

5775



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DESCARTE

**"EFECTOS DEL DESARROLLO URBANO EN LA
DETERMINACION DE LAS CAPACIDADES
DE LOS LAGOS DE TEXCOCO"**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

ROBERTO MEJÍA ZERMEÑO

MEXICO, D. F. 19



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
EXÁMENES PROFESIONALES
60-1-152

Al Pasante señor NEJIA ZERVEÑO ROBERTO,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ingeniero Ramón --- Domínguez Mora, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"EFECTOS DEL DESARROLLO URBANO EN
LA DETERMINACION DE LAS CAPACIDADES DE LOS LAGOS DE TEXCOCO".

- 1.- Introducción.
- 2.- Estudios hidrológicos.
- 3.- Voldranes para control de avenidas.
- 4.- Aportaciones para aprovechamiento.
- 5.- Régimen de demandas.
- 6.- Simulación del funcionamiento.
- 7.- Conclusiones.

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 8 de julio de 1976.
EL DIRECTOR

ING. ENRIQUE DEL VALLE CALDERÓN

EVC/GSA/smg.

A MIS PADRES:

Roberto Mejía H. y

Josefina Z. de Mejía

A MI TIO:

Manuel Mejía H.

A MIS HERMANOS:

Dolores, Francisco y

Enrique

A quienes de alguna manera han
cooperado a mi formación
profesional.

RECONOCIMIENTO:

Al Ing. Ramón Domínguez Mora, por su inestimable dirección y paciente ayuda.

Al instituto de Ingeniería por las facilidades otorgadas en la realización de este trabajo.

I N D I C E

	Pág.
1.- INTRODUCCION	1
2.- ESTUDIO HIDROLOGICO	9
3.- VOLUMENES PARA CONTROL DE AVENIDAS	20
4.- APORTACION PARA APROVECHAMIENTO	28
5.- REGIMEN DE DEMANDAS	42
6.- SIMULACION DEL FUNCIONAMIENTO	52
7.- CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFIA	65
FIGURAS	66

1.- INTRODUCCION.

1.1 Objetivo del Estudio.

En el Valle de México, a pesar de padecer factores negativos tales como sismos, inundaciones, hundimientos, etc.; se ha tenido un gran incremento demográfico, manifestándose en grandes núcleos de población e industrias urbanas, originando así, un alto número de problemas tanto físicos como económicos y sociales.

Uno de tantos problemas y muy importante, es la necesidad de agua, ya sea para uso doméstico, riego o industria; siendo indispensable en estos casos disponer de almacenamientos para agua de lluvia y/o aguas de desecho tratadas, que permitan utilizar éstas en el futuro, contribuyendo a la solución del problema del agua. La comisión de Estudios del Lago de Texcoco, pretende aprovechar al máximo las aguas de lluvia y/o desecho, captándolas por medio de varios lagos localizados en lo que es hoy el ex Lago de Texcoco y utilizarlas posteriormente para fines agrícolas, industriales, recreativos y turísticos. Con la creación de estos lagos se intenta también desarrollar todo el ex Lago de Texcoco, creando áreas forestadas, para habitación popular, recreativas y comerciales; se crearán igualmente las obras de infraestructura necesarias.

Eliminando de esta manera la creación indefinida de poblaciones y los problemas de contaminación creados por las tolveneras del ex Lago de Texcoco.

El agua almacenada en los lagos, tendrá su origen en la parte Oriente y Sur del Lago de Texcoco y en la zona urbana del río Churubusco (fig. 20), ya sea esta agua pluvial o aguas negras trata-

En la figura 1, se presenta un esquema del futuro lago de Texcoco y zonas adyacentes.

1.2 Problema Urbano.

Dentro de las posibles alternativas de solución a los problemas arriba mencionados, se requiere extrapolar datos, con el fin de simular y estudiar todos los casos que pudiesen presentarse en el futuro; principalmente, en el cálculo de escurrimientos pluviales y aguas de desecho provenientes de zonas urbanas; debido esto a las dificultades presentadas en estas áreas urbanas, donde el crecimiento actual no permite cuantificar con precisión los futuros centros urbanos ni el aumento de los actuales. Y aparte, como resultados de estos cambios en el ambiente, tendremos un aumento en los escurrimientos superficiales, variaciones en la evaporación, nuevas aportaciones de aguas negras, etc., que hará indispensable una planeación conjunta entre las diferentes entidades políticas inherentes al cambio, evitando un caos en el desarrollo de los núcleos urbanos. También debe preverse la infraestructura adecuada para nuevas zonas urbanas, creación de espacios verdes y, algo importante, preservar los cauces naturales, guardándolos de ser contaminados; logrando con estos pasos un mayor grado de confiabilidad en la estimación de los resultados obtenidos en este estudio.

Como se mencionó anteriormente, a consecuencia del desarrollo urbano es difícil evaluar los posibles datos esperados en el futuro; por lo cual el estudio no podrá basarse en el pasado y es-

por esto, que se realiza un análisis pluvial, para la estimación de los efectos urbanos, suponiendo que la lluvia es una variable más estable, para cuantificar los efectos que ella produce.

1.3 Areas de Desarrollo Urbano.

Con base en los actuales núcleos de desarrollo urbano, así - como en las vías de comunicación que los conectan; se estimó el - área de los futuros asentamientos urbanos que se presentarán en - el Valle de México; ya que aquéllas constituyen en sí, puntos de gran atractivo para formar futuras áreas de población.

Teniendo como base las anteriores consideraciones, las zonas urbanas se eligieron de acuerdo al estudio del drenaje del Valle de México, elaborado en el Instituto de Ingeniería. En este trabajo, se señalaron como futuros años de estudio los de 1980, 1990 y 2000, ya que representan el final de períodos, en los cuales es - posible ajustar nuevos datos que se vayan obteniendo y si es factible, modificar el funcionamiento del sistema de los Lagos de Texcoco, en caso de ser esto necesario.

La localización de estas áreas se muestra en las figuras 2,3,
4, y los valores de dichas superficies son los siguientes:

Año	Area (Km2)
1980	144
1990	273
2000	507

Es importante hacer énfasis, en las posibles modificaciones -

que tengan lugar con la aplicación futura de la Ley de Asentamientos Humanos, la cual tendrá su aplicación a mediano y largo plazo y en este caso, podría cambiar los desarrollos urbanos previstos en este trabajo. De llevarse a cabo la aplicación de esta ley, esto permitirá definir con mayor precisión las estimaciones de la población y modificar las aportaciones que ellas representen, logrando un mejor aprovechamiento de estas aguas y también de los recursos naturales del Lago de Texcoco.

1.4 Estimación de la Población

Utilizando las áreas evaluadas en el inciso anterior con sus respectivas densidades de población, calculamos la población para cada uno de los años en estudio y después obtendremos la aportación de aguas negras, que proporcionarán ellas en el futuro.

La zona urbana drenada por el Río Churubusco (Fig. 2,3,4), - que aporta sus aguas al lago de Texcoco presenta las siguientes características:

Municipio	Area (Km ²)	Densidad (Hab/Km ²)	Hab. (Miles)
Benito Juárez	20.0	40 000	800
Coyoacán y A. Obregón	52.3	10 000	523
Total	72.3	50 000	1 323

Respecto a la parte Oriente, se realizaron las siguientes -- consideraciones, en cuanto al cálculo de la población.

En la estimación de los habitantes de la zona Oriente, - fue necesario utilizar como base de las inferencias futuras, los municipios de Coacalco, Ixtapalapa, Netzahualcóyotl, Texcoco, Tláhuac y Tlalpan, debido a que la parte en estudio, actualmente no permite extrapolar datos a futuro.

Se considera que los municipios ya mencionados, presentan un gran parecido con el lugar en estudio, en cuanto al proceso urbano de crecimiento y la planeación a cuanto esto se refiere.

Es de notarse en estos municipios, el caso especial de - Cd. Netzahualcóyotl, que presenta una de las mayores densidades - de población en el Valle de México, para los escasos recursos que posee. Esta característica ha sido resultado del desmedido crecimiento que tuvo en los tiempos cercanos a su creación, sin importar la falta de obras de infraestructura mínima y necesaria para sus pobladores. Nunca será esta la manera de desarrollarse ni la pauta que se siga para la formación de una zona urbana; la planeación y la organización son la clave del éxito para futuras áreas de habitación.

Del municipio de Ixtapalapa, es necesario decir que los factores más importantes en su desarrollo, han sido la cercanía - con otros centros urbanos y las vías de comunicación que los unen; pero en un futuro próximo deben tomarse las medidas necesarias para no rebasar los límites de su capacidad como zona habitacional.

A continuación, se presentan las características de la - zona oriente, tomando en cuenta las condiciones arriba mencionadas.

MUNICIPIO	AREA URBANIZADA (%)	DENSIDAD TEORICA (Hab/Km2)	DENSIDAD REAL (hab/Km2)
Coacalco	8.2	293	3 573
Ixtapalapa	72.0	4195	5 826
Netzahualcóyotl	92.0	15263	16 591
Texcoco	4.3	130	3 023
Tláhuac	18.0	706	3 922
Tlalpan	3.7	422	11 405

La densidad real, se obtuvo evaluando el porciento en el cual se incrementa la densidad teórica, al considerar exclusivamente zonas urbanas localizadas dentro de cada municipio.

Tomando valores medios de los resultados en la densidad-real de los municipios del estudio, se concluyen para toda la zona Oriente las siguientes estimaciones de la densidad:

Año	Densidad (hab/Km2)
1980	4 500
1990	7 000
2000	9 000

El siguiente paso es estimar con estas densidades de población, el número de habitantes de la parte oriente.

Cd. Netzahualcóyotl, se tomó separada y se revaluó su densidad, considerando que tiene población flotante y una nueva política de planeación.

Los resultados obtenidos para la zona oriente son los siguientes:

Año 1980	Area (Km2)	Densidad (hab/Km2)	Población (hab)
Cd. Netzahualcóyotl	40	20 096	803 830
Zona S.E. y Oriente	104	4 500	468 000
Total	144		1 271 830
Año 1990			
Cd. Netzahualcóyotl	45	23 000	1 035 080
Zona S.E. y Oriente	228	7 000	1 596 000
Total	273		2 631 000
Año 2000			
Cd. Netzahualcóyotl	50	26 880	1 344 000
Zona S.E. y Oriente	457	9 000	4 113 000
Total	507		5 457 000

1.5 Dotación media en la zona Oriente.

Con el número de habitantes obtenido en el inciso anterior, se puede calcular la dotación de agua potable y posteriormente la aportación que se tenga de aguas negras.

La estimación de la dotación media en la parte oriente, se llevó a cabo siguiendo el cálculo descrito a continuación:

- Se supuso una dotación inicial en 1970 de 150 lt/hab/día
- Se calculó la tasa de incremento anual de la población.
- La dotación se incrementó a una tasa igual a la décima parte de la tasa del incremento de la población.

Con lo anterior, se pretende facilitar el cálculo en el futuro.

ro, cuando se tenga una mejor estimación, ya sea en la dotación - o en la población, con la cual será más fácil, valuar los incrementos relacionados con estas variables.

La tasa anual de incremento de la población es la siguiente:

Años	Población	Δ Población (%)
1970-1980	980 000 1 271 830	1.30
1980-1990	1 271 830 2 631 080	2.07
1990-2000	2 631 080 5 457 000	2.07

Con base en estos valores de incremento de población, y mediante el siguiente cálculo, obtenemos la tasa de incremento anual de la dotación y el valor correspondiente a ésta para los años 1980, 1990 y 2000 respectivamente.

Año 1980

$$\text{Tasa de incremento anual } i = (1.30)^{0.1} - 1 = 0.0266$$

$$\text{Dotación} = 150(1.00266)^{10} = 154.04 \text{ lt/hab/día}$$

Año 1990

$$\text{Tasa de incremento anual } i = (2.07)^{0.1} - 1 = 0.0755$$

$$\text{Dotación} = 154.04 (1.00755)^{10} = 166.07 \text{ lt/hab/día}$$

Año 2000

$$\text{Tasa de incremento anual } i = (2.07)^{0.1} - 1 = 0.0755$$

$$\text{Dotación} = 166.07(1.00755)^{10} = 179.04 \text{ t/hab/día}$$

2. ESTUDIO HIDROLOGICO

2.1 Introducción

Debido a las modificaciones que se producirán en la zona de estudio, como consecuencia del desarrollo urbano; el estudio - hidrológico, no se puede realizar con escurrimientos históricos porque se tendrían resultados irreales.

Sin embargo, la lluvia no se modificará, siendo necesario - en este caso procesarla para transformarla a volumen escurrido, con lo cual será más fácil estimar los efectos hidrológicos en el área de estudio, en esta forma se tendrá en cuenta la extensión y el grado de urbanización del lugar de análisis.

Para la evaluación de la precipitación pluvial, se utilizaron criterios diferentes en la parte que corresponde tanto a -- aprovechamientos como avenidas; en el primer caso se calcularon las lluvias medias mensuales de la zona que aporta a los lagos, utilizando para esto el criterio de los polígonos de Thiessen.

En la parte respectiva a las avenidas, se estimó la precipitación máxima anual, así como los periodos de retorno asociados a cada una de estas lluvias.

2.2 Lluvias Máximas Anuales.

Como primer paso, se eligieron aquellos años (13), en los cuales se tuviera un mayor número de estaciones pluviográficas- o pluviométricas en funcionamiento; este número de años, se obtuvo al observar aquéllos en los cuales se tuvieran cambios bruscos en el aumento del número de estaciones y además en los últimos años, donde se tienen trabajando una mayor cantidad de esta-

ciones en forma continua.

El siguiente paso, consistió en obtener de cada estación - las máximas precipitaciones registradas, logrando de esta manera- formar una muestra de lluvias máximas anuales y posteriormente de de terminar el intervalo de recurrencia o período de retorno (T_r), de este conjunto de datos.

Se procedió a continuación, a ajustar los datos a una dis-- tribución de probabilidad que permita tener valores para mayores - períodos de retorno. Para ajuste se utilizó una función tipo expo-- nencial, porque dadas las características de valores extremos del- conjunto de datos, se logra una mejor estimación, que con otro ti-- po de distribución.

Se presentana continuación los resultados obtenidos para di-- ferentes duraciones (tabla 1). Es importante, decir que para 4 - y 5 días no se pusieron los resultados por ser despreciables. Tam-- bién en las figuras 5 a 9, se muestran los resultados pero en- forma gráfica.

Precipitaciones máximas en mm.

Tabla 1

Duración (días)	Períodos de retorno			
	5	10	50	100
1	83.0	94.0	120.5	136.0
2	98.0	124.0	182.0	208.0
3	121.0	154.0	230.0	264.0

2.3 Lluvia Media Máxima Anual en el Area.

Siguiendo un proceso similar al utilizado para los valores máximos anuales de la precipitación, pero obteniendo el valor me dio de la precipitación por el método de los polígonos de Thie-- ssen, para cada año se encontró una muestra de precipitaciones - máximas sobre la zona de estudio. También se ajustaron estos da- tos a una distribución tipo exponencial, que proporcionó los re- sultados tabulados en la tabla 2 y dibujados en las figu-- ras 10 a 14, para diferentes períodos de retorno.

Tabla 2

Duración	Precipitaciones medias máximas en mm. Períodos de retorno			
	5	10	50	100
1 día	27.5	35.6	54.5	67.5
2 días	40.15	15.26	76.84	88.42
3 días	50.32	61.08	96.47	110.02

2.4 Reducción por Area de la Precipitación Media.

De varias lluvias históricas, observadas tanto en este -- trabajo como otras tomadas del estudio del drenaje del Valle de México, se seleccionaron las siguientes tormentas.

junio	de	1968	Fig. 15
agosto	de	1965	Fig. 16
agosto	de	1969	Fig. 17

Por medio de las cuales se obtuvo la relación entre la pre- cipitación media con el área donde ésa ocurre, en este caso se-

utilizó el método de las Isoyetas para obtener dicha relación.

Esto servirá, para reducir la precipitación cuando se trabaje sobre una superficie dada, al estimar los volúmenes de escurrimiento que ésta aporte. Los resultados de este inciso, se muestran dibujados en la fig. 18.

2.5 Lluvia Media Mensual.

Se analizaron los registros mensuales en un período de 10 años consecutivos para obtener la precipitación media mensual.

Primero se obtuvo la precipitación media de cada mes con todas las estaciones para cada año y después se aplicó el método de los polígonos de Thiessen uniendo esta precipitaciones medias mensuales de cada año y así tener la lluvia media mensual en toda el área; al aplicar los polígonos de Thiessen, se logra una manera más rápida de efectuar los cálculos. Los resultados, se presentan a continuación en la siguiente tabla.

Mes	hp(mm)
E	4.8
F	9.3
M	11.4
A	31.8
M	53.8
J	123.3
J	124.5
A	113.9
S	97.1
O	9.2

MES	hp(mm)
N	9.2
D	7.0

2.6 Variabilidad Mensual de la Lluvia.

Para definir la política de funcionamiento del sistema de los Lagos de Texcoco, será necesario dividir el análisis en dos períodos, uno durante la época de avenidas (junio a octubre), y el otro en el período de estiaje (noviembre a mayo); pretendiendo fijar un punto (fin de octubre), en el cual se pueda llegar a tener un volumen máximo a consecuencia de las avenidas, y otro (fin de mayo), en el que se requiera satisfacer sólo una demanda mínima.

En este caso, con base en la lluvia media mensual (inciso 2.5), evaluaremos las variaciones de lluvia que se presentan en cada período de los arriba mencionados; debido a que la lluvia es una variable de tipo aleatorio, que no permite estimarse como una aportación constante.

Se presentan a continuación los resultados para cada período, así como los totales respectivos y el total en el año. Los valores están dados en mm.

Mes	Media	Desviación stándar	Coef. de Variación
	$\bar{X}$	S	$C.V. = \frac{S}{\bar{X}}$
J	123.3	39.87	0.320
J	124.5	24.10	0.194
A	113.9	53.48	0.469

Mes	Media $\bar{X}$	Desviación stándar S	Coef. de variación C.U. = $\frac{S}{\bar{X}}$
S	97.1	20.07	0.207
O	52.8	19.34	0.366
Total	511.6	59.10	0.117
N	9.2	5.96	0.648
D	7.0	4.99	0.656
E	4.8	19.13	3.985
F	9.3	9.24	0.994
M	11.5	14.99	1.308
A	31.8	17.45	0.549
M	53.8	32.09	0.596
Total	127.36	36.63	0.288
Total			
Anual	638.96	46.11	0.072

2.7 Coeficiente de Escurrimiento.

Con los registros para diferentes años de los gastos aforados en los ríos del oriente, además de las lluvias medias mensuales, ocurridas en esta misma zona, se estimó el coeficiente de escurrimiento para áreas no urbanizadas, se muestran en las tablas 3, 4 y 5, todos los cálculos necesarios para evaluar este coeficiente, que resultó tener un valor igual a - 0.025.

Siendo difícil calcular el coeficiente de escurrimiento-

en zonas urbanas, a causa de la falta de registros de precipitación y de los problemas en la medición de volúmenes de lluvia escurridos en esta zona; se recurrió para su estimación a una investigación bibliográfica basada en las predicciones futuras que se tengan en cuanto al estado de la urbanización.

Como resultado de estas consideraciones, se obtuvo un valor del coeficiente de escurrimiento en zona urbana igual a 0.400.

Con objeto de facilitar los cálculos posteriores en toda el área, se utilizó un coeficiente de escurrimiento igual a .025, independiente de que esté o no urbanizada dicha área, y también se añadió un coeficiente $c=0.4 - 0.025 = 0.375$, en las áreas urbanas, para tomar en cuenta esta simplificación.

2.8 Evaporación.

Otro parámetro necesario para estimar los futuros aprovechamientos en los Lagos de Texcoco, es la evaporación que se calculó siguiendo el procedimiento que se describe a continuación.

De las estaciones climatológicas existentes en la zona, se tomaron los registros de evaporación desde el año 1920 hasta 1972, estimándose la evaporación neta mensual que se prevee en los futuros almacenamientos; estos valores únicamente se supusieron para la superficie libre, de los lagos en estudio, esta superficie tiene un valor medio aproximado de $7.2 \times 10^6 \text{ M}^2$. A continuación se presentan los resultados obtenidos para este análisis.

Tabla 6

Mes	Evaporación neta (mm)	Evaporación en el lago ($\times 10^6$ M3)
E	110.94	0.80
F	144.23	1.04
M	199.86	1.44
A	183.47	1.32
M	150.30	1.08
J	73.05	.52
J	35.34	0.26
A	38.72	0.28
S	28.86	0.20
O	95.32	0.68
N	102.91	0.74
D	104.05	0.74

TABLA No. 3

Coefficiente de escurrimiento 1 día en áreas no urbanizadas

CUENCA	AREA 10^6 m^2	h_p MEDIA 10^{-3} m	VOLUMEN LLOVIDO 10^3 m^3	VOLUMEN ESCURRIDO 10^3 m^3	COEFICIENTE
RIO S. JUAN TEOTIHUACAN	544.2	38.18	20777.6	308.7936	0.01485
RIO PAPALOTA	210.0	29.5	6195	243.4752	0.03929
RIO XALPANGO	89.1	27.3	2432.43	22.464	0.00923
RIO COSCACOACO	61.5	20.0	1230	41.2128	0.0335
RIO TEXCOCO	31.2	20.0	624	22.9824	0.03682
RIO CHAPINGO	25.3	20.0	506	18.2304	0.0350
RIO SAN BERNARDINO	23.5	20.0	470	9.936	0.0211
RIO STA. MONICA	60.5	20	1210	79.4016	0.06561
TOTAL			33445.03	746.48	0.0223

TABLA No. 4

Coefficiente de escurrimiento 2 días en áreas no urbanizadas

CUENCA	AREA 10^6 m^2	h_p MEDIA 10^{-3} m	VOLUMEN LLOVIDO	VOLUMEN ESCURRIDO	COEFICIENTE
RIO S. JUAN TEOTIHUACAN	544.2	55.7	30311.94	407.6352	0.0134
RIO PAPALOTA	210.0	43.8	9198	599.7024	0.0652
RIO XALPANGO	89.1	40.5	3608.55	39.4848	0.01094
RIO COSCACOACO	61.5	38.5	2367.75	77.4144	0.03269
RIO TEXCOCO	31.2	35	1092	30.5856	0.02800
RIO CHILPANCINGO	25.3	35	885.5	39.2256	0.04429
RIO SAN BERNARDINO	23.5	35	822.5	37.584	0.04569
RIO STA. MONICA	60.5	34.6	2093.3	184.1184	0.08795
TOTAL	1045.3		50380.0	1415.7	0.0281

TABLA No. 5

Coefficiente de escurrimiento 3 días en áreas no urbanizadas

CUENCA	AREA 10^6 m^2	hp MEDIA 10^{-3} m	VOLUMEN LLOVIDO	VOLUMEN ESCURRIDO.	COEFICIENTE
RIO SAN JUAN TEOTIHUACAN	544.2	72.2	39291.24	440.8992	0.01119
RIO PAPALOTA	210.0	65.5	692.8416	13755	0.050369
RIO XALPANGO	89.1	66.6	61.9488	5934.00	0.010433
RIO COSCACOACO	61.5	67.7	84.0672	4163.55	0.02018
RIO TEXCOCO	31.2	60.0	32.5728	1872	0.017397
RIO CHAPINGO	25.3	60.0	50.6304	1518	0.03335
RIO SAN BERNARDINO	23.5	60.0	38.448	1410	0.02726
RIO STA. MONICA	60.5	60.0	205.5456	3630	0.050607
TOTAL			1606.8	71573	0.023

3.- VOLUMENES PARA CONTROL DE AVENIDAS.

3.1 Introducción.

Dentro de la capacidad total de los lagos, se debe incluir un volumen que tome en cuenta las avenidas producidas por la época de lluvias y si es posible lograr aprovecharlas en toda su capacidad, almacenándolas para uso posterior. En esta parte se presentan los cálculos necesarios para estimar la capacidad adecuada en estos posibles aprovechamientos.

3.2 Avenidas producidas por la zona urbanizada que aporta al río Churubusco.

Para esta zona (fig. 2), el parteaguas elegido, que define la correspondiente cuenca de aportación es el siguiente:

Interceptor del Poniente

Río de la Piedad

Límites actuales del desarrollo urbano.

Lo que proporciona un área resultante para dicha cuenca de 72.27 Km² y un factor de reducción por área de la precipitación-media máxima de 0.90 para la misma.

Debido a las características de gran urbanización, el coeficiente de escurrimiento estimado resultó ser igual a 0.375, como ya se indicó en el capítulo anterior para este tipo de zonas.

Con estos parámetros, el volumen de la avenida se calculó mediante la siguiente expresión.

$$V_{01} = \text{Area} \times \text{Coef.de reducción} \times \text{coef. de escurrimiento}$$

Siendo las alturas de precipitación (h_{pi}), las obtenidas para las precipitaciones medias máximas (tabla 2).

Los resultados para esta zona, al utilizar la expresión anterior, para los periodos de retorno correspondientes a la tabla 2, se muestran resumidos en la tabla siguiente:

Día/Tr	5	10	50	100
1	2.03	2.30	2.94	3.32
2	2.40	3.02	4.44	5.08
3	2.97	3.76	5.61	6.44

3.3 Avenidas Producidas por las zonas Oriente y Sureste del Lago, incluyendo aportaciones urbanas.

La cuenca estimada en esta parte, comprende un área total de 1 832 Km², con un factor de reducción para la lluvia puntual en esta área igual a 0.415; para las zonas urbanas, este factor de reducción fue igual a 0.90; en cuanto al coeficiente de escurrimiento medio en zonas no urbanizadas fue igual a 0.025 y en zonas urbanas su valor fue de 0.40.

Las áreas urbanas utilizadas en este caso, son las calculadas en el capítulo número 1.

El volumen escurrido que se tendrá en la época de avenidas, se estimó con las siguientes expresiones:

Vol. Escurrido

Zona No Urbani
zada = Area x h_{pi} en el área x coef. de escurrimiento

Vol. Escurrido
 zona = Area i x hpi x Coef. de x Coef. de
 Urbanizada puntual reducción escurrimiento

Son las precipitaciones puntuales las de la tabla 1 y las precipitaciones en el área las obtenidas en la tabla 2.

Los resultados (en $m^3 \times 10^6$), se muestran en las siguientes tablas, tanto para la zona urbana como la no urbana con su duración y periodo de retorno respectivo.

Zona no Urbana:

Duración/Tr (días)	5	10	50	100
1	1.59	1.80	2.29	2.59
2	1.87	2.35	3.46	3.96
3	2.31	2.47	4.37	5.06

Zona Urbana

Tr Duración/año	5	10	2000	10	2000
1	4.05	2.68	14.25	4.59	8.71
2	4.78	9.06	16.82	6.02	11.41
3	5.91	11.20	20.81	7.48	14.19

Tr Duración/año	50	100	200	50	100	200
1	5.86	11.10	20.62	6.61	12.54	23.1
2	8.85	16.77	31.14	10.12	19.18	35.1
3	11.18	21.19	39.36	12.83	24.32	45.1

3.4 Volúmenes necesarios para diferentes extracciones.

Si se considera un gasto de extracción constante durante todo el período de la avenida, los volúmenes de almacenamiento requeridos en este tiempo, serán en consecuencia menores para las duraciones especificadas. Ahora, estos volúmenes, con los gastos-respectivos de salida, se presentan en las tablas 7, 8 y 9. Aquí se consideraron las aportaciones originadas tanto en zonas urbanas como no urbanas.

TABLA No. 7

Volumen de almacenamiento para 1 día.

Año	Q (m ³ /s) Extracción	5	10	50	100
1980	0	5.64	6.39	8.15	9.2
	25	3.64	4.39	6.15	7.20
	35	2.77	3.52	5.28	6.33
	50	1.48	2.23	3.99	5.04
1990	0	9.27	10.51	13.39	15.13
	25	7.46	8.70	11.58	13.32
	35	6.60	7.84	10.72	12.46
	50	5.30	6.54	9.42	11.16
2000	0	15.84	17.97	22.91	25.88
	25	14.46	16.59	21.53	24.50
	35	13.60	15.73	20.67	23.64
	50	12.30	14.43	19.37	22.34

TABLA No. 8

Volumen de almacenamiento para 2 días.

Año	Q (m ³ /s) extracción	5	10	50	100
1980	0	6.65	8.37	12.31	14.08
	25	2.65	4.37	8.31	10.08
	35	0.91	2.63	6.57	8.34
	50	-	0.04	3.98	5.75
1990	0	10.93	13.76	20.23	23.14
	25	7.31	10.14	16.61	19.52
	35	5.59	8.42	14.89	17.80
	50	2.99	5.82	12.29	15.20
2000	0	18.69	23.53	34.60	39.59
	25	15.93	10.77	31.84	36.83
	35	14.21	19.05	30.12	35.11
	50	11.61	16.45	27.52	32.51

TABLA No 9

Volumen de almacenamiento para 3 días.

Año	Q(m ³ /s) extracción	5	10	50	100
1980	0	8.22	9.95	15.55	17.85
	25	2.21	3.94	9.54	11.84
	35	-	1.35	6.95	9.25
	50	-	-	3.06	5.36
1990	0	13.51	16.66	25.56	29.34
	25	8.08	11.23	10.13	23.91
	35	5.49	8.64	17.54	21.32
	50	1.60	4.75	13.65	17.34
2000	0	23.12	28.82	43.73	50.19
	25	18.99	24.69	39.60	46.06
	35	16.39	22.09	37.00	43.46
	50	12.51	18.21	33.12	39.58

3.5 Volúmenes más desfavorables para avenidas.

Los volúmenes de almacenamiento requeridos para avenidas que provengan de las dos zonas de aportación, en la condición -- más desfavorables, se presentan en la siguiente tabla.

TABLA No. 10

Año	$Q(m^3/s)$ extracción	5	10	50	100
1980	0	11.19	13.71	21.16	24.29
	25	5.67	7.70	15.15	18.28
	35	4.80	5.82	12.56	15.69
	50	3.51	4.53	8.67	11.80
1990	0	16.47	20.42	31.17	35.78
	25	11.05	14.99	25.74	30.35
	35	8.63	12.40	23.15	27.76
	50	7.33	8.84	19.26	23.78
2000	0	20.09	32.58	49.34	56.63
	25	21.96	28.45	45.21	52.50
	35	19.36	25.85	42.61	49.90
	50	15.48	21.97	38.73	46.02

En congruencia con otros estudios, respecto a los volúmenes aceptables por el Gran Canal, se consideró una extracción máxima durante la avenida de 25 M3/s, resultando para esta extracción los siguientes valores, en millones de m3.

Año/Tr	5	10	50	100
1980	5.67	7.70	15.15	18.28
1990	11.05	14.99	25.74	30.35
2000	21.96	28.45	45.21	52.50

4.- APORTACIONES PARA APROVECHAMIENTO.

Introducción.

Los volúmenes a utilizar para aprovechamiento, tendrán su origen en las aguas negras aportadas por las zonas urbanas y en los escurrimientos ocurridos tanto en zonas urbanas como - no urbanas. Los volúmenes así obtenidos, permitirán estimar - la capacidad de los lagos y las superficies disponibles para cultivos en el distrito de riego correspondiente.

4.1 Aportación de aguas negras de la zona urbanizada del río-Churubusco.

Dadas las características de esta zona, se supuso una dotación de 300 lt/hab/día y un coeficiente igual a 0.75 para - evaluar la aportación correspondiente a aguas negras. Con estos datos y la población (1.32×10^6 habitantes), obtenida para esta zona en el inciso (1.4), se estimó la aportación de aguas de desecho, para posterior utilización en:

$$8.91 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mes}$$

$$3.438 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2 Aportación de aguas negras de la zona Oriente y Sur-este.

Con base en los resultados de la población y la dotación obtenidos en el capítulo 1, para esta zona, y estimando igual a - 0.80, se obtuvieron los siguientes resultados para las aportaciones de aguas residuales en los correspondientes años de estudio.

Tabla 11

Aportación de Aguas Negras de la Zona Oriente y Sur-Este.

Año	Aportación (lt/hab/día)	Gasto (m ³ /s)	Vol. Mensual (m ³ x 10 ⁶)
1980	123.23	1.81	4.69
1990	132.86	4.05	10.50
2000	143.23	9.05	23.46

4.3 Aportación total de aguas negras.

Esta aportación se obtiene sumando las aportaciones producidas en las zonas oriente, Sur-Este y Churubusco, lo cual nos da los siguientes valores para los años en estudio:

Tabla 12

Aportación total de aguas negras.

Año	Vol. Mensual (m ³ x 10 ⁶)
1980	13.60
1990	19.41
2000	32.37

4.4 Volúmenes escurridos en la zona no urbanizada.

La estimación del volumen escurrido se calculó mediante la siguiente expresión:

$$Vi = \text{Area} \times \text{Coef. de escurrimiento} \times \text{Coef. de reducción} \times \text{hpi por área}$$

Siendo:

$$\text{Area (fig. 20)} = 1832 \text{ Km}^2$$

$$\text{Coef. de escurrimiento} = 0.025$$

$$\text{Coef. de reducción por área} = 0.85$$

Altura de precipitación = Diferente para cada mes del año

Obteniéndose de esta manera los valores a continuación --
mostrados en la tabla 13.

Tabla No. 13

Volúmenes escurridos en la zona no urbanizada.

Mes	Vol. Escurrido $\times 10^6 \text{ M}^3$
E	0.187
F	0.362
M	0.446
A	1.238
M	2.094
J	4.800
J	4.847
A	4.434
S	3.780
O	2.056
N	0.358
D	0.273

4.5 Volumen escurrido en la zona urbanizada.

El cálculo del volumen escurrido en esta área, se estimó mediante la siguiente expresión:

$$Vi = \text{Area } i \times \text{Coef. de escurrimiento} \times \text{Coef. de reducción por área} \times hpi$$

Considerando los valores siguientes para cada parámetro:

1. Coef. de escurrimiento = 0.375
2. Coef. de reducción por área = 0.850
3. Area
 - 1980 = 153 Km²
 - 1990 = 272 Km²
 - 2000 = 507 Km²

4. Altura de precipitación = Diferente para cada mes.

En la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos en este inciso:

TABLA No. 14

Volumen escurrido en la zona urbanizada.

AÑO MES	1980 $\times 10^6 \text{ m}^3$	1990 $\times 10^6 \text{ m}^3$	2000 $\times 10^6 \text{ m}^3$
ENERO	0.23	0.42	0.78
FEBRERO	0.45	0.81	1.50
MARZO	0.56	0.99	1.84
ABRIL	1.55	2.77	5.14
MAYO	2.62	4.68	8.69
JUNIO	6.01	10.73	19.93
JULIO	6.07	10.83	10.12
AGOSTO	5.55	9.91	18.41
SEPTIEMBRE	4.74	8.45	15.69
OCTUBRE	2.57	4.59	8.53
NOVIEMBRE	0.45	0.80	1.49
DICIEMBRE	0.34	0.61	1.13

4.6 Volumen total escurrido en toda el área de estudio.

Sumando los volúmenes estimados tanto para el área no urbanizada (tabla 14), como la urbanizada (tabla 13), se obtiene el siguiente volumen escurrido total.

TABLA No. 15

Volumen total escurrido en toda la zona.

AÑO MES	1900 $\times 10^6 \text{m}^3$	1990 $\times 10^6 \text{m}^3$	2000 $\times 10^6 \text{m}^3$
ENERO	.42	.61	0.97
FEBRERO	.81	1.17	1.86
MARZO	1.01	1.44	2.29
ABRIL	2.79	4.01	6.38
MAYO	4.71	6.77	10.78
JUNIO	10.81	15.53	24.73
JULIO	10.92	15.68	24.97
AGOSTO	9.98	14.34	22.84
SEPTIEMBRE	8.52	12.23	19.47
OCTUBRE	4.63	6.47	10.59
NOVIEMBRE	0.81	1.16	1.85
DICIEMBRE	0.61	0.88	1.40

4.7 Volumen para aprovechamiento.

El volumen de agua generado para aprovechamiento es el resultante de sumar las aguas residuales (tabla No. 12), los volúmenes de lluvia (tabla No. 15), y restar las evaporaciones (tabla No. 6).

La aportación de aguas negras, se supuso constante para cada mes del año, considerando que la información de escurrimientos con que se cuenta, no permite definir las variaciones dentro de cada período mensual y que los cambios del escurrimiento pluvial son mayores.

En las tablas 16, 17 y 18, se presentan los resultados obtenidos para volúmenes aprovechables de aguas negras o de lluvia proporcionadas por toda el área de estudio.

4.8 Porcentaje de la aportación por lluvia respecto al total de la aportación.

Debido a que la lluvia es una variable que no se consideró constante como las otras, es importante definir lo que representa la aportación por lluvia respecto a la aportación total en el aprovechamiento, definiendo su coeficiente de variación respecto al total de la aportación que se tiene.

A continuación se presentan los resultados para este inciso, con los períodos considerados en el capítulo dos.

Año 1980:

Mes	Aport. Lluvia	Aport. Total	%
JUNIO	10.81	23.89	0.452
JULIO	10.92	24.26	0.450
AGOSTO	9.98	23.30	0.428
SEP.	8.52	21.92	0.389
OCT.	4.63	17.55	0.264
Total	44.86	110.92	0.404

Mes	Aport. Lluvia	Aport. Total	%
NOV.	0.81	13.67	0.060
DIC.	0.61	13.47	0.045
ENERO	0.42	13.22	0.032
FEBRERO	0.81	13.37	0.061
MARZO	1.01	13.17	0.077
ABRIL	2.79	15.07	0.185
MAYO	4.71	17.23	0.273
Total Nov- may	11.16	99.20	0.113
Total anual	56.02	210.12	0.267

Año 1990:

Mes	Aport. Lluvia	Aport. Total	%
JUNIO	15.53	34.42	0.451
JULIO	15.68	34.73	0.451
AGOSTO	14.34	33.47	0.428
SEP.	12.23	31.44	0.389
OCT.	6.47	25.20	0.257
Total	64.25	159.26	0.403

NOV.	1.61	19.83	0.058
DIC.	0.88	19.55	0.045
ENERO	0.61	19.22	0.032
FEBRERO	1.17	19.54	0.060
MARZO	1.44	19.41	0.074
ABRIL	4.01	22.10	0.181
MAYO	6.77	25.10	0.270
Total	16.04	144.75	0.111
Total anual	80.29	304.01	0.264

Año 2000:

Mes	Aport. Lluvia	Aport. Total	%
JUNIO	24.73	56.58	0.437
JULIO	24.97	57.08	0.437
AGOSTO	22.84	54.93	0.416
SEP.	19.47	51.64	0.377
OCT.	10.59	42.28	0.250
Total	102.60	262.51	0.391

NOV.	1.85	33.48	0.055
DIC.	1.40	33.03	0.042
ENERO	0.97	32.54	0.030
FEBRERO	1.86	33.19	0.056
MARZO	2.29	33.22	0.069
ABRIL	6.38	37.43	0.170
MAYO	10.78	42.07	0.256
Total	25.53	244.96	0.104
Total anual	128.13	507.47	0.252

En resumen, para los periodos considerados se tiene:
(ver inciso 2.6)

Noviembre - mayo:

% de la total = 10.26

Coefficiente de variación C.V. = 0.288

Coef. de variación respecto al total = $0.29 \times 10.26 = 0.0315$

Junio - octubre:

% del total = 39.93

Coefficiente de variación C.V. = 0.117

Coefficiente de variación respecto al total = $0.117 \times 39.9 = 0.047$

Volumen para aprovechamiento

Año 2000: $\times 10^6 \text{ m}^3$

MES	AGUAS NEGRAS	EVAPORACION	LLUVIA	TOTAL
ENERO	32.37	-0.80	0.97	32.54
FEBRERO	32.37	-1.04	1.86	33.19
MARZO	32.37	-1.44	2.29	33.22
ABRIL	32.37	-1.32	6.38	37.43
MAYO	32.37	-1.08	10.78	42.07
JUNIO	32.37	-0.52	24.73	56.58
JULIO	32.37	-0.26	24.97	57.08
AGOSTO	32.37	-0.28	22.84	54.93
SEPTIEMBRE	32.27	-0.20	19.47	51.64
OCTUBRE	32.37	-0.68	10.59	42.28
NOVIEMBRE	32.37	-0.74	1.85	33.48
DICIEMBRE	32.37	-0.74	1.40	33.03

TABLA No. 17

40

*Volumen para aprovechamiento.*Año 1990; x 10^6 m^3

MES	AGUAS NEGRAS	EVAPORACION	LLUVIA	TOTAL
ENERO	19.41	-0.80	.61	19.22
FEBRERO	19.41	-1.04	1.17	19.54
MARZO	19.41	-1.44	1.44	19.41
ABRIL	19.41	-1.32	4.01	22.10
MAYO	19.41	-1.08	6.77	25.10
JUNIO	19.41	-0.52	15.53	34.42
JULIO	19.41	-0.26	15.68	34.73
AGOSTO	19.41	-0.28	14.34	33.47
SEPTIEMBRE	19.41	-0.20	12.23	31.44
OCTUBRE	19.41	-0.68	6.47	25.20
NOVIEMBRE	19.41	-0.74	1.16	19.83
DICIEMBRE	19.41	-0.74	0.88	19.55

Volumen para aprovechamiento.

Año 1980: $\times 10^6 \text{ m}^3$

MES	AGUAS NEGRAS	EVAPORACION	LLUVIA	TOTAL
ENERO	13.60	-0.80	0.417	13.22
FEBRERO	13.60	-1.04	0.812	13.37
MARZO	13.60	-1.44	1.006	13.17
ABRIL	13.60	-1.32	2.788	15.07
MAYO	13.60	-1.08	4.714	17.23
JUNIO	13.60	-1.08	10.810	23.89
JULIO	13.60	-0.26	10.917	24.26
AGOSTO	13.60	-0.28	9.984	23.30
SEPTIEMBRE	13.60	-0.20	8.520	21.92
OCTUBRE	13.60	-0.68	4.626	17.55
NOVIEMBRE	13.60	-0.74	0.808	13.67
DICIEMBRE	13.60	-0.74	0.613	13.47

5.- REGIMEN DE DEMANDAS.

5.1 Introducción.

Es importante para definir las dimensiones necesarias de los lagos y la operación del sistema, elegir el régimen de demandas de riego anual, con objeto de prevenir los posibles déficits que se vayan a presentar y no afectar el sistema de operación.

5.2 Definición de la lámina anual de riego.

Para obtener la lámina bruta anual de riego, se cuenta con varios estudios para diferentes distritos de riego en el Valle de México y sus cercanías; en estos estudios se observó una relativa variación en la lámina de riego para cada uno de ellos, por lo que se tomó un promedio como índice para evaluar el número de hectáreas que podrán regarse.

Un cambio en la determinación de dicha lámina que se origine en un estudio detallado, resultará en un cambio proporcional del número de hectáreas regables.

A continuación se presentan las diferentes láminas observadas, así como un promedio obtenido de ellas.

	Rehabilitado	Actual
Distrito de Riego 03	1.83 m	2.36 m
Distrito de Riego Tequis quiác - Tlalmaco	1.83 m	2.44 m
Distrito de Riego Alfajayuca	1.71 m	1.97 m
Distrito de Riego Mixquic Tláhuac-Chalco	0.75 m	1.12 m

Lámina elegida = 1.80 m

5.3 Distribución mensual de la demanda.

De los estudios arriba mencionados se obtuvo la distribución mensual de la demanda, observándose (fig.21), mucho más estable y sujeta sólo a pequeñas variaciones, por lo que se -- consideró el promedio gráfico como representativo de esta demanda.

Los valores medios obtenidos se presentan a continuación:

Mes	Demanda %
E	6.9
F	8.9
M	13.2
A	13.7
M	12.7
J	7.0

Mes	Demanda %
J	4.5
A	6.4
S	4.6
O	6.6
N	8.1
D	7.4

5.4 Análisis de la capacidad para un año de lluvia media

Supuesta inicialmente una demanda y que se presentarán lluvias registradas en los últimos años se calculó para los diferentes años de estudio, el almacenamiento máximo que se puede tener, así como el volumen sobrante para cada demanda.

Considerando proporcional el área de riego a la demanda, se llega al valor en el cual se tiene un almacenamiento mínimo al final del período, implicando con esto que se tiene una demanda máxima y un área regable máxima también.

Primero se calculó para 10 000, 15 000 y 25 000 hectáreas en los años 1980, 1990 y 2000 respectivamente, después se presenta el resumen para diferentes hectáreas llegando a la máxima área regable, a partir de las suposiciones hechas anteriormente.

Donde:

K = almacenamiento al final del período

$E_{netam\acute{a}x}$ = almacenamiento máximo durante el período (octubre)

$E_{netam\acute{a}x} - K$ = almacenamiento mínimo requerido (mes de máximo almacenamiento)

Año 1980; Area regable = 10 000 ha

MES	DEMANDA	APORTA	EDEMAND	EAPORTA	ENETA	ENETA-I
JUNIO	12.58	23.89	12.58	23.89	11.31	-
JULIO	8.08	24.26	20.66	48.15	27.49	-
AGOSTO	11.50	23.30	32.16	71.45	39.29	8.93
SEPTIEMBRE	8.26	21.92	40.12	92.37	52.95	22.59
OCTUBRE	11.86	17.55	52.28	110.92	58.64	28.28
NOV.	14.56	13.67	66.84	124.59	57.75	27.39
DICIEMBRE	13.30	13.47	80.14	138.06	57.92	27.56
ENERO	12.40	13.22	92.54	151.28	58.74	28.38
FEBRERO	16.00	13.37	108.54	164.65	56.11	25.75
MARZO	23.74	13.17	132.28	177.82	45.54	15.18
ABRIL	24.64	15.07	156.92	192.89	35.97	5.61
MAYO	22.84	17.23	179.76	210.12	30.36	

$K = 30.36$

$\Sigma \text{ Neta máx} = 58.64$

$\Sigma \text{ Neta máx} - K = 28.28$

1990 [15 000 ha]

MES	DEMANDA	APORTA	ΣDEMAND.	ΣAPORTA	ΣNETA	ΣNETA-K
JUNIO	18.90	34.42	18.90	34.42	15.52	-
JULIO	12.15	34.73	31.05	69.15	38.10	4.09
AGOSTO	17.28	33.7	48.33	102.62	54.29	20.28
SEPTIEMBRE	12.42	31.44	60.75	134.06	73.31	39.30
OCTUBRE	17.82	25.20	78.57	159.26	80.69	46.68
NOV.	21.87	19.83	100.44	179.09	78.65	44.64
DICIEMBRE	19.98	19.55	120.42	198.64	78.22	44.21
ENERO	18.63	19.22	139.05	217.86	78.81	44.80
FEBRERO	24.03	19.54	163.08	234.40	71.32	37.31
MARZO	35.64	19.41	198.72	256.81	58.09	24.08
ABRIL	36.99	22.10	235.71	278.91	43.20	9.19
MAYO	34.29	25.10	170.00	304.01	34.01	

$$K = 34.01 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\Sigma \text{Neta máx} = 80.69$$

$$\Sigma \text{Neta máx-K} = 46.68$$

2000 (25 000 ha)

IES	DEMANDA	APORTA	EDEMAND	EAPORTA	ENETA	ENETA-K
JUNIO	31.09	56.58	31.09	56.58	25.49	0.05
JULIO	19.83	57.08	50.92	113.66	62.74	0.05
AGOSTO	28.38	54.93	79.30	168.59	89.29	26.60
SEPTIEMBRE	20.28	51.64	99.58	220.23	120.65	57.96
OCTUBRE	29.82	42.28	129.40	262.51	133.11	70.42
NOV.	36.04	33.48	165.44	295.99	130.55	67.86
DICIEMBRE	32.09	33.03	197.53	329.02	131.49	68.80
ENERO	30.64	32.54	228.17	361.56	133.39	70.70
FEBRERO	39.09	33.19	267.83	394.75	126.92	64.23
MARZO	58.98	33.22	326.81	427.97	101.16	38.47
ABRIL	61.23	37.43	388.04	465.40	77.36	14.67
MAYO	56.74	42.07	444.78	507.47	62.69	

$$K = 62.69 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$I \text{ Neta máx} = 133.11 \times 10^6$$

$$I \text{ Neta máx} - K = 70.42 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Resumen para diferentes hectáreas

Año 1980:

1 HAS	2 EDEMAND	3 EDEMAND	4 K	5 ENETA MAX	6 5 - K	7 5/6
8500	44.44	152.80	57.32	66.48	9.16	7.26
9000	47.05	161.78	48.34	63.87	15.53	4.11
9500	49.67	170.77	39.35	61.25	21.90	2.80
10000	52.28	179.76	30.36	58.64	28.28	2.07
10500	54.89	188.75	21.37	56.03	34.66	1.62
11000	57.51	197.74	12.38	53.41	41.03	1.30
11690	61.12	210.12	0	49.80	49.80	1.00

Año 1990:

1 HAS	2 EDEMAND	3 EDEMAND	4 K	5 ENETA MAX	6 5 - K	7 5/6
13500	70.71	243.00	61.01	88.55	27.54	3.22
14000	73.33	252.00	52.01	85.93	33.92	2.53
14500	75.95	261.00	43.01	83.31	40.30	2.07
15000	78.57	270.00	34.01	80.69	46.68	1.73
15500	81.19	279.00	25.01	78.09	53.08	1.47
16890	88.47	304.01	0	70.79	70.79	1.00
16000	83.81	288.00	16.01	75.45	59.44	1.27

Año 2000:

1 IAS	2 EDEMAND	3 EDEMAND	4 K	5 ENETA MAX	6 ENETA MAX-K	7 5/6
23000	119.05	409.20	98.27	143.46	45.19	3.17
24000	124.22	426.99	80.48	138.29	57.81	2.39
25000	129.40	444.78	62.69	133.11	70.42	1.89
25500	131.99	453.68	53.79	130.52	76.73	1.70
26000	134.58	462.57	44.90	127.93	83.03	1.54
26150	135.35	465.24	42.23	127.16	84.93	1.497
26200	135.61	466.13	41.34	126.90	185.56	1.48
26500	137.16	471.47	36.00	125.35	89.35	1.40
28524	147.64	507.47	0	114.87	114.87	1.00

.5 Volumen requerido de almacenamiento.

Si se supone la relación:

$$Z = \frac{\Sigma \text{Neta máx}}{\Sigma \text{Neta máx} - K}$$

se tendrá que para equilibrar la posibilidad de que se alcance un volumen a fines de octubre, con los que dicho volumen sea - suficiente para satisfacer las demandas en noviembre y mayo -- (hasta el fin del periodo).

Para esto se requiere que:

$$Z(1 - 0.047 \alpha) = 1(1 + 0.0315 \alpha)$$

Donde 0.047 y 0.0325 son los coeficientes de variación de lluvia para cada periodo, obtenidos en el inciso (4.8), esto -- es:

$$\alpha = \frac{Z - 1}{0.0315 + 0.0472}$$

con lo que podemos obtener:

Z	α
1.1	(1.202)
1.2	(2.275)
1.3	(3.240)
1.4	(4.111)
1.5	(4.902)
1.6	(5.623)
1.7	(6.284)
1.9	(7.450)
2.0	(7.968)

Esto quiere decir que con el valor de Z que se elija, se tendrá una cierta probabilidad de no alcanzar el volumen requerido al final del período y se consigue un déficit. En particular para un valor de Z cercano a 1.5, la probabilidad de déficit será cercana a 1%, por lo que de las diferentes alternativas se eligieron aquellas en que Z es aproximadamente 1.5 y así elegir el volumen al final de la época de avenidas necesario para la demanda. A continuación se presenta la obtención de esos volúmenes y las hectáreas que pueden regar.

Año 1980.-

Hectáreas regables: 11 000

esto implica que $Z = 1.3$ y $\alpha = 3.21$

y obtener el volumen correspondiente

$$V = 53.41 (1 - 0.047\alpha) = 41.03 (1 + 0.0315\alpha)$$

$$V = 45.35 \times 10^6 \text{ m}^3$$

AÑO 1990.-

Hectáreas regables: 15 500

$$Z = 1.47, \alpha = 4.57$$

$$V = 78.09 (1 - 0.047\alpha) = 53.08 (1 + 0.0315\alpha)$$

$$V = 61.32 \times 10^6 \text{ M}^3$$

AÑO 2000.-

Hectáreas regables: 26 000

$$Z = 1.54 \alpha = 5.14$$

$$V = 127.93 (1 - 0.047\alpha) = 83.03 (1 + 0.0315\alpha)$$

$$V = 97.04 \times 10^6 \text{ M}^3$$

6. SIMULACION DEL FUNCIONAMIENTO.

6.1 Generación de Datos.

Es importante la generación de un registro hidrológico, para dimensionar la capacidad de los vasos y estimar el posible déficit que tengamos al llevar a cabo su funcionamiento, y comprobar los volúmenes anteriormente dados.

Las técnicas de generación de datos, se basan en el hecho de que un registro es una secuencia ordenada de valores respecto al tiempo y es factible darles un tratamiento de series cronológicas.

Se considera que las series son estacionarias y que las observaciones, son distribuidas como funciones sólo de -- los eventos inmediatos a su ocurrencia; esto implica por una parte, que los parámetros estadísticos de la muestra se conservan y por otra, la ocurrencia de un evento se considera dependiente sólo de los eventos inmediatos anteriores. Debe tomarse en cuenta que a pesar de lo anteriormente dicho, la dependencia entre las observaciones hidrológicas decrece con el incremento en su tiempo base, la dependencia entre los gastos anuales es menor que entre los gastos mensuales.

Una serie cronológica de datos hidrológicos puede -- considerarse compuesta por la suma de un elemento no aleatorio y un elemento aleatorio. Un elemento no aleatorio es aquel que se puede evaluar en forma determinística en un intervalo de -- tiempo.

Para la generación de datos, los procesos de simulación que incluyen un elemento aleatorio son fundamentales; se utilizará una generación de números aleatorios para una distribución normal del registro histórico.

En la simulación se consideraron las siguientes características:

Se dividió en dos períodos:

noviembre - mayo y

junio - octubre

Las aportaciones en cada período se supusieron compuestas por dos partes, como se mencionó anteriormente:

1) La determinística, es la suma de aguas negras menos la evaporación.

2) La aleatoria, una lluvia media con las siguientes características (ver inciso 2.6):

Período	Parámetros
Junio - octubre	$\mu = 511.66$ mm. $\sigma = 59.7$ mm.
Noviembre - mayo	$\mu = 127.36$ mm. $\sigma = 36.63$ mm.

Suponemos que entre las dos épocas, el coeficiente de correlación será nulo.

El coeficiente de escurrimiento será variable según el año y se calcula como sigue:

$$\text{Coef. Escu. } i = \frac{(0.4 \times A.\text{Urbana} + 0.025 \times A \text{ no urbana})}{\text{Area total}}$$

Siendo el volumen escurrido en el período:

$$V_i = h_{pi} \times K$$

$$K = \text{Coef. esc. } i \times 0.85 \times A \text{ total}$$

Año	K
1980	87.20
1990	126.13
2000	200.88

La simulación se realizó con las siguientes restricciones.

1)	Año	Vol. inicial (cap. V)
	1980	$45.35 \times 10^6 \text{ m}^3$
	1990	$61.32 \times 10^6 \text{ m}^3$
	2000	$97.04 \times 10^6 \text{ m}^3$

2) Si el volumen al final del período es mayor que el volumen inicial se hará igual a dicho volumen y se consignará un derame igual a la diferencia.

3) Si el volumen al final del período es menor que el volumen inicial, se hará igual a cero y se consignará un déficit -- igual a la diferencia.

El volumen al final de un período se calculó como:

$$V_{i+1} = V_i + \text{Total aportación} - \text{Total demandas}$$

6.2 Resultados.

De acuerdo con las estimaciones anteriores, las capacidades de los lagos para manejar avenidas y guardar las aguas para su aprovechamiento posterior, considerando las aportaciones de las zonas Churubusco, Sur y Sur-Este, con un déficit menor del 10%, serán:

Año	Vol. útil	Vol. para avenidas	Déficit
1980	$45 \times 10^6 \text{ M3}$	$7.70 \times 10^6 \text{ M3}$	9%
1990	$61 \times 10^6 \text{ M3}$	$15.0 \times 10^6 \text{ M3}$	6%
2000	$97 \times 10^6 \text{ M3}$	$28.5 \times 10^6 \text{ M3}$	2%

7. CONCLUSIONES.

Para poder aprovechar el agua en el riego, será necesario almacenar el agua producida en los meses lluviosos y utilizarla en los meses de mayor demanda, por lo que el tiempo de residencia del agua en los lagos será de varios meses y crearía condiciones sanitarias indeseables si no se garantiza que las aguas -- que ingresen a los lagos, destinados a aprovechamiento, tengan -- una calidad adecuada.

En cuanto a las políticas de manejo del agua, en la tabla 18 puede verse la importancia relativa en el aprovechamiento de las aguas residuales y las producidas por lluvia; en el subcapítulo 3.3 se detalla el procedimiento de análisis que permite estimar los cambios en las posibilidades de aprovechamiento y en los volúmenes necesarios en los lagos, en el caso en que se modificaran las aportaciones a los lagos o el régimen de demandas. La figura 22, permite estimar estos cambios si se disminuye la -- aportación de aguas tratadas.

Debe tomarse en cuenta que, dadas las condiciones actuales del sistema de drenaje en la Ciudad de México, sería posible satisfacer las demandas de aguas de desecho requeridas para ser -- aprovechadas en los lagos de Texcoco, o en caso contrario, disminuir la aportación hacia Texcoco, lo que significaría un aprovechamiento menor y desperdicio de la capacidad útil estimada para los lagos.

El problema que implica garantizar calidad del agua que ingrese a los lagos destinados para aprovechamiento, debe plantearse tomando en cuenta las diferencias en cuanto al desarrollo en las zonas que aportan a los lagos, esto es, considerar por separado tres zonas principales.

1) Zona Churubusco y Cd. Netzahualcóyotl.

Esta zona ya está bastante desarrollada desde el punto de vista de la urbanización por lo que las aportaciones provenientes de esta zona, estarán constituidas por aguas negras, -- que será necesario tratar para hacer posible su aprovechamiento.

2) Zona Sur.

Desde el punto de vista de su forma de drenaje, puede estudiarse separándola en dos partes:

a) La primera, comprendida entre los límites actuales -- del crecimiento urbano y el río San Buenaventura (Zona centro-sur de las figuras 3 y 4), cuyo drenaje se hará a través del -- río Churubusco o bien, en caso de avenidas extraordinarias, -- utilizando la posible ampliación del Emisor Profundo.

En esta parte el tratamiento de las aguas negras en el sitio, no tendría sentido debido a que aguas abajo se mezclarán nuevamente con aguas negras, por lo que lo lógico, es que--

sean aprovechadas mediante la planta de tratamiento del cerro de La Estrella, conforme la urbanización de esta zona vaya aumentando.

La contribución de aguas negras estimada para esta parte de la zona sur fue:

1980	1.0 m ³ /s
1990	3.0 m ³ /s
2000	4.0 m ³ /s

Cualquier incremento en el tratamiento de aguas negras - a través de la planta de La Estrella, respecto a estos gastos, redundará en una disminución en las aportaciones a los Lagos - a través del río Churubusco.

b) Una parte, que será drenada por el río de la compañía cuyo desarrollo urbano actualmente es incipiente, y en donde - aún es posible tomar medidas que garanticen que el río de la - compañía conduzca aguas limpias. En adelante se llamará zona - sur únicamente a esta segunda parte.

3) Zona oriente, drenada por los ríos del Oriente.

En esta zona el desarrollo urbano apenas se inicia y por ello es factible tomar las medidas necesarias para que los --- ríos conduzcan sólo aguas limpias.

Considerando las diferencias entre las tres zonas, se -- calcularon las capacidades necesarias en los lagos para tres -

Primera alternativa (aprovechamiento máximo).

1.- Requisitos

a) Los ríos del Oriente y el de la compañía deben conducir agua limpia (con calidad suficiente para almacenarla en los Lagos).

b) Las aguas residuales de la zona oriente y sur deberán tratarse y conducirse a los Lagos.

c) Las aguas del río de la compañía no deben mezclarse con las descargas del Lago Churubusco.

2.- Capacidades necesarias de los Lagos (millones de metros cúbicos).

	Churubusco	Regulación Horaria	Sur	Norte Desv. Combinada	Total
Azóve	1.5	1.5	3.0	3.5	9.5
Aprovechamiento	0.0	0.0	32.0	65.0	97.0
Avenidas	10.0	9.0	10.0	0.0	29.0
Total	11.5	10.5	45.0	68.5	135.5

3.- Planta de tratamiento.

Deberá contarse con una capacidad de tratamiento igual a -- 12.49 m³/s, de los cuales 3.44 m³/s corresponden a las aguas negras que provengan del río Churubusco, 2.01 a las de Cd. Netzahualcóyotl y 7.04 al resto de la zona.

4.- Aprovechamiento.

El programa de construcción de los Lagos para disponer de los volúmenes definidos en la tabla debe regirse por consideraciones constructivas, pero deberá contarse con una capacidad para avenidas y aprovechamiento que permitan obtener beneficios - de los lagos antes de finalizar totalmente la construcción.

Las capacidades totales necesarias estimadas para los diferentes años, en millones de metros cúbicos, así como las hectáreas regables son:

Año	Volúmenes Necesarios			Area Regable (ha)
	Aprovechamiento	Avenida	Total	
1980	45.4	7.7	53.1	11 000
1990	61.3	15.0	76.3	15 000
2000	97.0	29.0	126 .0	26 000

Segunda alternativa (desperdiciando las aportaciones de la zona sur, en caso de no garantizarse el tratamiento).

1.- Requisitos

- a) Los ríos de oriente deben conducir agua limpia.
- b) Las aguas negras de la zona oriente deberán tratarse y conducirse a los lagos.

2.- Capacidades necesarias de los lagos (millones de m3).

	Churubusco	Regulación Horaria	Sur	Norte-Desv. Combinada	Total
Azolve	1.5	1.5	3.0	1.5	7.5
Aprovechamiento	0.0	0.0	32.0	30.0	62.0
Avenidas	10.0	9.0	10.0	0.0	29.0
Total	11.5	10.5	45.0	31.5	98.5

3.- Planta de tratamiento.

Deberá contarse con una capacidad de tratamiento para las aguas del lago Churubusco de 5.45 m³/s, de los cuales 3.44 m³/s - corresponden a las aguas negras que provengan del río Churubusco - y 2.01 m³/s a las de Cd. Netzahualcóyotl.

4.- Aprovechamiento (en m³ X 10⁶)

Volúmenes necesarios

Año	Aprovechamiento	Avenida	Total	Area Regable (ha)
1980	31.5	7.7	39.2	9 000
1990	38.2	15.0	53.2	11 000
2000	62.6	29.0	91.6	18 000

Tercera alternativa (desperdiciando las aportaciones de la zona oriente, de no garantizarse su tratamiento).

1.- Requisitos

a) El río de la compañía debe conducir agua limpia.

b) Las aguas del río de la compañía no deben mezclarse con las descargas del Lago Churubusco.

2.- Capacidades necesarias de los lagos (millones de m³).

	Churubusco	Regulación Horario	Sur	Norte-Desv. Combinada	Total
Azolve	1.5	1.5	1.5	6.5	8.0
Aprovechamiento	0.0	0.0	0.0	60.0	60.0
Avenidas	10.0	9.0	10.0	0.0	29.0
Total	11.5	10.5	11.5	63.5	97.0

3.- Planta de Tratamiento.

Deberá contarse con una capacidad de tratamiento para las aguas del lago Churubusco de 5.45 m³/s, correspondiendo ---- 3.44 m³/s a las aguas negras que provengan del río churubusco y 2.01 m³/s a las de Cd. Netzahualcóyotl.

4 - Aprovechamiento (millones de m³)

Año	Volúmenes Necesarios			Areas Regables (ha)
	Aprovechamiento	Avenidas	Total	
1980	30.8	7.7	38.5	9 000
1990	43.5	15.0	58.5	12 500
2000	60.0	29.0	89.0	17 000

7.1 Consideraciones Finales.

Tomando en cuenta que las variables utilizadas en este trabajo han sido proyectadas hasta el año 2000, y que por otra parte, los lagos de Texcoco deben concebirse dentro del contexto de todo el Valle de México; se ha procurado presentar el desarro-

llo del estudio, de tal manera que puede ser revisado periódicamente conforme se cuente con más información y puedan valorarse fácilmente nuevas alternativas a partir de la interacción con otros elementos del drenaje del Valle, o de cambios en la política de utilización del agua.

Una de las causas principales de los problemas del Valle de México, es la falta de planeación para la expansión física, en consecuencia debe preverse la localización de futuros asentamientos urbanos en esta zona.

De continuar esta zona con las tendencias de crecimiento -- observadas, se tendrán magnitudes tan elevadas que agudizarían -- los actuales problemas de prestación de servicios y de convivencia humana en la capital. Lo cual supone la necesidad de planear en las futuras zonas urbanas el proceso de agregación de una infraestructura con visos a integrar una red que satisfaga dicha demanda.

La actividad económica más importante en la zona Oriente -- hasta ahora ha sido la agropecuaria; no obstante, se han operado cambios que manifiestan decrementos en la población ocupada en esas actividades y se han incrementado en cambio, las relacionadas con la industria de transformación, servicios y comercio.

Para el desarrollo urbano de esta zona, conviene canalizar inversiones hacia obras de infraestructura existentes, que estimulen racionalmente a los grupos humanos que habrán de estable--

cerse en esta región.

Deben conservarse las zonas de uso agrícola de alta calidad, en especial evitar que prolifere la ocupación urbana en las tierras agrícolas localizadas al norte y al poniente de la ciudad de Texcoco.

Fomentar el mejoramiento de las zonas denominadas "áreas de suelos por mejorar", para eliminar las restricciones leves --- que poseen estos suelos para uso agrícola y regenerar, forestar - y mejorar la franja poniente de la zona de máxima salinidad del - Lago de Texcoco.

BIBLIOGRAFIA

1. Auris; Teotihuacán-Texcoco-Chalco, Informe Técnico, 1975.
2. Babbitt. Donald, Cleasby; Water Supply Engineering, Ed. Cont.
3. Comisión de Aguas del Valle de México, Informe Técnico, 1975.
4. Dirección General de Distritos de Riego; Comisión para análisis del comportamiento hidrológico de los Valles del Mexquital y Alfayucán, 1975.
5. Hidrología de la Cuenca del Valle de México, Tomo VI Pub 7/1964.
6. Instituto de Ingeniería, Informe de Hidrología Sintética, 1976.
7. Linsley, Kohler y Paulhus; Hidrology for Engineers, Ed. McGraw-Hill 1958.
8. SRH, Comisión del Lago de Texcoco; Plan Lago de Texcoco.
9. Ven Te Chow; Handbook of Applied Hidrology, Ed. McGraw-Hill, 1964.

F I G U R A S

- Fig 1. Plan Lago de Texcoco

Fig 1. Plan Lago de Texcoco

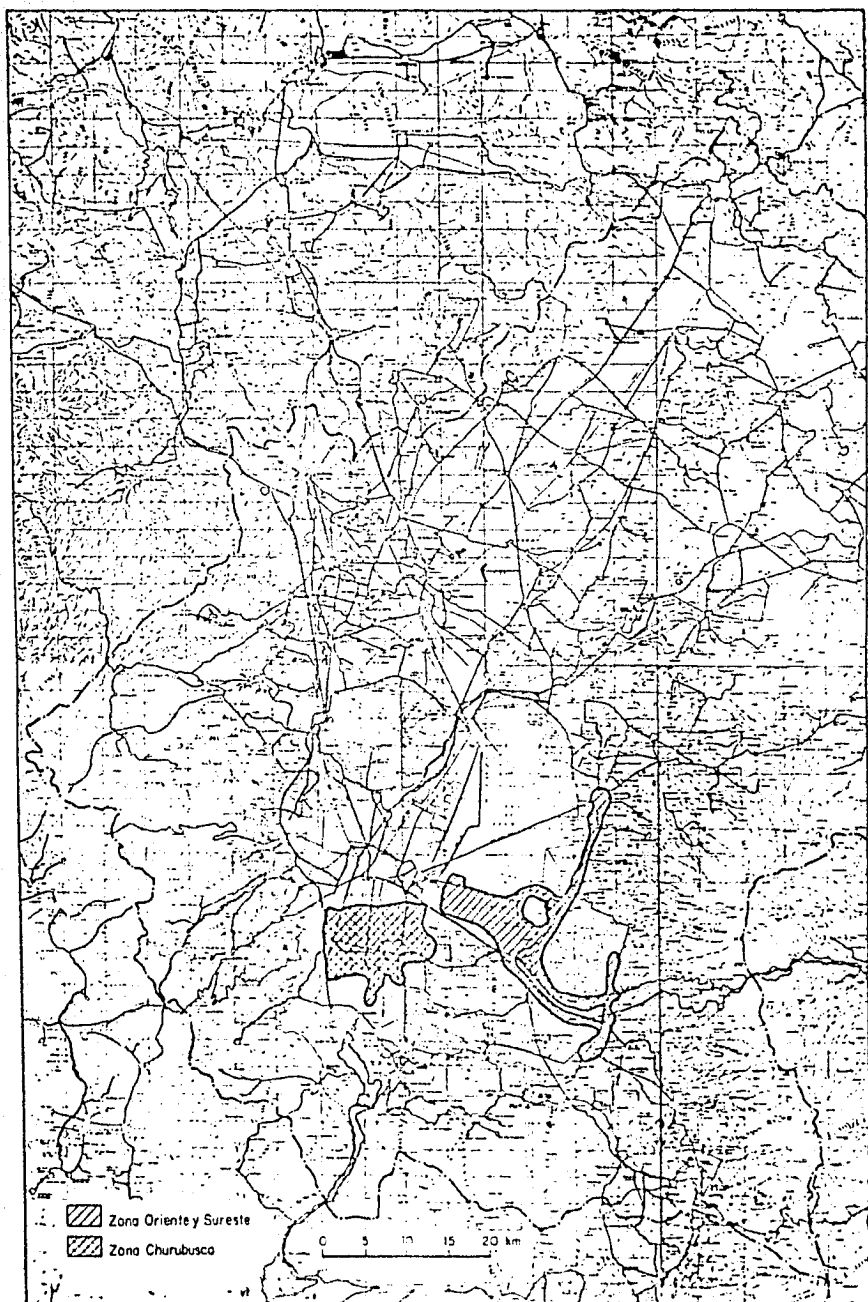


Fig. 2. Zona urbana (1980)

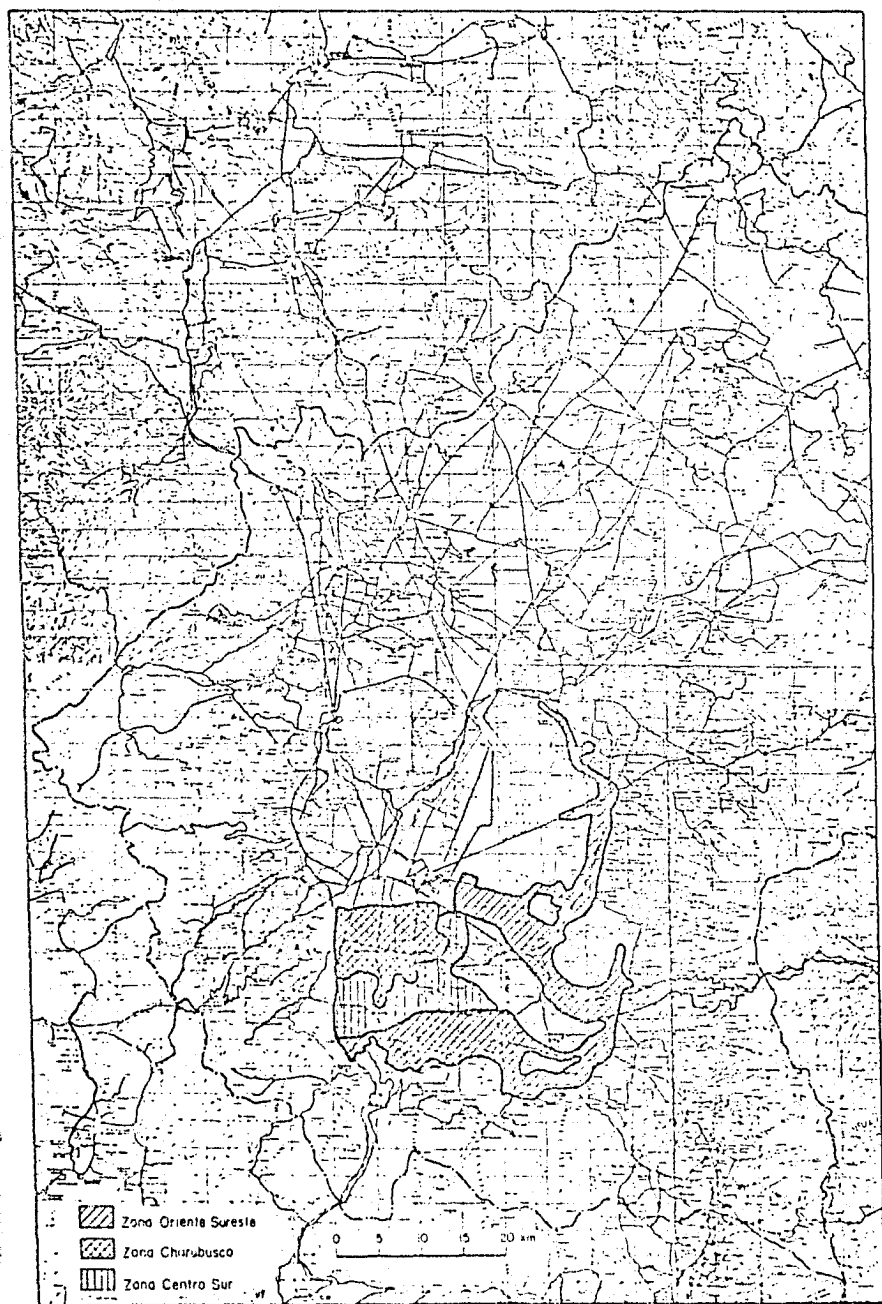


Fig. 3. Zona urbana (1990)

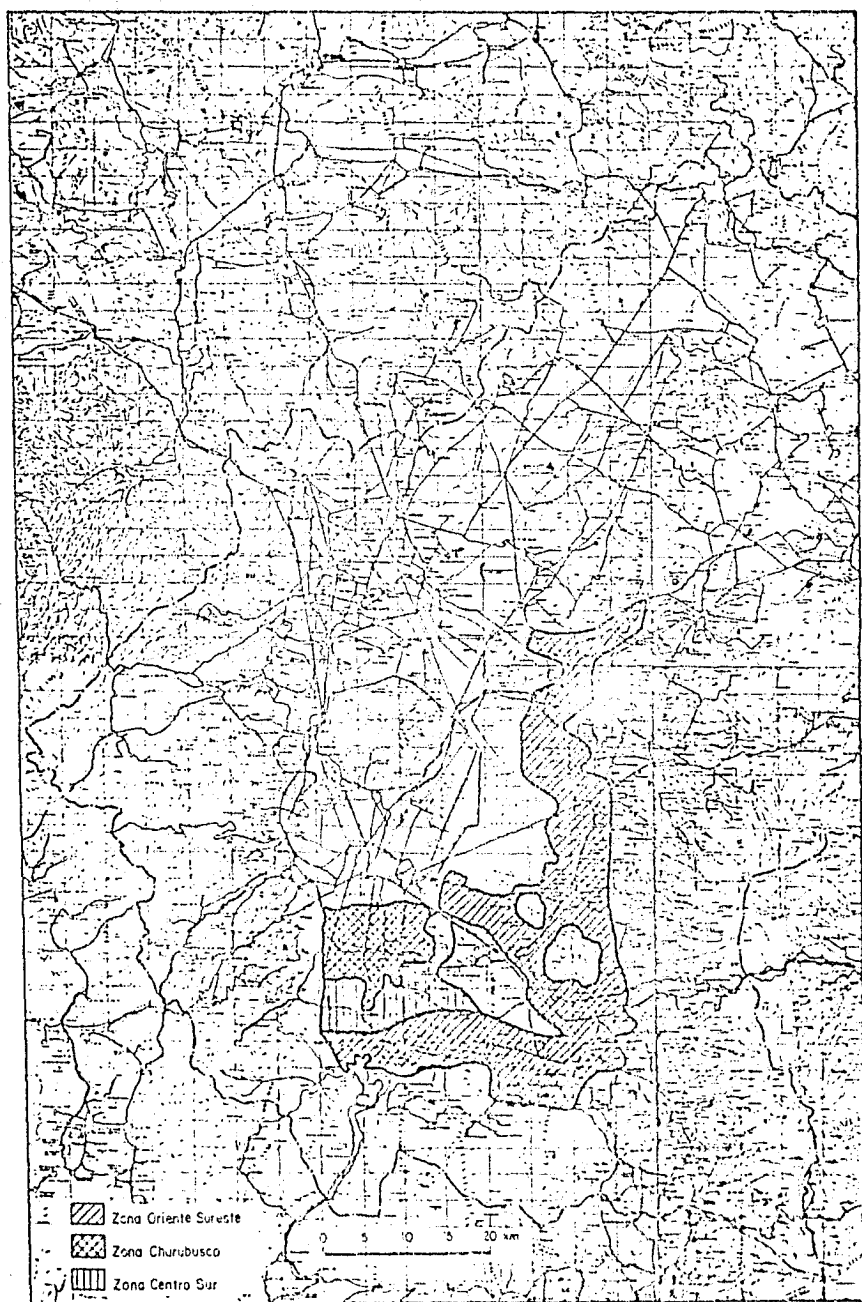
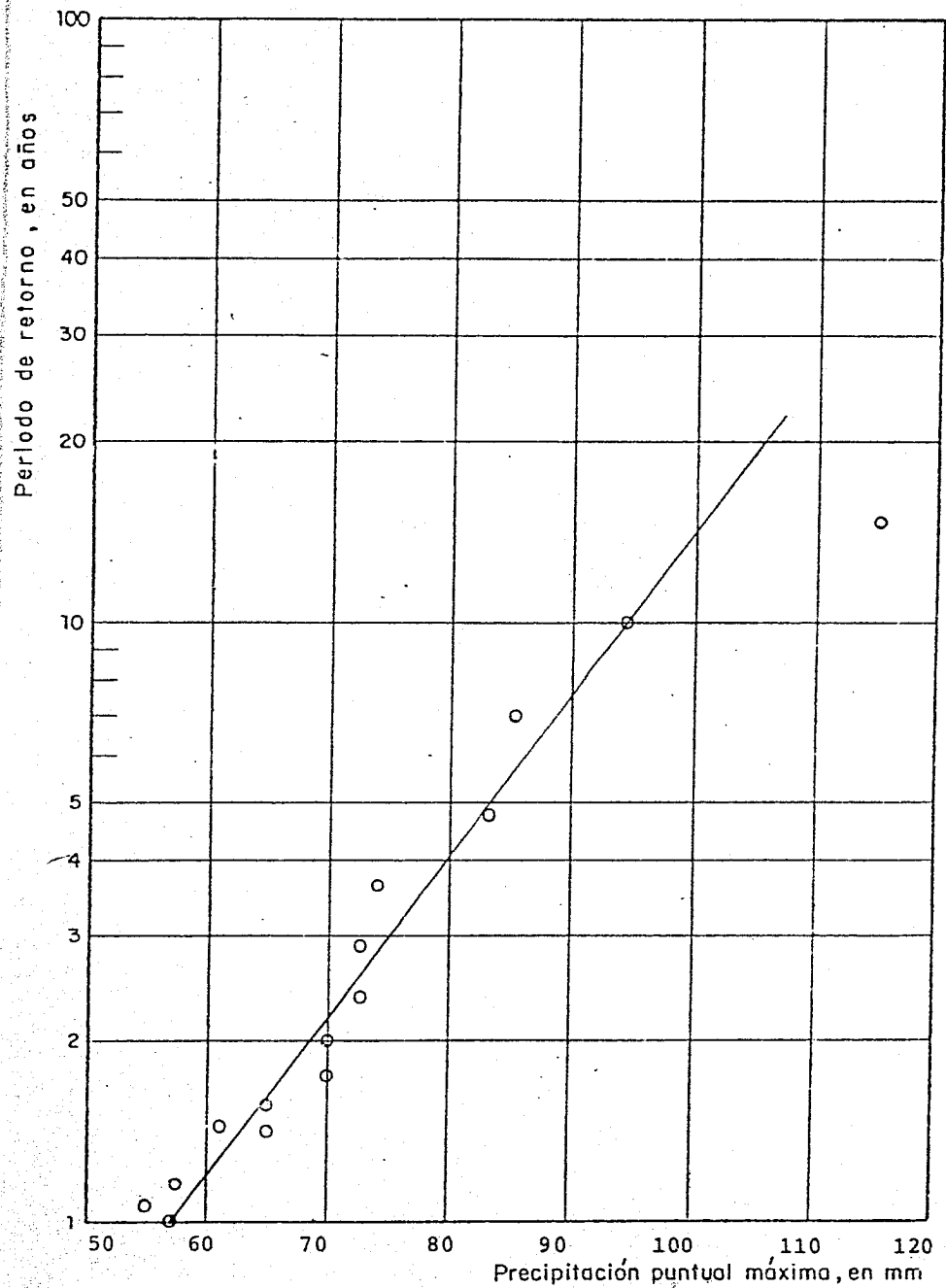


Fig. 4. Zona urbana (2000)



1 día

Fig 5

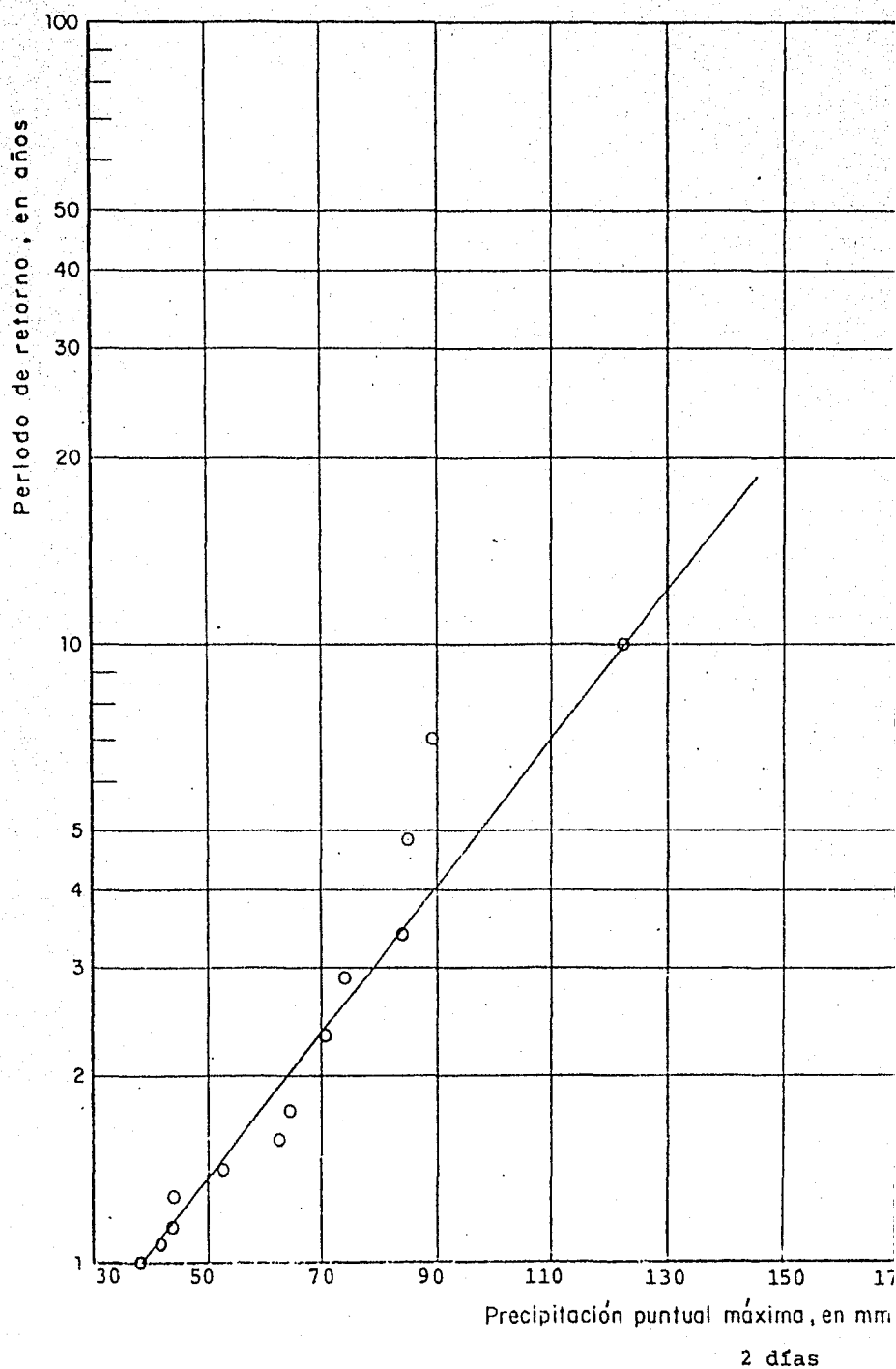


Fig 6

2 días

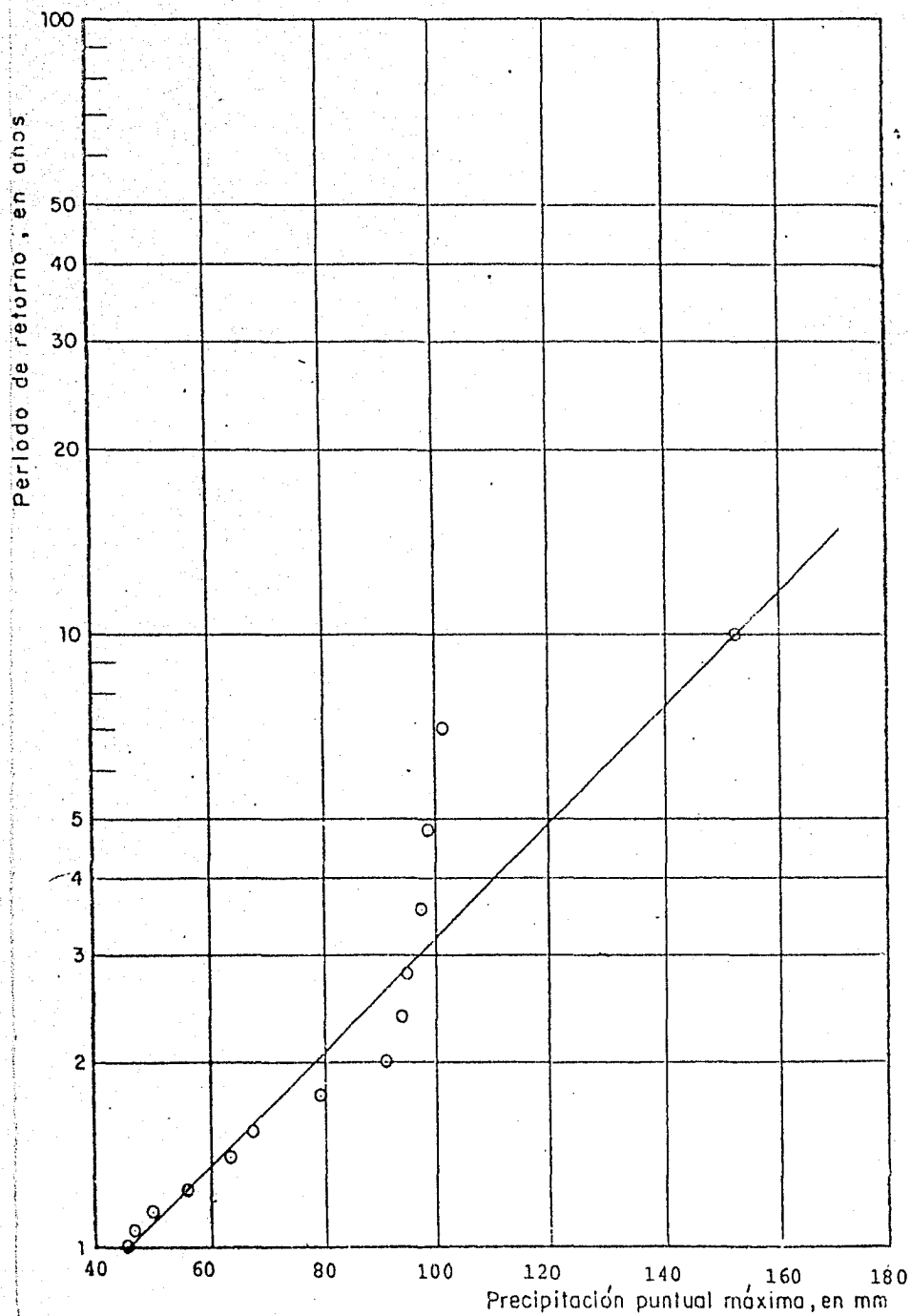


Fig 7

3 días

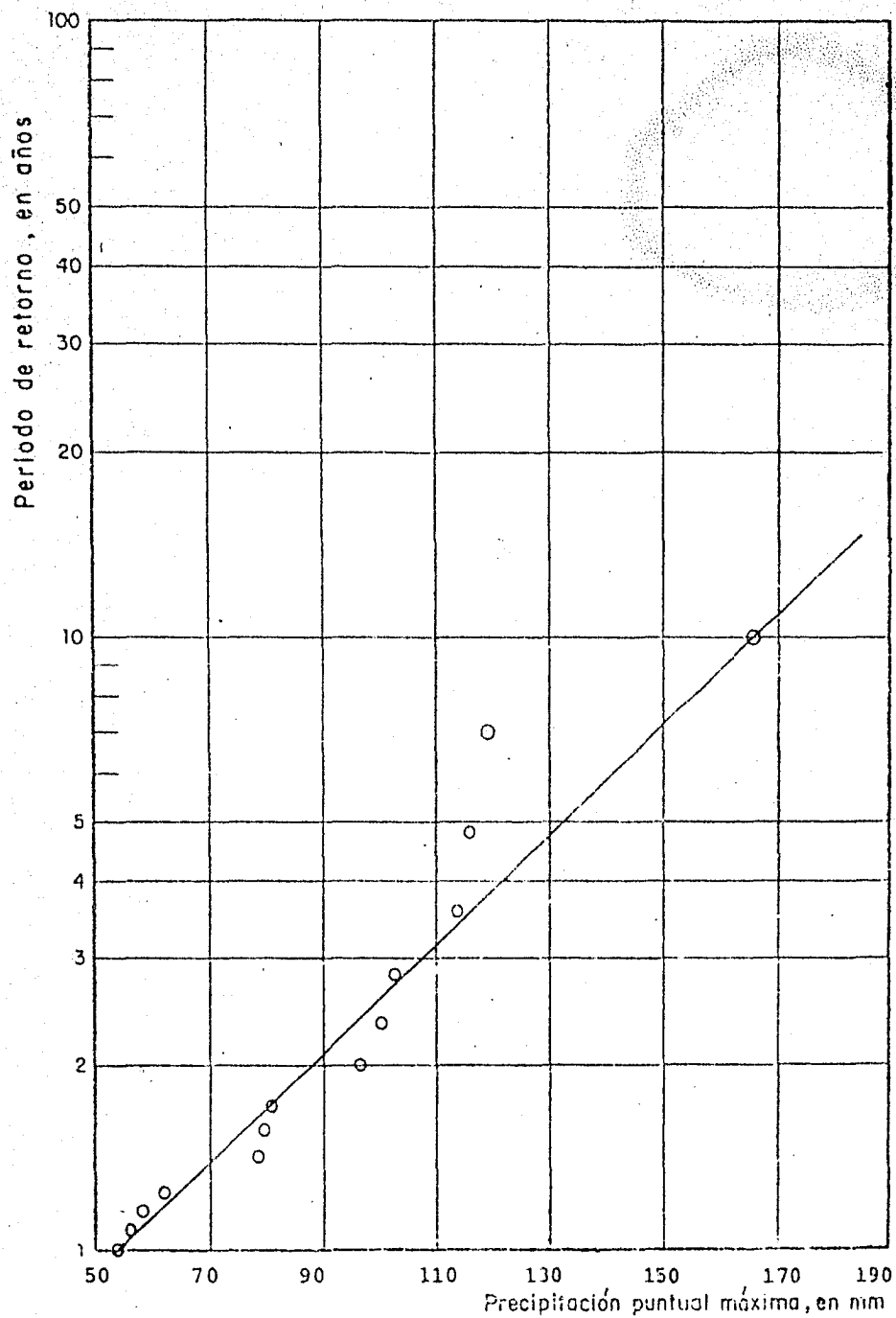


Fig 8

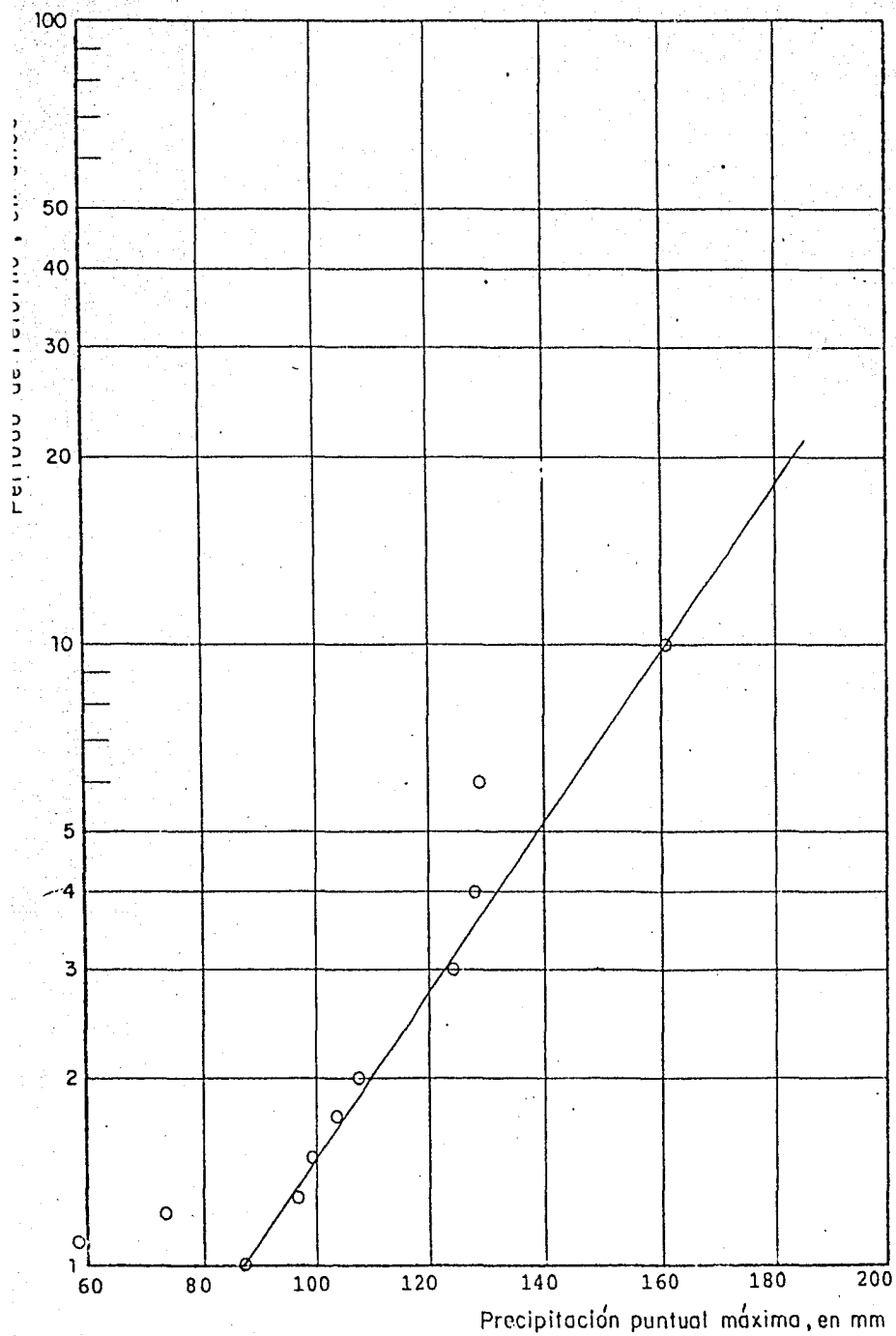


Fig 9

5 días

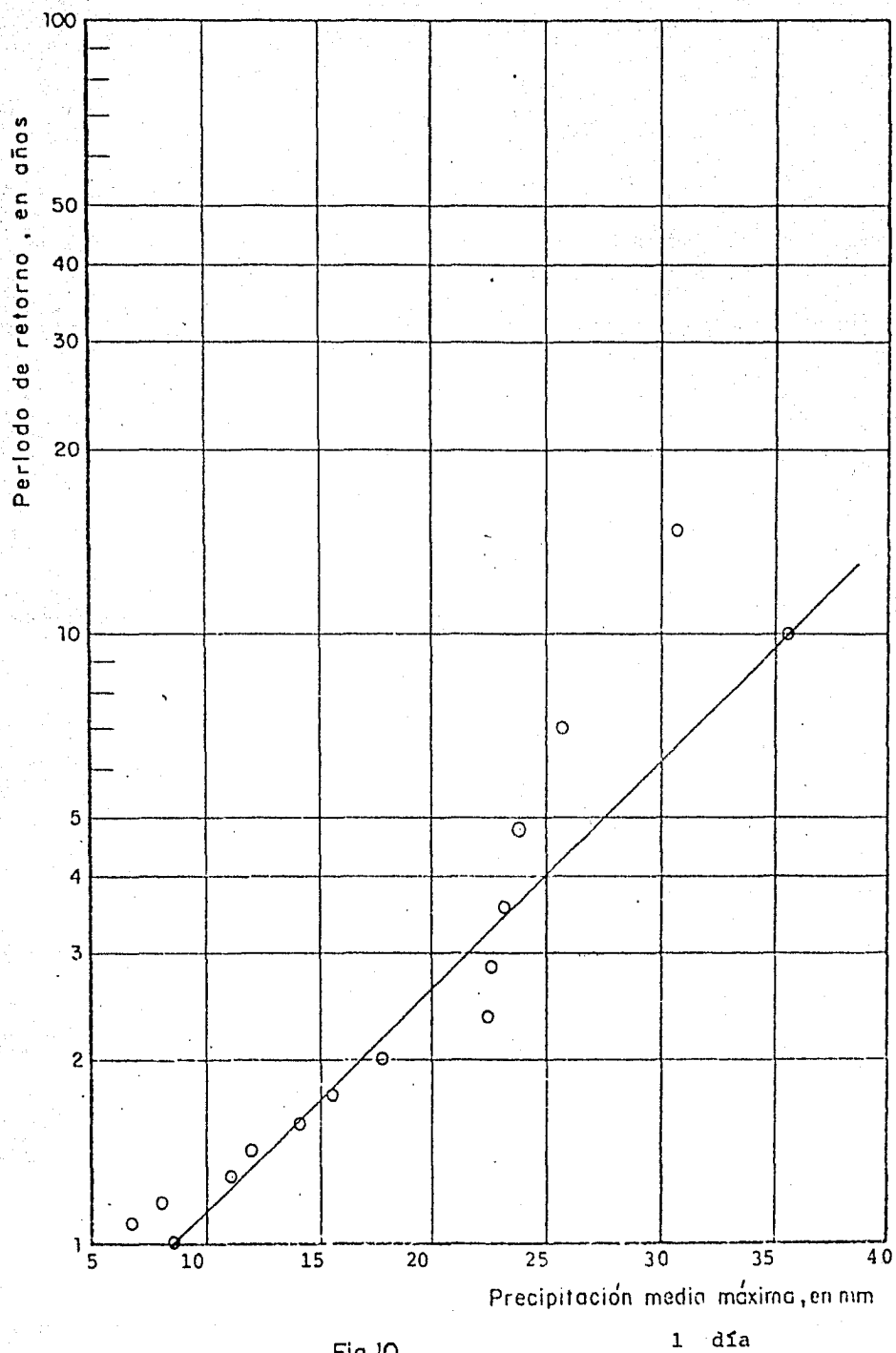


Fig 10

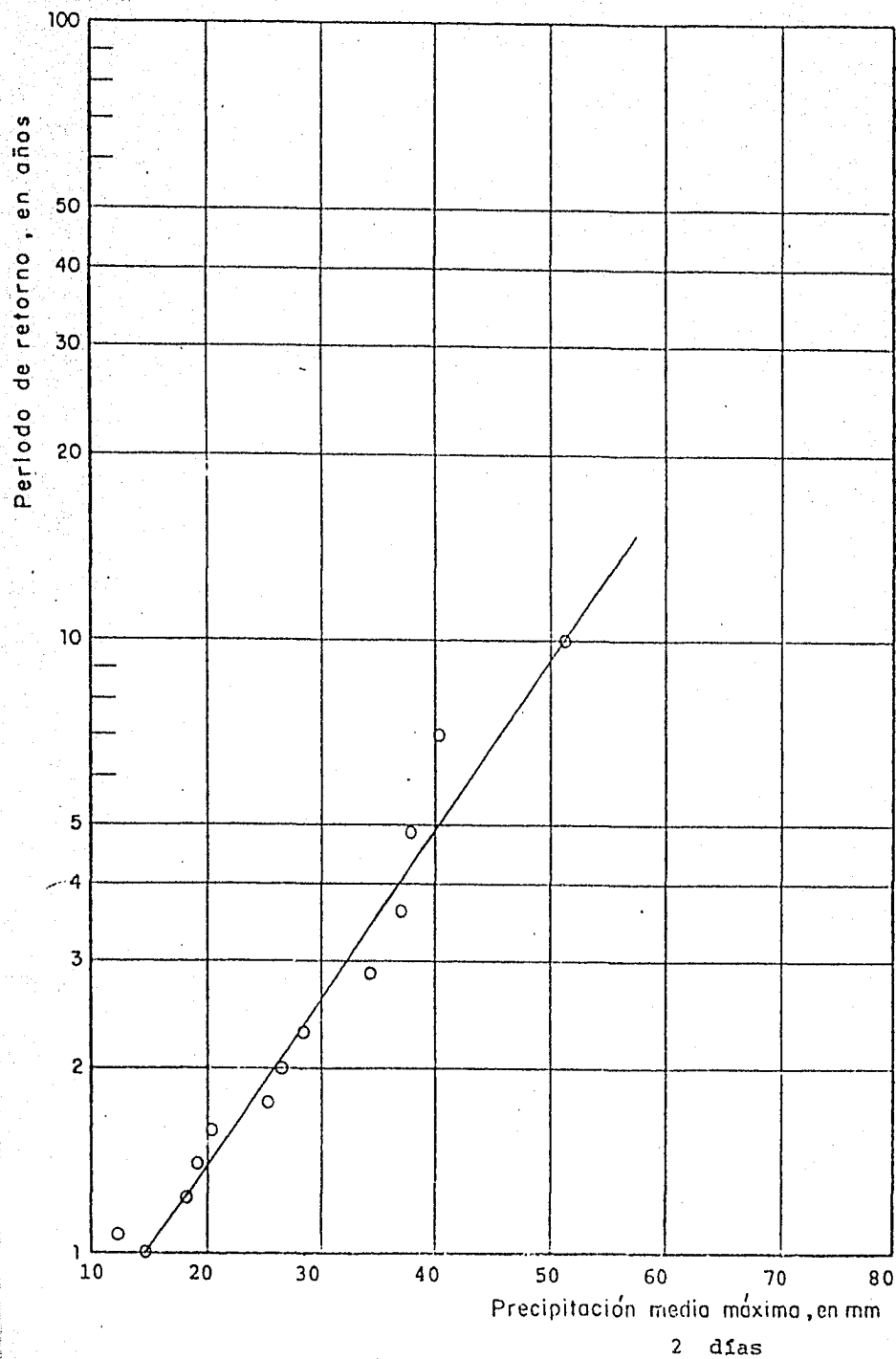


Fig 11

2 días

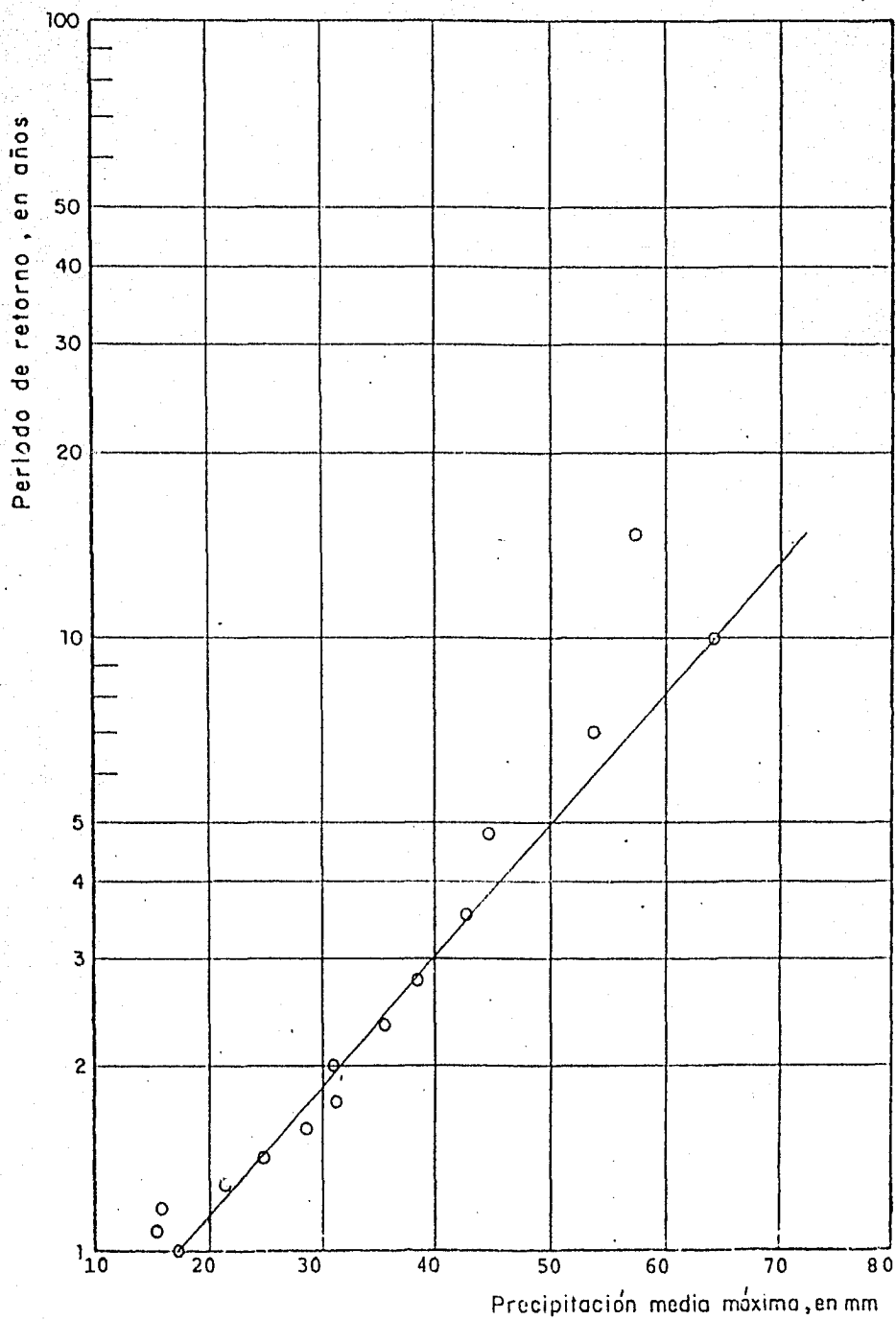


Fig 12

3 días

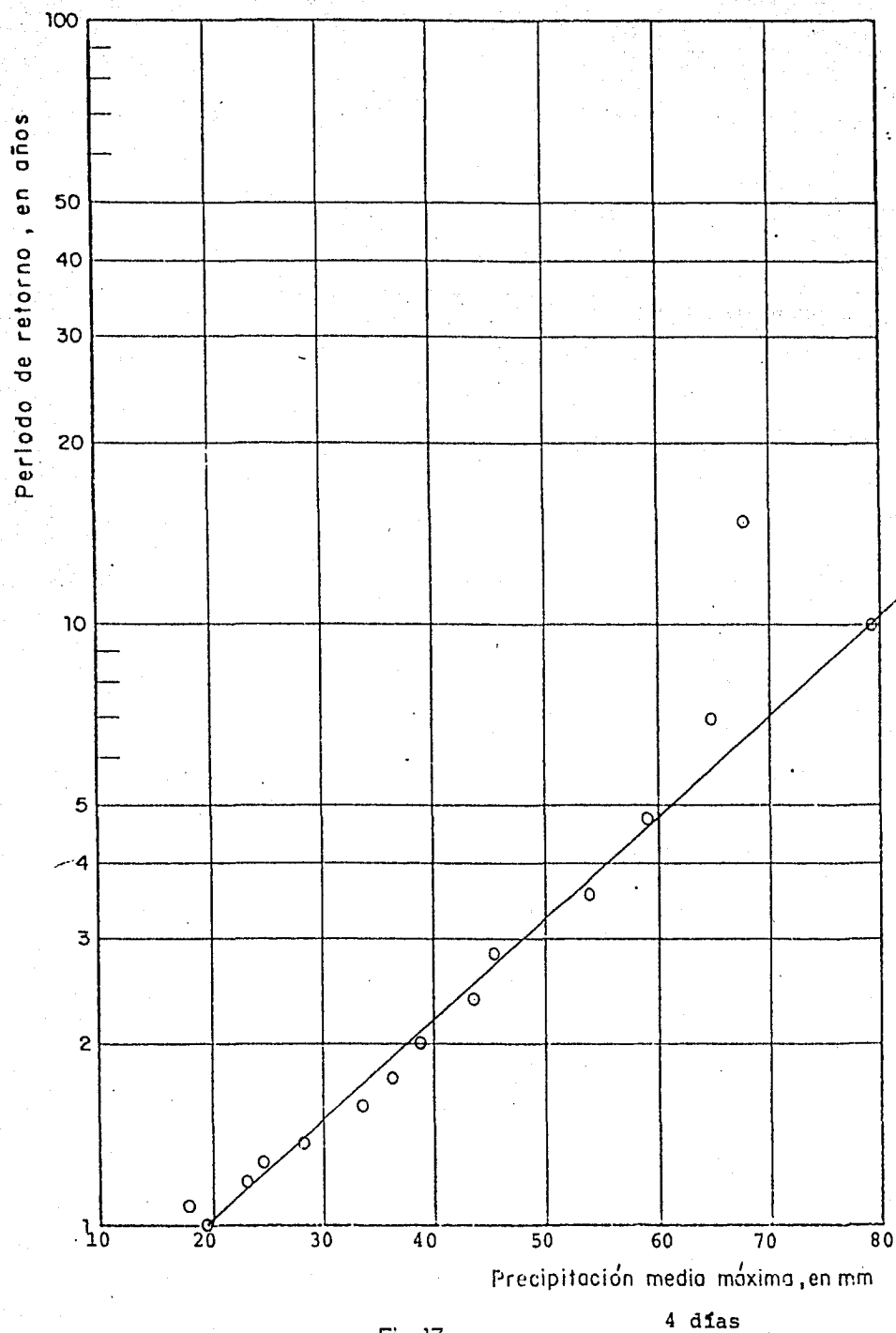


Fig 13

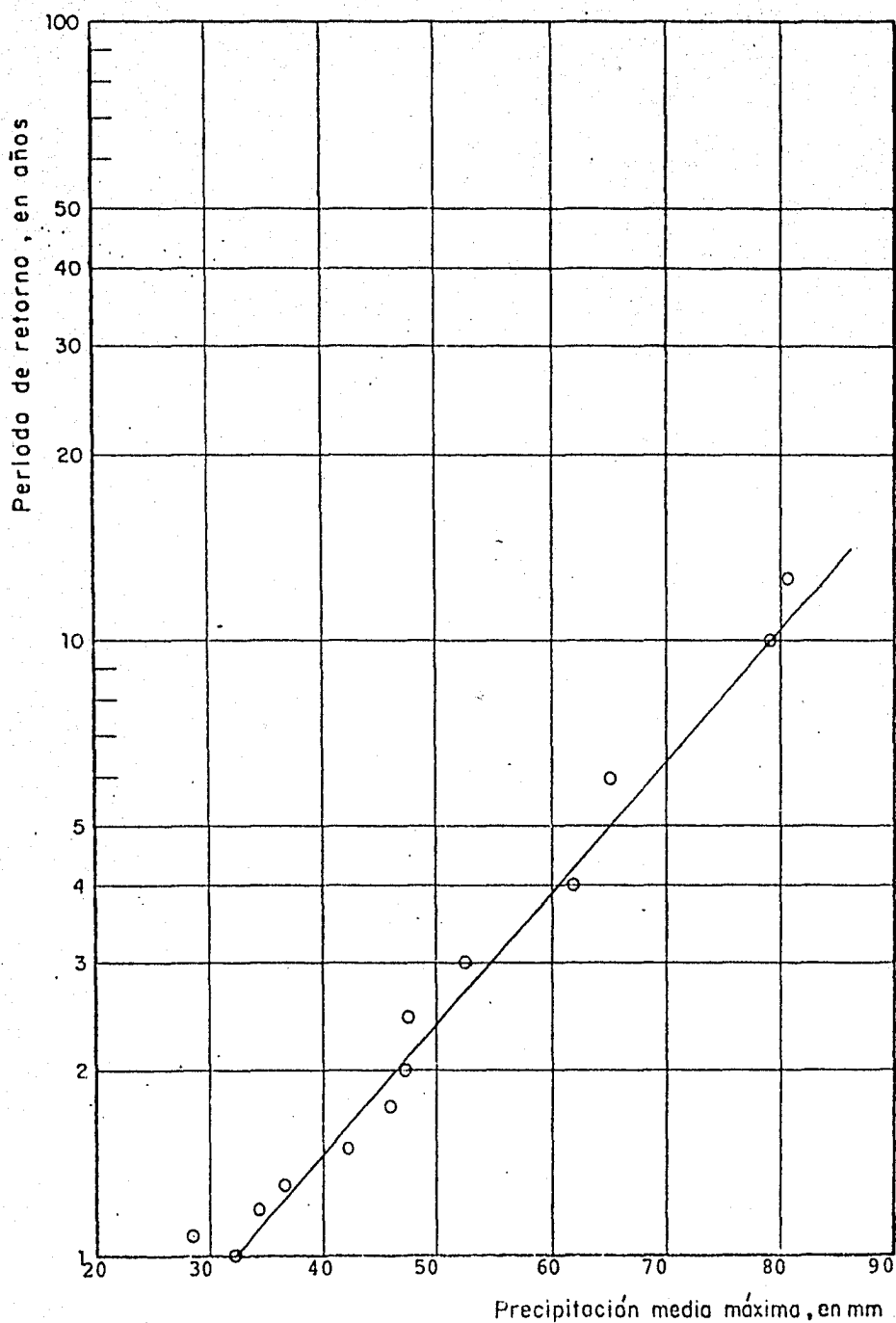


Fig 14

5 días

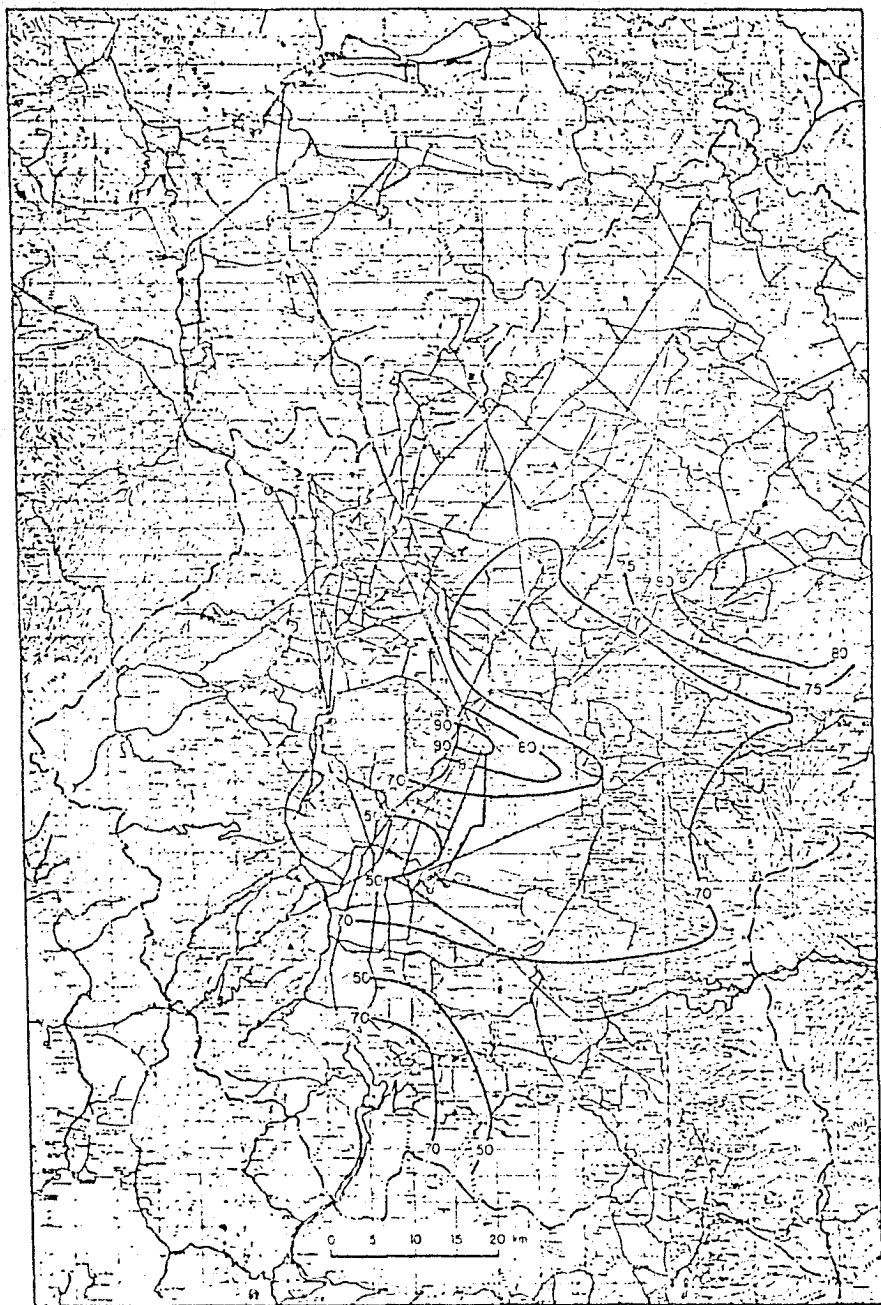


Fig.15. Isoyetas de la tormenta de junio de 1968 (mm)

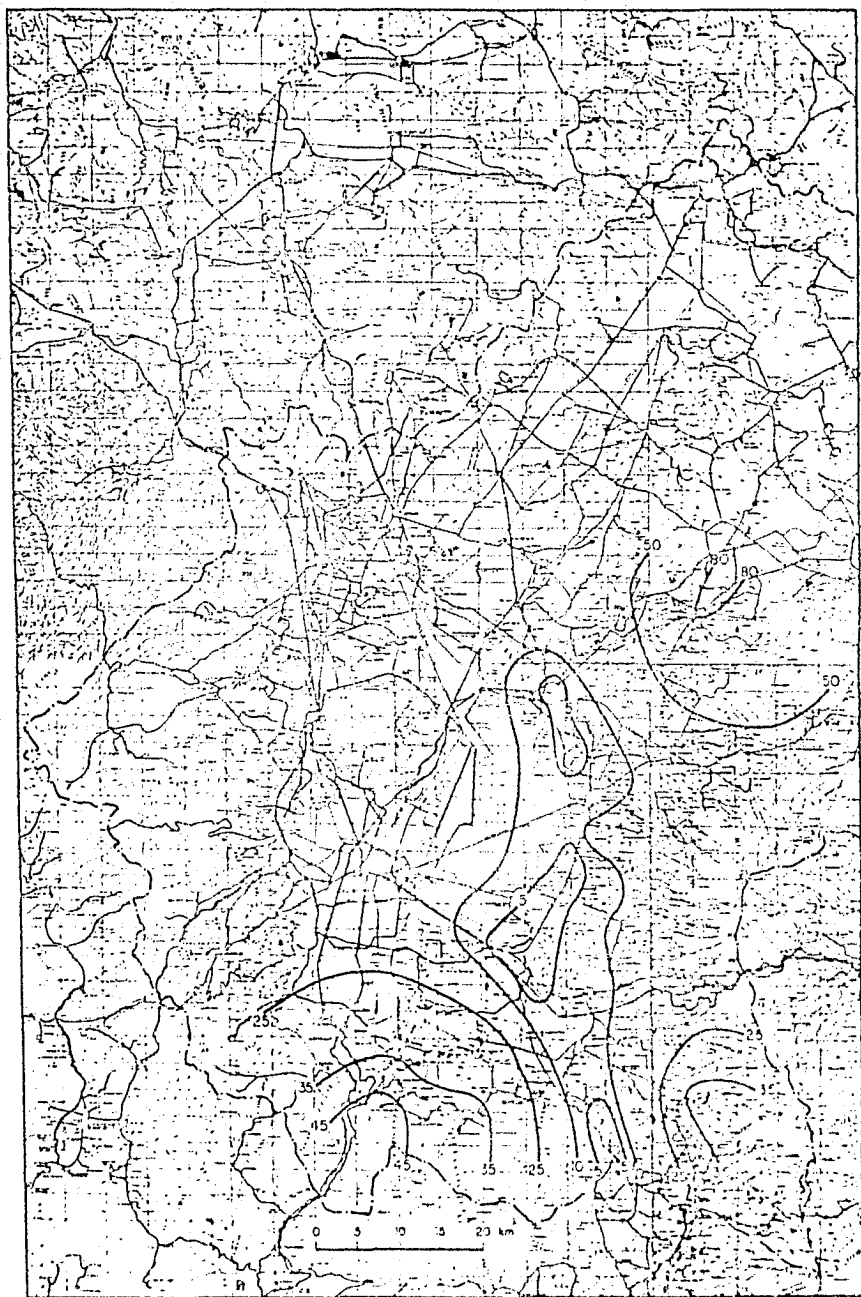


Fig.16. Isoyetas de la tormenta de agosto de 1965 (mm)

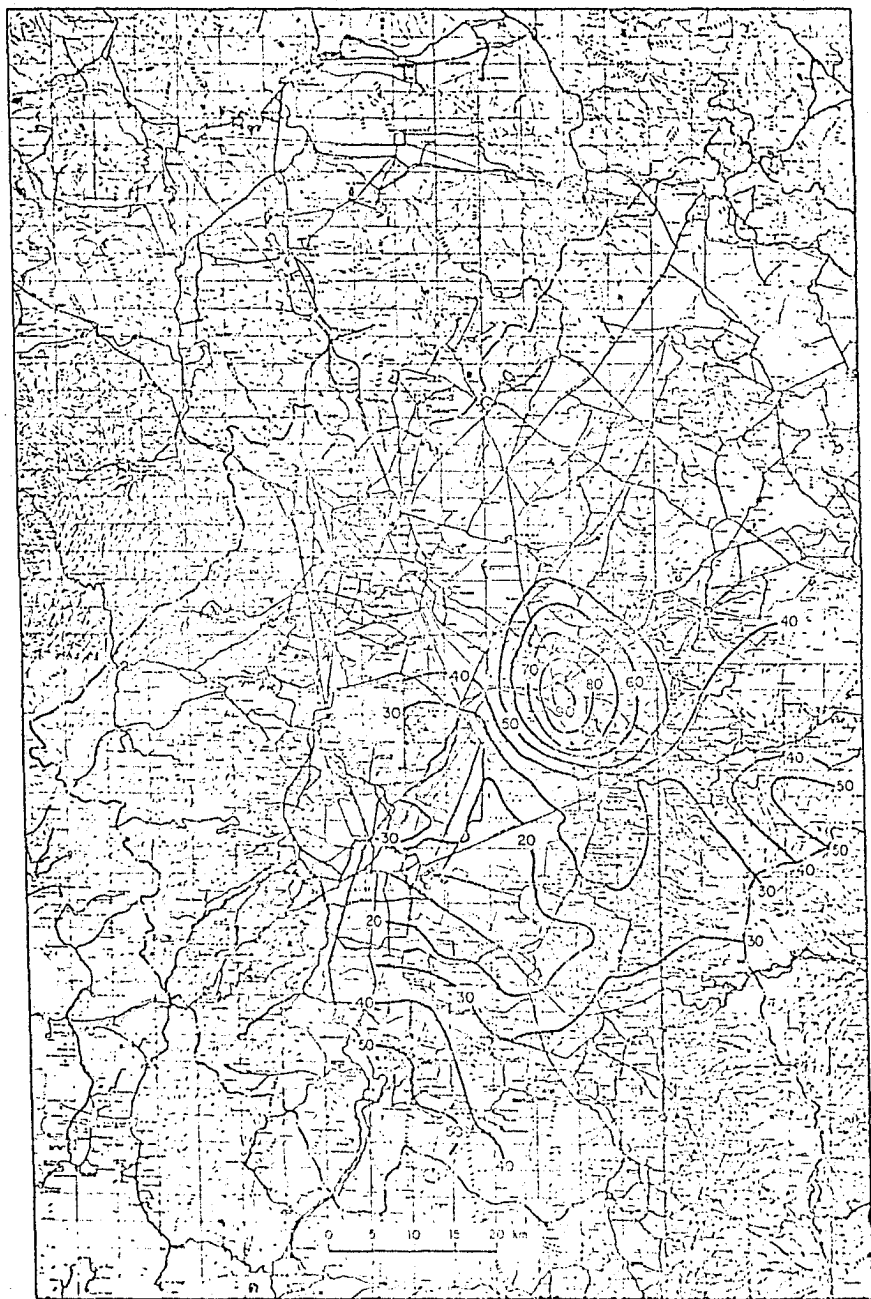


Fig 17. Isoyetas de la tormenta de agosto 1963 (mm)

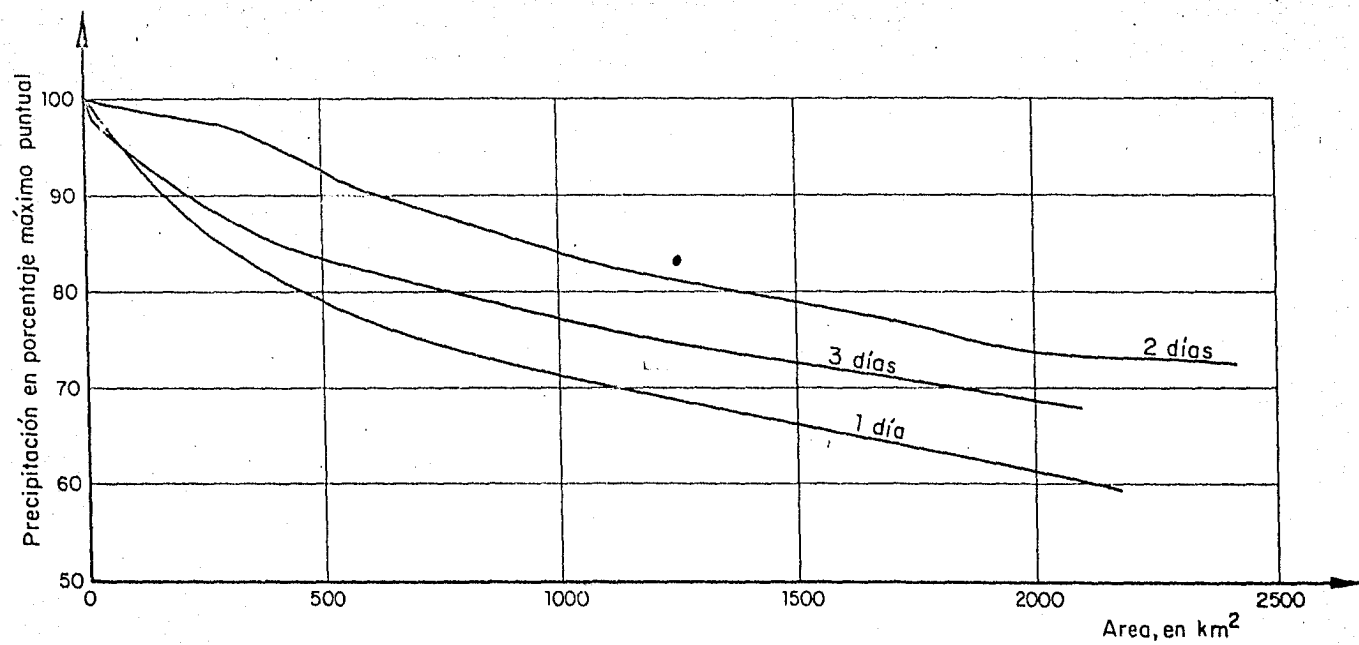


Fig 18. Relación entre la precipitación puntual y la media en el área

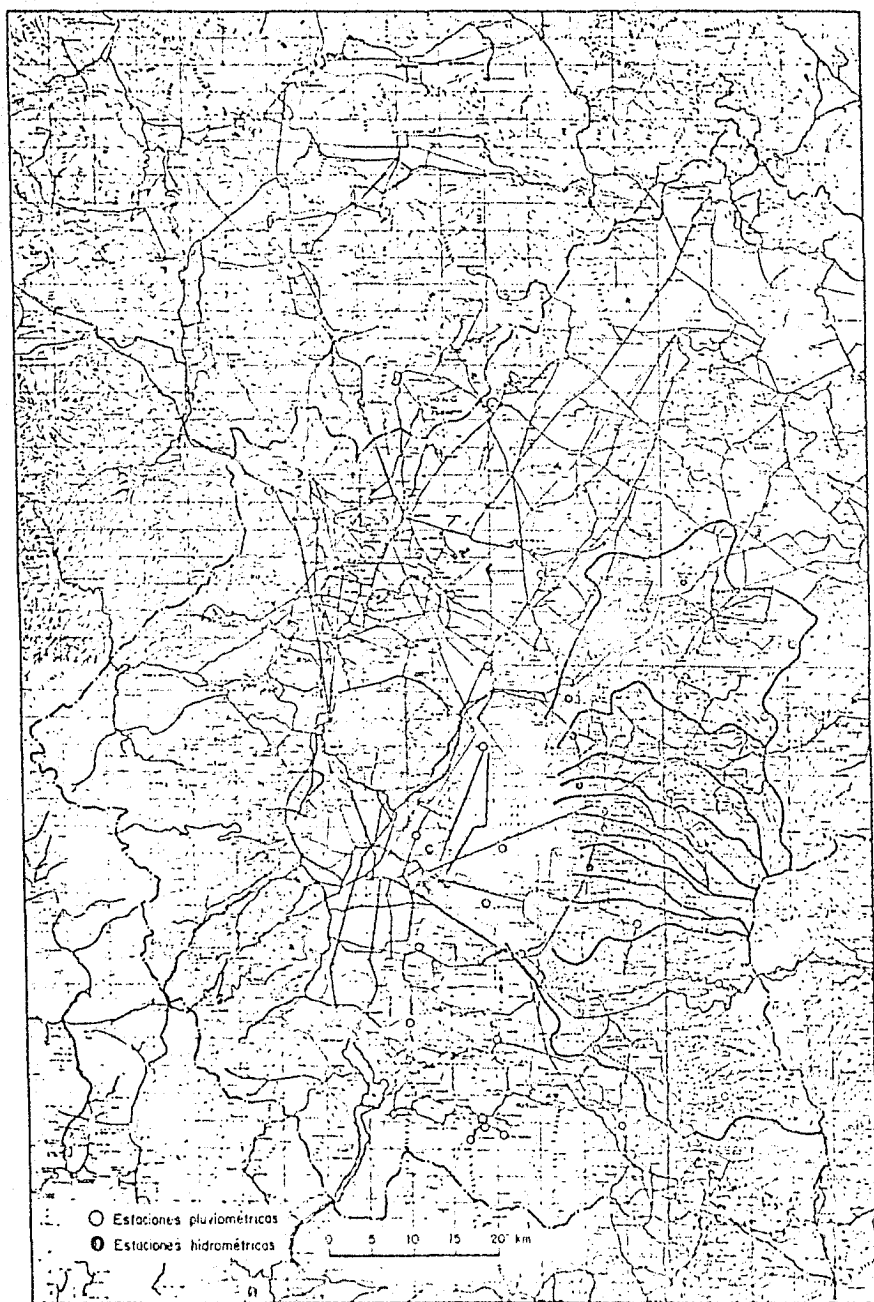


Fig. 19 Localización de las cuencas aforadas, estaciones hidrométricas y pluviométricas

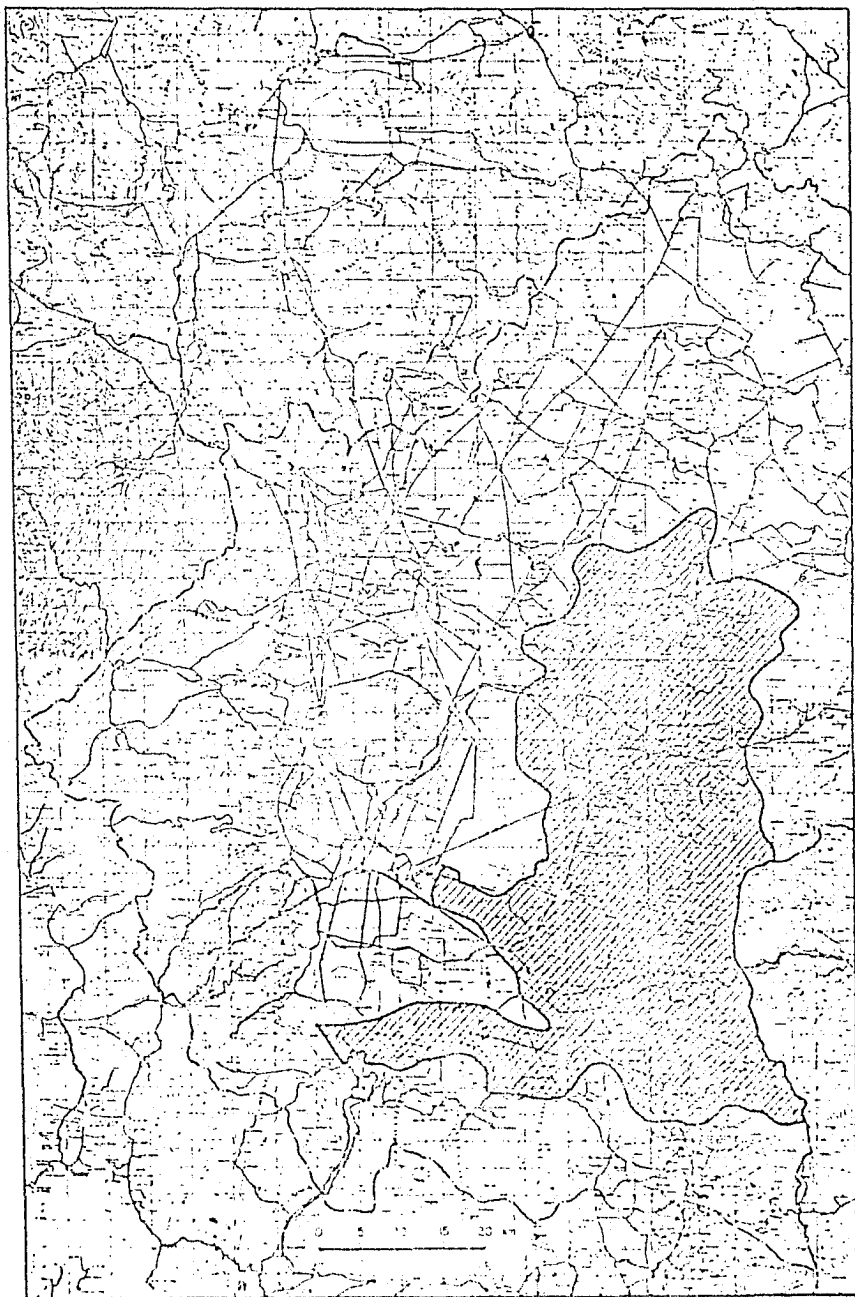


Fig. 20 Zonas urbanizadas y no urbanizadas, del oriente y el sur

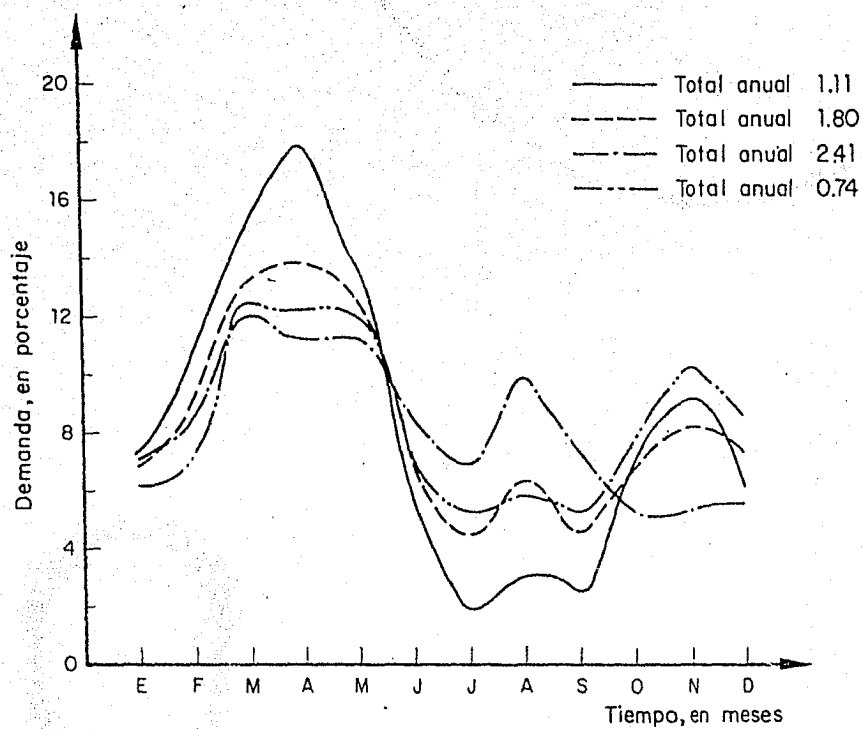


Fig 21. Láminas brutas mensuales para diferentes demandas

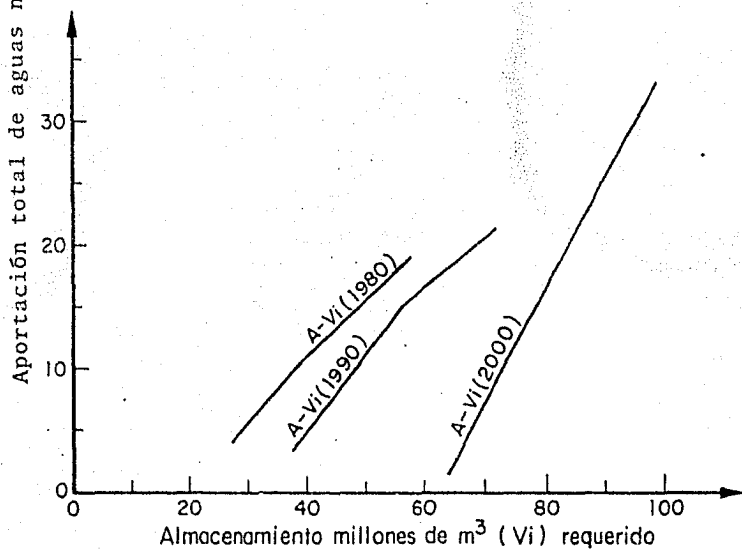
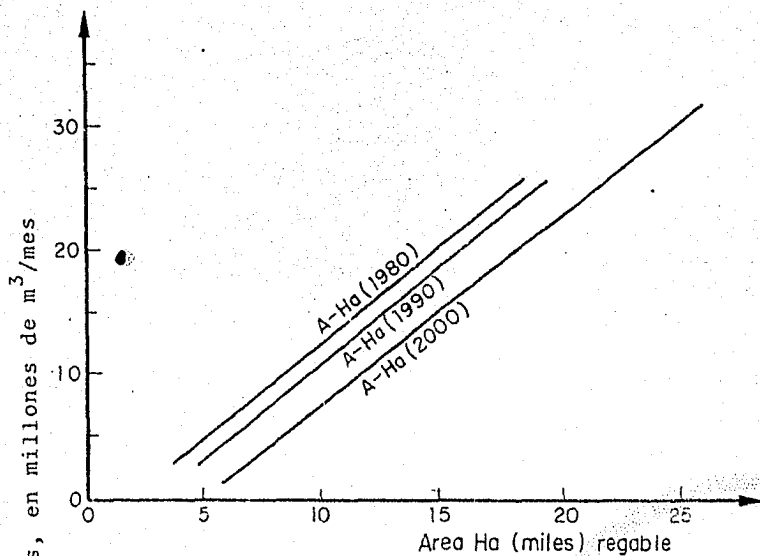


Fig 22