran medida del contenido de información. El contenido de información se entiende como la cantidad y calidad de los datos registrados tanto puntualmente, en una estación de medición particular, como regionalmente, es decir, la relación existente entre varias estaciones cercanas. La cantidad corresponde a la longitud del registro, mientras la calidad es la consistencia de estas series de tiempo, esto es, el porcentaje del registro que es completo, incompleto y nulo.

Para el caso de la información pluviométrica, los registros puntuales se consideran nulos si la longitud máxima es menor de 5 años; es incompleto, cuando su longitud es mayor de 5 años, pero muestra ausencia de valores; y son completos cuando no se registra ausencia de valores. Esta información se analizó por medio de histogramas de frecuencias y gráficas.

La distribución espacial de las estaciones pluviométricas con registro completo se caracteriza por la densidad, es decir, el número de estaciones por unidad de superficie. Esto se representa por medio de mapas, donde se definen regiones con datos completos, siendo posible identificar las zonas que requieren de instrumentación futura.

Para tratar de caracterizar el contenido de información pluviométrica, se procedió a la construcción de tres gráficas:

- Número de estaciones contra porcentaje de datos completos. A partir de las bases de datos se contabilizó el número de estaciones de medición. En cada estación se determinó el número total de días o meses de registro para el periodo de 1961 a 1998; posteriormente se identificaron los meses y años con información completa, calculando el porcentaje respectivo.

- Porcentaje del número de estaciones contra año. Con la finalidad de analizar la variación del contenido de información en el tiempo se obtuvo el porcentaje de estaciones con información completa por cada año, en la gráfica se muestra de manera complementaria el porcentaje de datos incompletos y nulos.
- Porcentaje del número de años contra estación de medición. En cada estación se define el porcentaje de los años de registro, tomando como referencia el intervalo de 38 años comprendido entre 1961 y 1998; al mismo tiempo se representa el porcentaje de datos completos e incompletos.

3.2.1.2 Regionalización

El siguiente paso fue identificar las principales zonas de ocurrencia simultánea de eventos de lluvia, es decir, aquellas regiones donde tienen lugar eventos que afectan una extensa superficie. Esto se caracterizó a través de la correlación existente entre estaciones cercanas. La metodología empleada fue la siguiente:

- Se seleccionó una estación y a partir de ésta, se estimó la distancia mínima de las 5 estaciones aledañas
- Una vez identificadas las estaciones aledañas, se procedió a encontrar los periodos de registro comunes, considerando las series pluviométricas anuales de 1960 a 1998
- Una vez definidos los periodos comunes, los cuales tiene una longitud mínima de 5 años, se estimó el coeficiente de correlación cruzada, considerando únicamente tres unidades de retraso. Para el cálculo del parámetro, se desarrolló el programa CORREL.CPP en el lenguaje de programación turbo C++, cuyo código fuente se encuentra anexo al final de este capítulo. La expresión utilizada es la siguiente

$$R_k = \frac{\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} (X_i - \mu_x)(Y_{i+k} - \mu_y)}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu_x)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \mu_y)^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (3.1)$$

Donde R_k es el coeficiente de correlación cruzada de retraso k , μ_x y μ_y es la media de los datos pluviométricos para dos estaciones aledañas X , Y , y N el número de pares del registro común. Las propiedades del parámetro R_k son las siguientes:

Los valores están contenidos en el intervalo $[-1, 1]$; si $R_k = -1$, entonces la relación entre X y Y es perfectamente lineal negativa; un valor de $R_k = 1$ indica una asociación lineal perfecta entre X y Y ; Si $R_k = 0$, entonces no existe ninguna relación lineal entre las variables.

Los coeficientes de correlación de primer orden fueron agrupados en tres periodos: de 1960 a 1969 periodo en el cual la capacidad de medición es creciente; de 1970 a 1989 en el cual se presentó la máxima capacidad de medición, y de 1990 a 1998 en el que el número de estaciones decrece significativamente. En los casos en los que el número de periodos comunes fue mayor a uno, se seleccionó el valor más alto del coeficiente de correlación. Los valores obtenidos se configuraron en mapas de igual valor de coeficiente de determinación, esto es, el coeficiente de correlación al cuadrado

3.2.1.3 Análisis de la variación espacial y temporal de la lluvia

Para tener una visión del comportamiento temporal de la lluvia, se realizó el análisis estadístico de los registros y la representación gráfica. Al mismo tiempo se configuraron las isoyetas que representan el comportamiento de la lluvia media acumulada anual para el periodo comprendido entre 1961 1998.

3.2.2 Información pluviográfica

3.2.2.1 Variación espacial y temporal de las series anuales y mensuales

A partir de las curvas masa registradas en las 49 estaciones mostradas en la figura 3.2, se obtuvieron las láminas de la lluvia acumulada mensual y anual del periodo comprendido entre 1988 y 2002. Para su análisis se realizó la representación gráfica de la variación temporal de las series, así como mapas de isoyetas.

A partir de las series anuales se realizó la regionalización de la lluvia en el Distrito Federal, con lo cual se pretende la identificar las principales zonas de ocurrencia simultánea de lluvia, con un mayor detalle y confiabilidad que las obtenidas anteriormente, ya que las series anuales de las mediciones pluviográficas tienen la misma longitud (15 años) y no presentan discontinuidades. Para esto, se calculó el coeficiente de correlación entre cada estación y las cinco estaciones aledañas, se seleccionaron los valores más altos para cada estación y se realizó un mapa de isovalores de los coeficientes de determinación.

3.2.2.2 Homogeneidad e independencia de las series anuales

Las características estadísticas de una serie de tiempo se ven afectadas cuando se presentan tendencias en la media o en la varianza, tales anomalías se deben a la pérdida de homogeneidad. En general la falta de homogeneidad es inducida por las actividades humanas como la deforestación y reforestación, apertura de nuevas áreas de cultivos en los alrededores, etc., y por fenómenos naturales.

Las pruebas que se utilizaron para determinar la homogeneidad de las series anuales son la de t de Student, la de Cramer.

La prueba t de Student está definida por la siguiente ecuación:

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (4.2)$$

Si $|t_d| < t_c$, entonces la serie es homogénea.

Donde \bar{x}_1 y S_1^2 son la media y desviación estándar del registro n_1 , \bar{x}_2 y S_2^2 son la media y desviación estándar del registro n_2 ; t_c es el valor de la distribución t de Student el cual se obtiene de tablas.

En la prueba de H. Cramer (1946) citado por A. Campos (1998), \bar{X} y S son respectivamente la media y la desviación típica del registro total; \bar{X}_k es la media del subperiodo de n' valores. La prueba de Cramer se define como:

$$t_k = \left[\frac{n'(n-2)}{n - n' [1 + \tau_k^2]} \right]^{\frac{1}{2}} (\tau_k)$$

$$\tau_k = \frac{(\bar{X}_k - \bar{X})}{S} \quad (4.3)$$

$$\bar{X}_k = \frac{\sum_{i=k+1}^{i=k+n} x_i}{n'}$$

Si $|t_k| < t_c$, entonces la serie es homogénea.

La independencia de una serie de precipitación anual, indica que el valor de la precipitación de un año determinado no depende del valor de la precipitación de los años previos. Para determinar si las series anuales de las estaciones de estudio son independientes, se empleó la prueba de independencia de Anderson; en la cual es necesario obtener los valores del coeficiente de autocorrelación serial que se define como sigue:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (4.4)$$

para $k=1,2,3\dots n/3$.

De acuerdo al criterio de Anderson (1942) citado por Salas (1980), los límites de r_k con un 95% de probabilidad son:

$$r_k = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k}$$

Si como máximo el 10% de los valores de los coeficientes de autocorrelación serial sobrepasan estos límites, se dice que la serie es independiente.

3.2.2.3 Potencial erosivo de la lluvia

La Fórmula Universal de Suelos (FUPS) es un criterio empírico (Wischmeir y Smith, 1958) que cuantifica el material sólido que se pone en movimiento como producto de la erosión hídrica y se expresa como:

$$A=R*K*SL*C*P$$

Donde: $A(\text{kg}/\text{m}^2)$ es la pérdida anual del suelo, $R(\text{N}/\text{ha})$ es el factor que mide el potencial erosivo de la lluvia, $K(\text{kg}\cdot\text{ha}/\text{N}\cdot\text{m}^2)$ es el factor que toma en cuenta el tipo de suelo, SL (adimensional) es el factor de longitud y pendiente del terreno, C (adimensional) es el factor de cobertura vegetal y P (adimensional) es el factor de prácticas de cultivo y conservación de suelos.

El criterio original propone estimar el índice de erosividad por precipitación pluvial R como:

$$R = \frac{[(\sum (1.213 + 0.890 \log I_j))(I_j T_j)] I_{30}}{101.997} \quad (4.5)$$

Donde: R (N/h) es el potencial erosivo de la lluvia, I_j (mm/h) es la intensidad de la precipitación para un incremento específico de tiempo T_j (h), e I_{30} (mm/h) es la intensidad máxima de la tormenta en 30 minutos.

Uno de los factores que producen mayor incertidumbre en la estimación de la pérdida de suelo anual en una región, es el factor R , ya que generalmente para obtenerlo se considera una sola tormenta como la representativa. En este trabajo se estimó el potencial erosivo de la lluvia, siguiendo la metodología propuesta por Escalante y Reyes (2002), en la cual se propone obtener R , a partir de la lluvia máxima anual en 24 h. El procedimiento realizado para obtener R es el siguiente:

- 1 De cada sitio que cuenta con información pluviográfica, se seleccionaron las curvas masa de cada tormenta máxima anual registrada en 24 h.
- 2 Para cada tormenta se obtuvieron los valores I_j y el máximo I_{30} para intervalos $T_j=30$ min, y se calcularon los valores de R mediante la ecuación 4.1.
- 3 Para cada sitio se generó un modelo de regresión lineal entre el factor R y las láminas máximas anuales en 24 h, con el que se estimaron los valores ajustados de R para láminas de lluvia de 10, 20,...,120 mm.
- 4 Para cada año, se obtiene la frecuencia con que se presentaron tormentas entre diferentes alturas de lluvia (1 y 10 mm, 11 y 20 mm,..., 111 y 120); al sumar las frecuencias de todos los intervalos, se obtiene el número total de tormentas en el año.
- 5 Considerando que las tormentas con láminas de lluvia entre 1 y 10 mm, no causan erosión, el valor anual de R se obtiene con la expresión:

$$R=N_{20} \cdot R_{20}+ N_{30} \cdot R_{30}+\dots+N_{120} \cdot R_{120}.$$

Donde: N_{20} , N_{30}, \dots, N_{120} , es el número de tormentas que se presentaron entre los intervalos de lluvia 11 y 20 mm, 21 y 30 mm,...,111 y 120 mm, respectivamente; R_{20} , R_{30}, \dots, R_{120} son los factores de erosividad para láminas de 20, 30 y 120 mm, que se estiman mediante los modelos obtenidos en el paso 3.

Código fuente del programa CORREL.CPP

```
//REALIZO: GABRIELA ALVAREZ OLGUIN

//FECHA DE REALIZACION: MARZO DEL 2003

//NOMBRE CORREL.CPP

//ESTE PROGRA TIENE LA FINALIDAD DE ENCONTRAR LOS COEFICIENTES
//DE CORRELACION CRUZADA ENTRE DE LAS SERIES ANUALES DE LA CUENCA

#include<iostream.h>
#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include <ctype.h>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>
#include "cros.h"
#include "cercana.h"
#include "ordena.h"
#include "per.h"
main()
{

    cercana cer;
    cer.estacion();
    ordena ord;
    ord.Datos1();
    per pe;
    pe.Datos3();
    cros cr;
    cr.Datos();

    return 0;
}

//*****INICIA CERCANA.CPP*****

//NOMBRE: CERCANA.CPP

//TAREA: ESTA CLASE PERMITE ENCONTRAR LAS CINCO ESTACIONES MAS CERCANAS
//A UNA ESTACION DETERMINADA

#include <iostream.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <fstream.h>
#include <ctype.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <conio.h>
#include "cercana.h"

cercana::cercana()
{
}
```

```

cercana::~cercana()
{
}

void cercana::estacion()
{
    clrscr();
    char archent[20];
    char archsal[20];

    ifstream archivo("est.txt"); //ARCHIVO QUE CONTIENE LAS SERIES ANUALES
    ofstream salida("est_cer.txt");//ARCHIVO DE SALIDA
    for(k=0;k<236;k++)
    {
        archivo>>est[k]>>cor[k][0]>>cor[k][1];
    }

    for(i=0;i<236;i++)
    {
        for(l=0;l<5;l++)
        {
            posicion[l]=-1;
        }

        for(j=0;j<5;j++)
        {
            dis_min=1000000;
            for(k=0;k<236;k++)
            {
                bandera=0;
                for(l=0;l<5;l++)
                {
                    if(k==posicion[l])
                        bandera=1;
                }
                if((k!=i)&&(bandera==0))
                {
                    X=pow((cor[i][0]-cor[k][0]),2);
                    Y=pow((cor[i][1]-cor[k][1]),2);
                    distancia=pow((X+Y),0.5);
                    if(distancia<dis_min)
                    {
                        dis_min=distancia;
                        pos_tem=k;
                    }
                }
            }
            posicion[j]=pos_tem;
        }
        salida<<est[i]<<" ";
        for(l=0;l<5;l++)
            salida<<est[posicion[l]]<<" ";
        salida<<endl;
    }

    salida.close();
    archivo.close();
    cout<<endl;
}
//*****FIN DE CERCANA.CPP*****

```

```

//*****INICIA CERCANA.H *****
#define CERCANA_H
class cercana
{
public:
    cercana();
    ~cercana();
    void estacion();

private:
    int i,j,k,N,l, campos, bandera;
    float dis_min, pos_tem;
    float X,Y, distancia;
    int posicion[50];
    float cor[1000][2];
    char est[1000][20];
};
//*****FIN DE CERCANA.H *****

//*****INICIA ORDENA.CPP*****
//NOMBRE: ORDENA.CPP

//TAREA: ESTA CLASE PERMITE CREA UN ARCHIVO DE SALIDA EN EL QUE
// LAS SERIES ANUALES ESTÁN AGRUPADAS POR ESTACIONES ALEDAÑAS

#include <iostream.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <fstream.h>
#include <ctype.h>
#include <stdlib.h>
#include "ordena.h"

ordena::ordena()
{
    contador=0;
    intervalo=0;
    posicion=0;
}

ordena::~ordena()
{
}

void ordena::Datos1()
{
    ifstream estacion("est_cer.txt");
    ofstream seleccion("prec_p.txt");

    for(j=0;j<236;j++)
    {

estacion>>estaciones[0]>>estaciones[1]>>estaciones[2]>>estaciones[3]>>estaciones[4]>
>estaciones[5];
        for(k=0;k<6;k++)
    }
}

```

```

    {
        ifstream entrada("pre_acum.txt");
        for(i=0;i<236;i++)
        {
            for(l=0;l<39;l++)
                entrada>>precip[l];
            tem1=atoi(precip[0]);
            if(estaciones[k]==tem1)
            {
                for(t=0;t<39;t++)
                    seleccion<<precip[t]<<" ";
                seleccion<<" "<<endl;
            }
            entrada.close();
        }
        seleccion<<endl;
    }
    seleccion.close();

    estacion.close();
}
//*****FIN DE ORDENA.CPP*****

//***** INICIA ORDENA.H *****
#define ORDENA_H
class ordena
{
public:
    ordena();
    ~ordena();
    void Datos1();

private:
    int i,j,l,k,t,contador,intervalo,posicion,bandera,T;
    int tiempo[59],ESTACION;
    char precip[60][10];
    char tem[20];
    int estaciones[6], tem1;
    char lluvia[10];
    float LLUVIA,SALIDA;
};
//*****FIN DE ORDENA.H *****

//*****INICIA PER.CPP*****

//NOMBRE: PER.CPP

//TAREA: CON ESTE CLASE SE ENCUENTRAN LOS PERIODOS
//        DE DATOS COMUNES DE LAS CINCO ESTACIONES ALEDAÑAS A CADA ESTACION

#include <iostream.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <fstream.h>
#include <ctype.h>
#include "per.h"

```

```

per::per()
{
    contador=0;
    intervalo=0;
    posicion=0;
}

per::~~per()
{
}

void per::Datos3()
{
    tiempo[0]=1961;
    for (t=1;t<38;t++)
    tiempo[t]=tiempo[t-1]+1;
    ifstream entrada("prec_p.txt");
    ofstream SALIDA("prec_per.txt");
    for(k1=0;k1<236;k1++)
    {
        for(i=0;i<39;i++)
        {
            if(i==0)
                entrada>>estacion1[i];
            else
            {
                entrada>>est1;
                if(isalpha(est1[0])==0)
                    estacion1[i]=1;
                else
                    estacion1[i]=0;
            }
        }
        SALIDA<<estacion1[0]<<endl;
        // entrada>>endl;
        for(k2=0;k2<5;k2++)
        {
            for(i=0;i<39;i++)
            {
                if(i==0)
                    entrada>>estacion2[i];
                else
                {
                    entrada>>est2;
                    if(isalpha(est2[0])==0)
                        estacion2[i]=1;
                    else
                        estacion2[i]=0;
                }
            }
            intervalo=0;
            for(i=0;i<39;i++)
            {
                if(i==0)
                {
                    salida[0]=estacion2[i];
                }
                else
                {
                    if((estacion1[i]==1&&estacion2[i]==1))
                    {
                        if(intervalo==0)

```

```

    {
        posicion=posicion+1;
        salida[posicion]=tiempo[i-1];
        intervalo=intervalo+1;
        if(i==38)
        {
            posicion=posicion-1;
            // salida[posicion]=tiempo[i-1];
            // posicion=posicion+1;
            // salida[posicion]=intervalo;
        }
    }
else
    if(i==38)
    {
        if(intervalo>=5)
        {
            intervalo=intervalo+1;
            posicion=posicion+1;
            salida[posicion]=tiempo[i-1];
            posicion=posicion+1;
            salida[posicion]=intervalo;
        }
        else
            posicion=posicion-1;
        intervalo=0;
    }
    else
        intervalo=intervalo + 1;
}
else
{
    if(intervalo!=0)
    {
        if(intervalo>=5)
        {
            posicion=posicion+1;
            salida[posicion]=tiempo[i-2];
            posicion=posicion+1;
            salida[posicion]=intervalo;
        }
        else
            posicion=posicion-1;
        intervalo=0;
    }
}
}
posicionf=posicion;
posicion=0;
for(t=0;t<posicionf+1;t++)
SALIDA<<salida[t]<<" ";
SALIDA<<"F";
SALIDA<<endl;
}
SALIDA<<endl;
}
entrada.close();
}
//*****FIN DE PER.CPP*****

```



```
//*****INICIA PER.H *****

//NOMBRE PER.H
#define PER_H
class per
{
public:
    per();
    ~per();
    void Datos3();

private:
    int i,j,k,t,contador,intervalo,posicion,estacion,bandera,T,k1,k2;
    int tiempo[59],posicionf;
    int salida[60],estaciones[5];
    int estacion1[60],estacion2[60];
    int tipo;
    // int estacion0,estacion1,estacion2,estacion3,estacion4,estacion5;
    char lluvia[6];
    char est1[10], est2[10];
};
//*****FIN DE PER.H *****

//*****INICIA CROS.CPP*****
//NOMBRE: CROS.CPP

//TAREA: ENCONTRAR LOS COEFICIENTES DE COORRELACION CRUZADA
//      ENTRE LAS CINCO ESTACIONES CLIMATOLOGICAS MAS CERCANAS
//      PARA PERIODOS COMUNES DE MAS DE CINCO AÑOS

#include <iostream.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <fstream.h>
#include <ctype.h>
#include "cros.h"

cros::cros()
{
}
cros::~cros()
{
}

void cros::Datos()
{
    tiempo[0]=1961;
    for (t=1;t<38;t++)
        tiempo[t]=tiempo[t-1]+1;
    ifstream lluvia("prec_p.txt");
    ifstream p_comun("prec_per.txt");
    ofstream salida("prec_cor.txt");
    for(k=0;k<236;k++)
    {
        p_comun>>est1;
        salida<<est1<<endl;
        for(t=0;t<39;t++)
        {
            lluvia>>registrol;
            estacion1[t]=atof(registrol);
        }
        for(j=0;j<5;j++)
        {
```

```

for(t=0;t<39;t++)
{
    lluvia>>registro2;
    estacion2[t]=atof(registro2);
}
for (i=0;i<20;i++)
{
    bandera=0;
    if(i==0)
    {
        p_comun>>est2>>ANO1;
        if(ANO1[0]=='F')
        {
            bandera=1;
            i=21;
        }
        else
        {
            ano1=atof(ANO1);
            p_comun>>ano2>>periodo;
            salida<<est2<<" ";
        }
    }
    else
    {
        p_comun>>ANO1;
        if(ANO1[0]=='F')
        {
            bandera=1;
            i=21;
            salida<<" "<<endl;
        }
        else
        {
            ano1=atof(ANO1);
            if(ano1==1998)
            bandera=1;
            p_comun>>ano2>>periodo;
        }
    }
}
if((periodo>=5)&&(bandera==0))
{
    salida<<ano1<<" "<<ano2<<" ";
    ano_1=(ano1-1961)+1;
    ano_2=(ano2-1961)+1;
    suma1=0;
    suma2=0;
    for(m=0;m<periodo;m++)
    {
        suma1=suma1+estacion1[ano_1+m];
        suma2=suma2+estacion2[ano_1+m];
    }
    suma1=suma1/periodo;
    suma2=suma2/periodo;
    VAR1=0;
    VAR2=0;
    for(m=0;m<periodo;m++)
    {
        resul1=estacion1[ano_1+m]-suma1;
        resul2=estacion2[ano_1+m]-suma2;
        VAR1=VAR1+(resul1*resul1);
        VAR2=VAR2+(resul2*resul2);
    }
}

```

```

VAR1=VAR1/(periodo);
VAR2=VAR2/(periodo);
for(K=0;K<3;K++)
{
    CZX=0;
    for(t=0;t<periodo-K;t++)
    {
        fact1=estacion1[ano_1+t]-suma1;
        fact2=estacion2[ano_1+t+K]-suma2;
        CZX=fact1*fact2+CZX;
    }
    CZX=CZX/periodo;
    R=CZX/sqrt(VAR1*VAR2);
    salida<<R<<" ";
}
}
}salida<<endl;
endl;
}
salida.close();
lluvia.close();
p_comun.close();}
//*****FIN DE CROS.CPP*****

//*****INICIA CROS.H *****

//NOMBRE: CROS.H
#define CROS_H
class cros
{
public:
    cros();
    ~cros();
    void Datos();
private:
    int K,i,j,k,m,t,bandera;
    int est1,est2,ano1,ano2,ano_1,ano_2,periodo,tiempo[59];
    char registro1[15], registro2[15],ANO1[5],EST2[10];
    float estacion1[60], estacion2[60];
    float suma1, suma2, CZX, R,fact1, fact2;
    double resul1,resul2,VAR1,VAR2;
};//*****FIN DE CROS.H *****

```

4 Resultados y comentarios

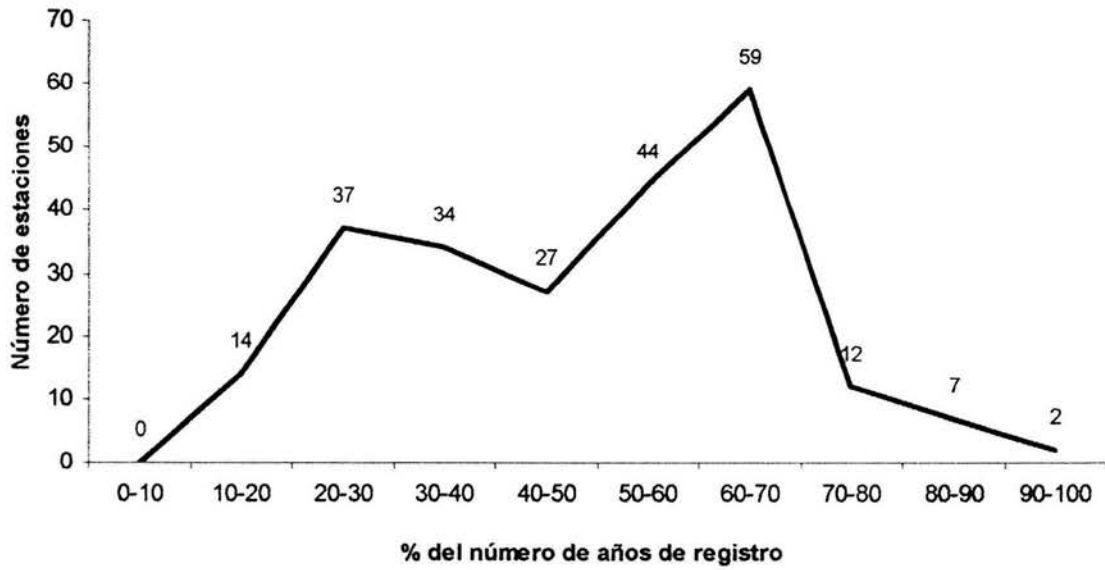
Los resultados mostrados en el subcapítulo 5.1 se obtuvieron del análisis de la información pluviométrica y los del subcapítulo 5.2 de la información pluviográfica. Cabe aclarar que en ambos subcapítulos se muestra la distribución espacial de la lluvia media anual sobre el Distrito Federal, sin embargo las series de tiempo utilizadas en la realización de las isoyetas corresponden a periodos de tiempo distintos.

4.1 Análisis de la lluvia en la Cuenca del Valle de México

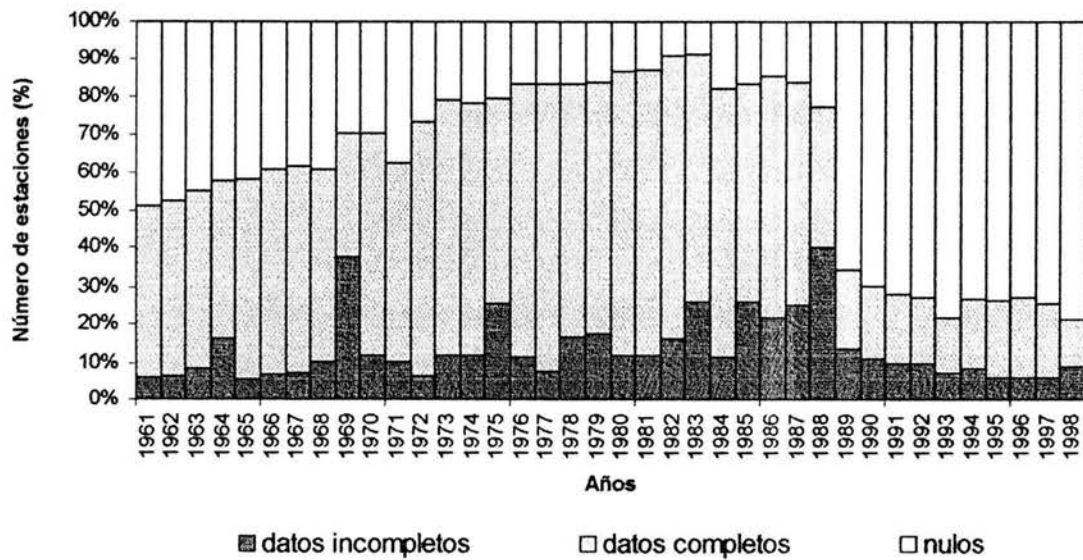
4.1.1 Contenido de información

El número máximo de estaciones en el periodo de 38 años, de 1961 a 1998, es de 236 estaciones, de las cuales, sólo algunas poseen un registro completo. En la gráfica 5.1 se muestra la distribución del número de estaciones por el porcentaje de registro completo en el periodo considerado. Así, se observa que 14 estaciones tienen entre 4 y 8 años, es decir, entre el 10% y el 20%; 37 estaciones cuentan con un registro de entre 8 y 11 años, 34 estaciones entre 11 y 15 años; 27 estaciones entre 15 y 19 años; 44 estaciones entre 19 y 23 años; 59 estaciones entre 23 y 27 años; 12 estaciones entre 27 y 30 años; 7 estaciones entre 30 y 34 años; y 2 estaciones entre 34 y 38 años.

En la gráfica 4.2 se muestra la relación entre el porcentaje del número de estaciones con registro completo e incompleto por cada año. Es notable la disminución en el número de estaciones a partir de 1989. De 1961 a 1982 la tendencia al incremento de la capacidad de medición fue creciente y lo deseable sería que se mantuviera en valores cercanos al máximo, como ocurrió entre mediados de los setenta y finales de los ochenta. Las consecuencias de esta política de disminución de capacidad de monitoreo se deben cuantificar desde la óptica del manejo sustentable de la cuenca.

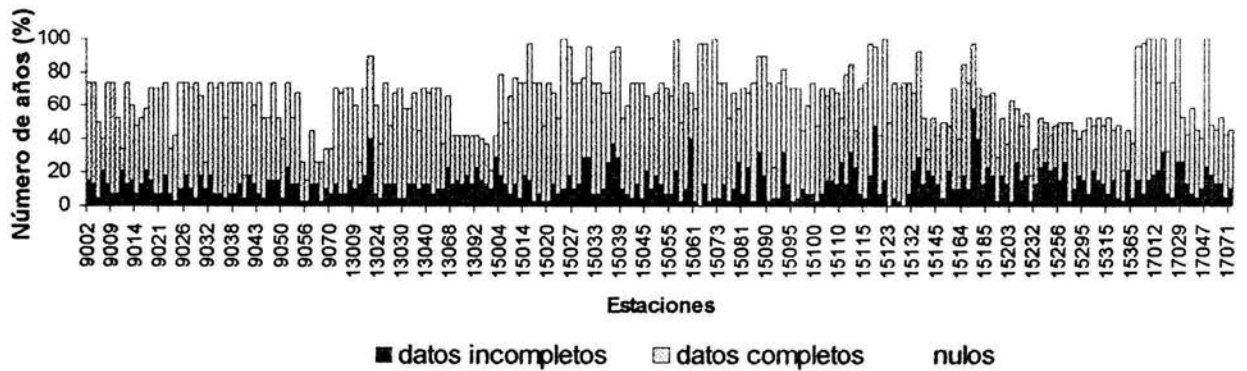


Gráfica 4.1. Contenido de información para la lluvia en la cuenca del Valle de México.



Gráfica 4.2. Porcentaje del número de estaciones con registros completos e incompletos por año.

En la gráfica 4.3 se presenta el porcentaje de número de años por cada estación. Se puede apreciar que la calidad de los registros por estación es bastante heterogénea; por ejemplo, las estaciones con los registros más completos se encuentran en el estado de México, mientras que en esta misma entidad se encuentra el registro más pobre.



Gráfica 4.3. Porcentaje del registro completo-incompleto en función del número de años por estación de medición.

Para mostrar la evolución del sistema de monitoreo de la lluvia en la cuenca, se procedió a representar en un mapa las zonas con registros completos, y las zonas con registros incompletos o nulos. En la figura 4.1 se muestra una condición media del contenido de información pluvial, correspondiente al año 1966, representativo del periodo 1961 – 1972. En la figura 4.2 se muestra la condición de máximo contenido de información, correspondiente al año 1977 y que es representativo del periodo 1973 a 1988. En la figura 4.3 se muestra la condición mínima, correspondiente al año de 1996, representando al periodo 1989 – 1998. En todos los casos se puede apreciar que en las zonas alrededor del parteaguas se carece de información pluvial, siendo necesario instalar nuevas estaciones de apoyo que fortalezcan a la red existente. A partir de 1989 son pocas las estaciones dentro de la cuenca que cuentan con información.

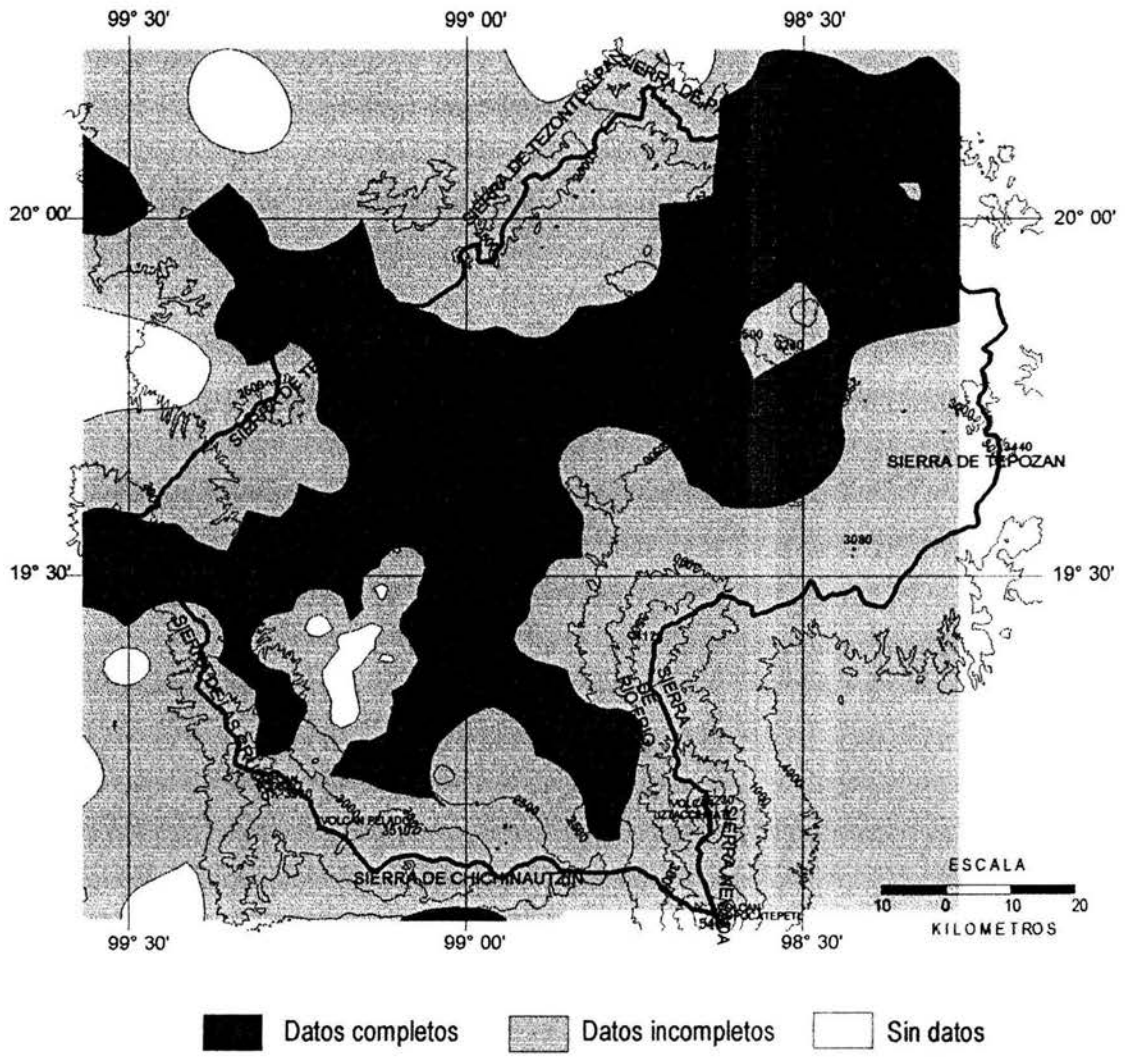


Figura 4.2. Contenido de información en el año de 1977

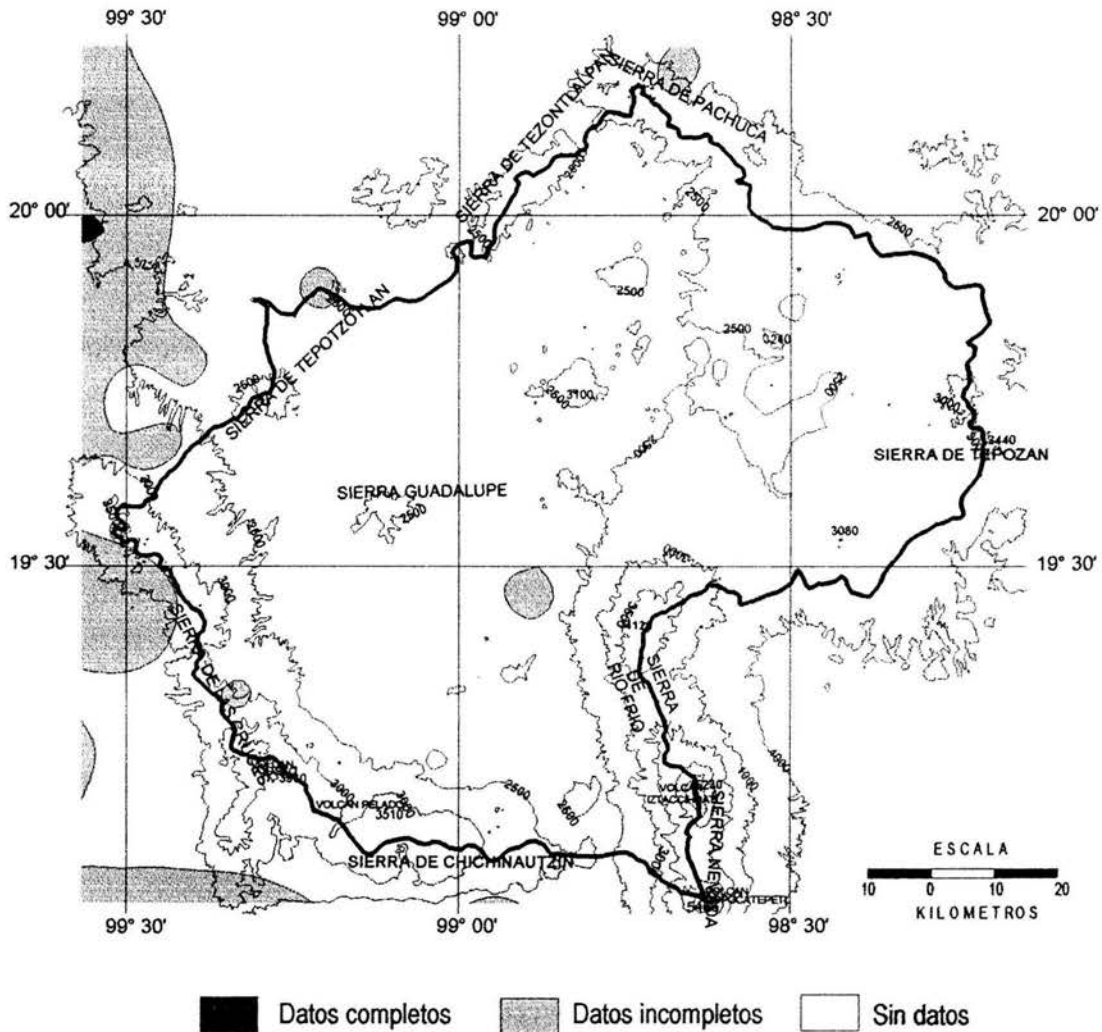


Figura 4.3. Contenido de información en el año de 1996

4.1.2 Regionalización

Los resultados de aplicar la ecuación (3.1) se muestran en las figuras 4.4, 4.5 y 4.6. Cabe señalar que para el caso de las configuraciones de los coeficientes de determinación de segundo, $(R_2)^2$ y tercer orden, $(R_3)^2$, los valores fueron pequeños, de modo que sólo se analizó el periodo con el máximo contenido de información, es decir, 1970 a 1989. Las configuraciones se muestran en las figuras 4.7 y 4.8, y corresponden a $(R_2)^2$ y $(R_3)^2$, respectivamente.

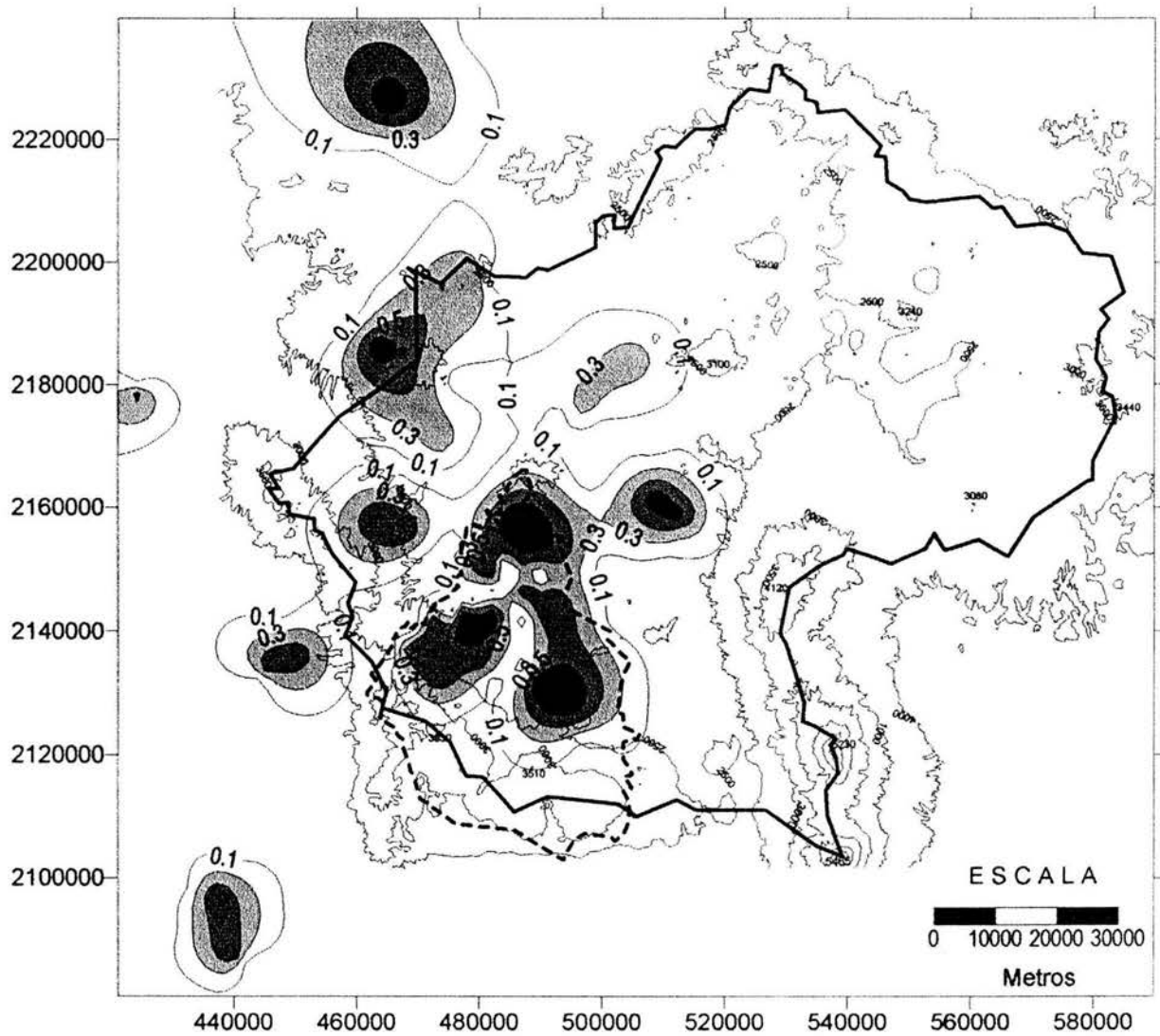


Figura 4.4. Valores de coeficiente de determinación de primer orden para periodos comprendidos entre 1960 y 1969

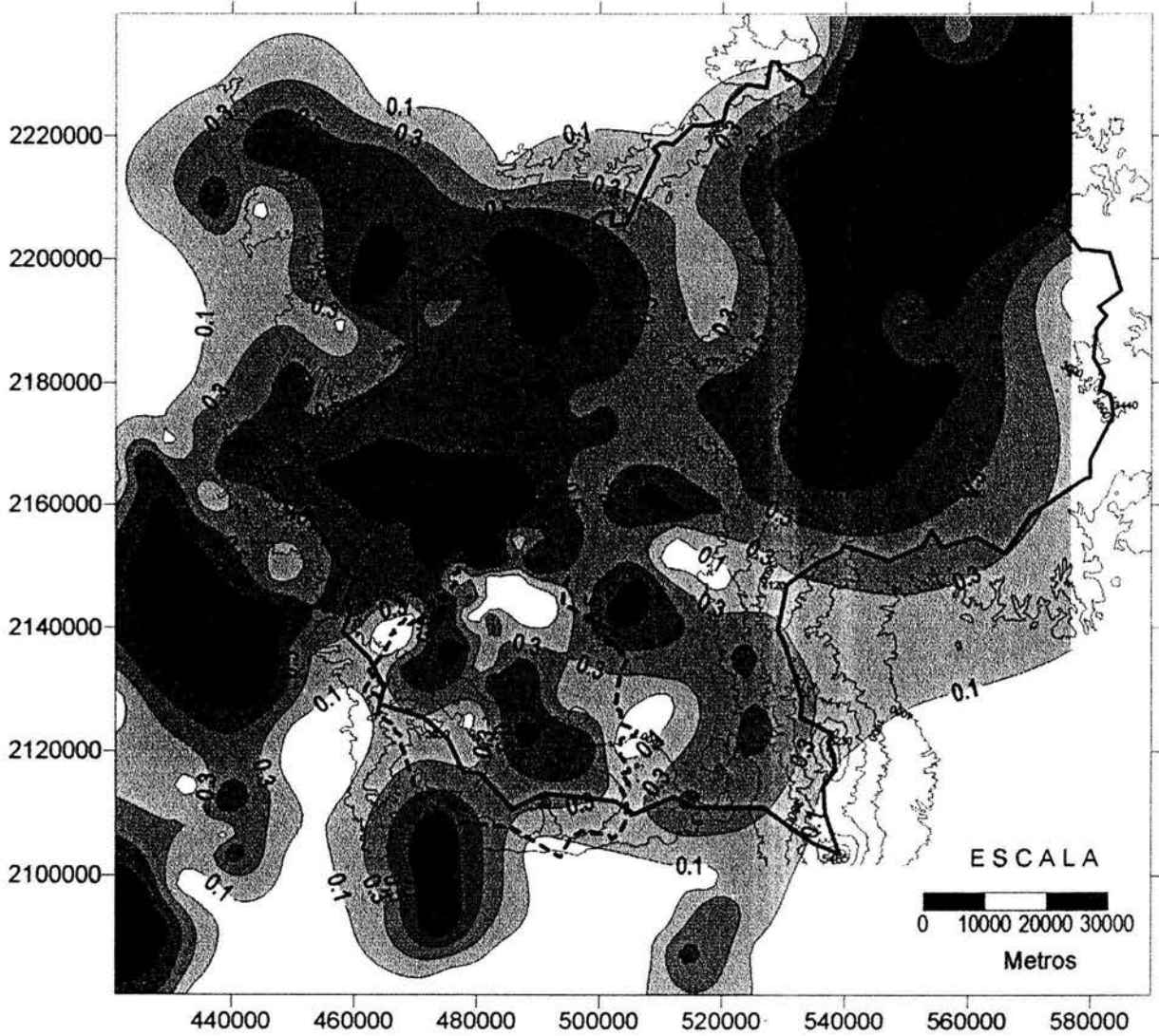


Figura 4.5. Valores de coeficiente de determinación de primer orden para periodos comprendidos entre 1970 y 1989

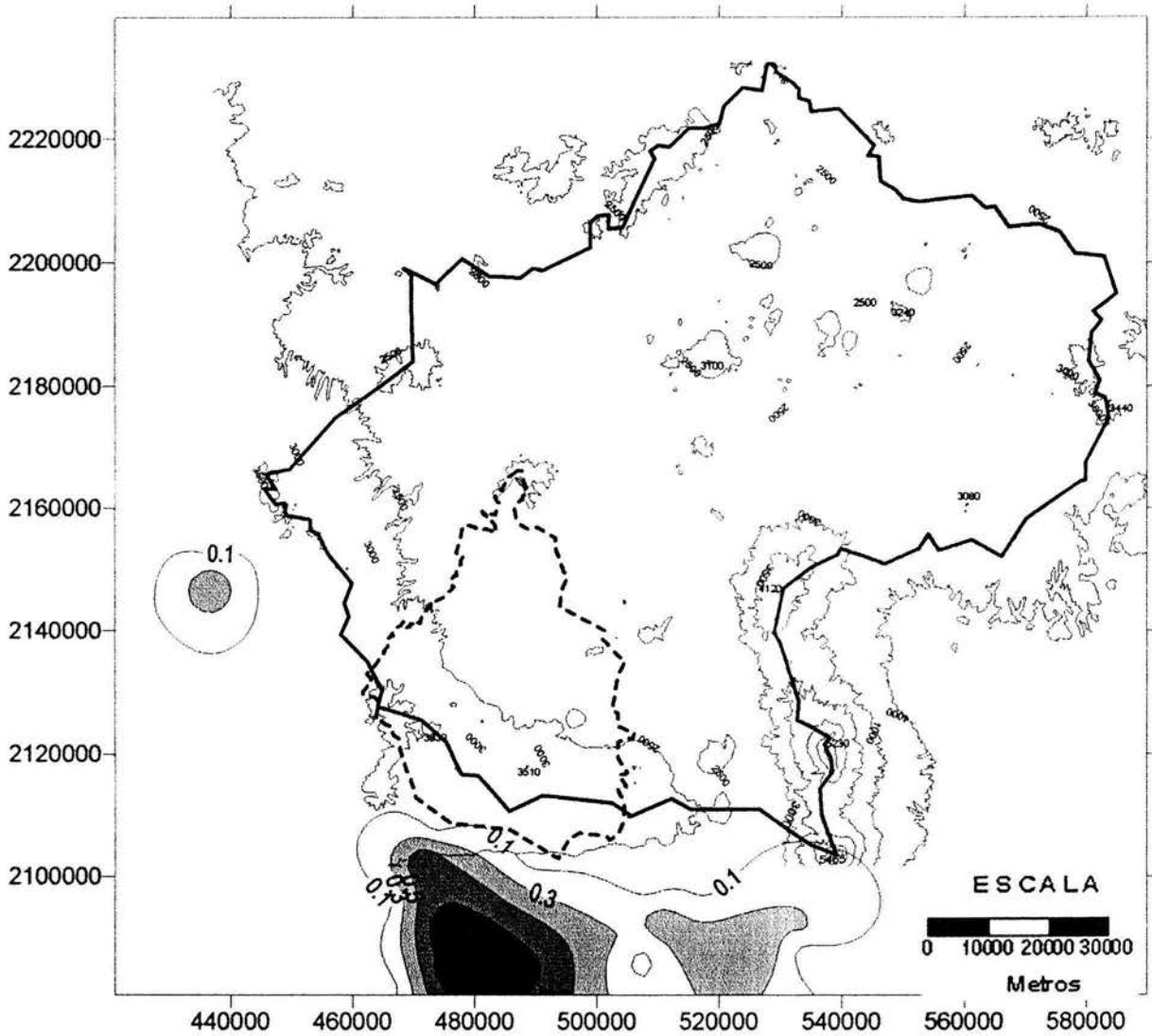


Figura 4.6. Valores de coeficiente de determinación de primer orden para periodos comprendidos entre 1990 y 1999

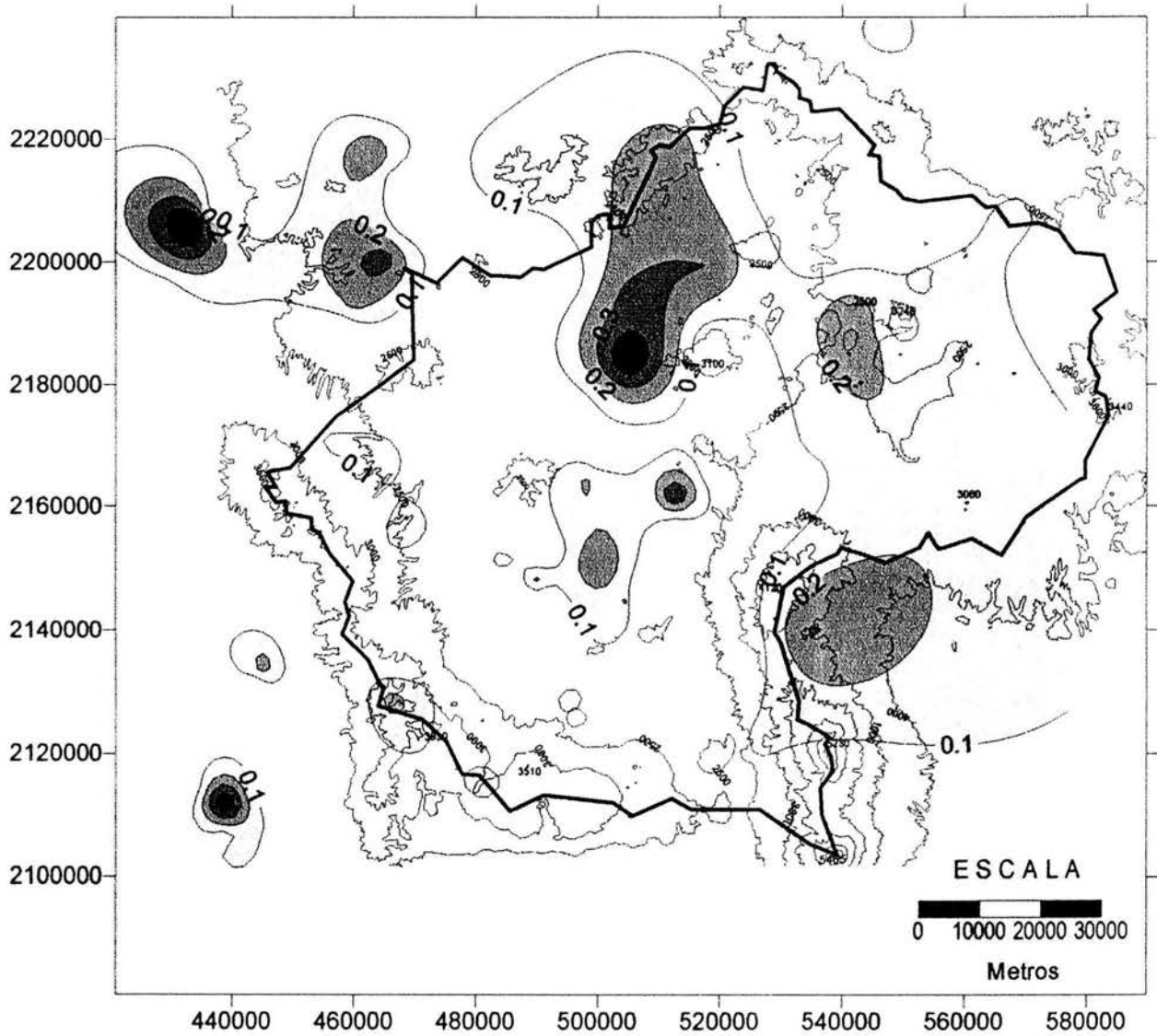


Figura 4.7. Valores de coeficiente de determinación de segundo orden para periodos comprendidos entre 1979 y 1989

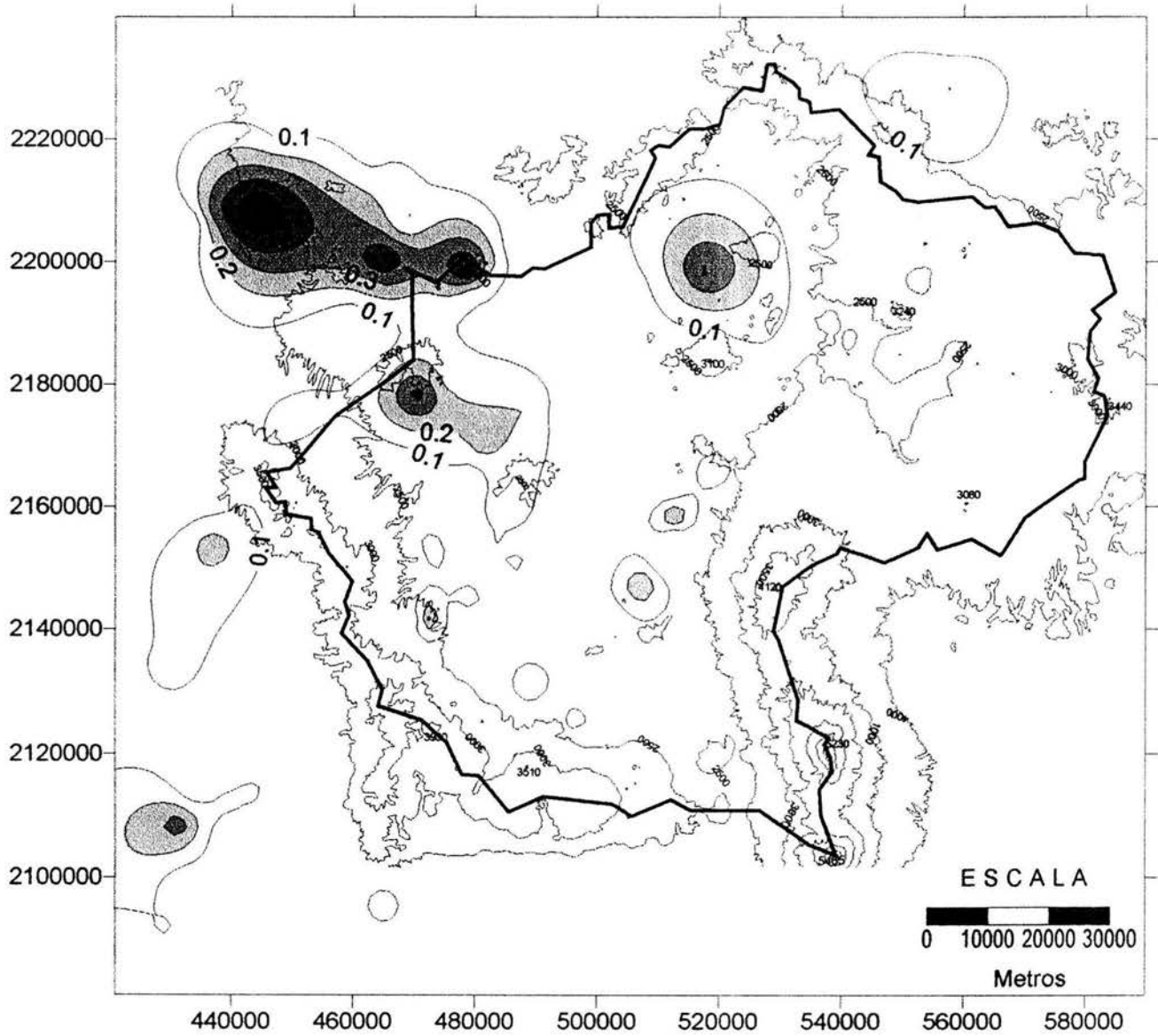


Figura 4.8. Valores de coeficiente de determinación de tercer orden para periodos comprendidos entre 1979 y 1989

En la figura 4.4, correspondiente al intervalo 1960 y 1969, se observa que los valores mayores de coeficiente de determinación se encuentran al oeste y suroeste de la cuenca. Del total de estaciones, sólo 62, es decir el 26%, tienen por lo menos un periodo en común con más de cinco años de registros continuos con alguna de sus cinco estaciones más cercanas y solo 7 tienen valores de coeficiente de determinación de primer orden mayores a 0.7. En el resto de la cuenca no existen periodos comunes entre estaciones aledañas.

Entre 1970 y 1989, periodo en el que se tiene el máximo contenido de información, aproximadamente el 64% de las estaciones tiene al menos un periodo de más de cinco años de registros en común; el 30% de las estaciones tiene valores superiores del coeficiente de determinación mayores a 0.7.

A finales de los ochenta la cantidad de estaciones comenzó a decrecer, lo cual se ve reflejado en un menor número de estaciones y al mismo tiempo una disminución de los periodos comunes entre 1990 y 1998. Como se puede apreciar en la figura 4.6, ninguna estación dentro de la cuenca posee periodo común.

Las estaciones mejor correlacionadas están ubicadas en zonas de pendiente media y baja, que es donde se encuentra la mayor densidad de la capacidad de medición. En las partes altas de las sierras de Chichinautzin y Las Cruces las pocas estaciones existentes no están correlacionadas.

Para los casos de los coeficientes de segundo y tercer orden en su gran mayoría son valores bajos como se puede apreciar en las figuras 4.7 y 4.8.

En las sierras de Chichinautzin y Las Cruces, por su importante aportación a los sistemas hidrológicos superficial y subterráneo, es de vital importancia cuantificar de manera confiable la precipitación que ahí se presenta; sin embargo en esta zona el contenido de información es bajo, por lo que la deducción de datos faltantes a partir de estaciones cercanas no es un camino viable debido a la baja correlación de las mismas. Es conveniente instalar estaciones pluviográficas en las partes altas de ambas sierras.

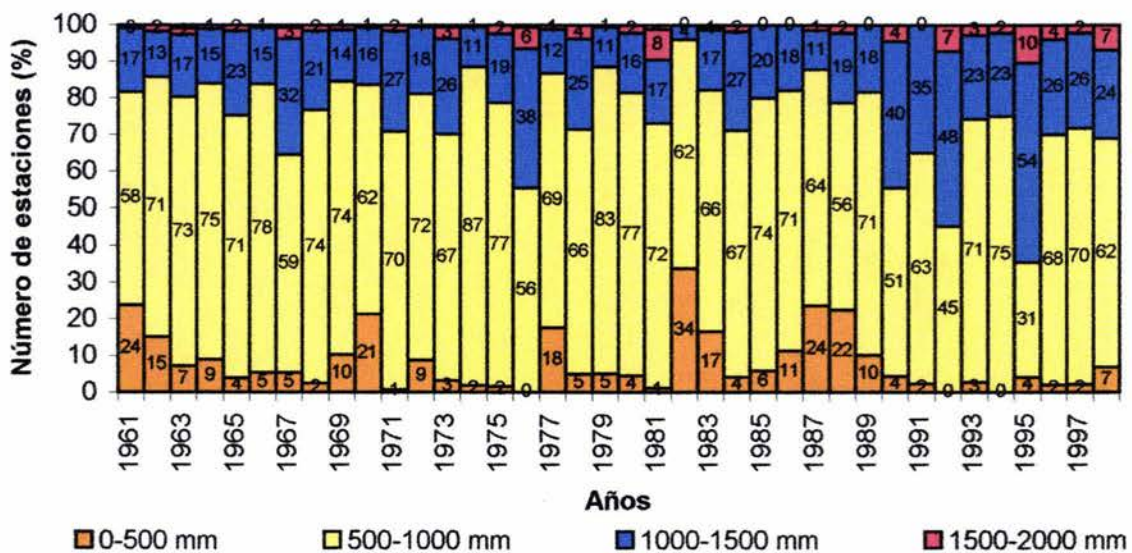
4.1.3 Análisis de la variación espacial y temporal de la lluvia

Precipitación acumulada anual

De acuerdo con la gráfica 4.4, en la cuenca predominan los valores anuales de precipitación acumulada de entre 500 mm y 1000 mm. Se aprecian tres periodos de años secos: de 1961 a 1964, de 1969 a 1974 y de 1982 a 1989; esta situación de valores bajos es notoria en las estaciones que pertenecen al estado de Hidalgo en donde persisten valores menores a 500 mm.

Entre 1973 y 1981 se aprecia un periodo lluvioso, destacándose los años 1976 y 1981; en donde por lo menos en 30% de las estaciones se presentaron valores mayores a 1000 mm. Aparentemente el periodo comprendido entre 1990 y 1998 es lluvioso, sin embargo al analizar la figura 4.9, es claro que existe una disminución notable en el número de estaciones, y una predominancia de valores por arriba de los 1000 mm en estaciones ubicadas fuera de la cuenca (figura 4.10) en los estados de México y Morelos; por lo tanto la información correspondiente a dicho periodo no es suficiente para determinar el comportamiento de la lluvia en el Distrito Federal y en la región de los estados de Hidalgo y México que abarca la cuenca.

La figura 4.11 contiene la configuración de la precipitación media anual acumulada en la Cuenca del Valle de México, del periodo comprendido entre 1961-1989.



Gráfica 4.4. Distribución temporal de la lluvia media anual acumulada, en la Cuenca del Valle de México

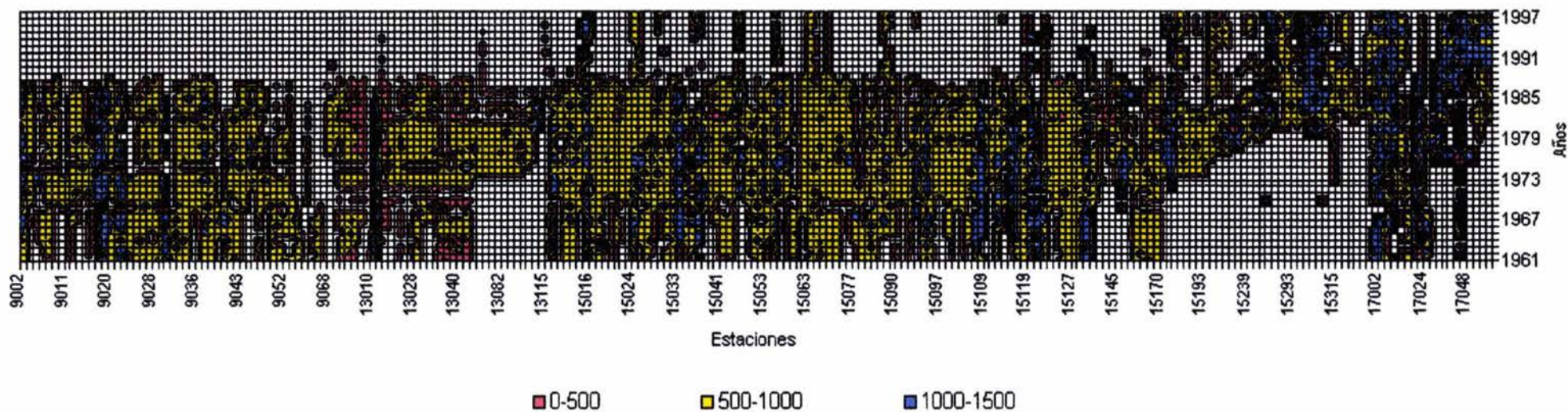


Figura 4.9. Distribución espacial y temporal de la lluvia en mm, en la Cuenca del Valle de México

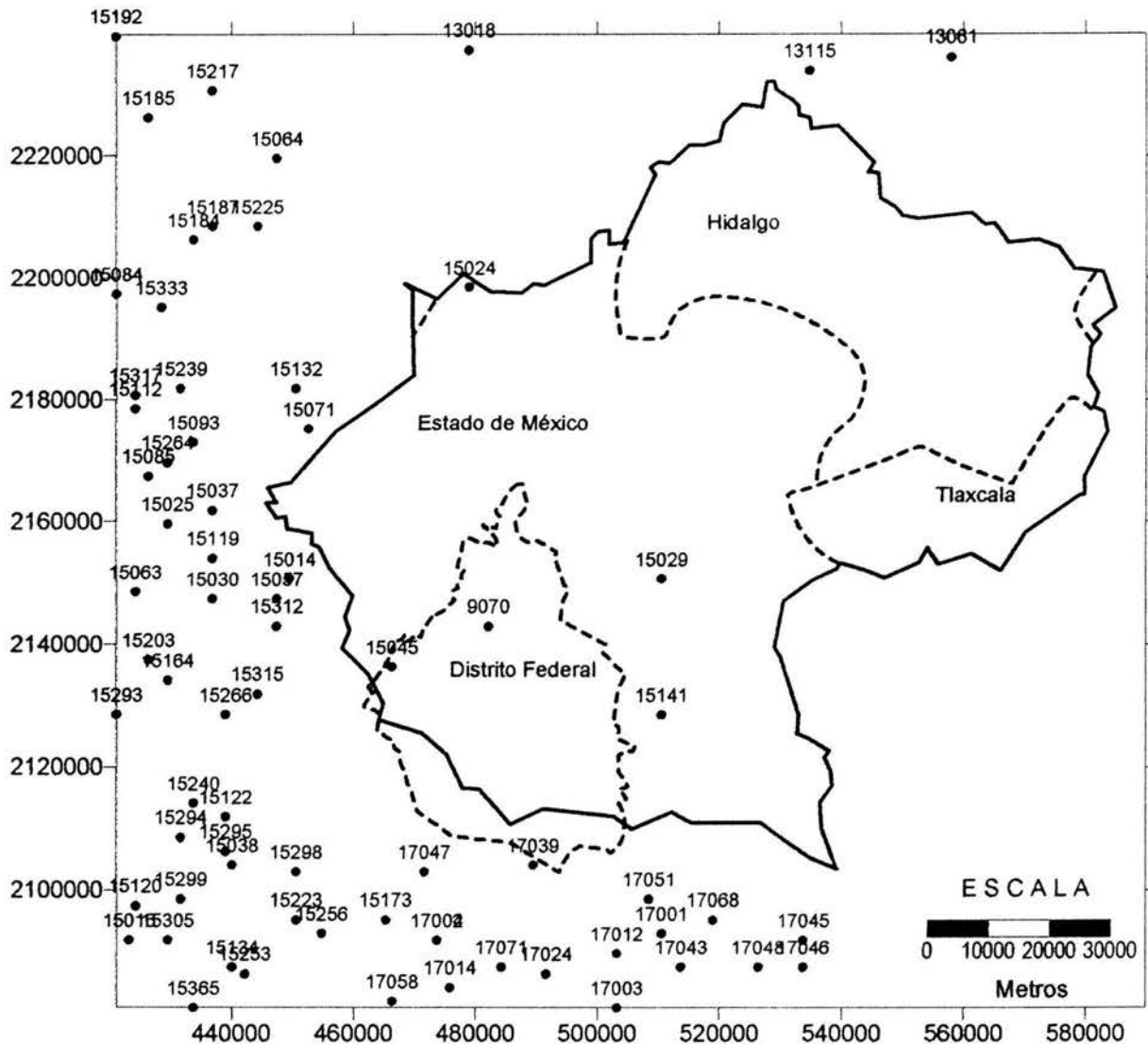


Figura 4.10. Ubicación de las estaciones que tienen registros de lluvia en el periodo comprendido entre 1989 y 1998

La lluvia media anual acumulada en la cuenca, obtenida por el método de isoyetas es de 730 mm. Los valores más bajos se presentan al norte de la cuenca en donde la media anual no rebasa los 500 mm. En las estribaciones de la Sierra de Pachuca se alcanzan valores máximos de 1300 mm. En las zonas más bajas de la cuenca se tienen valores menores a 700 mm. En las partes altas de la Sierra Nevada los valores están comprendidos entre 900 y 1100 mm. Los valores más altos de precipitación en la cuenca, se presentan en las Sierras de Las cruces y Chichinautzin en donde los valores están entre 1000 y 1500 mm.

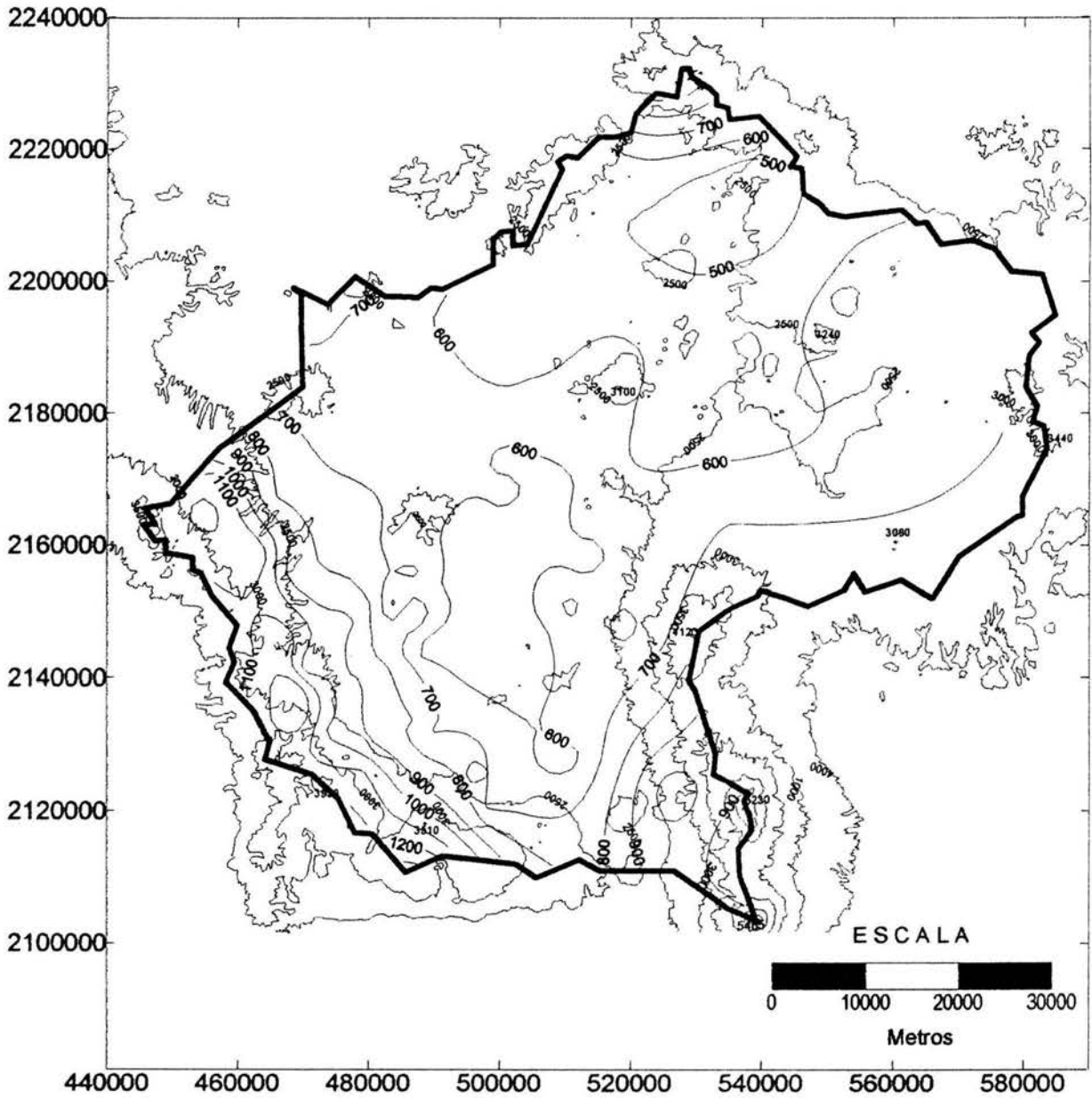


Figura 4.11. Distribución de la precipitación media anual acumulada, en mm
(1961-1998)

Precipitación acumulada mensual

Las observaciones del análisis estadístico de las series mensuales se describen a continuación:

Enero

El 94 % de los datos correspondientes al mes de enero del periodo de 1961 a 1998, son valores menores a 50 mm. Los años en los cuales se presentaron los valores más altos son 1967, 1980 y 1992 en los que se alcanzaron valores mayores a 100 mm en estaciones del centro y sur de la cuenca.

Febrero

Para febrero el 98 % de los datos corresponden a valores menores a 50 mm. Los valores máximos se presentaron en 1979, 1983 y 1993, y estuvieron entre 100 y 133 mm.

Marzo

En marzo predominan valores menores a 50 mm. Los años en los cuales se presentaron valores de precipitación mayores a 50 mm son: 1966, 1978, 1988 en al menos 15% de las estaciones; en 1966 aproximadamente el 60% de las estaciones se presentaron valores superiores a 50 mm. En 1960, 1966, 1976, 1978 y 1988 en algunas estaciones se alcanzaron valores mayores a 100 mm.

Abril

Para este mes aproximadamente el 80% de los valores son menores a 50 mm. En 1962, 1968, 1981 y 1985 como mínimo 50% de las estaciones presentaron valores entre 50 y 100 mm; las estaciones del norte de la cuenca tienen valores mayores a 50 mm en un mayor número de años. Los valores máximos se presentaron en 1962, 1987 y 1994, y corresponden a valores entre 200 y 252 mm.

Mayo

En mayo la magnitud de los valores de precipitación se ha incrementado notablemente; el 41% de los datos tienen valores entre 0 y 50 mm, mientras que el 59% tienen valores entre 50 y 323 mm; de estos 42% están comprendidos entre 50 y 100 mm. Los años en los que se han alcanzado valores superiores a 100 mm en más del 40% de estaciones son: 1964, 1972, 1975, 1982, 1992 y 1995.

Junio

El 62% de los datos son mayores a 100 mm; el 22% de estos valores están entre 200 y 400 mm. Los años en los que se alcanzaron valores entre 200 y 400 mm en por lo menos el 50% de las estaciones son: 1961, 1968, de 1985 a 1986, 1991 y de 1993 a 1995. Los valores máximos que se presentaron en algunas estaciones de la cuenca son de alrededor de 600 mm.

En este mes se aprecia una notoria persistencia de valores mayores a 200 mm, en las estaciones ubicadas en el centro y sur de la cuenca, particularmente en las estaciones que se encuentran en las estribaciones y en las partes altas de las Sierras de Chichinautzin y Las Cruces. En las estaciones del norte de la cuenca predominan valores de precipitación menores a 100 mm. En 1976, 1979 y 1983 en casi el 70% de las estaciones de la cuenca se presentaron valores menores a 100 mm.

Julio

En el mes de julio están claramente definidas las zonas de mayor y menor precipitación, así como los periodos de años secos y lluviosos. La configuración de la precipitación media mensual acumulada para este mes se muestra en la figura 4.12.

Las estaciones del norte de la cuenca se caracterizan por tener los valores más bajos; los periodos de 1967 a 1970 y de 1977 a 1982 fueron los más secos, en los cuales esta zona prevalecieron valores menores a 100 mm. En las estaciones del centro se tienen principalmente valores entre 100 y 200 mm, mientras que en las estaciones del sur y suroeste los valores son superiores a 200 mm alcanzando valores por arriba de 600 mm.

Agosto

La configuración de la precipitación es muy similar a la del mes anterior, sin embargo existe un aumento de 8% en estaciones que tienen valores menores a 100 mm.

Septiembre

Para este mes se aprecian dos periodos secos: de 1981 a 1982 y de 1985 a 1987, en los cuales se presentó persistencia de valores de precipitación menores a 100 mm en más del 60% y 50% de las estaciones respectivamente.

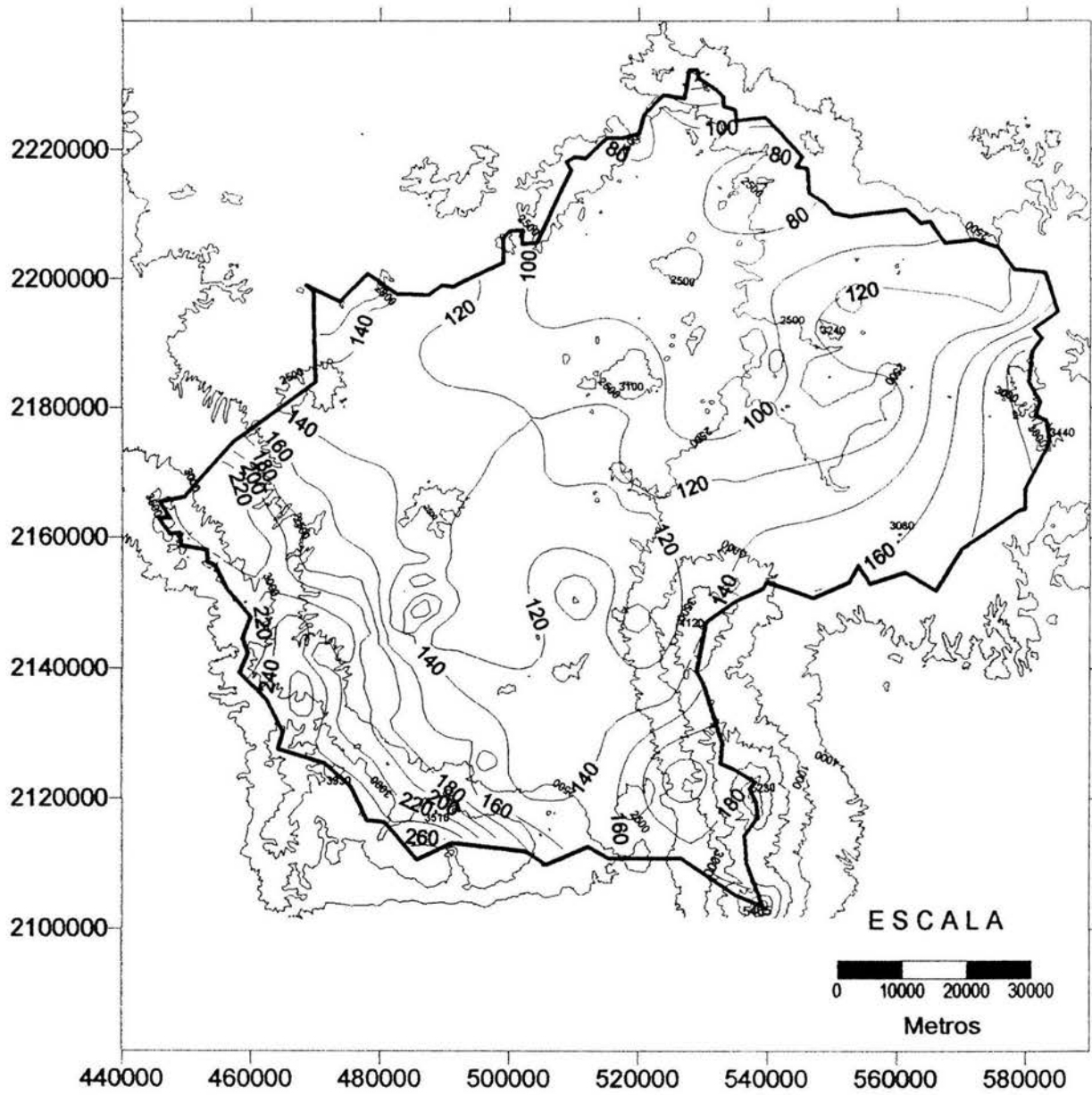


Figura 4.12. Distribución de la precipitación media mensual acumulada para el mes de julio, en mm (1961-1998)

Octubre

Los valores de precipitación del mes de octubre en magnitud descienden notablemente; en el mes anterior 36% de los datos son menores a 100 mm mientras que en octubre son 83%, aunque es notoria la persistencia de valores altos de precipitación en las estaciones del sur y suroeste de la cuenca.

Los años de 1976 y 1978 fueron los más lluviosos en los cuales al menos el 50% de las estaciones de la cuenca presentaron valores mayores a 100 mm.

Noviembre

Los datos correspondientes a noviembre tienen en su mayoría valores menores a 50 mm. En algunas estaciones, principalmente del sur y suroeste de la cuenca se tienen valores mayores a 100 mm.

Diciembre

El 98% de los datos son menores a 50 mm. Los valores más altos están entre 100 y 124 mm y representan el 0.1% de los datos.

4.2 Análisis de la lluvia en el Distrito Federal

4.2.1 Lluvia mensual

A partir de las curvas masa registradas en las 49 estaciones mostradas en la figura 3.2, se obtuvieron las láminas de la lluvia acumulada mensual, del periodo 1988-2002. La tabla 4.1 contiene las láminas, medidas en la estación No. 22, en la cual se presentan en promedio 1152.7 mm de lluvia anual, siendo este el máximo valor del Distrito Federal. De la figura 4.13 a la figura 4.24 se muestran las distribuciones de la lluvia media mensual del Distrito Federal.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1988	0.0	6.0	83.0	19.5	74.8	234.3	258.8	315.3	212.0	4.0	5.3	0.0
1989	0.0	0.0	9.0	20.8	144.8	174.5	246.5	271.8	165.0	52.5	4.0	19.5
1990	4.5	12.5	5.0	52.3	74.5	157.0	323.8	250.3	134.0	82.0	4.5	5.0
1991	21.3	1.0	0.0	20.0	84.3	279.0	167.8	213.0	159.0	197.8	14.5	2.5
1992	63.3	31.8	18.8	39.3	90.8	67.0	243.0	267.5	270.3	198.0	22.3	2.5
1993	14.8	4.5	6.3	16.0	6.3	246.8	281.8	192.0	257.8	51.5	21.8	0.0
1994	24.5	23.8	9.0	44.3	58.0	255.5	253.3	330.8	260.0	126.8	3.0	0.0
1995	0.0	10.3	15.3	8.5	111.3	200.8	311.8	243.0	260.5	65.8	60.3	55.8
1996	0.0	0.0	1.3	51.0	34.3	242.3	214.3	189.0	184.0	46.5	0.0	9.8
1997	2.8	1.8	32.8	42.0	70.5	99.3	266.0	230.8	248.0	88.0	13.0	9.0
1998	35.0	0.0	0.0	10.8	70.3	131.5	188.8	344.8	360.0	111.5	9.0	0.0
1999	0.0	0.0	22.0	26.0	30.5	109.5	256.5	425.3	119.5	139.0	5.5	3.3
2000	0.0	0.0	24.3	9.0	130.8	153.5	185.8	0.0	248.0	60.8	19.0	1.0
2001	2.5	4.8	12.3	88.5	47.5	201.5	211.5	241.8	209.8	52.5	1.8	9.8
2002	16.8	6.3	14.8	32.5	30.5	195.5	172.5	166.8	315.8	192.8	24.3	0.8

Tabla 4.1 Lámina de lluvia mensual acumulada en mm, medida en la estación 22

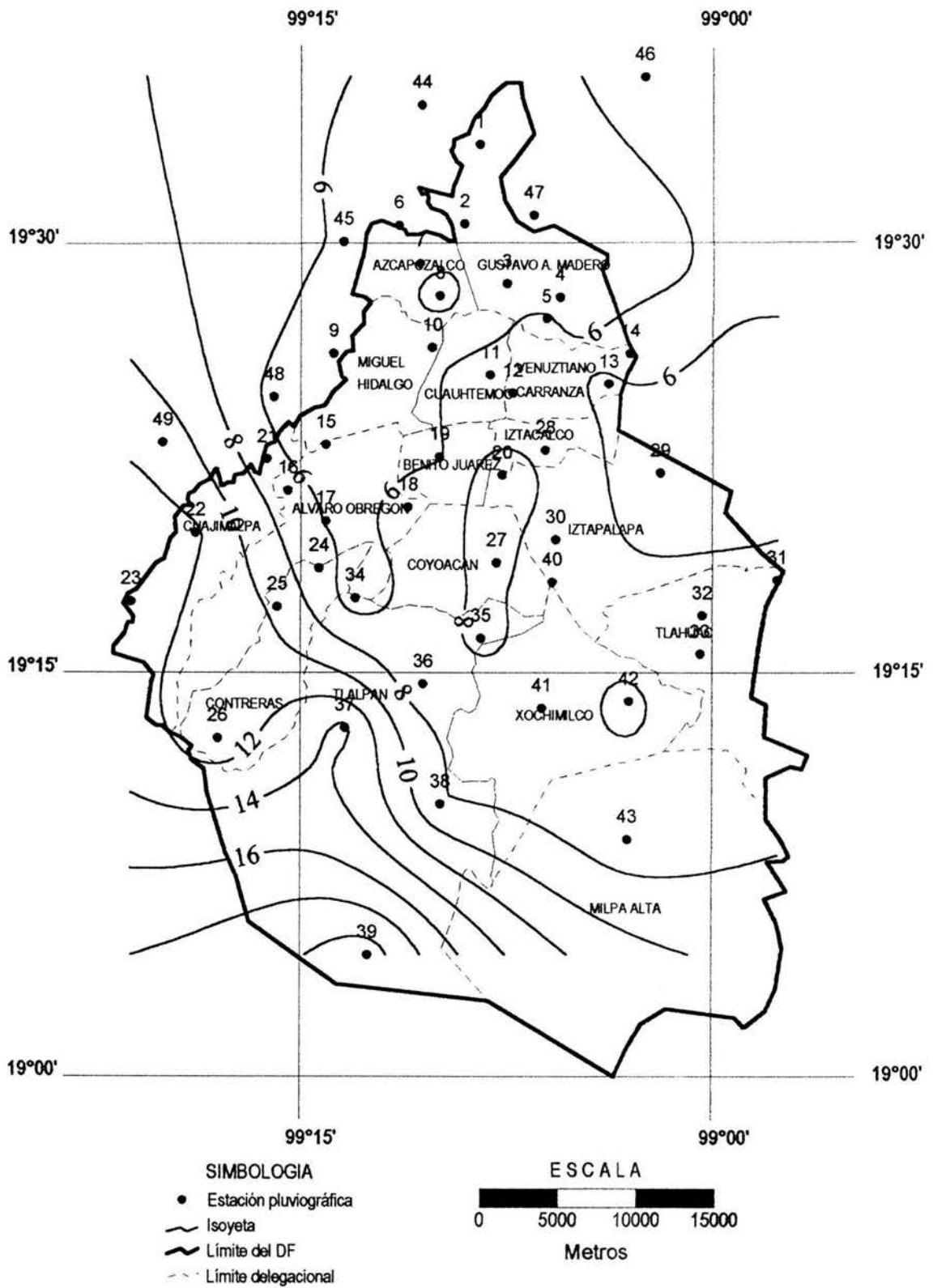


Figura 4.13. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de enero (1988-2002)

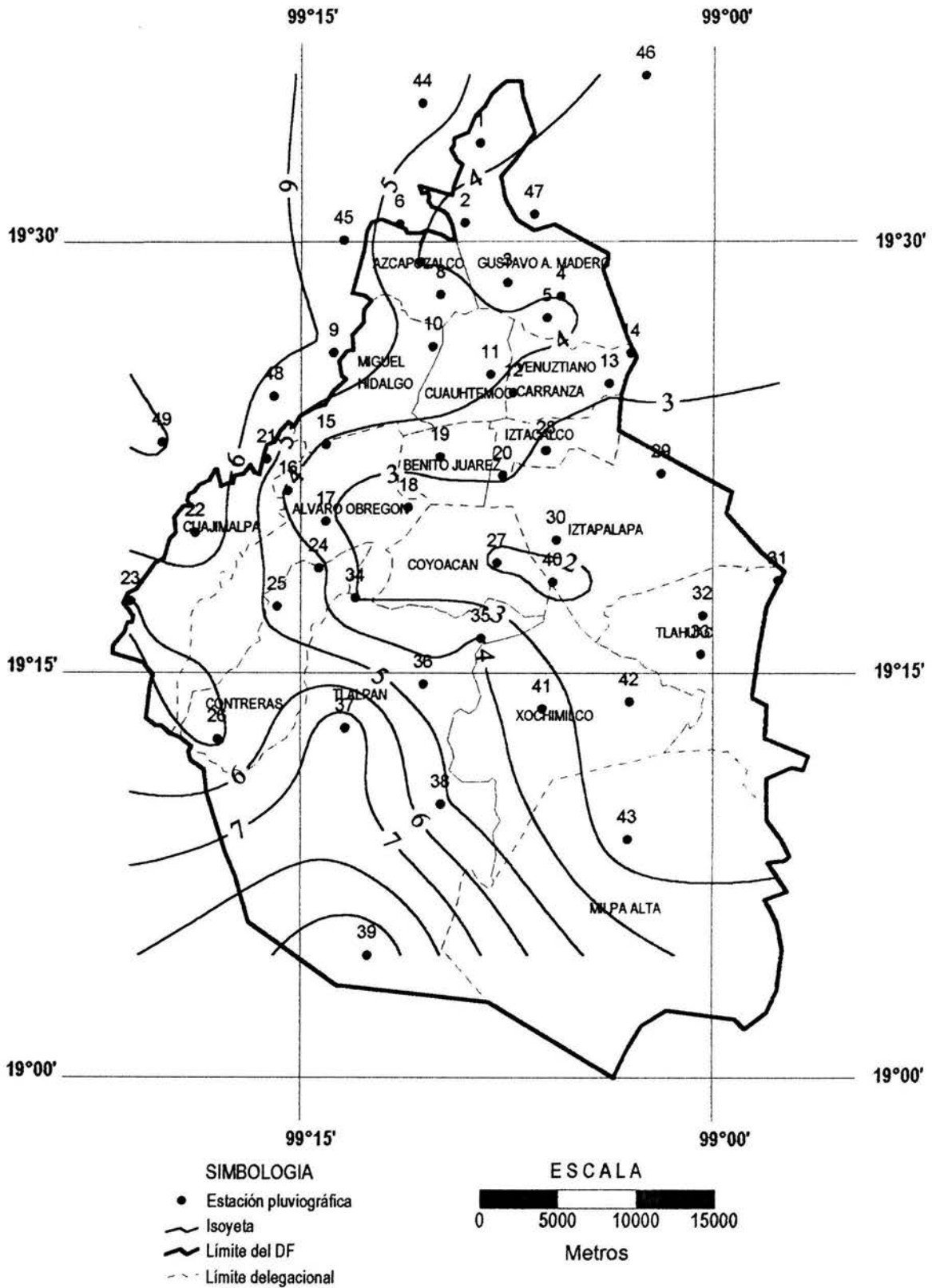


Figura 4.14. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de febrero (1988-2002)

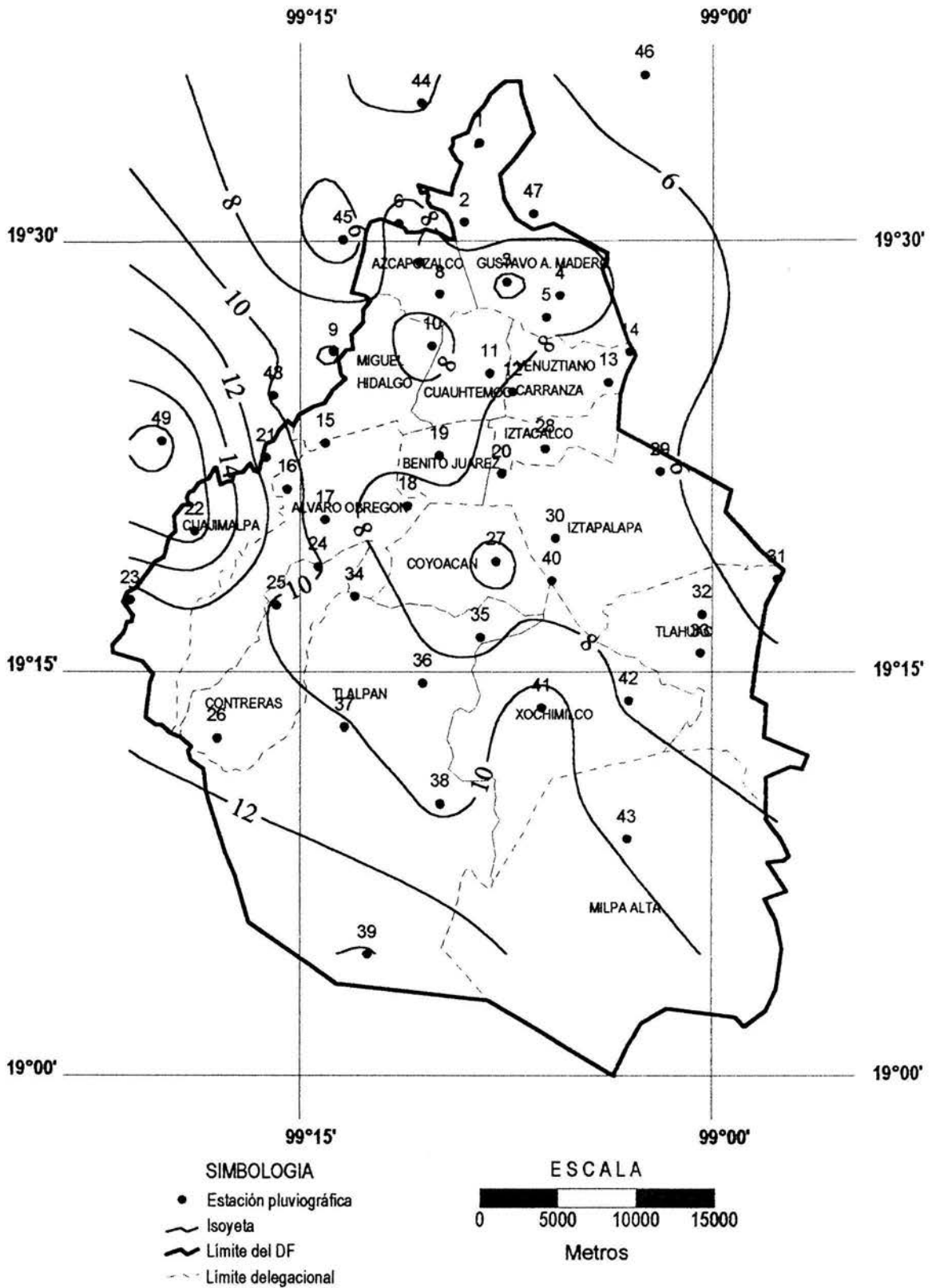


Figura 4.15. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de marzo (1988-2002)

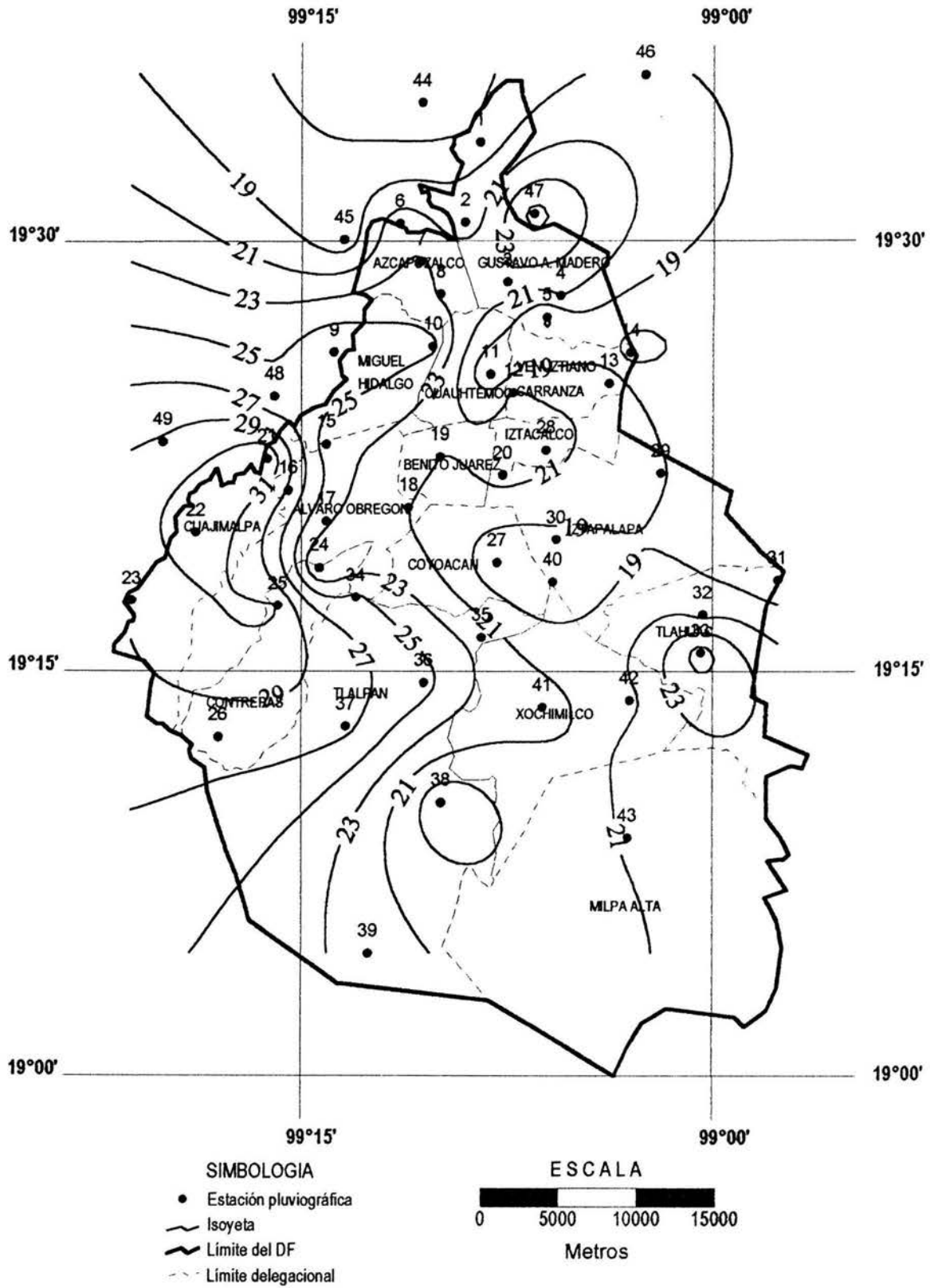


Figura 4.16. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de abril (1988-2002)

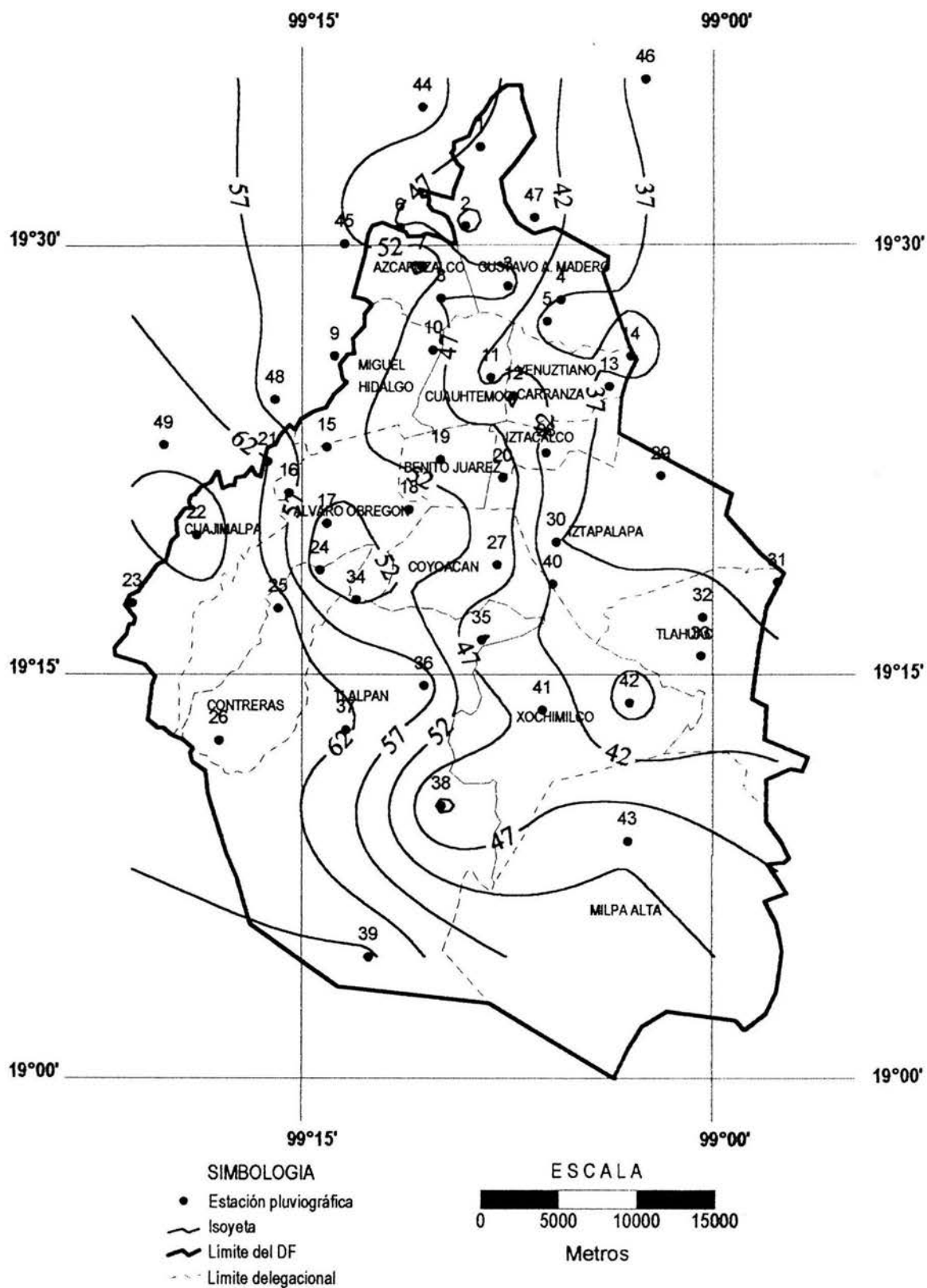


Figura 4.17. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de mayo (1988-2002)

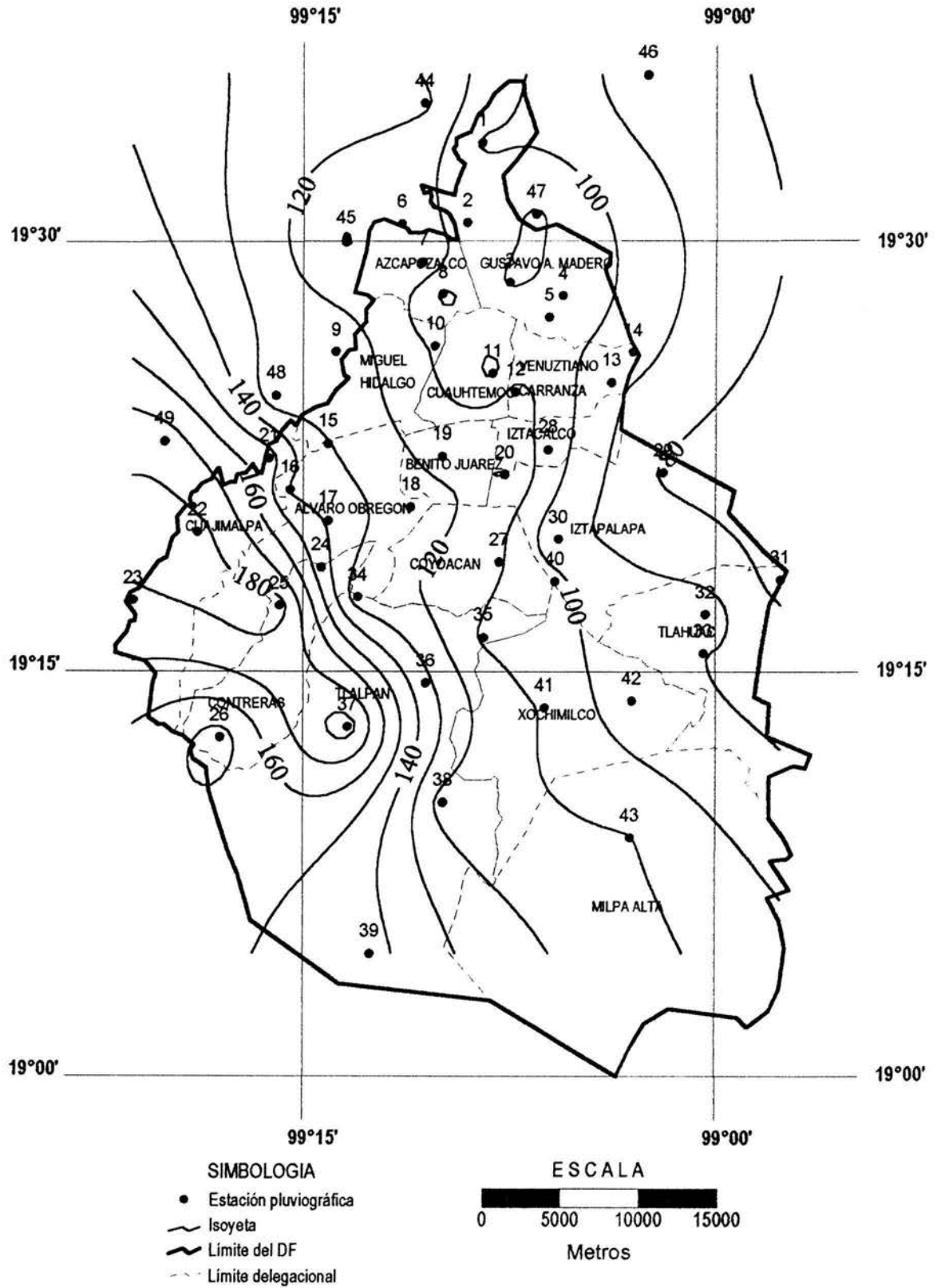


Figura 4.18. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de junio (1988-2002)

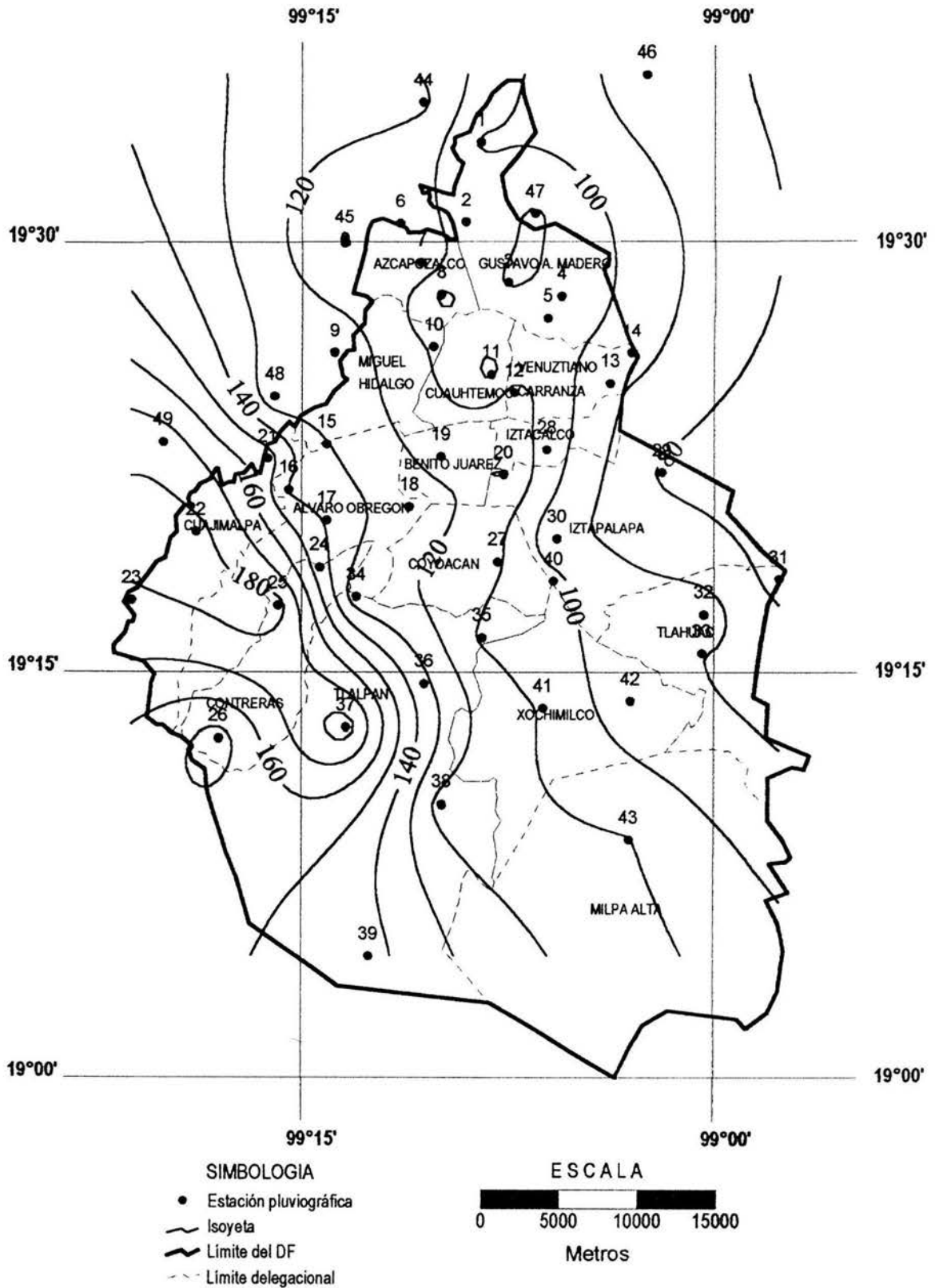


Figura 4.19. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de julio (1988-2002)

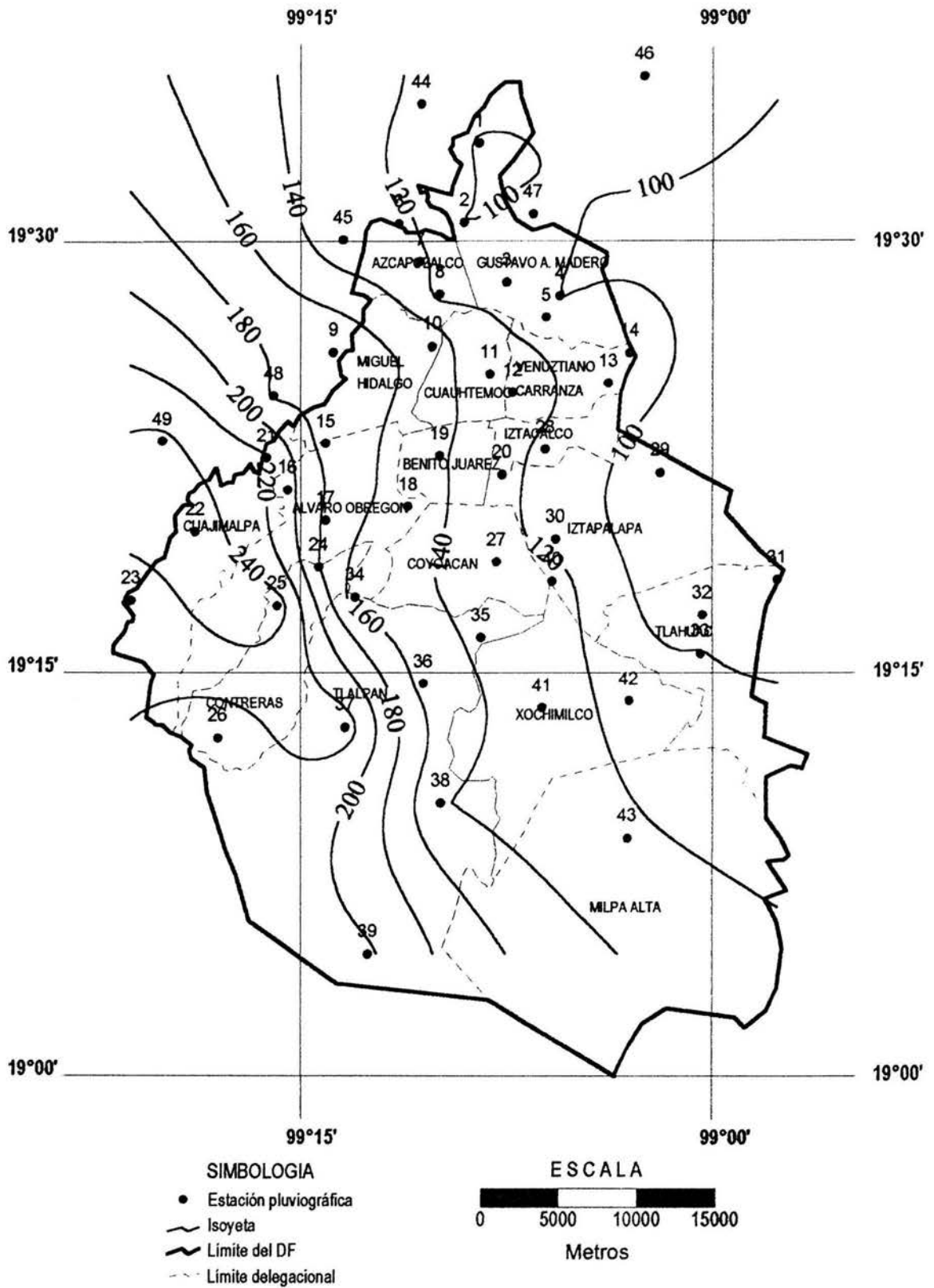


Figura 4.20. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de agosto (1988-2002)

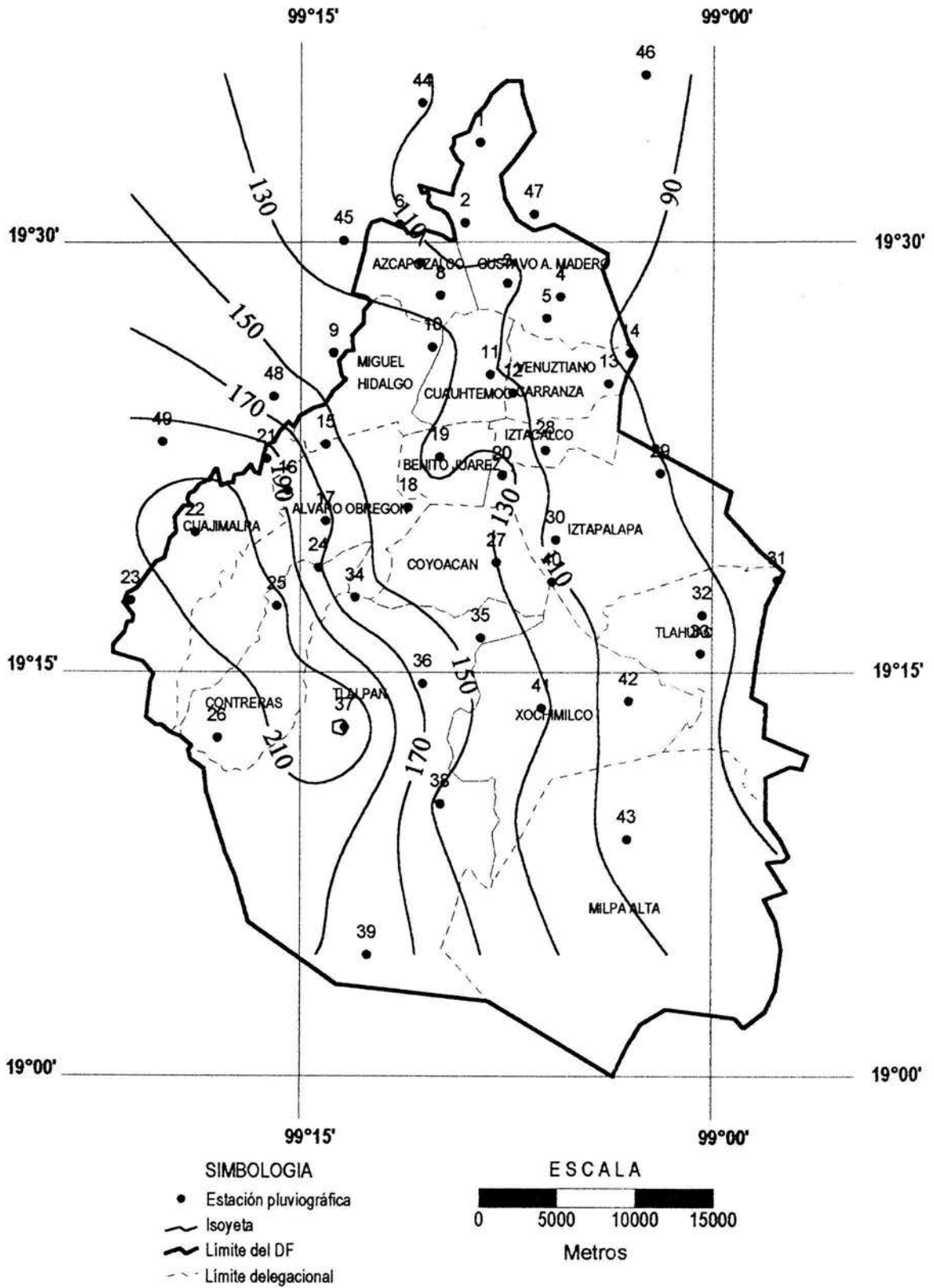


Figura 4.21. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de septiembre (1988-2002)

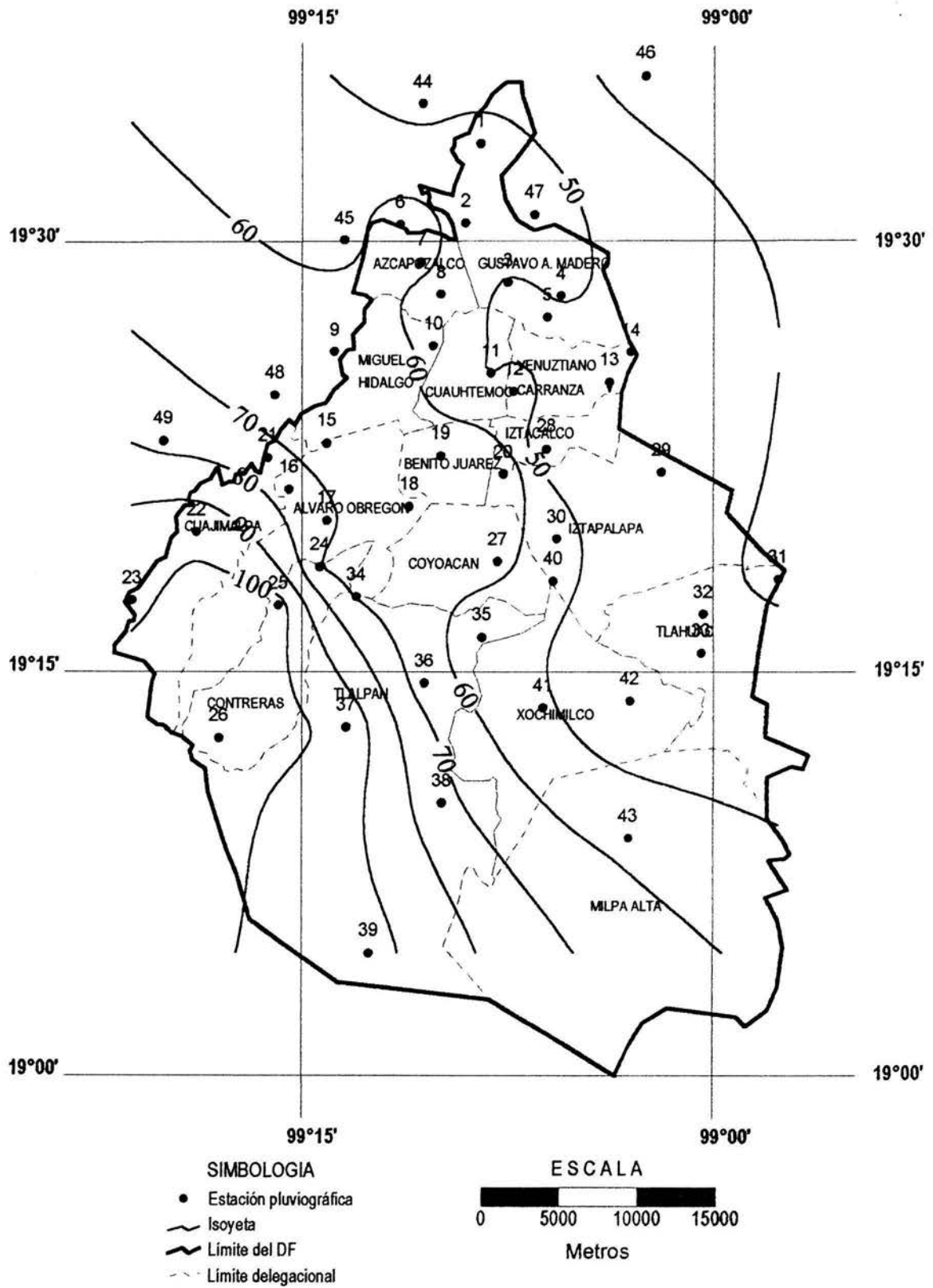


Figura 4.22. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de octubre (1988-2002)

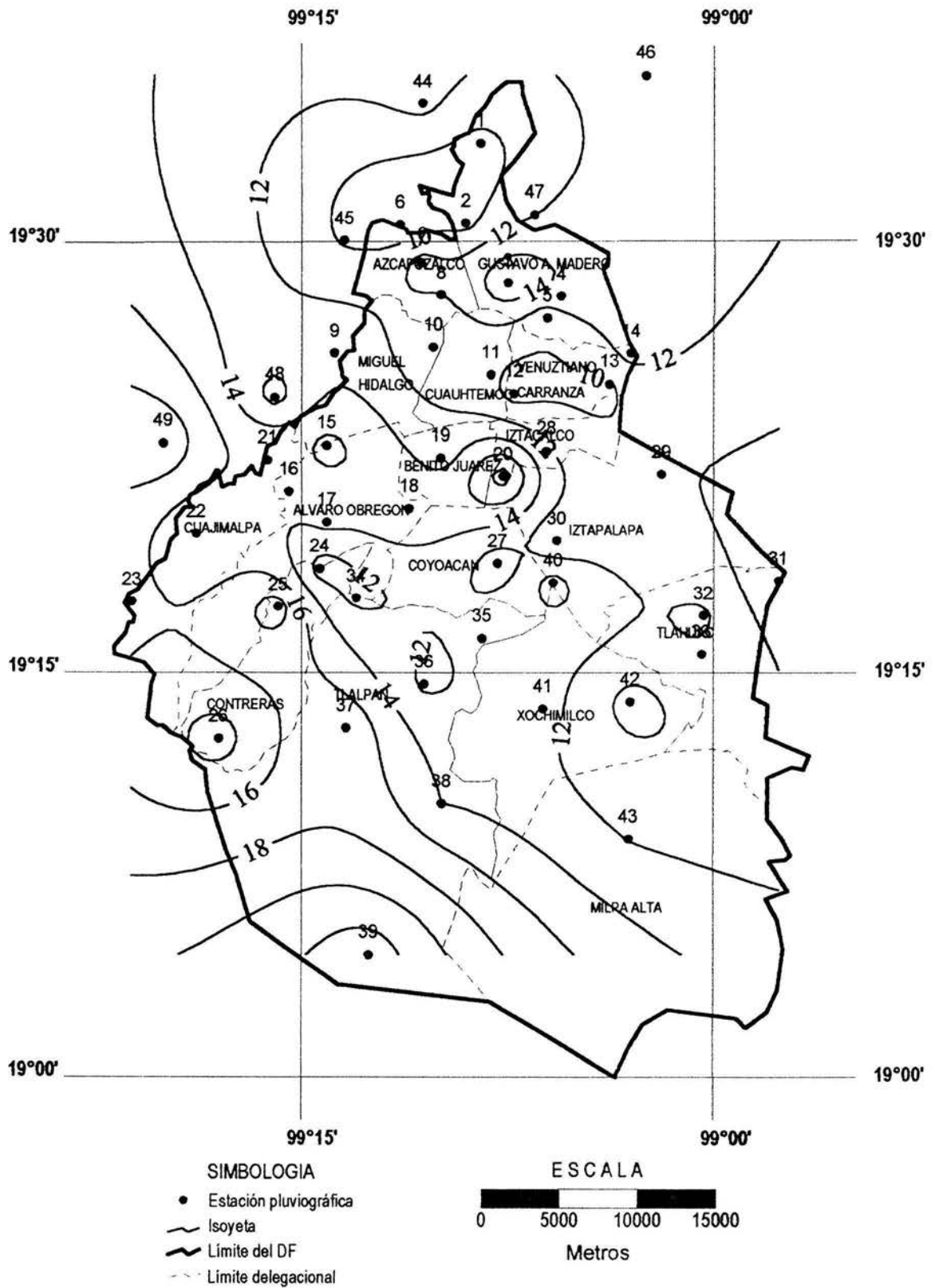


Figura 4.23. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de noviembre (1988-2002)

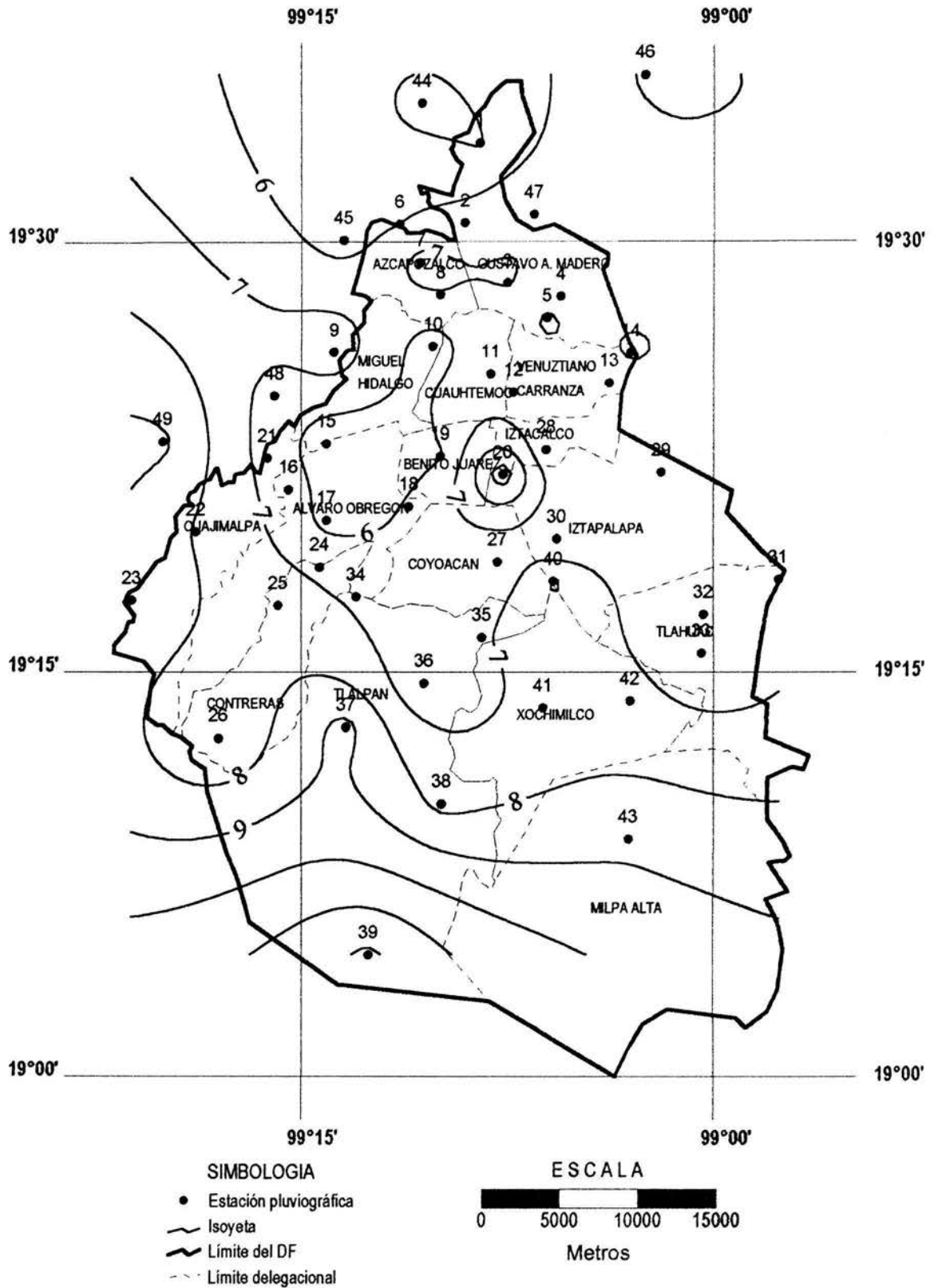


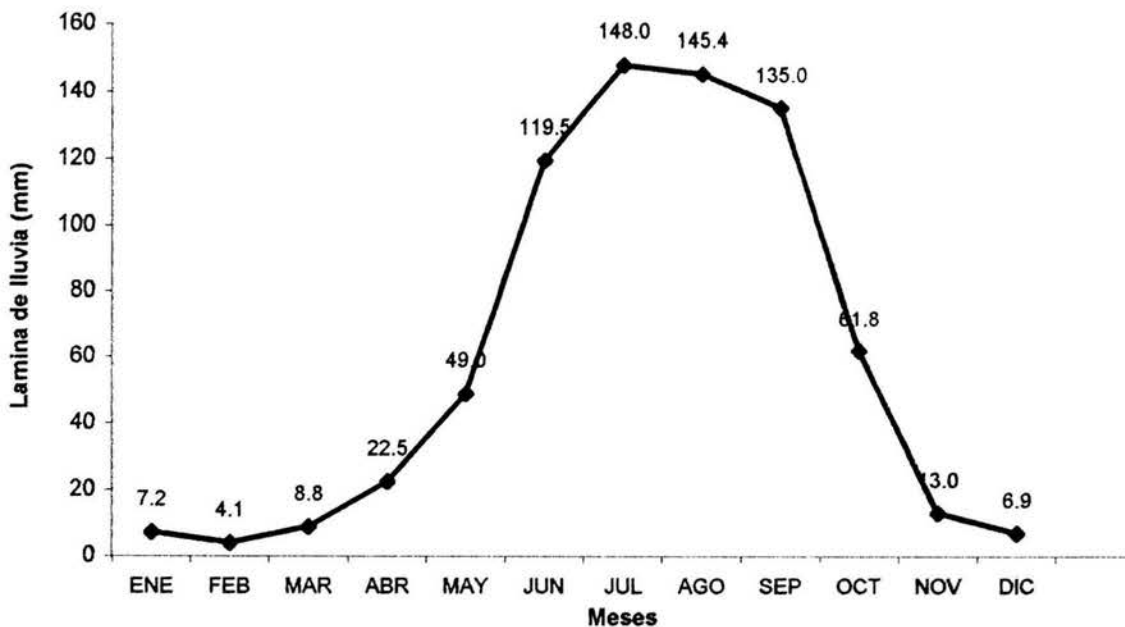
Figura 4.24. Distribución de la lluvia media en mm, del mes de diciembre (1988-2002)

Los valores más bajos de lluvia media mensual pertenecen al mes de febrero, en el cual la lluvia media en el Distrito Federal es de 4.1 mm (ver figura 4.15). La distribución espacial de la lluvia media de este mes, muestra que los valores mínimos se encuentran en los límites de las delegaciones Coyoacan e Iztapalapa, en donde la lámina está entre 1 y 2 mm; mientras que los máximos se encuentran en la delegación Tlalpan donde la lamina de lluvia oscila entre 7 y 9 mm.

La época de lluvias comienza en mayo y termina en octubre. En promedio los meses de julio y agosto son los más lluviosos; la lluvia media en estos meses es de 148 y 145 mm, respectivamente. En agosto se presentan los valores más altos de todo el año en las estaciones 22, 25 y 49 en donde se alcanzan valores mayores a 240 mm, y descienden gradualmente en dirección oeste-este; los mínimos llegan a ser de 100 mm en las delegaciones Iztapalapa, Tláhuac y Gustavo A. Madero.

En la figura 4.25 se pueden apreciar los meses en que se presenta en cada estación, el valor de lluvia máximo y en la figura 4.26 el mínimo. En las estaciones situadas al sur del Distrito Federal los valores máximos tienden a presentarse en el mes de agosto y septiembre. Los valores mínimos se presentan predominantemente en el mes de Febrero; en cuatro estaciones situadas al noroeste del Distrito Federal en Enero; y en las estaciones 44 y 45 en diciembre y marzo respectivamente.

Históricamente el valor máximo de lluvia acumulada mensual es de 457 mm, el cual se presentó en la estación 26 en el mes de agosto de 1998. En este mismo año se presentaron valores superiores a 400 mm en las estaciones 22 y 49 en agosto, y en las estaciones 10 y 37 en septiembre.



Gráfica 4.5. Lluvia media mensual acumulada en el Distrito Federal

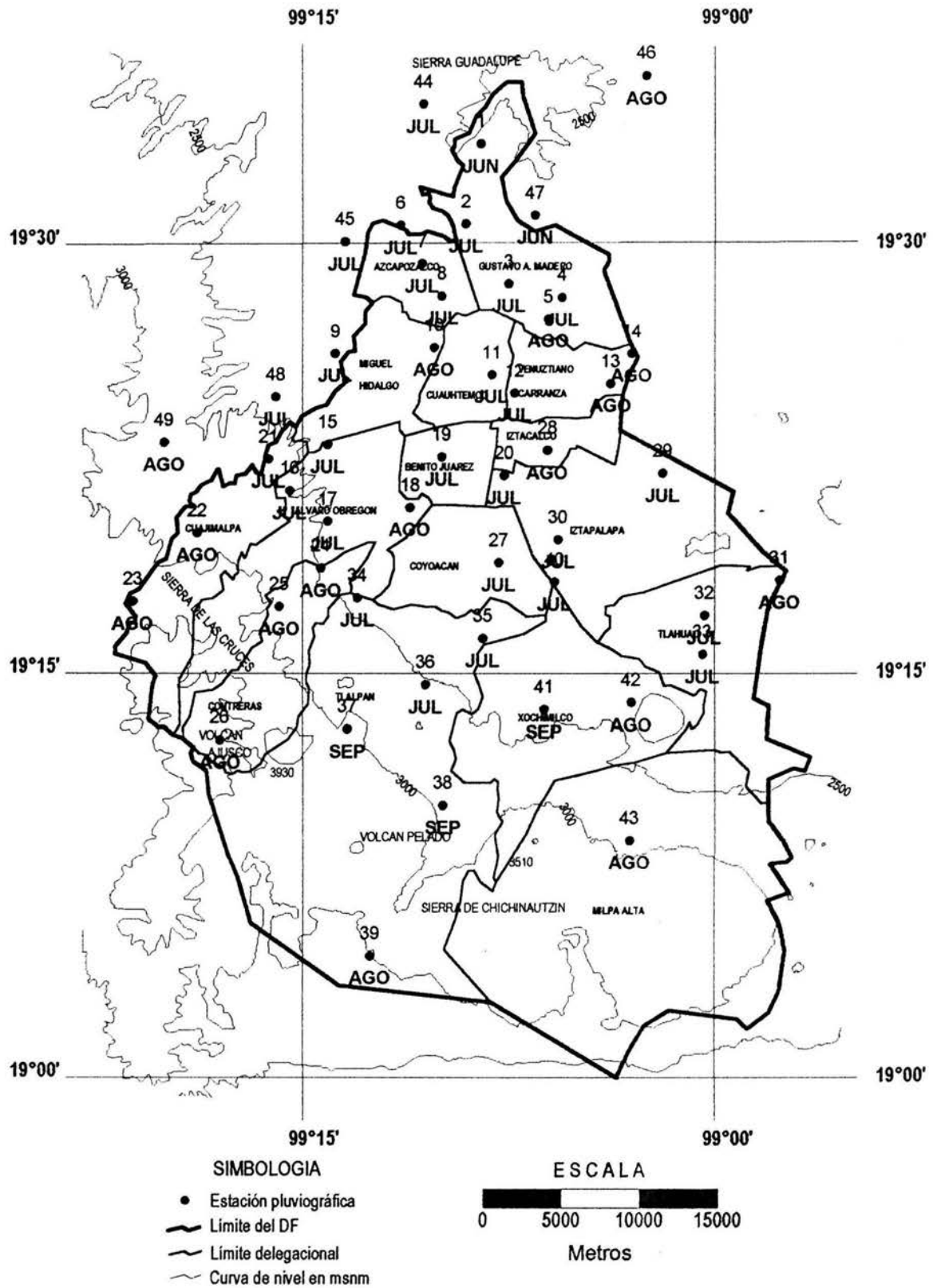


Figura 4.25. Distribución de los meses en los que se presentan los valores máximos de la lluvia mensual acumulada

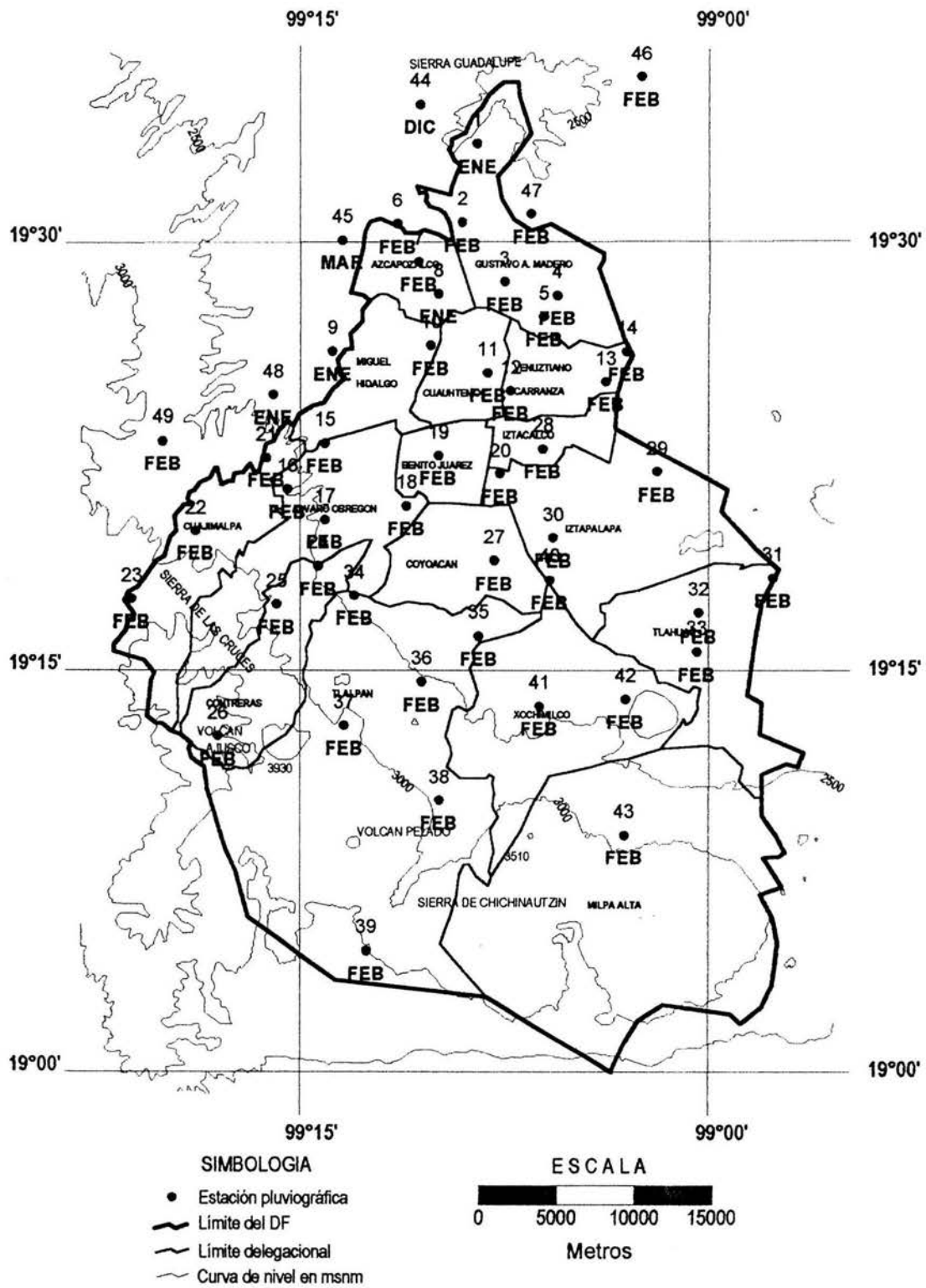


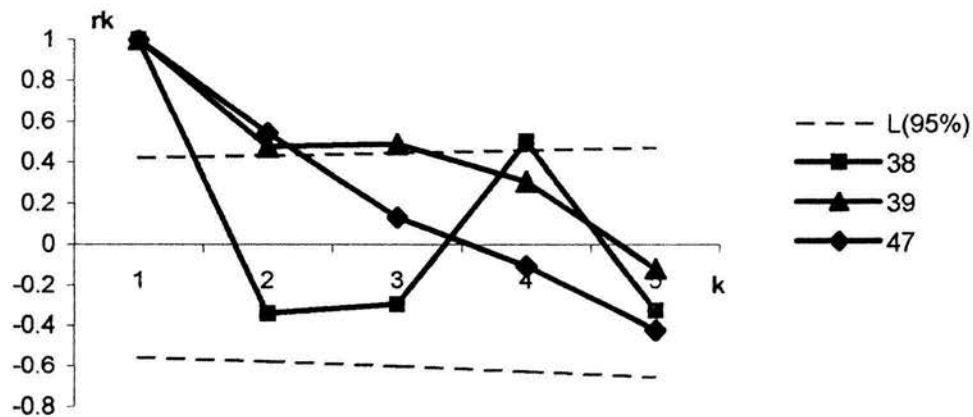
Figura 4.26. Distribución de los meses en los que se presentan los valores mínimos de la lluvia mensual acumulada

4.2.2 Lluvia anual

4.2.2.1 Homogeneidad e independencia de las series anuales

La tabla 4.2 contiene los resultados de aplicar las pruebas estadísticas de la *t* de Student y Cramer. La columna 4 corresponde al periodo en el cual se detecto alguna alteración en la media de las series. En la mayoría de casos se observó un descenso en la media predominantemente a partir 1996; esto indica que se presentó un descenso en la precipitación del Distrito Federal en el periodo comprendo entre 1996 y 2002; por lo cual se puede atribuir la falta de homogeneidad de las series de las estaciones 9, 19, 26 28, 32, 35 y 39, a un periodo temporal de déficit de lluvia. En la estación 26, en contraste con las estaciones anteriores, la falta de homogeneidad se debe a un aumento en la media en el periodo de 1998 al 2002.

Los resultados obtenidos de aplicar la prueba de independencia de las series anuales, se muestran en la tabla 4.3, en la cual se observa que las series de las estaciones 38, 39 y 47 no son independientes (Gráfica 4.6).



Gráfica 4.6. Correlogramas de las estaciones 38, 39 y 37.
El número de puntos que exceden los límites es más del 10%.

Est	Periodo 1	Periodo 2	Cambio media	Prueba de Student						Prueba de Cramer					
				t_d	\bar{X}_1	S_1	\bar{X}_2	S_2	$ td <tc$	t_k	\bar{X}_k	\bar{X}	S	τ_k	$ tk <tc$
1	88-93	94-02	descendente	0.37	557.1	156.9	529.7	106.9	Si	0.39	557.1	540.6	124.6	0.13	Si
2	88-95	96-02	descendente	1.94	622.4	125.6	503.4	89.7	Si	1.99	622.4	566.9	122.9	0.45	Si
3	88-95	96-02	descendente	1.34	671.5	144.3	586.1	65.6	Si	1.38	671.5	631.7	119.2	0.33	Si
4	88-95	96-02	descendente	1.56	610.8	119.8	513.1	104.4	Si	1.60	610.8	565.2	119.9	0.38	Si
5	88-95	96-02	descendente	1.14	594.8	137.1	520.2	90.9	Si	1.18	594.8	560.0	120.1	0.29	Si
6	88-96	97-02	descendente	1.66	679.2	86.0	613.8	33.1	Si	1.69	679.2	653.1	75.6	0.35	Si
7	88-95	96-02	descendente	1.67	734.0	97.2	640.6	104.1	Si	1.72	734.0	690.4	108.2	0.40	Si
8	88-95	96-02	descendente	0.10	630.4	196.8	620.9	127.5	Si	0.11	630.4	626.0	162.3	0.03	Si
9	88-95	96-02	descendente	2.50	913.9	117.7	728.7	149.1	No	2.55	913.9	827.5	160.0	0.54	No
10	88-98	99-02	descendente	2.02	778.8	173.0	583.4	84.0	Si	2.04	778.8	726.7	175.8	0.30	Si
11	88-95	96-02	descendente	0.57	638.2	156.4	593.6	120.6	Si	0.59	638.2	617.4	137.8	0.15	Si
12	88-95	96-02	descendente	0.32	675.5	150.5	652.0	112.5	Si	0.33	675.5	664.5	130.0	0.08	Si
13	88-95	96-02	descendente	2.03	578.2	126.0	468.4	47.1	Si	2.07	578.2	527.0	110.0	0.47	Si
14	88-95	96-02	descendente	0.81	540.0	99.6	496.7	91.6	Si	0.84	540.0	519.8	95.2	0.21	Si
15	88-94	95-02	descendente	1.68	902.5	130.6	745.3	195.8	Si	1.72	902.5	818.7	181.9	0.46	Si
16	88-95	96-02	descendente	1.73	996.9	123.3	889.6	95.9	Si	1.78	996.9	946.8	120.9	0.41	Si
17	88-95	96-02	descendente	1.72	912.3	135.0	808.3	67.8	Si	1.76	912.3	863.8	118.2	0.41	Si
18	88-95	96-02	descendente	0.49	757.8	170.2	721.5	69.1	Si	0.51	757.8	740.8	129.9	0.13	Si
19	88-94	95-02	descendente	3.15	817.2	162.6	608.6	58.9	No	3.19	817.2	705.9	157.1	0.71	No
20	88-95	96-02	descendente	0.26	726.1	102.9	711.4	99.4	Si	0.27	726.1	719.2	97.9	0.07	Si
21	88-95	96-02	descendente	1.11	1069.7	128.4	972.0	186.5	Si	1.15	1069.7	1024.1	160.2	0.28	Si
22	88-95	96-02	descendente	1.91	1216.5	117.3	1079.9	140.1	Si	1.96	1216.5	1152.8	142.3	0.45	Si
23	88-95	96-02	descendente	-0.11	1063.1	125.9	1072.8	180.6	Si	-0.12	1063.1	1067.6	148.1	-0.03	Si
24	88-92	93-02	descendente	-0.59	817.2	52.7	871.4	188.2	Si	-0.60	817.2	853.3	155.8	-0.23	Si
25	88-95	96-02	descendente	1.57	1197.1	155.4	1062.8	151.1	Si	1.62	1197.1	1134.4	163.3	0.38	Si
26	88-97	98-02	ascendente	-2.83	854.1	209.8	1167.1	133.8	No	-2.85	854.1	958.5	238.2	-0.44	No
27	88-95	96-02	descendente	1.66	728.3	109.7	640.4	76.0	Si	1.70	728.3	687.3	102.7	0.40	Si
28	88-95	96-02	descendente	3.19	665.3	125.6	468.4	91.3	No	3.21	665.3	573.4	147.7	0.62	No
29	88-95	96-02	descendente	2.11	558.2	161.3	405.3	82.2	Si	2.15	558.2	486.9	148.8	0.48	Si
30	88-95	96-02	descendente	1.24	605.7	117.7	531.0	97.3	Si	1.28	605.7	570.9	111.6	0.31	Si
31	88-96	97-02	descendente	1.04	480.0	140.5	414.1	40.5	Si	1.07	480.0	453.7	113.9	0.23	Si
32	88-95	96-02	descendente	2.91	586.8	105.2	435.4	78.6	No	2.94	586.8	516.2	119.6	0.59	No
33	88-95	96-02	descendente	0.56	558.9	89.5	524.8	128.2	Si	0.58	558.9	543.0	106.6	0.15	Si
34	88-96	97-02	descendente	1.93	839.8	132.3	675.4	174.3	Si	1.99	839.8	774.0	166.8	0.39	Si
35	88-95	96-02	descendente	2.20	758.3	120.9	625.6	91.7	No	2.25	758.3	696.4	124.9	0.50	No
36	88-95	96-02	descendente	1.04	837.6	131.3	769.5	99.8	Si	1.08	837.6	805.8	118.8	0.27	Si
37	88-96	97-02	descendente	0.51	1099.0	213.7	1050.2	59.2	Si	0.52	1099.0	1079.4	167.2	0.12	Si
38	88-96	97-02	descendente	-1.01	674.5	144.7	749.5	107.8	Si	-1.04	674.5	704.5	132.5	-0.23	Si
39	88-95	96-02	descendente	4.41	1141.3	158.8	838.1	62.4	No	4.32	1141.3	999.8	196.9	0.72	No
40	88-95	96-02	descendente	1.12	665.1	121.8	599.3	84.8	Si	1.15	665.1	634.4	107.9	0.28	Si
41	88-95	96-02	descendente	1.88	705.5	123.7	583.7	108.2	Si	1.93	705.5	648.6	128.9	0.44	Si
42	88-95	96-02	descendente	0.61	556.4	75.5	533.6	56.0	Si	0.63	556.4	545.8	65.8	0.16	Si
43	88-95	96-02	descendente	0.28	625.3	125.5	607.1	104.3	Si	0.29	625.3	616.8	112.4	0.08	Si
44	88-92	93-02	descendente	1.55	710.6	190.1	586.2	99.5	Si	1.62	710.6	627.7	142.8	0.58	Si
45	88-92	93-02	descendente	1.19	698.8	164.6	625.6	52.3	Si	1.27	698.8	650.0	103.8	0.47	Si
46	88-96	97-02	descendente	1.59	556.8	137.3	455.4	59.9	Si	1.62	556.8	516.2	121.3	0.33	Si
47	88-95	96-02	descendente	1.89	640.8	130.5	523.3	86.4	Si	1.93	640.8	585.9	124.1	0.44	Si
48	88-96	97-02	descendente	1.03	864.1	155.3	784.7	102.6	Si	1.06	864.1	832.3	138.4	0.23	Si
49	88-96	97-02	descendente	0.40	1100.8	111.4	1074.3	125.6	Si	0.41	1100.8	1090.2	113.6	0.09	Si

Tabla 4.2. Resultados de aplicar las pruebas de la t de Student y Cramer.

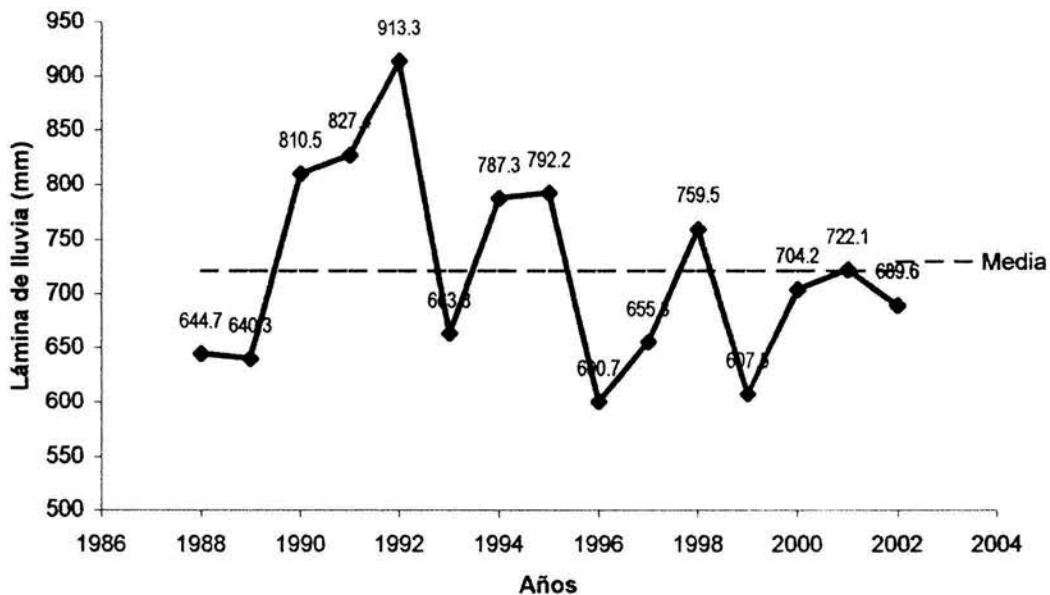
Estación	Independiente	Estación	Independiente
1	Si	26	Si
2	Si	27	Si
3	Si	28	Si
4	Si	29	Si
5	Si	30	Si
6	Si	31	Si
7	Si	32	Si
8	Si	33	Si
9	Si	34	Si
10	Si	35	Si
11	Si	36	Si
12	Si	37	Si
13	Si	38	No
14	Si	39	No
15	Si	40	Si
16	Si	41	Si
17	Si	42	Si
18	Si	43	Si
19	Si	44	Si
20	Si	45	Si
21	Si	46	Si
22	Si	47	No
23	Si	48	Si
24	Si	49	Si
25	Si		

Tabla 4.3. Resultados de la prueba de independencia de Anderson

4.2.2.2 Comportamiento espacial y temporal de la lluvia acumulada anual

Para el periodo de 1988 al 2002, la lluvia media anual en el Distrito Federal es de 721 mm. Como se puede apreciar en la gráfica 4.7, aunque en 1998 se presentó un interevento con un superávit de 38.26 mm, en 1996 comienza un periodo que se caracteriza por la persistencia de eventos con déficit de lluvia; los años en los que la magnitud del déficit es mayor son 1996 y 1999, en los cuales la lluvia media de por lo menos 73% de las estaciones está por debajo de 721 mm. El año con la mayor lluvia media anual es 1992 con 913.3 mm. El evento con la lluvia máxima acumulada anual pertenece a la estación 39, en donde se midieron 1474 mm en 1992.

Las delegaciones con los valores más bajos de lluvia media anual son las que están ubicadas al este del Distrito Federal con valores entre 500 y 600 mm (figura 4.27); los valores aumentan gradualmente al avanzar hacia el oeste y los máximos llegan a ser de 1100 mm en las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón y Contreras.



Gráfica 4.7. Lluvia media anual en el Distrito Federal

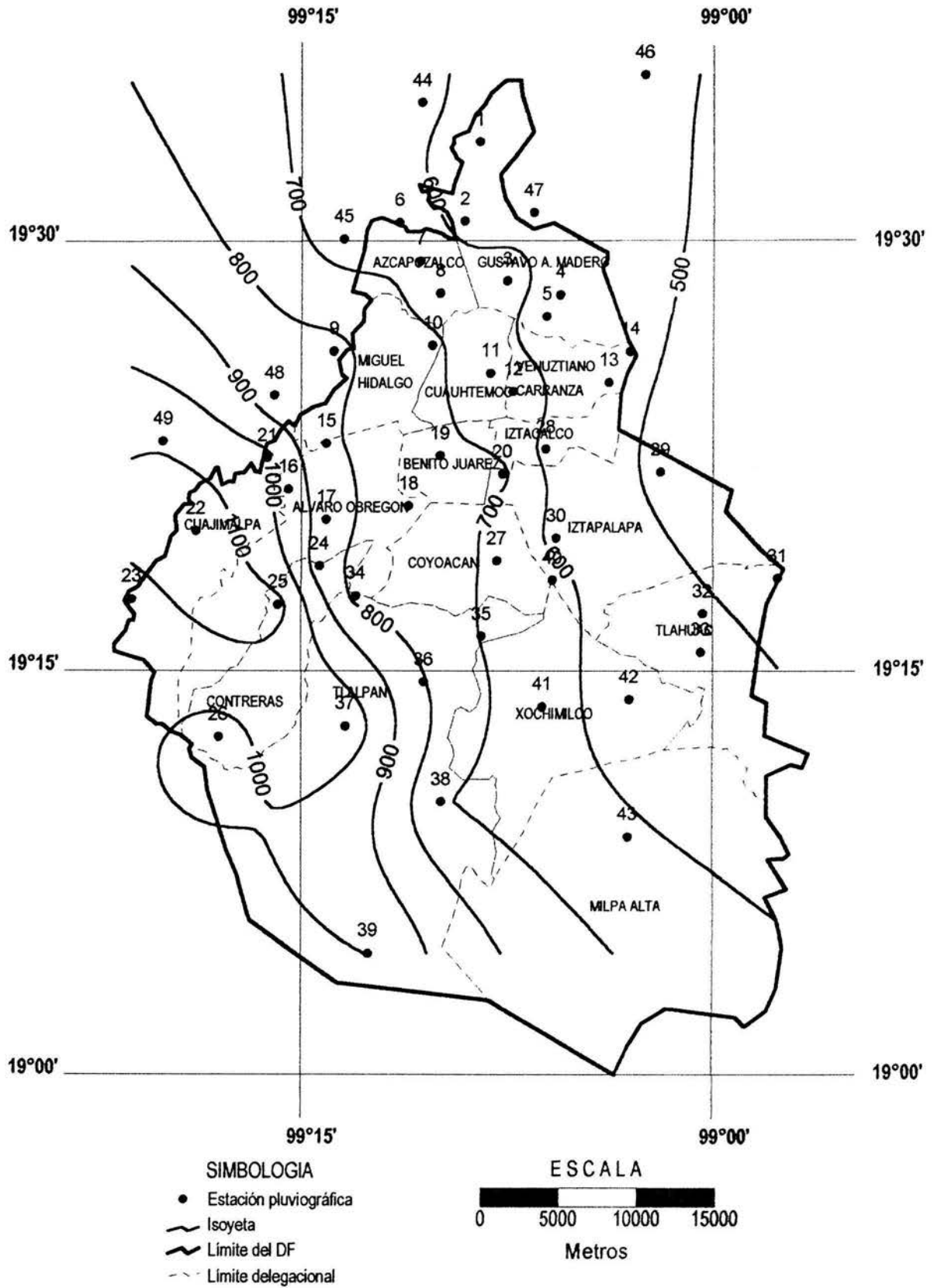


Figura 4.27. Distribución de la lluvia media anual del Distrito Federal (1988-2002)

4.2.2.3 Regionalización

Los resultados de la regionalización de la lluvia en el Distrito Federal, obtenidos a partir de las series anuales, se muestran en la figura 4.28.

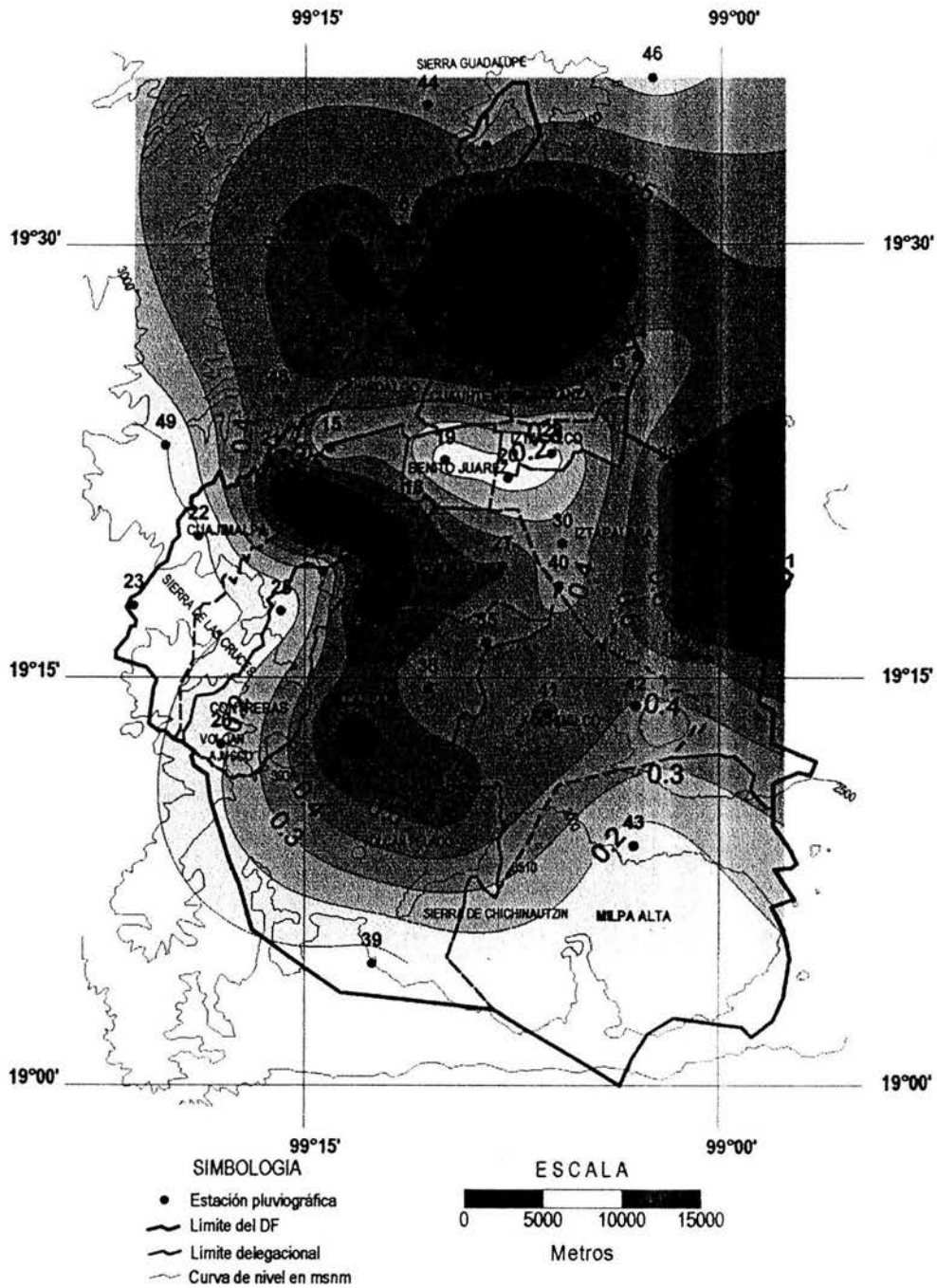


Figura 4.28. Zonas de ocurrencia simultanea de los eventos de lluvia en el Distrito Federal

Las zonas en donde se presentan eventos simultáneos de lluvia son las partes bajas de la Sierra de las Cruces en las delegaciones Cuajimalpa y Álvaro Obregón, al este de las delegaciones Iztapalapa y Tláhuac, y al norte del Distrito Federal; en las cuales los valores del coeficiente de determinación son mayores a 0.7. En los límites de las delegaciones Benito Juárez, Iztacalco e Iztapalapa los eventos de lluvia carecen de homogeneidad, al igual que en las partes altas de las Sierras.

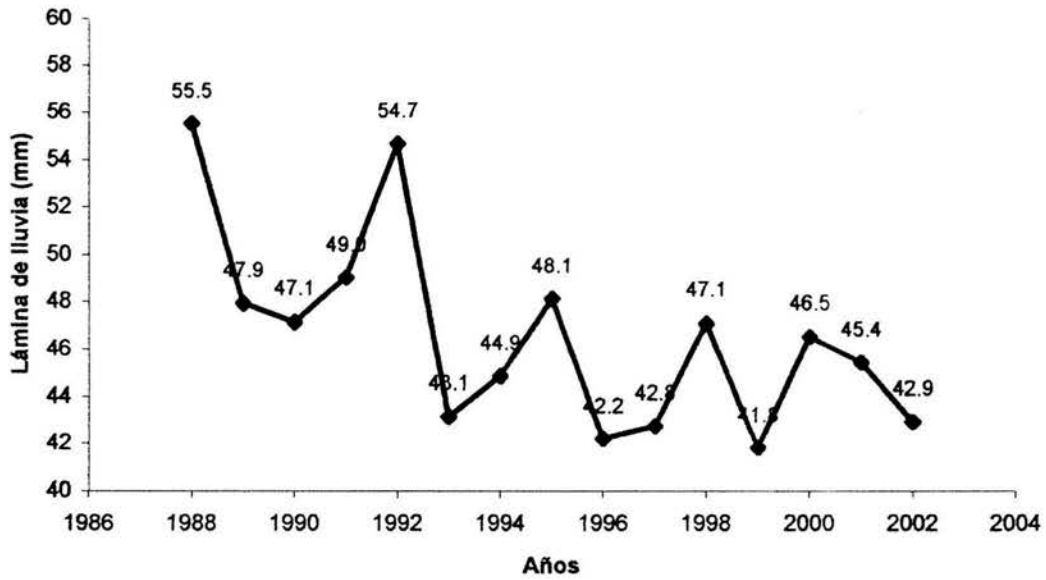
4.2.3 Tormentas máximas anuales en 24 horas

En promedio en el Distrito Federal, la altura de lluvia máxima anual que se acumula en 24 h es de 46.6 mm. A partir de 1993 se tiene un marcado descenso en los valores esta variable (gráfica 4.8). Los valores mínimos se presentaron en 1996 y 1999 con 42.2 y 41.8 mm, respectivamente.

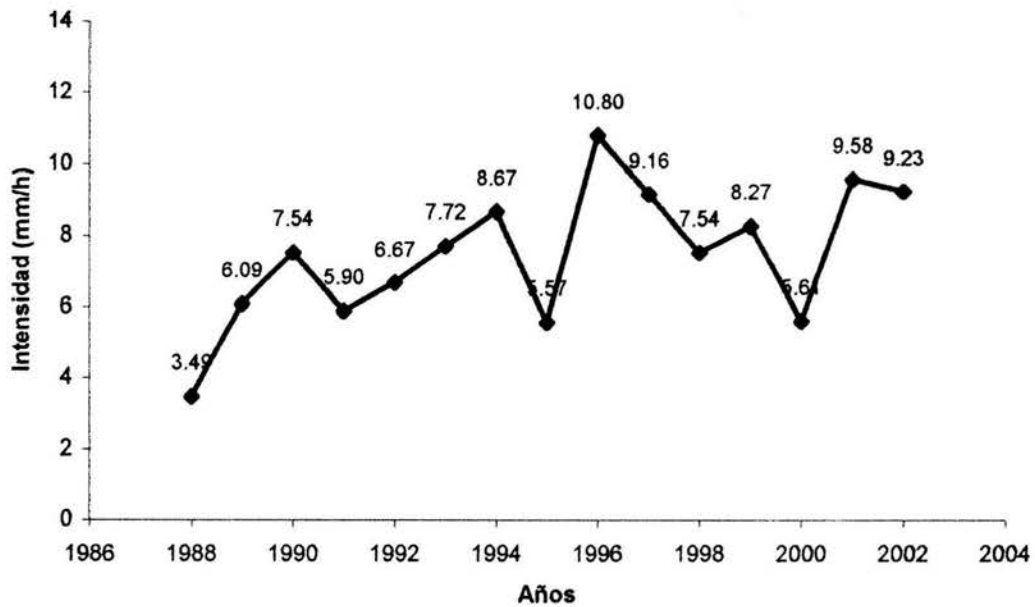
La intensidad media de las tormentas máximas anuales (gráfica 4.9), en el tiempo tiene un comportamiento inverso al de altura de lluvia; en 1988 la altura media de las lluvias máximas anuales es la más alta del periodo de estudio, sin embargo la intensidad media en este año es la más baja; mientras que en 1996 se presentó el valor máximo de la intensidad media, el valor de la altura media de la lluvia es de los más bajos.

Los valores más altos de la altura de lluvia media (figura 4.29), se presentan en las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan, donde se tienen más de 55 mm; los mínimos en las delegaciones Iztapalapa y Tláhuac donde no se rebasan 35 mm.

Las intensidades más altas se presentan en las delegaciones Gustavo A. Madero, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan, en donde, en promedio la intensidad de la lluvia máxima anual en 24h está entre 9 y 10 mm/h.



Gráfica 4.8. Variación promedio de la altura de la lluvia máxima anual en el Distrito Federal



Gráfica 4.9. Variación promedio de la intensidad de las tormentas máximas anuales en el Distrito Federal

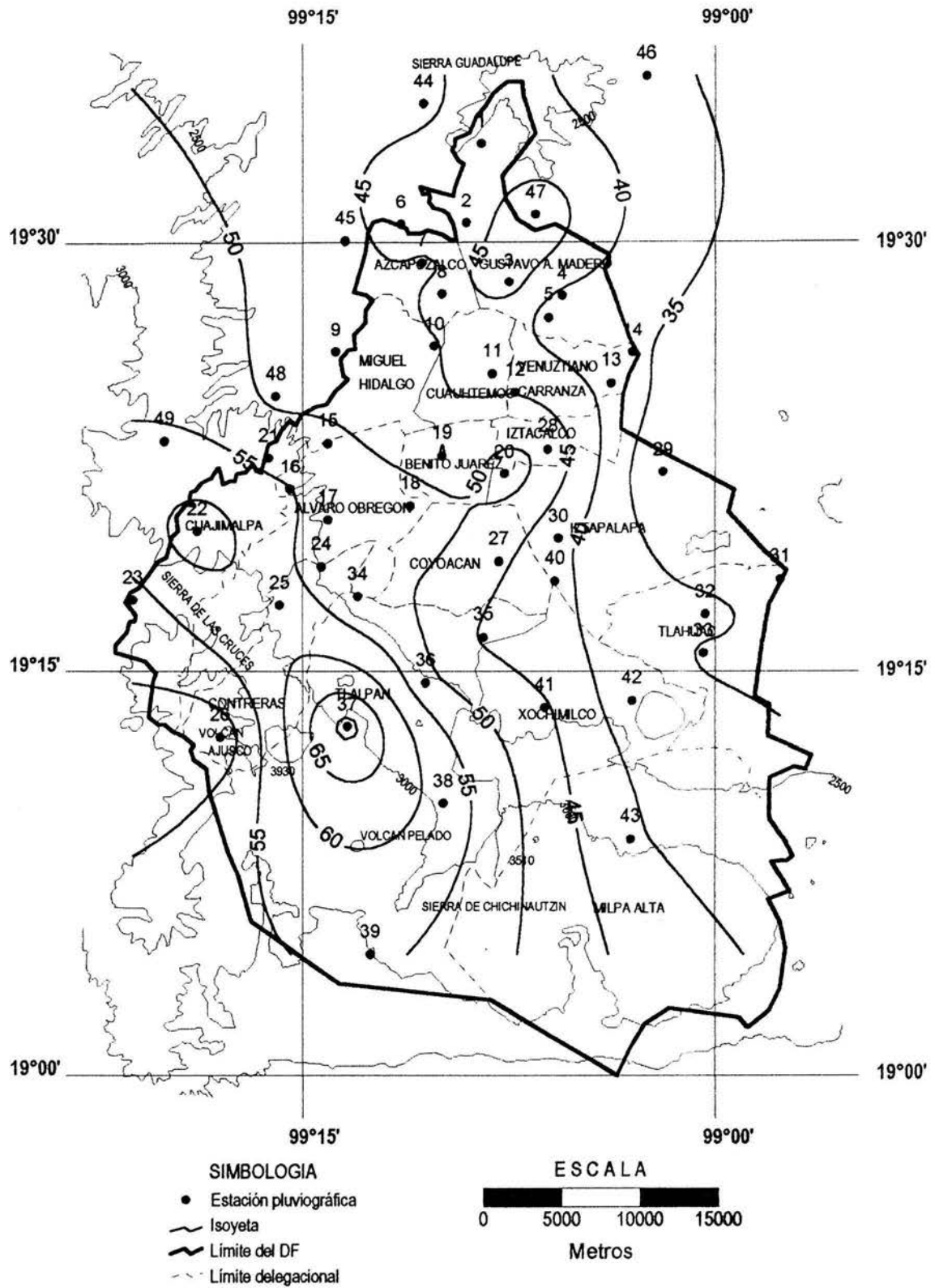
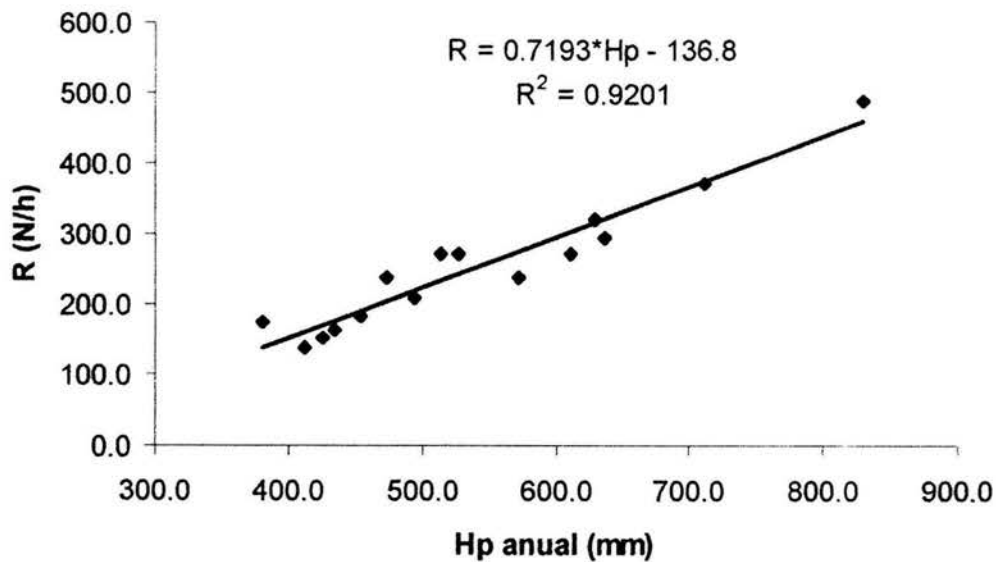


Figura 4.29. Distribución de la lluvia máxima anual en 24 h (1988-2002)

4.2.4 Potencial erosivo de la lluvia

Tras obtener los valores anuales del factor de erosividad R , de cada estación, se realizó la regresión entre esta variable y las alturas de lluvia anual; la Tabla 4.4 contiene las ecuaciones de ajuste y los coeficientes de correlación obtenidos. En la gráfica 4.10 se puede observar que el potencial de erosividad y la altura de lluvia en la estación 1 están altamente correlacionados, como ocurre también en las demás estaciones en donde el coeficiente de correlación es mayor a 0.85. La alta correlación entre estas variables es un indicador de la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Para años que están fuera del periodo comprendido entre 1996 y 2002, en los que se conoce la altura de lluvia anual, el factor de erosividad anual se puede estimar utilizando las ecuaciones de ajuste mostradas en la tabla.



Gráfica 4.10. Regresión lineal entre la altura de lluvia anual H_p y el factor de erosividad anual R , de la estación 1.

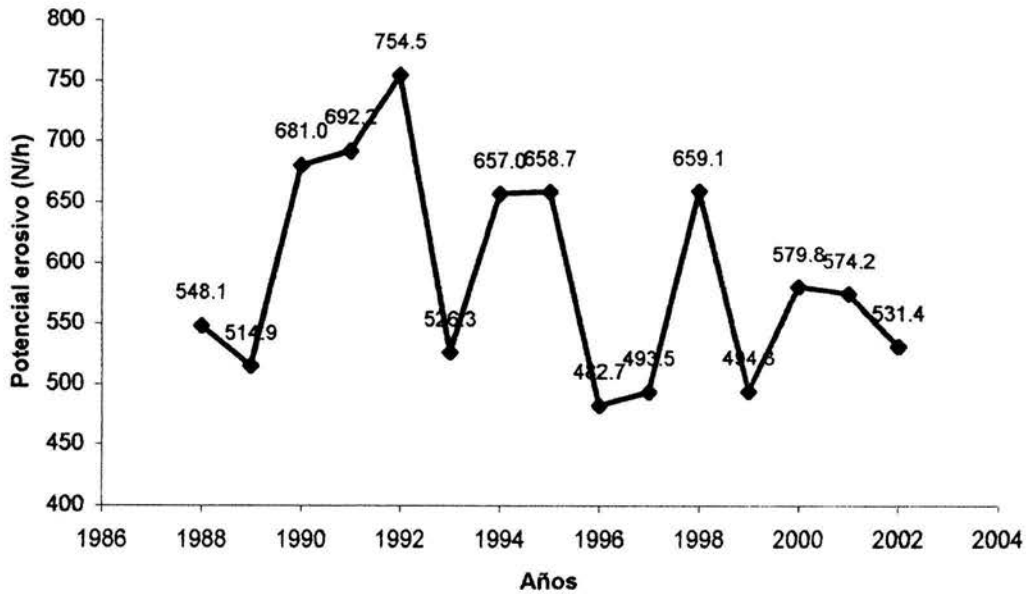
Estación	Ecuación de ajuste	Coefficiente de correlación	Estación	Ecuación de ajuste	Coefficiente de correlación
1	$R = 0.7193H_p - 136.8$	0.959	26	$R = 0.5718H_p - 239.87$	0.915
2	$R = 1.0063H_p - 136.09$	0.974	27	$R = 0.9868H_p - 58.306$	0.855
3	$R = 1.2433H_p - 149.82$	0.930	28	$R = 1.1956H_p - 59.473$	0.933
4	$R = 0.5255H_p - 74.908$	0.950	29	$R = 0.8395H_p - 73.92$	0.962
5	$R = 0.8711H_p - 87.09$	0.954	30	$R = 1.4698H_p - 255.07$	0.930
6	$R = 0.986H_p - 159.08$	0.945	31	$R = 1.015H_p - 129.48$	0.943
7	$R = 0.9605H_p - 65.796$	0.974	32	$R = 0.9788H_p - 165.19$	0.961
8	$R = 0.9634H_p - 281.82$	0.942	33	$R = 0.8494H_p - 162.09$	0.948
9	$R = 1.1285H_p - 373.61$	0.956	34	$R = 1.414H_p - 420.07$	0.961
10	$R = 0.6942H_p - 139.53$	0.955	35	$R = 0.9103H_p - 26.223$	0.945
11	$R = 1.0112H_p - 188.9$	0.924	36	$R = 1.1163H_p - 59.416$	0.851
12	$R = 0.7735H_p - 93.093$	0.969	37	$R = 1.1041H_p - 232.83$	0.964
13	$R = 0.7062H_p - 48.787$	0.909	38	$R = 0.7676H_p - 83.329$	0.951
14	$R = 1.0158H_p - 164.76$	0.926	39	$R = 0.8097H_p - 160$	0.968
15	$R = 1.2009H_p - 296.9$	0.971	40	$R = 0.6741H_p - 100.41$	0.952
16	$R = 0.8493H_p - 62.458$	0.929	41	$R = 1.1171H_p - 238.21$	0.962
17	$R = 1.5828H_p - 370.42$	0.890	42	$R = 1.3843H_p - 216.27$	0.915
18	$R = 1.383H_p - 377.24$	0.911	43	$R = 0.761H_p - 99.892$	0.916
19	$R = 0.887H_p - 244.56$	0.952	44	$R = 1.3163H_p - 289.07$	0.930
20	$R = 1.3406H_p - 152.93$	0.897	45	$R = 1.5882H_p - 271.85$	0.927
21	$R = 0.9738H_p - 3.6734$	0.955	46	$R = 1.2491H_p - 94.583$	0.934
22	$R = 0.8422H_p - 140.16$	0.928	47	$R = 1.6385H_p - 173.87$	0.949
23	$R = 1.4367H_p - 167.27$	0.925	48	$R = 1.0396H_p - 26.348$	0.946
24	$R = 1.2819H_p - 311.78$	0.972	49	$R = 1.498H_p - 540.56$	0.893
25	$R = 1.0246H_p - 232.28$	0.908			

Tabla 4.5. Resultados de la regresión lineal entre los valores del factor de erosividad R , las alturas de lluvia anual H_p .

En el año de 1992, en promedio el potencial erosivo anual en el Distrito Federal es de 754 N/h (ver gráfica 4.11), siendo este el máximo valor del periodo de estudio, sin embargo en la estación 23 que se caracteriza por tener los valores más altos de esta variable, el máximo valor corresponde al año de 1999, con 1761 N/h.

En la figura 4.30 se muestra la distribución espacial del potencial erosivo medio de lluvia en el Distrito Federal; en la que se observa que las delegaciones los valores mayores son Gustavo A. Madero y las situadas al oeste del DF, principalmente las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Tlalpan, en donde el potencial erosivo es mayor a 800 N/h; mientras que las delegaciones con los valores más bajos son Venustiano Carranza, Iztapalapa, Tláhuac y Milpa Alta, con valores entre 200 y 400 N/h.

Las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Tlalpan, tienen los valores más altos de potencial erosivo, aunado a esto, la topografía de estas delegaciones está formada principalmente por depresiones, relieves montañosos, barracas y cañadas; lo que aumenta considerablemente la susceptibilidad a la erosión y el riesgo de deslaves y derrumbes. Por lo tanto en estas delegaciones se debe poner mayor atención a las medidas de conservación de suelos, para mitigar los efectos de la erosión hídrica.



Gráfica 4.11. Variación del potencial erosivo medio de la lluvia (N/h), en el Distrito Federal

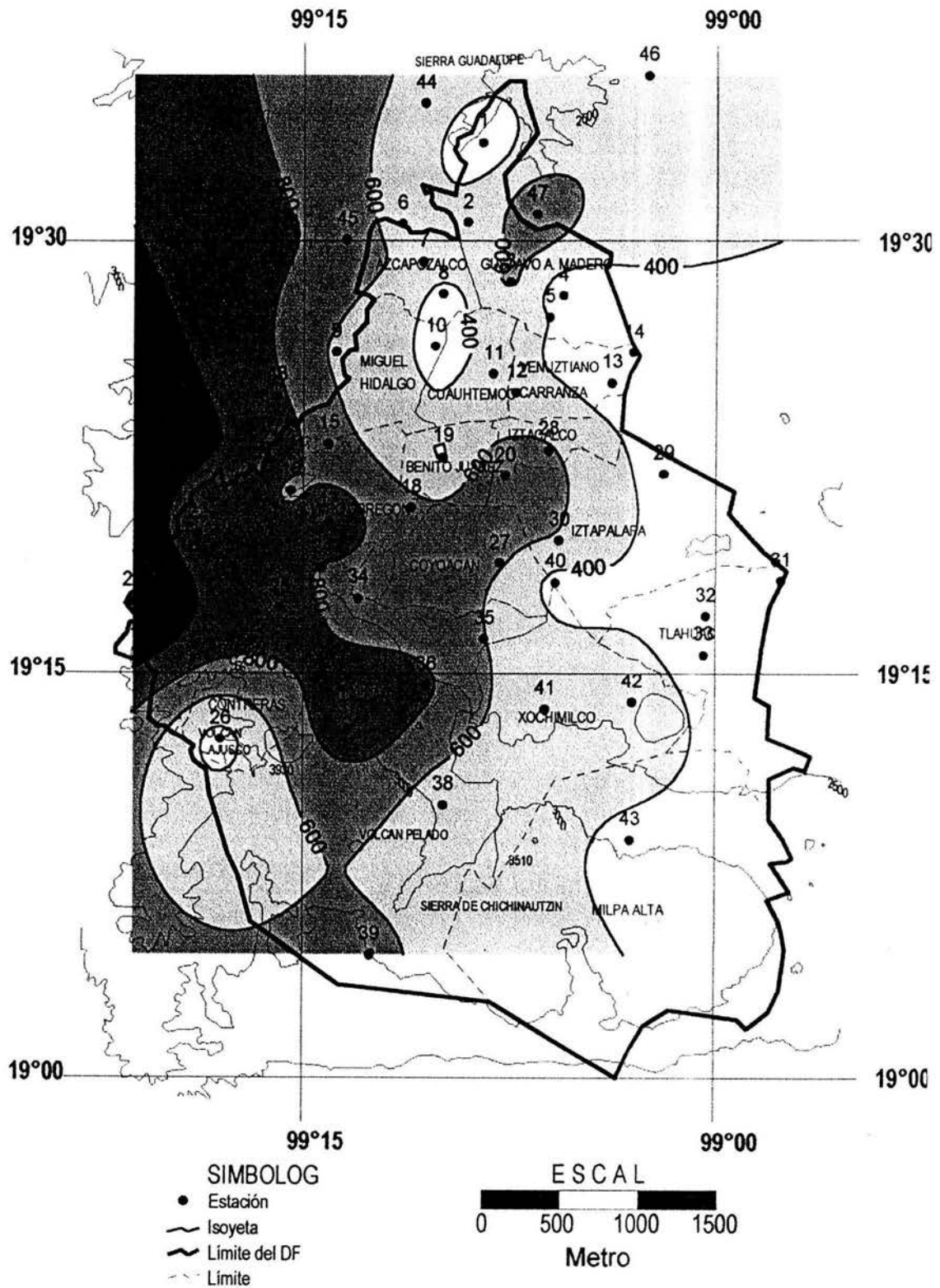


Figura 4.30. Distribución del potencial erosivo medio de la lluvia (N/h) (1988-2002) en el Distrito Federal

5 Conclusiones

Es notable la disminución en el número de estaciones pluviométricas, a partir de 1989, siendo el mínimo del periodo comprendido entre 1961 y 1998; por lo cual la información es insuficiente para determinar el comportamiento de la lluvia en la cuenca después de dicho año. En las zonas de alrededor del parteaguas tienen lugar las aportaciones más importantes a los sistemas de agua superficial y subterráneo, sin embargo se carece de información pluvial que permita su cuantificación, por lo que es necesario instalar nuevas estaciones de apoyo que fortalezcan a la red existente.

Los valores más bajos de precipitación se presentan al norte y centro de la cuenca en donde la media anual no rebasa los 600 mm. En las estribaciones de la Sierra de Pachuca se alcanzan valores máximos 1300 mm. En las partes altas de la Sierra Nevada están entre los 900 y los 1100mm. Los valores más altos se presentan en las estribaciones y partes altas de las Sierras de Las cruces y Chichinautzin en donde están entre los 1000 y 1500 mm. Se aprecian tres periodos de años secos: de 1961 a 1964, de 1969 a 1972 y de 1982 a 1989. El periodo de 1973 a 1981 fue un periodo lluvioso en el que los años con valores más altos de precipitación son: 1976 y 1981 en donde por lo menos el 30% de las estaciones se tienen valores mayores a 1000 mm.

En el Distrito Federal la lluvia media anual es de 721 mm; el periodo de 1988 a 1995 fue seco; en 1996 comenzó un periodo que se caracteriza por la persistencia de eventos con déficit de lluvia; en 1996 y 1999 la magnitud del déficit es la mayor, siendo de 120 mm; el año con la mayor lluvia media anual es 1992 con 913.3 mm. Las delegaciones con los valores más bajos de lluvia media anual son las que están ubicadas al este del Distrito Federal con valores entre 500 y 600 mm; los valores aumentan gradualmente al avanzar hacia el oeste y los máximos llegan a ser de 1100 mm es las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón y Contreras.

Las estaciones en las que se presentan eventos simultáneos de lluvia están ubicadas en zonas de pendiente media y baja de la cuenca, que es donde se encuentra la mayor densidad de la capacidad de medición. En las partes altas de las sierras de Chichinautzin y Las Cruces las pocas estaciones existentes no están correlacionadas.

En el Distrito Federal las zonas en donde se presentan eventos simultáneos de lluvia son las partes bajas de la Sierra de las Cruces de las delegaciones Cuajimalpa y Álvaro Obregón, al este de las delegaciones Iztapalapa y Tláhuac, y al norte del Distrito Federal, en donde los valores del coeficiente de determinación son mayores a 0.7. En los límites de las delegaciones Benito Juárez, Iztacalco e Iztapalapa los eventos de lluvia carecen de homogeneidad, al igual que en las partes altas de las Sierras.

En el Distrito Federal el Suelo de Conservación es de 87,204 ha, que corresponden a poco más del 59% del área total. El Suelo de Conservación posee características que además de favorecer la existencia de especies de flora y fauna de valor comercial, ofrece bienes y servicios ambientales en beneficio de toda la población del Distrito Federal, por lo que su preservación es de vital importancia. Aunque la elaboración de un plan de manejo para la preservación de los Suelos de Conservación excede los alcances de este trabajo, en el capítulo 3 se describen algunas de las técnicas que pueden emplearse para tal fin.

Uno de los principales problemas de degradación que sufren los Suelos de Conservación es el de los asentamientos humanos irregulares; además de que los servicios ambientales que se ven afectados y se generan problemas de contaminación debido a las descargas residuales no controladas, la seguridad de las personas que ahí habitan también se ven afectada, ya que un gran número de viviendas se localizan en barrancas. Las barracas constituyen un sistema de drenaje natural, sin embargo estas son usadas como tiraderos de residuos, y en la época de lluvias representan zonas de alto riesgo debido a la disminución en su capacidad de conducción por lo que son susceptibles a inundaciones, derrumbes y deslaves.

En este trabajo se estimó el potencial erosivo de la lluvia; la representación espacial de esta variable permite identificar las zonas en las cuales la erosión de los suelos se favorece por el comportamiento de los eventos de lluvia. Se encontró que las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Tlalpan, tienen los valores más altos de potencial erosivo; en estas regiones la topografía está formada principalmente por depresiones, relieves montañosos, barracas y cañadas; lo cual que aumenta considerablemente la susceptibilidad a la erosión y el riesgo de deslaves y derrumbes, afectando a las miles de viviendas irregulares que ahí se ubican.

Los problemas en estas zonas se irán agravando cada vez más si no se toman las medidas necesarias para la conservación de los suelos, no solo en las zonas en las que se han detectado tales problemas, sino en todo el Suelo de Conservación; ya que el incremento de los escurrimientos por lluvia, en las partes bajas, está relacionado directamente con la degradación de los suelos de las partes altas. Por lo tanto es importante señalar que la solución de la problemática de los Suelos de Conservación se debe abordar desde la óptica de una condición sustentable regional.

6 Referencias

1. AIC-ANIAC. 1995. *El Agua y la Ciudad de México*. Editado por Academia de la Investigación Científica y Academia Nacional de Ingeniería. México.
2. Rzedowski, J. 1978. *La vegetación de México*. Limusa. México
3. Comisión Nacional del Agua -CNA. 2001. *Compendio Básico de Agua en México*. Editado por CNA, México.
4. Comisión Nacional del Agua -CNA. 2001. *Compendio Básico de Planos del Agua*. Editado por CNA, México.
5. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática – INEGI. 2000. *Cuadernos Estadísticos Delegacionales*, Distrito Federal. Editados por INEGI. México.
6. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática – INEGI. 1996. *Carta Topográfica escala 1:250,000, Ciudad de México E14-2*. Editado por INEGI. México.
7. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática – INEGI. 1996. *Carta Topográfica escala 1:250,000, Pachuca E14-11*. Editado por INEGI. México.
8. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática – INEGI. 1996. *Carta de climas escala 1:250,000, Guadalajara*. Editado por INEGI. México.
9. Escalante S.C. y Reyes C.L. 2002. *Estimación del aporte de sedimentos de una cuenca a partir de datos de lluvia diaria*. AMH, XVII Congreso Nacional de Hidráulica. Monterrey, N.L, México.
10. Salas J.D., Delleur J.W., Yevjevich V. y Lane W.L. 1980. *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Water Resources Publications. Colorado, U.S.A.
11. Wischmeir, W.H. y D.D. Smith. 1958. *Rainfall energy and its relationships to soil loss*. Transactions Americas Geophysical Union. USA, pp.285-291.
12. Campos, A.D.F. 1998. *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Editado por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.