



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

28
80

ANALISIS PRELIMINAR DE ALMACENAMIENTOS DE PROTECCION AL ACUEDUCTO DE LERMA, MEXICO

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A :

HECTOR ADOLFO GAZGA BELLO

México, D. F.

1984



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.

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 <u>Antecedentes</u> | 2 |
| 1.2 <u>Objetivos</u> | 7 |
| 1.3 <u>Area en Estudio</u> | 7 |
| 1.3.1 Cuenca alta del río Lerma hasta Atlacomulco | 7 |
| 1.3.1.1 Orografia | 7 |
| 1.3.1.2 Geología | 8 |
| 1.3.1.3 Sistema hidrográfico | 9 |
| 1.3.1.4 Uso actual del suelo | 12 |
| 1.3.1.5 Uso potencial del suelo | 13 |
| 1.3.1.6 Edafología | 15 |
| 1.3.2 Zona de almacenamientos | 16 |
| 1.4 <u>Alcances</u> | 17 |
| 2. ANALISIS HIDROLOGICO | 19 |
| 2.1 <u>Obtención de los Escurremientos</u> | 20 |
| 2.1.1 Funcionamiento hidráulico de los embalses | 22 |
| 2.2 <u>Obtención de la avenida de diseño</u> | 27 |
| 2.2.1 Regionalización de gastos máximos | 27 |
| 2.2.2 Determinación de la Precipitación Máxima Probable | 30 |

| | Pág. | |
|-------|---|----|
| 3. | PLANTEAMIENTO Y SELECCION DE SITIOS | 36 |
| 3.1 | <u>Planteamiento de Sitios</u> | 37 |
| 3.2 | <u>Selección de Sitios</u> | 38 |
| 3.2.1 | Reconocimientos terrestres | 39 |
| 4. | AFECTACION A LA CUENCA DEL ALTO LERMA | 56 |
| 4.1 | <u>Afectaciones Locales</u> | 57 |
| 4.2 | <u>Afectaciones Fuera de la Zona de Ubicación de los Sitios Seleccionados</u> | 58 |
| 5. | SITIOS FACTIBLES | 61 |
| 5.1 | <u>Elección de los Sitios Factibles</u> | 62 |
| 5.2 | <u>Resultados del Análisis Hidrológico</u> | 62 |
| 5.3 | <u>Estimación de Costos</u> | 65 |
| 6. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 68 |
| 6.1 | <u>Conclusiones</u> | 69 |
| 6.2 | <u>Recomendaciones</u> | 70 |
| | TABLAS | 73 |

| | Pág. |
|-------------|------|
| FIGURAS | 99 |
| REFERENCIAS | 126 |

INDICE DE TABLAS

| | | Pág. |
|------|---|------|
| 1.1 | USO ACTUAL DEL SUELO | 74 |
| 1.2 | EDAFOLOGIA | 75 |
| 2.1 | ESTACIONES HIDROMETRICAS | 76 |
| 2.2 | VOLUMENES DE ESCURRIMIENTO REGISTRADOS EN LA ESTACION EL PESCADO No. 2, MEXICO | 77 |
| 2.3 | VOLUMENES MEDIOS DE ESCURRIMIENTO EN LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO | 78 |
| 2.4 | ESTACIONES CLIMATOLOGICAS | 79 |
| 2.5 | PRECIPITACIONES REGISTRADAS EN LA ESTACION NEVADO DE TOLUCA, MEXICO | 80 |
| 2.6 | PRECIPITACIONES MEDIAS EN LAS CUENCAS DE DRENAJE A LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS | 81 |
| 2.7 | CALCULO DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO PARA LA ESTACION EL PESCADO No. 2 | 82 |
| 2.8 | COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO DEDUCIDOS | 83 |
| 2.9 | RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANALISIS DE CORRELACION | 84 |
| 2.10 | SELECCION DEL NUMERO DE ESCURRIMIENTO N | 85 |
| 3.1 | SITIOS IDENTIFICADOS | 87 |
| 3.2 | SITIOS SELECCIONADOS | 88 |
| 4.1 | MAGNITUD APROXIMADA DE LAS AREAS QUE SERIAN INUNDADAS POR LOS EMBALSES | 89 |
| 5.1 | COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO MEDIOS MENSUALES PARA LOS SITIOS ANALIZADOS | 90 |

| | Pág. | |
|-----|---|----|
| 5.2 | PRECIPITACIONES MEDIAS EN LAS CUENCAS DE DRENAJE A LOS SITIOS ANALIZADOS | 91 |
| 5.3 | VOLUMENES MEDIOS MENSUALES DE ESCURRIMIENTO DEDUCI- DOS | 92 |
| 5.4 | RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL FUNCIONAMIENTO DE VASO | 93 |
| 5.5 | VOLUMENES QUE PODRIAN EXTRAERSE DE LOS VASOS | 94 |
| 5.6 | GASTOS DE DISEÑO OBTENIDOS CON LA APLICACION DE LA REGIONALIZACIÓN DE GASTOS MAXIMOS | 95 |
| 5.7 | GASTOS DE DISEÑO OBTENIDOS POR PMP | 96 |
| 5.8 | DETERMINACION DE COSTOS | 97 |
| 6.1 | SITIOS MAS ATRACTIVOS DE ESTUDIARSE EN UNA ETAPA POSTERIOR | 98 |

INDICE DE FIGURAS

| | | Pág. |
|------|---|------|
| 1.1 | LOCALIZACION DE LA ZONA EN ESTUDIO | 100 |
| 1.2 | LOCALIZACION DEL ACUEDUCTO Y ZONA DE APROVECHAMIENTOS | 101 |
| 2.1 | LOCALIZACION DE ESTACIONES HIDROMETRICAS Y SUS PARTE- AGUAS | 102 |
| 2.2 | LOCALIZACION DE ESTACIONES CLIMATOLOGICAS | 103 |
| 2.3 | ISOLINEAS DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO MEDIOS ANUALES | 104 |
| 2.4 | ISOLINEAS DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO MEDIOS PARA EL MES DE JUNIO | 105 |
| 2.5 | ISOLINEAS DE EVAPORACION MEDIA ANUAL | 106 |
| 2.6 | ISOLINEAS DE EVAPORACION MEDIA PARA EL MES DE SEPTIEMBRE | 107 |
| 2.7 | CURVAS ELEVACIONES-AREAS-CAPACIDADES | 108 |
| 2.8 | ZONAS DE EMBALSE | 109 |
| 2.9 | REGIONALIZACION PARA GASTOS MAXIMOS | 110 |
| 2.10 | ESTIMACION DEL GASTO MAXIMO EN FUNCION DE LA VARIABLE NORMALIZADA | 111 |
| 2.11 | ISOYETAS DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL CON $d = 24$ h y $Tr = 10$ AÑOS | 112 |
| 2.12 | DIVISION REGIONAL DE PMP | 113 |
| 2.13 | CURVAS DE PRECIPITACION MAXIMA PROBABLE-AREA-DURACION (AREAS MENORES DE $5\ 000\ km^2$) | 114 |
| 2.14 | CURVAS DE PRECIPITACION MAXIMA PROBABLE-AREA-DURACION (AREAS MAYORES DE $5\ 000\ km^2$) | 115 |
| 2.15 | AJUSTE DE PMP POR DISTRIBUCION DE LA TORMENTA EN EL ESPACIO | 116 |

| | Pág. | |
|------|---|-----|
| 2.16 | CURVAS DE ISOPORCENTAJE DE REDUCCION DE PMP POR UBICACION DE LA CUENCA | 117 |
| 2.17 | HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR | 118 |
| 2.18 | VARIACION DEL PARAMETRO n EN FUNCION DEL AREA DE LA CUENCA | 119 |
| 3.1 | SITIOS IDENTIFICADOS | 120 |
| 3.2 | SITIOS SELECCIONADOS | 121 |
| 5.1 | PRECIO DE CORTINAS DE TIERRA EN FUNCION DE SU VOLUMEN | 122 |
| 5.2 | COSTO DE TOMAS DE AGUA EN FUNCION DEL CAUDAL | 123 |
| 5.3 | DIMENSIONES DE LA SECCION VERTEDORA EN FUNCION DEL GASTO MAXIMO | 124 |
| 5.4 | CROCQUIS DE LAS CORTINAS QUE SE PROPONEN | 125 |

CAPITULO 1
INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Con el objetivo básico de aumentar el abastecimiento de agua potable de la ciudad de México, el proyecto de aprovechar los manantiales de la cuenca alta del río Lerma, llamado Proyecto Alto Lerma, fue planteado por primera vez en la última década del siglo pasado, al presentarse en la ciudad uno de los tradicionales períodos de escasez de dicho recurso.

En esa ocasión, el problema del abastecimiento de la ciudad se resolvió aprovechando los manantiales de Xochimilco, tomando en cuenta que esta alternativa tenía menor costo, que la fuente de abastecimiento se encontraba más cerca de la ciudad, dentro de jurisdicción del Distrito Federal y que disponía de un caudal suficiente para dotar a una población mayor que la asentada entonces en la ciudad de México. Las obras de captación y conducción de esta fuente se construyeron en el periodo de 1905 a 1913.

En el año 1937, durante otro periodo crítico de escasez de agua en la ciudad de México, el Departamento del Distrito Federal se hizo cargo del Proyecto Alto Lerma y encomendó al Ing. Guillermo Terrés el estudio definitivo del mismo, con fines de construcción inmediata si su viabilidad lo justificaba.

El proyecto del Ing. Terrés, que contemplaba la captación de un gasto de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ de los manantiales del Alto Lerma, la recolección de esas aguas mediante un acueducto que las conduciría hacia la sierra de Las Cruces, y, finalmente, la construcción de un túnel que atravesaría dicha sierra a fin de descargar en el valle de México y descender a la ciudad mediante cuatro caídas destinadas a generar energía, fue aceptado por el Departamento del Distrito Federal con ciertas modificaciones, especialmente la ampliación de la capacidad del túnel, para estar en condiciones de conducir en el futuro mayores caudales.

De acuerdo al dictamen final, el aprovechamiento de las aguas de los manantiales del Lerma ofrecía las siguientes ventajas sobre -

otros proyectos alternativos:

- 1) Era la fuente de abastecimiento más importante en las inmediaciones de la ciudad de México.
- 2) Podría captarse inicialmente hasta un gasto de 6 m³/s, que permitiría cubrir el déficit que sufría la ciudad, completando el abastecimiento de agua de una población de 3 millones de habitantes, con una dotación de 500 litros diarios por persona.
- 3) Las aguas de los manantiales del Lerma son potables y no requerirían tratamiento.
- 4) La transferencia de agua del Alto Lerma al valle de México, contribuiría a desecar el área de lagunas y pantanos del valle de Toluca, a fin de aprovecharla con fines agrícolas.

La construcción de las obras correspondientes a la primera etapa del Proyecto Alto Lerma, que contemplaba la importación de los mencionados 6 m³/s, se llevó a cabo en el periodo comprendido entre los años 1942 y 1951, constando el acueducto de los siguientes tres tramos principales:

- 1) El superior, que se encuentra alojado en el valle de Toluca, se extiende entre San Pedro Tepechulco y Atarasquillo, a lo largo de la planicie, por la margen derecha del río Lerma y fuera del área de lagunas y pantanos. Consiste esencialmente de una tubería colectora cuya capacidad va aumentando conforme va recogiendo el agua de las captaciones.
- 2) El túnel Atarasquillo-Dos Ríos que atraviesa el parteaguas entre los valles de Toluca y México. Su capacidad de 6 m³/s prevista originalmente, se aumentó a 14 m³/s con el doble objeto de disponer de un diámetro conveniente para las actividades de construc-

ción, y de prever la conducción de gastos mayores - al requerido por la primera etapa.

- 3) El inferior, situado en el valle de México, tiene - su origen en la salida del túnel para terminar en - la cámara de distribución, de donde descarga a los tanques de Dolores.

Como los manantiales no aportaron el caudal previsto y tendían a reducir su aportación, fue preciso captar las aguas subterráneas de la porción Sureste del valle de Toluca mediante pozos que se - localizaron a lo largo del tramo superior del acueducto y lo ali- mentaban en su recorrido hacia la entrada del túnel Atarasquillo- Dos Ríos, pero, a pesar de que la extracción de aguas fue crecien do conforme los manantiales se iban agotando, no se llegó a com- pletar el gasto de 6 m³/s.

En el año 1965, cuando el abastecimiento del área metropolitana - del valle de México se había incrementado con otras fuentes loca- les, y, al mismo tiempo, el acueducto había llegado a transferir 5 700 l/s teniendo como única fuente de abastecimiento las aguas subterráneas del valle de Toluca, se presentó una nueva crisis co mo resultado del crecimiento desproporcionado de la demanda, com- plicada con la proximidad de la Olimpiada, que se celebraría en - la ciudad de México en el año 1968.

Ante esta situación, era preciso aumentar a corto plazo el abaste cimiento de agua de la ciudad en un gasto de 5 ó 6 m³/s que se re quería con urgencia, disponiéndose para ello, únicamente, de las aguas del subsuelo de la cuenca alta del río Lerma, las cuales, - como se ha mencionado, ya se estaban aprovechando parcialmente en la primera etapa del Proyecto Alto Lerma.

Antes de emprender las actividades correspondientes a la segunda etapa, se protegieron los acuíferos del Alto Lerma mediante un De creto Presidencial que, expedido por la Secretaría de Recursos Hi

dráulicos el 10 de Agosto de 1965, establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo del valle de Toluca. Así, para llevar a cabo las nuevas extracciones de aguas subterráneas, fue necesario solicitar el correspondiente permiso de la citada Secretaría en los términos del Decreto Presidencial, y, también, la conformidad del gobierno del Estado de México, con el cual, el 14 de Diciembre de 1966, se celebró un convenio cuya aplicación permitió que, en 1968, la extracción de aguas subterráneas aumentara a un gasto medio anual de 9.400 m³/s.

En vista de los resultados satisfactorios que se obtuvieron de la ampliación del sistema y del incremento de la transferencia de agua, se decidió hacer una nueva ampliación, de 5 m³/s, para satisfacer la demanda del área metropolitana del valle de México, aprovechando en forma más eficiente la capacidad instalada del túnel Atarasquillo-Dos Ríos.

Para llevar a cabo esta ampliación, que implicaba la localización, captación y conducción de las aguas provenientes de las zonas comprendidas desde la presa José Antonio Alzate hacia el Norte, fue preciso celebrar, el 12 de Diciembre de 1968, un convenio adicional con el gobierno del Estado de México.

La aplicación del Convenio Adicional permitió, en 1970, aumentar la extracción de aguas subterráneas a un gasto medio anual de 11.785 m³/s, llegándose a transferir, en ese mismo año, el gasto de 14.000 m³/s para el cual fue diseñado el túnel Atarasquillo-Dos Ríos.

Por los años de 1971 a 1973, los ejidatarios asentados a lo largo de los ramales del acueducto empezaron a crear problemas, cada vez más serios, al derivar aguas del sistema hacia sus tierras para regar cultivos temporales, produciendo, de esta manera, una situación difícil en el área metropolitana por la reducción del abastecimiento en los periodos críticos de demanda, además de los conflictos que se suscitaban con el personal encargado de la operación.

El Departamento del Distrito Federal, tomando en cuenta que a través de los convenios celebrados con el gobierno del Estado de México, contrajo la obligación de cooperar para la realización de diversas obras en la cuenca alta del río Lerma, llevó a cabo, en el periodo 1973-1975 y con una erogación de 120.390 millones de pesos, la perforación de 44 pozos para riego y la rehabilitación de 18 más destinados al mismo fin, con objeto de liberar las aguas asignadas previamente a la ciudad de México y que estaban derivando los ejidatarios de la zona.

Mientras se ejecutaban los trabajos de perforación y rehabilitación, se compensó a los ejidatarios la restricción de derivar aguas del sistema, proporcionándoles maíz en cantidad equivalente a la que obtendrían de sus cosechas. Dicha cantidad se estimó, entre los años 1973 y 1976, en 90 000 toneladas, que a un costo de 1 200.00 pesos por tonelada, representaron un total de 108.000 millones de pesos.

Considerando que los problemas no se resolvían y que las demandas de los ejidatarios del Alto Lerma iban en aumento, el Departamento del Distrito Federal emprendió, en 1977, un programa de obras sociales de gran alcance, pero hasta la fecha, las dificultades continúan, por lo que se ha pensado en la posibilidad de satisfacer, aun cuando sea parcialmente, las demandas de los ejidatarios mediante la construcción de presas pequeñas que retengan el agua superficial que escurre por los arroyos de la cuenca.

Este nuevo intento de solución, en su etapa preliminar, es el motivo del presente trabajo, para cuyo desarrollo, de una manera general, se requirió:

- a) Investigar la situación actual de los recursos de la zona y en especial el agua ya comprometida por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en dicha zona.
- b) Determinar la ubicación de los sitios favorables pa

ra la construcción de presas pequeñas.

c) Determinar la capacidad de estos almacenamientos.

d) Elaborar esquemas preliminares del proyecto de las presas con su costo aproximado.

1.2 Objetivos

El objetivo de este estudio de Gran Visión en las diversas sub---cuencas hidrográficas dentro de la cuenca alta del río Lerma, es evaluar cualitativamente los proyectos de almacenamientos de protección al acueducto de Lerma que durante su desarrollo se propongan, considerando los probables conflictos de uso del agua que puedan tener con otros aprovechamientos ya en funciones.

Logrado el objetivo, se podrá hacer una jerarquización de los proyectos con la finalidad de asignar, a aquéllos de mayor importancia, los recursos humanos y económicos que hagan posible estudiar los a niveles superiores.

1.3 Area en estudio

1.3.1 Cuenca alta del río Lerma hasta Atlacomulco.

La porción alta de la cuenca del río Lerma, hasta Atlacomulco, está situada aproximadamente entre los meridianos $99^{\circ} 15'$ y $100^{\circ} 15'$ de longitud Oeste y los paralelos $19^{\circ} 03'$ y $19^{\circ} 50'$ de latitud Norte, comprendiendo una superficie de $4\ 436\ \text{km}^2$ (figura 1.1) Se localiza en el Estado de México y está limitada, al Norte, por la parte inferior de la propia cuenca, al Sur y al Oeste por la cuenca del río Balsas, y al Este, por la cuenca del río Pánuco.

Esta porción de la cuenca del río Lerma comprende total o parcialmente 31 municipios del Estado de México, que abarcan una superficie conjunta de $5\ 485.7\ \text{km}^2$.

1.3.1.1 Orografía

La cuenca del río Lerma tiene su origen en la Cordillera Neovolcánica, se extiende por la Altiplanicie Meridional y queda delimitada, inicialmente, por dicha cordillera y sus estribaciones.

Emergiendo en la citada cordillera, se encuentra el Nevado de Toluca y los cerros Tenango, Boludo y San Secundino, que definen el parteaguas del Sur de la cuenca.

Al Oriente, la cuenca está limitada por las sierras de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, que forman el parteaguas con el valle de México. Este parteaguas oriental, se extiende hasta la margen del río Lerma para formar, con el cerro Atlacomulco, la ladera derecha del estrechamiento del mismo nombre.

Por el Poniente y a partir del Nevado de Toluca, definen el parteaguas, entre otros, los cerros Las Cruces, San Agustín y Loma Pelada.

Finalmente, el límite Norte de esta porción de la cuenca, está constituido por un parteaguas interno que se inicia en Loma Pelada, pasa por el cerro Las Peñas y llega al cerro Cabeza de Mujer, el cual se prolonga hasta el cauce del río Lerma formando la ladera izquierda del estrechamiento de Atlacomulco.

Este sistema orográfico encierra dos unidades fisiográficas bien definidas: el valle de Toluca, situado a un nivel superior, y el valle de Ixtlahuaca, que forma un escalón inferior y se encuentra separado del de Toluca por el estrechamiento Los Perales. Estos valles contienen amplias llanuras sensiblemente planas, interrumpidas por los cauces de las corrientes que descienden para descargar en el río Lerma.

En el valle de Toluca se encuentran las depresiones que alojaban al sistema de lagunas Almoloya, Lerma y San Bartolo, ligeramente escalonadas y que actualmente se encuentran en franco proceso de extinción.

1.3.1.2 Geología

La región, que es de origen predominantemente volcánico, presenta, principalmente en las zonas de los parteaguas, afloramientos de las rocas andesíticas que constituyen el basamento impermeable, y, en tanto que las partes bajas se rellenaron con materiales provenientes de la erosión de las elevaciones circundantes, el resto de las formaciones existentes se encuentran constituidas por materiales piroclásticos, así como por lavas basálticas y andesíticas jóvenes.

Los elementos orogénicos más antiguos, fueron formados por erupciones de lavas andesíticas cuyo carácter petrográfico varía, desde los tipos más ácidos con abundante cuarzo, hasta las andesitas basálticas, pero, en general, las más comunes son las andesitas de hornblenda y de hiperstena,

Las tobas, cuya deyección fue un rasgo dominante de la época del vulcanismo, se encuentran en capas muy recientes (tepetates), cubriendo prácticamente todas las formaciones existentes, además de que son los materiales más abundantes de los valles.

Como consecuencia del vulcanismo intenso de la región, se produjeron algunas fallas que se orientan en la misma dirección del eje Neovolcánico, y asimismo, una serie de fracturas que en algunos lugares forman un conjunto de diaclasas.

Las fallas de Tenango del Valle, la de Perales y la de Toxhi, son las tres principales que pudieran ser de consideración. Dichas fallas son de tipo normal, indican la posible existencia de un desplazamiento en forma escalonada a lo largo del río Lerma, y se supone que sus últimos movimientos son recientes, ya que se encuentran asociadas con aparatos volcánicos cercanos o sobre la misma línea de falla.

1.3.1.3 Sistema hidrográfico

El río Lerma tiene su origen en la porción Sur central del valle de Toluca, en los manantiales de Almoloya del Río, formadores del

sistema escalonado de lagunas Almoloya-Lerma-San Bartolo, que se encuentran limitadas, respectivamente, por los estrechamientos de Atenco y Lerma y están cortadas longitudinalmente por el cauce colector de esta corriente.

Además de los manantiales, las lagunas se alimentan ocasionalmente con las aguas de los arroyos La Cieneguita, Santa Cruz, Santiaguito, Sanabria, Las Palmas, Ojo de Agua, Zacango y Agua Bendita, que nacen en el flanco oriental del Nevado de Toluca y se aprovechan parcialmente antes de entrar al valle, donde los excedentes se pierden por infiltración en la planicie y sólo en la temporada de avenidas llegan a descargar por la margen izquierda en las lagunas Almoloya y Lerma.

Por la margen derecha, las lagunas se alimentan eventualmente con las aguas de los arroyos Ocotenco, Agua de Pájaro, Xalatlaco, Almaya, Atlalulco, Acazulco, San Mateo y Zolotepec, que nacen en las sierras de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, del conjunto de elevaciones que forman el parteaguas en el valle de México. A las lagunas llegan solamente las aguas excedentes, después de deducir los aprovechamientos y las pérdidas por infiltración.

Estas corrientes, tanto las que fluyen por el Poniente como por el Oriente, acarrean grandes volúmenes de materiales, producto de la erosión de terrenos accidentados dedicados a cultivos anuales, que se sedimentan al alcanzar la planicie.

Aguas abajo del sistema lacustre y por la propia margen derecha, el cauce troncal del río Lerma recibe la afluencia de los arroyos Mayorazgo, Zarco, Oztolotepec, Los Ajolotes, Los Pantanos, San Lorenzo y San Antonio, que se originan en el flanco occidental de las sierras Monte Alto y Monte Bajo y entre las que sólo el citado arroyo Oztolotepec tiene cierta importancia por su potencialidad de escurrimiento. Estas corrientes transportan también grandes volúmenes de materiales, que se van depositando en las laderas o se sedimentan al llegar a la planicie, azolvando el cauce del río Lerma.

Entre otras corrientes de menor importancia, nace en la ladera - Noroeste del Nevado de Toluca el río Verdiguél, que se aprovecha para abastecer de agua a la ciudad de Toluca y descarga los excedentes y los retornos en el cauce del río Lerma, aguas abajo de la zona lacustre. Al continuar hacia aguas abajo, el cauce troncal recibe por la misma margen izquierda la descarga del río Tejalpa, cuyos formadores se originan también en el Nevado de Toluca y se aprovechan mediante sistemas de bordos que además de contribuir a la recarga de los acuíferos del valle, permiten regar una importante superficie. Las aguas excedentes del riego y la infiltración confluyen al río aguas abajo de las lagunas.

Siguiendo su curso hacia aguas abajo, el río Lerma recibe por la margen derecha la afluencia de los arroyos Joya de San Juan, Los Nopales, San Lucas, El Toro y El Muerto, que se aprovechan mediante derivaciones y sistemas de bordos, de manera que solamente llegan a la llanura las aguas de avenidas. Por la margen izquierda, el cauce troncal recibe las aguas de algunos arroyos de escasa importancia, como el Villa Seca, Las Conejeras y San Cayetano, que tienen pequeñas cuencas de captación alojadas en la planicie. Inmediatamente aguas abajo de estas confluencias se construyó, en la boquilla de San Bernabé, la presa José Antonio Alzate, cuyo vaso de almacenamiento recibe las aguas de avenidas de esas corrientes.

El río continúa su curso divagante hacia aguas abajo hasta recibir por la margen izquierda la afluencia del río La Gavia, su principal tributario en el valle de Toluca, que tiene una importante cuenca de captación drenada por gran número de arroyos que se originan en las sierras Villa Victoria y San Agustín, del parteaguas con la cuenca del río Balsas. Estos arroyos se aprovechan en parte mediante sistemas de derivación y bordos que permiten regar una gran extensión y hacer cultivos de humedad, reduciendo el escurrimiento de estiaje hacia el cauce del río La Gavia, que está controlado mediante la presa Ignacio Ramírez, construída en la boquilla La Gavia.

Después de la confluencia del río La Gavia, el río Lerma cruza el estrechamiento Los Perales y penetra en el valle de Ixtlahuaca, - recibiendo por la margen derecha la afluencia del río Santo Domingo, formado principalmente por los arroyos San Bartolo, Santa Lucía, Jaquitzingo, Nigini, Chaparrales, El Pescado y Sila, cuyas - cuencas de captación están alojadas en el flanco occidental de - las sierras La Catedral, Las Palomas, La Cruz y La Bufa, que forman el parteaguas con la cuenca del río Pánuco. Estos arroyos se aprovechan en parte mediante derivaciones y sistemas de bordos, - que permiten regar una área conjunta de cierta importancia y realizar cultivos de humedad, una vez que se vacían los pequeños depósitos constituidos por los bordos.

Por la misma margen derecha y antes de llegar a Atlacomulco, el - río Lerma recibe la afluencia de varios arroyos, entre los que - destaca El Salto, tanto por su potencialidad de escurrimiento como por el área que drena. Esta corriente está controlada mediante la presa J. Trinidad Fabela, localizada cerca del poblado El Salto. Considerando que los arroyos que drenan esta porción de la - cuenca tienen gran número de pequeños aprovechamientos para riego, solamente las aguas de avenidas llegan al cauce troncal del - río Lerma.

Finalmente, el río Lerma recibe por la margen izquierda la aportación del río Jaltepec, formado por numerosos arroyos que se originan en el parteaguas con la cuenca del río Balsas, o en el parteaguas interno que define la cuenca del río Lerma hasta el estrechamiento de Atlacomulco. Estos arroyos se aprovechan mediante sistemas de bordos que permiten regar una superficie de cierta importancia y cultivar de humedad las áreas cubiertas por los depósitos que forman los bordos, una vez que se encuentran vacíos. El cauce troncal de esta corriente está controlado mediante la presa Tepetitlán, construida en las inmediaciones del poblado San Antonio Mextepec.

1.3.1.4 Uso actual del suelo

Con apoyo en las cartas de uso actual del suelo escala 1:50 000, que para el área en estudio ha editado la Dirección General de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL), se encuentra que hacia la parte alta de la cuenca existe agricultura de riego debido a que su desarrollo es favorecido por la presencia de agua y por la humedad de la zona, mientras que en el valle de Ixtlahuaca, donde la carencia del recurso agua frena el desarrollo de la región, se practica la agricultura de temporal permanente, siendo precisamente en este lugar en donde es necesario solucionar los problemas que la falta de agua provoca a los agricultores.

En las laderas de las sierras, en los cerros y en los promontorios que emergen en la llanura, donde predominan las pendientes pronunciadas, se encuentran las áreas de bosques de pino, encino y oyamel, las cuales están gravemente afectadas por la presión que ejerce la población sobre los recursos, al destruir el bosque para dedicar los suelos a cultivos en laderas. Los pastizales cubren una extensión muy reducida que se localiza en general en la parte baja de la cuenca.

Es una región sumamente poblada, localizándose en las inmediaciones del acueducto aproximadamente 250 poblaciones que en su gran mayoría cuentan con energía eléctrica, agua potable proporcionada por el DDF y sólo unas cuantas disponen de drenaje.

En la tabla 1.1 se presenta un resumen de los diferentes usos del suelo así como el porcentaje, que las áreas sujetas a cada uno de ellos, representan con respecto al área total en estudio.

1.3.1.5 Uso potencial del suelo

A continuación se describen los diversos suelos o unidades, con diferente capacidad agrológica, identificados dentro del área de estudio mediante la utilización de las cartas de uso potencial, escala 1:50 000, editadas por DETENAL:

Unidad 2. Estos suelos se encuentran presentes en un

13% del área total. Son útiles para preservar la vida silvestre, para sostener bosques y para la agricultura y praticallyura intensas. Sus principales limitaciones son la deficiencia de agua y la pendiente del terreno.

Unidad 3. Se encuentra ocupando un 7% del área total en estudio. Por sus características, estos suelos pueden ser utilizados para preservar la vida silvestre, para sostener bosques o matorrales, en la praticallyura intensa y para la agricultura moderada. Los factores limitantes son la deficiencia de agua y la profundidad efectiva del suelo.

Unidad 4. Esta unidad puede ser utilizada en la agricultura limitada, en la praticallyura intensa y para conservar los bosques que pudiera haber, además de que también puede ser utilizada para preservar la vida silvestre. Se encuentra presente en un 6% del área total y tiene como limitantes la deficiencia de agua y la profundidad efectiva del suelo en algunos casos, y en otros, únicamente la pendiente del terreno.

Unidad 5. Puede ser utilizada para preservar la vida silvestre, en el sostenimiento de bosques y para la praticallyura intensa. Está limitada por la deficiencia de agua, la profundidad efectiva del suelo y la pendiente del terreno. Ocupa una de las mayores extensiones, representando un 26% de la superficie total.

Unidad 6. Posee prácticamente las mismas características y limitantes de la unidad anterior y en algunos casos, además, la erosión. La extensión que ocupa constituye aproximadamente un 20% del área de estudio.

Unidad 7. Ocupa un 26% del área total y presenta como principal limitante la erosión, pudiendo utilizarse para preservar la vida silvestre, para sostener bosques o

matorrales y en la praticanura limitada.

- Unidad 8. Esta unidad abarca solamente un 2% del área en estudio. Prácticamente carece de importancia económica ya que los suelos tienen menos de 25 cm de espesor y sólo son útiles para preservar la vida silvestre.

Dentro de las diferentes unidades de suelo mencionadas, se tiene que las llamadas 2, 3 y 4, que en conjunto ocupan un 26% del área total, son aptas para la agricultura, teniendo como principal limitante la deficiencia de agua por lo que, en caso de poder disponer de ella, su utilización sería más eficiente.

1.3.1.6 Edafología

Con objeto de conocer con mayor aproximación las características de los suelos en la cuenca alta del río Lerma, se procedió a estudiar las cartas edafológicas escala 1:50 000 que para dicha área ha editado DETENAL, para así poder determinar los diferentes tipos de suelo existentes y los porcentajes que las áreas ocupadas por cada uno de ellos, representan con respecto a la superficie total, consignándose los resultados en la tabla 1.2.

Como puede observarse del análisis de dicha tabla, la mayor extensión de suelos corresponde al grupo andosol que son suelos con moderada permeabilidad. En segundo orden aparecen los luvisoles que son suelos de baja permeabilidad, y en menor proporción, los vertisoles también de baja permeabilidad, el cambisol de moderada permeabilidad y el feozem de alta permeabilidad.

En resumen, de los grupos de suelos mencionados, sólo los luvisoles y vertisoles presentan condiciones de erosión, sin embargo, los primeros se encuentran presentes en áreas de poca pendiente por lo que no representan problemas graves en cuanto a la erosión y al acarreo de azolves, en cambio, los vertisoles, localizados principalmente en las partes altas de la cuenca, sí pueden provocar algún problema si no se efectúan en ellos obras para el con---

trol de la erosión.

1.3.2 Zona de almacenamientos

De investigaciones realizadas en las oficinas del Departamento del Distrito Federal en Amomolulco, México, se encuentra que en zonas aledañas al acueducto, de San Nicolás Peralta hacia el Norte, es donde se presentan los problemas creados por los campesinos al derivar aguas, sobre todo en el periodo comprendido entre los meses de Enero y Mayo, para regar una superficie aproximada de 11 400 ha.

De acuerdo con lo anterior y mediante la utilización de la información disponible en el Departamento del Distrito Federal, concierne a la ubicación de los pozos de extracción y de los diversos ramales del acueducto, es posible delimitar en forma general la zona donde posteriormente, con apoyo en las cartas topográficas escala 1:50 000 que para la región ha editado DETENAL, se hace la identificación de los posibles sitios de ubicación de pequeñas presas de almacenamiento.

La zona de almacenamientos (figura 1.2), está dividida en dos porciones, la oriental y la occidental, las cuales representan aproximadamente, con respecto al área total de dicha zona, el 92% y el 8% respectivamente.

La porción oriental queda comprendida aproximadamente entre los meridianos $99^{\circ} 24'$ y $99^{\circ} 45'$ de longitud Oeste y los paralelos $19^{\circ} 18'$ y $19^{\circ} 42'$ de latitud Norte, encontrándose muy cerca de ella los ramales del acueducto llamados Jiquipilco-Malacota-Jilotepec, Jiquipilco, El Convento, Norte, San Diego Alcalá, Temoaya, San Lorenzo Oyamel, El Arenal, y el túnel Atarasquillo-Dos Ríos, así como las poblaciones San Lorenzo Malacota, San Bartolo Oxtotitlán, Santa María Nativitas, Jiquipilco, San Miguel Yuxtepec, San Martín Morelos, Loma Endotzi, Temoaya, San Pedro de Arriba, Villa Cuauhtémoc, Xonacatlán, Santa María Zolotepec, Santa Ana Xilotzingo, San Nicolás Peralta, Santa María Atarasquillo y San Miguel Ameyalco.

La porción occidental está ubicada entre los meridianos $99^{\circ} 47'$ y

99° 55' de longitud Oeste y los paralelos 19° 28' y 19° 33' de latitud Norte, localizándose en las cercanías los ramales Ixtlahuaca Poniente y La Gavia, y poblaciones importantes como Ixtlahuaca de Rayón y Almoloya de Juárez.

1.4 Alcances

El desarrollo de este trabajo comprende seis capítulos, de los cuales, de una manera general, se describe su contenido a continuación.

En el capítulo 1 se dan los antecedentes del problema cuya solución, en una etapa preliminar, se busca con este análisis. También se lleva a cabo la localización de lo que se consideró como área de estudio y se hace una descripción de ésta y de los objetivos por satisfacer.

El capítulo 2 trata acerca de los procedimientos utilizados para realizar el análisis hidrológico en cada uno de los sitios estudiados, explicándose la manera como fueron aplicados dichos procedimientos.

El capítulo 3 se relaciona con las actividades efectuadas para la selección de los sitios objeto de este análisis preliminar. Comprende la identificación de los posibles sitios en las cartas topográficas existentes para la zona de estudio, la descripción del método por medio del cual se determinó si cada uno de ellos podía o no ser seleccionado, la exposición de los objetivos que motivaron la realización de reconocimientos terrestres en los sitios escogidos, el planteamiento de los esquemas de obras en cada uno de ellos, y, como apoyo del punto anterior, un resumen de la información recabada durante los reconocimientos.

En el capítulo 4, mediante el empleo de la información con que se contó para la ejecución de este trabajo, se hace un examen somero del tipo y magnitud de las afectaciones que tendrían lugar en la cuenca alta del río Lerma si se construyera un aprovechamiento en

cada sitio seleccionado.

En el capítulo 5 se indica en qué sitios es factible la realización de estudios de mayor jerarquía, enunciándose los factores que fueron tomados en cuenta para su elección. Se menciona cómo se llevaron a cabo los análisis hidrológico y de costos para los sitios seleccionados en el capítulo 3, y además, se proporciona un resumen de los resultados obtenidos con esos análisis.

El capítulo 6 comprende las conclusiones y recomendaciones derivadas de este estudio.

CAPITULO 2
ANALISIS HIDROLOGICO

Comprende fundamentalmente las siguientes dos partes:

- a) Obtención de los escurrimientos mensuales y anuales para cada probable sitio de ubicación de un almacenamiento, a fin de acotar, con apoyo en la ley de demandas y a través del funcionamiento hidráulico de los embalses, la capacidad de los mismos, los niveles de operación y las políticas de extracción de agua.
- b) Obtención en forma muy aproximada de la avenida de diseño del vertedor de excedencias, utilizando la información climatológica disponible.

2.1 Obtención de los escurrimientos

Debido al nivel del estudio, se recurrió a determinar, en cada uno de los sitios que se identifican en el capítulo 3, y posteriormente, en aquéllos que de dicho grupo se seleccionan en el mismo capítulo para ser motivo de este análisis preliminar, volúmenes de escurrimiento medios anuales y mensuales respectivamente, los cuales, dado que en todos los sitios se carece de información hidrométrica, se obtuvieron mediante una relación lluvia-escurrimiento, esto es, en las cuencas de drenaje a las estaciones hidrométricas distribuidas en la zona de estudio (tabla 2.1) y cuya localización se da en la figura 2.1, se determinaron en forma anual y mensual las relaciones entre la lluvia y el escurrimiento utilizando la ecuación:

$$C_e = \frac{V_{esc}}{V_{lluv}} \quad (2.1)$$

en donde

C_e coeficiente de escurrimiento

V_{esc} volumen de escurrimiento

Los volúmenes de escurrimiento en las cuencas aforadas, se conocen directamente de los registros de cada estación, pudiendo así calcularse, para cada una de ellas y para cada mes, el escurrimiento medio como el promedio aritmético de los registros correspondientes, obteniéndose, de esta manera, un año representativo cuyo escurrimiento total es la media aritmética de los escurrimientos anuales registrados durante el periodo de observación de la estación hidrométrica que se analice. Un ejemplo de estos cálculos se da en la tabla 2.2 para la estación El Pescado No. 2 y, en la tabla 2.3, se hace un resumen de los resultados obtenidos, al aplicar el procedimiento mencionado, para las 17 estaciones hidrométricas analizadas.

Por lo que se refiere a los volúmenes de lluvia, éstos se obtuvieron considerando las precipitaciones medias mensuales y anuales en las estaciones climatológicas que se encuentran dentro y en los alrededores de la zona de estudio, determinándose, por el método de los polígonos de Thiessen, la altura de lluvia media mensual y anual en cada cuenca con control hidrométrico. Conociendo estos valores, el volumen de lluvia se calculó como la altura de lluvia media en la cuenca multiplicada por su área. Con esta información se aplicó la ecuación 2.1 y se obtuvieron los coeficientes de escurrimiento mensuales y anuales.

Una lista de las 78 estaciones climatológicas utilizadas y la localización de las mismas se da en la tabla 2.4 y en la figura 2.2 respectivamente, mostrándose también, en la tabla 2.5, la determinación de los valores medios de precipitación para la estación Nevado de Toluca, en la tabla 2.6 un resumen de las precipitaciones medias calculadas para las cuencas de drenaje a cada estación hidrométrica, en la tabla 2.7 el cálculo de los coeficientes de escurrimiento para la estación El Pescado No. 2 y, en la tabla 2.8, el resumen de los coeficientes de escurrimiento deducidos para cada estación hidrométrica.

Con los resultados obtenidos de la manera descrita, se procedió a la elaboración de planos de isolíneas de coeficientes de escurrimiento medios mensuales y anuales, como los que se muestran en las figuras 2.3 y 2.4, determinándose así, por interpolación en dichos planos, los coeficientes de escurrimiento anuales y mensuales para cada uno de los sitios identificados y seleccionados respectivamente.

Una vez conocido el valor de los coeficientes de escurrimiento, se calcularon los volúmenes de escurrimiento a partir de la ecuación 2.1 en la cual se despeja V_{esc} , siendo necesario determinar previamente los volúmenes de lluvia en cada cuenca de drenaje a los sitios, lo cual se hizo en forma análoga a la descrita para las cuencas de las estaciones hidrométricas.

Por otra parte, como uno de los pasos seguidos para llevar a cabo la selección de los sitios motivo de este trabajo, así como el funcionamiento hidráulico de los embalses que se formarían, se procedió a determinar la lámina de evaporación media anual y por mes en el área de cada embalse, mediante la utilización de planos de isolíneas de evaporación como los mostrados en las figuras 2.5 y 2.6. Dichos planos se elaboraron para la zona de ubicación de los posibles aprovechamientos, implicando esto, la recabación de los registros de evaporación disponibles en las estaciones climatológicas con influencia en esa zona, los cuales se procesaron igual que los registros de precipitación.

2.1.1 Funcionamiento hidráulico de los embalses

En general, para definir las reglas óptimas de operación de un embalse, para seleccionar la capacidad instalada más eficiente para la casa de fuerza en el caso de un proyecto hidroeléctrico, con el objeto de establecer la capacidad necesaria de la obra de extracción para una presa de control de avenidas, o para tomar muchas otras decisiones necesarias en el curso de la planeación de un proyecto, se lleva a cabo el funcionamiento hidráulico de embalse o estudio de operación, el cual es esencialmente una simulación de

la operación del vaso para un intervalo de tiempo, de acuerdo con un grupo de reglas adoptadas.

Un estudio de operación puede hacerse para un periodo de escurrimientos extremadamente bajos, el cual se selecciona como periodo crítico, o prolongarse para el periodo total observado. En el primer caso, el estudio no puede hacer más que definir la capacidad necesaria para sortear a la sequía seleccionada, en tanto que en el último caso, el estudio puede determinar el agua utilizable, o energía, para cada año del registro. El estudio más completo indica la probabilidad de deficiencia de agua o de energía de diversas magnitudes, las cuales son importantes en la planeación económica y en la integración del proyecto dentro de un sistema.

Un estudio de operación puede llevarse a cabo con datos anuales, mensuales, diarios o aun periodos más cortos. Los datos anuales, por lo general, proporcionan resultados relativamente toscos, debido a que la secuencia del escurrimiento durante el año es bastante importante. Para los vasos de almacenamiento que son relativamente grandes comparados con las aportaciones, usualmente es adecuado un estudio mensual. Si el vaso de almacenamiento es pequeño, la secuencia del escurrimiento dentro del mes puede volverse importante y se necesitarán los datos diarios.

Generalmente, son necesarios varios pasos preliminares antes de que los datos puedan ser analizados. A no ser que se disponga de un registro del escurrimiento fluvial en el sitio propuesto para el vaso de almacenamiento, el registro de una estación, en cualquier otra parte de la corriente o en una corriente cercana, puede ajustarse y correlacionarse con el sitio de la presa. Con frecuencia, los registros disponibles son demasiado cortos para incluir un periodo de sequía realmente crítico y el registro debe prolongarse o extenderse haciendo la comparación con registros de mayor duración de escurrimiento fluvial que se tengan para las zonas vecinas, o mediante el empleo de una relación de precipitación-escurrimiento. Por medio de este registro, se seleccionan uno o más años críticos o periodos de años para hacer el análisis.

Después que el escurrimiento fluvial en el sitio de la presa se ha determinado, puede ser necesario un ajuste para tomar en cuenta el agua que debe dejarse pasar por el vaso para satisfacer derechos de aguas previas o anteriores. La construcción del vaso de almacenamiento incrementa el área de la superficie del agua expuesta - arriba del cauce natural y aumenta la pérdida por evaporación. Por otra parte, toda la precipitación que cae sobre la superficie del vaso queda inmediatamente disponible, en tanto que en el estado natural, únicamente una porción de la lluvia sobre el terreno escurre hacia la corriente. En las regiones húmedas, la combinación de estos dos efectos generalmente representa una ganancia neta de agua, pero en las regiones áridas, la evaporación excede a la lluvia y resulta una pérdida de agua. En cualquier caso, el escurrimiento fluvial natural en el sitio de la presa debe ajustarse para considerar a estas ganancias o pérdidas.

Para este trabajo en particular, el funcionamiento hidráulico de los embalses se llevó a cabo con el objeto de determinar, la altura de las cortinas, la capacidad de los vasos, los niveles de operación, las políticas de extracción de agua y la superficie que es posible regar con cada uno de los aprovechamientos que se seleccionan en el capítulo 3, realizándose de acuerdo con lo siguiente:

- Se utilizaron los valores medios mensuales de precipitación, evaporación y volúmenes de escurrimiento asignados, de acuerdo con lo anteriormente descrito, a los sitios seleccionados.

- El análisis numérico tiene como base la ecuación de continuidad de un almacenamiento, la cual puede escribirse como a continuación se muestra:

$$VA_i = VA_{i-1} + VE_i - E_i - VD_i - R_i \quad (2.2)$$

donde

VA_i volumen almacenado en el vaso en el mes de análisis

sis.

VA_{i-1} volumen almacenado en el vaso en el mes anterior.

VE_i volumen que, por escurrimiento natural y por precipitación directa sobre la superficie libre del almacenamiento, entra a éste en el mes de análisis.

E_i volumen evaporado en el mes de análisis, el cual se calcula multiplicando la lámina media ajustada de evaporación en la zona del embalse, por el promedio de las áreas que el mismo inunda en el mes de análisis y en el anterior a éste.

VD_i volumen derramado en el mes de análisis.

R_i volumen aprovechado en el mes de análisis.

Se consideró una capacidad máxima hasta la elevación del vertedor de excedencias, a partir de la cual, empieza a haber derrames.

Tomando en cuenta el actual desconocimiento del gasto de sólidos que llega a cada sitio seleccionado, así como el hecho de que la zona de almacenamientos presenta grandes pendientes y áreas con problemas de erosión, se consideró como valor adecuado para la capacidad de azoles un 30% de la capacidad útil, lo cual representa, con respecto a los valores común y empíricamente aceptados en los casos de desconocimiento del gasto de sólidos, un incremento que oscila entre el 50% y el 100%.

Las curvas elevaciones-áreas-capacidades (figura 2.7), que representan la variación, con respecto a las diferentes alturas de cortina que pudieran proponerse, de las áreas inundadas por el embalse y de los volúmenes almacenados en el mismo, se determinaron mediante ampli

ficaciones escala 1:25 000 de las cartas topográficas - escala 1:50 000 existentes para la zona de estudio (inciso 1.3.2).

La demanda por satisfacer, expresada como el espesor de la lámina de agua para riego, fue estimada en 40 cm - anuales, asignando 15 cm a los meses de Febrero y Marzo respectivamente y 10 cm al mes de Abril.

Las láminas de evaporación, se consideraron iguales a las medias mensuales obtenidas de los planos de isolíneas de evaporación (subcapítulo 2.1), multiplicadas por un factor de reducción del evaporímetro igual en este caso a 0.77.

El funcionamiento se inició considerando el vaso lleno.

Para el funcionamiento realizado, las subcuencas se consideraron hidrológicamente independientes y el análisis de los escurrimientos a cada posible sitio se hizo sin tener en cuenta los compromisos del agua con otros aprovechamientos; esto con la finalidad de obtener el máximo beneficio con cada uno de ellos.

En cada sitio, para una altura de cortina inicialmente propuesta, se determinaron con apoyo en las curvas elevaciones-áreas-capacidades correspondientes, las capacidades total, útil y de azolves del almacenamiento (figura 2.8), y de acuerdo con la demanda, se calculó el área que podía regarse. Conocida esta última, se realizó el funcionamiento considerando la posible necesidad de incrementarla, o disminuirla, al buscar que el porcentaje de deficiencias fuera muy próximo o igual al 5%.

Logrado lo anterior, generalmente se obtuvo un porcentaje de derrames muy alto, y consecuentemente, el porcentaje de aprovechamiento de los escurrimientos resultó -

bajo, teniéndose entonces la necesidad de proponer --- otras alturas de cortina hasta obtener porcentajes de - deficiencias y de derrames iguales o muy cercanos al -- 5%. Esto se realizó cuando en la boquilla era factible incrementar la altura de cortina.

2.2 Obtención de la avenida de diseño

En cada uno de los sitios seleccionados para ser incluidos en este análisis preliminar, y con objeto de determinar las dimensiones de la sección vertedora de la obra de excedencias, lo cual es necesario para poder estimar e integrar los costos que implican las --- obras que se propongan en cada sitio, se obtuvo la avenida máxima probable mediante la utilización, por la facilidad de su aplica--- ción y porque proporcionan resultados confiables tomando en cuenta el nivel del análisis, de los dos criterios siguientes:

- a) Regionalización de gastos máximos.
- b) Determinación de la Precipitación Máxima Probable (PMP).

2.2.1 Regionalización de gastos máximos

De la aplicación de este criterio, se obtiene únicamente el valor del gasto máximo, pero no la forma de la avenida.

Considera dividida a la República Mexicana, como se muestra en la figura 2.9, en 13 regiones homogéneas desde el punto de vista de - los factores que contribuyen en la formación de avenidas, y toma - en cuenta, la incidencia de ciclones y de otros fenómenos meteoroló--- gicos, la localización de barreras orográficas, el área de la -- cuenca de drenaje al sitio de interés, así como la longitud y pendiente media del cauce principal.

El gasto máximo está dado por la ecuación:

$$Q(\text{Tr}) = A.Y(\text{Tr}) + B \quad (2.3)$$

en donde

Q(Tr) gasto máximo en m³/s para un periodo de retorno Tr en años.

Y(Tr) variable normalizada cuyo valor, para un periodo de retorno Tr y para cada región, se obtiene de gráficas como la mostrada en la figura 2.10, la cual corresponde a la región F que es la que contiene a la zona de ubicación de los posibles aprovechamientos.

A, B parámetros regionales que se calculan, en cada región, mediante la utilización de ecuaciones - similares a las que, para la región F, se muestran a continuación:

$$A = \frac{3.82 \text{ Ar}^{0.53} \text{ S}^{0.67} \text{ I}^{1.81}}{\text{p}^{0.76}} \quad (2.4)$$

$$B = \frac{1.21 \text{ Ar}^{0.48} \text{ S}^{0.64} \text{ I}^{1.77}}{\text{p}^{0.50}} \quad (2.5)$$

siendo

Ar área de la cuenca en km².

S pendiente media del cauce principal.

I precipitación media máxima anual que, con una duración de 24 horas y con un periodo de retorno de 10 años, se espera en la cuenca de drenaje al sitio que se estudie, en mm.

P precipitación media anual en la cuenca, en mm.

La precipitación media máxima anual con duración de 24 horas y con periodo de retorno de 10 años, se determinó procesando la información de las estaciones climatológicas con registro de 10 años o más que tuvieran influencia en la zona de aprovechamientos.

Dicho proceso se llevó a cabo recabando, en cada año de registro de las estaciones escogidas, el valor máximo de precipitación con duración de 24 horas, para posteriormente, por estación, ordenar estos valores de mayor a menor y así deducir sus periodos de retorno correspondientes mediante la ecuación:

$$Tr = \frac{n + 1}{m} \quad (2.6)$$

siendo

- Tr periodo de retorno en años para datos pertenecientes a series de máximos anuales.
- n número de años de registro de la estación que se analice.
- m número de orden de los datos, asignando 1 al valor más grande, 2 al inmediato inferior y así sucesivamente.

Lo anterior se hizo con el fin de encontrar, en cada una de las estaciones climatológicas utilizadas y a través de un análisis de correlación de dos variables, la ecuación que mejor se ajustara a las parejas de datos integradas por la altura de precipitación máxima anual con duración de 24 horas y su periodo de retorno correspondiente, resultando que en todos los casos, la ecuación de mejor ajuste fue del tipo:

$$h_{pma} = a + b \ln Tr \quad (2.7)$$

donde

- h_{pma} altura de precipitación máxima anual con duración de 24 horas, en mm.
- a, b parámetros de ajuste.
- Tr periodo de retorno, en años.

De esta manera se pudo conocer, en cada estación, el valor de h_{pma} asociado a un periodo de retorno de 10 años y, por tanto, fue posible elaborar el plano de isoyetas mostrado en la figura 2.11, el cual se utilizó para determinar el valor de I en la cuenca de drenaje a cada sitio seleccionado.

En la tabla 2.9 se da una lista de las estaciones climatológicas utilizadas, así como los valores correspondientes de los parámetros de ajuste a y b, del coeficiente de correlación r y de h_{pma} para un periodo de retorno de 10 años.

Por otra parte, la precipitación media anual P, se obtuvo con el método de los polígonos de Thiessen, como uno de los pasos para realizar el análisis de volúmenes de escurrimiento (subcapítulo 2.1).

2.2.2 Determinación de la Precipitación Máxima Probable

Este criterio implica, la obtención de la máxima altura de lluvia que se puede presentar en cada una de las cuencas de drenaje a los sitios seleccionados y, posteriormente, la realización de relaciones lluvia-escurrimiento, para poder conocer las avenidas asociadas a esas precipitaciones.

El estudio de la Precipitación Máxima Probable hecho para la República Mexicana, considera a ésta dividida, como puede verse en el croquis de la figura 2.12, en 12 regiones para cuya definición se tomaron en cuenta, los parteaguas existentes, la disposición de estaciones con radiosondeos y la densidad de estaciones climatológicas, encontrándose que la zona de probable ubicación de los aprovechamientos se localiza en la región IX.

El estudio permite determinar la PMP a través del empleo, según sea la región en que se encuentre la cuenca que interese, de la siguiente ecuación:

$$PMP = PMP_c \cdot FA \cdot FR \quad (2.8)$$

donde

PMP Precipitación Máxima Probable, en mm.

PMP_c Precipitación Máxima Probable obtenida de curvas de Precipitación Máxima Probable-área-duración que en este caso se muestran para la región IX en las figuras 2.13 y 2.14.

FA factor de ajuste de la PMP_c por distribución en el espacio de las tormentas extraordinarias procesadas en el estudio citado. El valor de dicho factor se obtiene, en función del área de la cuenca, con ayuda de gráficas como la que se muestra en la figura 2.15, la cual corresponde a la región IX.

FR factor de reducción de la PMP_c por la posición de la cuenca dentro de la región a que pertenezca. Se valúa con apoyo en planos de curvas de igual porcentaje de reducción, aplicando la siguiente ecuación:

$$FR = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot a_i}{A_t} \cdot \frac{1}{100} \quad (2.9)$$

siendo

FR factor de reducción en fracción.

- p_i porcentaje de reducción medio entre dos curvas de isoporcentaje que definen a una faja i de la cuenca en estudio.
- a_i área de la faja i .
- A_t área total de drenaje, la cual deberá ser igual a la suma de las n áreas a_i .

En la figura 2.16 se puede ver el plano de curvas de igual porcentaje de reducción, existente para la región IX.

La utilización de las curvas de Precipitación Máxima Probable-área-duración implica conocer, además del área de drenaje, la duración asociada a la precipitación por determinar. Dicha duración se consideró, por representar esto una condición desfavorable, igual al tiempo de concentración, el cual se define como el requerido por el escurrimiento superficial para llegar, de la parte más lejana de la cuenca a su salida.

Para cuencas naturales cuyas áreas miden menos de 3 000 km², el tiempo de concentración puede valuarse utilizando la expresión de vida a Chow:

$$t_c = 0.01 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64} \quad (2.10)$$

en donde

- t_c tiempo de concentración, en h.
- L longitud del cauce principal, en m.
- S pendiente media del cauce principal, en %.

Si se trata de cuencas naturales con áreas mayores que 3 000 km², el tiempo de concentración podrá determinarse aplicando la ecuación de Rowe:

$$t_c = \left(\frac{0.81 L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (2.11)$$

donde

- t_c tiempo de concentración, en h.
 L longitud del cauce principal, en km.
 H diferencia de elevación entre los extremos del cauce principal, en m.

Podrá notarse, que con lo hasta aquí descrito en este inciso, queda resuelto el problema que representa la obtención de la PMP, por tanto, como paso siguiente para lograr deducir las avenidas en cada sitio, se deberá proceder a la realización de las relaciones -- lluvia-escurrimiento.

Para llevar a cabo lo anterior, es necesario cuantificar la lluvia en exceso, la cual se ve afectada directamente por el uso del suelo, la condición de la superficie, el tipo de suelo y, la cantidad y duración de la lluvia total, factores que son tomados en cuenta al considerar el número de escurrimiento N, que se define como un coeficiente de peso del escurrimiento directo y es función del uso del suelo y de las características de éste.

Los suelos se clasifican, según afecten sus características en el escurrimiento, en cuatro tipos hidrológicos:

Tipo A (Potencial de escurrimiento mínimo). Incluye -- arenas profundas con poco limo y arcilla, y a los loess muy permeables.

Tipo B. Incluye suelos arenosos menos profundos que los del tipo A, y loess menos profundos o más compactos que los de ese mismo tipo. El grupo en conjunto tiene una infiltración superior a la media después de su completo humedecimiento.

Tipo C. Comprende suelos poco profundos y aquéllos que contienen cantidades considerables de arcillas y coloides, aunque menos que los del tipo D. El grupo tiene una infiltración inferior a la media después de la pre-saturación.

Tipo D (Potencial de escurrimiento máximo). Incluye principalmente arcillas con alto porcentaje de hufamien-to, también incluye algunos suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie.

Conocido el tipo de suelo de acuerdo con la clasificación anterior, y tomando en cuenta el uso que éste tenga, se podrá obtener el valor de N con ayuda de la tabla 2.10, considerando, que para el caso en que el área de la cuenca esté compuesta por fracciones ocupadas con diferentes tipos y usos de suelo, se deberá determinar un número de escurrimiento pesado. Así, para contar con los elementos que permitan la utilización de la tabla mencionada, fue necesaria la localización, de las cuencas por analizar, en las cartas de uso actual del suelo y de Edafología existentes para la zona de estudio (subincisos 1.3.1.4 y 1.3.1.6).

Una vez obtenido el número de escurrimiento, el valor de la lluvia en exceso puede calcularse, para una altura de lluvia total igual a la Precipitación Máxima Probable, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$h_e = \frac{\left(h_p - \frac{508}{N} + 5.08 \right)^2}{h_p + \frac{2032}{N} - 20.32} \quad (2.12)$$

siendo

h_e lluvia en exceso, en cm.

h_p lluvia total, en cm.

N número de escurrimiento.

Puesto que los diferentes sitios en análisis carecen de información hidrométrica que permita determinar la forma de la avenida, las relaciones lluvia-escurrimiento se realizaron utilizando el hidrograma unitario triangular (figura 2.17), cuyas ecuaciones características son:

$$t_p = 0.5 t_c + \frac{\Delta t}{2} \quad (2.13)$$

$$T_b = n t_p \quad (2.14)$$

$$Q_p = \frac{0.556 A}{n t_p} h_e \quad (2.15)$$

siendo

- t_p tiempo de pico, en h.
- t_c tiempo de concentración, en h.
- Δt intervalo de análisis del hidrograma de la tormenta, en h.
- T_b tiempo base, en h.
- n parámetro que relaciona las características del hidrograma. Su valor se obtiene, en función del área de la cuenca, utilizando la gráfica de la figura 2.18.
- Q_p gasto de pico, en m^3/s .
- A área de la cuenca, en km^2 .
- h_e lluvia en exceso, en mm.

De esta manera, conocidas las características de las cuencas y las cantidades correspondientes de lluvia en exceso, se dedujo el hidrograma de la avenida máxima en cada sitio.

CAPITULO 3
PLANTEAMIENTO Y SELECCION DE SITIOS

3.1 Planteamiento de sitios

En este punto se presenta la necesidad de destacar las curvas de nivel y las corrientes naturales que, en las cartas topográficas de DETENAL, aparecen dentro de la zona considerada como conveniente para la ubicación de almacenamientos de protección al acueducto de la cuenca alta del río Lerma, (inciso 1.3.2). Esto se realizó teniendo como objetivos; señalar los desniveles existentes, facilitar la localización de boquillas y vasos de almacenamiento en los sitios cuya configuración topográfica hiciera factible la realización del proyecto de una presa de almacenamiento, poder medir el área de la cuenca de drenaje a cada sitio localizado previo trazo de los parteaguas correspondientes, y, por último, obtener el perfil, la longitud y la pendiente media del cauce principal en cada cuenca.

Para definir la ubicación de las presas, se buscaron sitios con boquillas estrechas en los que además, fuera factible la construcción de la cortina, considerando su altura necesaria. También, se siguió el criterio de tratar de encontrar vasos con pequeña capacidad de almacenamiento en las partes altas de las diversas cuencas de la zona, y, en las partes medias y bajas de las mismas, mayores capacidades de almacenaje, con objeto de aprovechar mejor los escurrimientos.

De acuerdo con lo anterior, fueron identificados 62 posibles sitios de aprovechamiento, resultando que, en algunos casos, dos o más de ellos quedaron ubicados dentro de una misma cuenca.

Para la nomenclatura, se aceptó darles el nombre de la corriente sobre la que hubieran sido identificados, o, en su defecto, el de la población más cercana, agregando un número que crece de aguas arriba hacia aguas abajo en caso de localizarse otras posibilidades dentro de una misma cuenca.

En la figura 3.1 se muestra en forma esquemática la ubicación de los 62 sitios, y en la tabla 3.1 se proporciona una lista de ellos

junto con los correspondientes valores de área de la cuenca de drenaje y longitud y pendiente media del cauce principal, calculándose esta última por el método de Taylor-Schwarz.

3.2 Selección de sitios

Con el fin de definir qué sitios podían seleccionarse para ser estudiados con mayor detenimiento, se procedió a determinar, en cada uno de los 62 identificados en el subcapítulo anterior, el volumen de escurrimiento medio anual, la lámina de evaporación media anual y las curvas elevaciones-áreas-capacidades, buscando con ello tener elementos con los cuales calcular, por sitio, el máximo volumen que pudiera estar disponible durante un año con escurrimientos superficiales nulos, ya que se optó por llevar a cabo la selección teniendo como apovo esa característica.

Los elementos que ayudaron en la realización de los cálculos, se obtuvieron de acuerdo con lo descrito en el subcapítulo 2.1, y así, según fuera el sitio por estudiar, se utilizaron las correspondientes curvas elevaciones-áreas-capacidades para conocer la elevación que tendría el nivel del agua, y por tanto, la superficie que se inundaría, si el vaso de almacenamiento era ocupado totalmente por el volumen de escurrimiento medio anual.

Multiplicando el área inundada, por la lámina de evaporación media anual, se obtuvo un volumen de evaporación que se restó del escurrimiento medio anual, para obtener lo que se denominó, indistintamente, volumen máximo disponible o capacidad útil, juzgándose adecuado seleccionar aquellos sitios para los que dicha capacidad resultó mayor que 0.5 millones de m^3 , o, en caso de ser menor, muy próxima a esa cantidad.

El considerar 0.5 millones de m^3 como capacidad útil mínima aceptable, se debe a que con la suma de capacidades mayores o iguales a dicha cantidad se logra; satisfacer la demanda de riego para 11 400 ha anuales, tener un volumen excedente para sustituir a las

capacidades útiles de los sitios que pudieran ser eliminados como resultado del análisis preliminar, y manejar, en dicho análisis, el menor número de sitios, lo cual significaría un ahorro de tiempo.

Tomando en cuenta lo anterior, fueron seleccionados los 26 sitios cuya localización se muestra en la figura 3.2, proporcionándose asimismo, en la tabla 3.2, una lista de ellos junto con los valores correspondientes de área de la cuenca, precipitación media anual, volumen medio anual de lluvia, coeficiente de escurrimiento medio anual, volumen de escurrimiento medio anual, área que sería inundada por dicho volumen, evaporación media anual, volumen evaporado y capacidad útil. Es necesario mencionar que los sitios Mayorazgo y Miranda, son aquéllos que en la tabla 3.1 aparecen con los nombres de Mayorazgo-2 y Miranda-1.

3.2.1 Reconocimientos terrestres

Utilizando la cartografía existente para la zona de estudio, se procedió a identificar, con mayor precisión, cada uno de los sitios seleccionados, esto es, se localizaron las boquillas, los vasos, las poblaciones cercanas, las vías de comunicación y los posibles accesos a cada sitio, tratando así de facilitar los reconocimientos terrestres, los cuales se realizaron teniendo como objetivos los siguientes:

- Revisar y comprobar las condiciones geológicas indicadas en los estudios regionales, tales como tipo de roca, permeabilidad, cavernas, fallas, fracturas, etc.
- Determinar para cada sitio las características geológicas que pudieran condicionar la viabilidad del proyecto.
- Investigar la disponibilidad de materiales para la ejecución de la probable obra.
- Proponer el tipo de cortina más conveniente en función de la geología de la boquilla, de la geometría de la

misma y de la disponibilidad de materiales.

- Plantear, en función del tipo de cortina propuesto y de las características geológicas y topográficas observadas, la ubicación preliminar del vertedor de excedencias.

Cabe aclarar que para el sitio Los Nopales, las características indicadas en las cartas topográficas no coinciden con lo observado en campo, motivo por el cual fue eliminado del análisis.

Por otra parte, tomando en cuenta lo detectado mediante las visitas efectuadas, los sitios Mayorazgo y El Salto fueron desplazados hacia aguas arriba, en tanto que los llamados, La Planta, La Mirilla, Mostejé, La Manzanita, El Toro y San Lucas, lo fueron hacia aguas abajo, resultando así, pequeñas modificaciones en las áreas de las correspondientes cuencas de drenaje.

Un resumen de las principales condiciones y características determinadas, se presenta a continuación:

- Sitio No. 1 San Mateo

La boquilla es geológicamente simétrica por presentarse en ambas laderas afloramientos de riolitas, en forma de bloques, con un fracturamiento superficial. Está labrada sobre rocas ígneas extrusivas (andesitas) con leve fracturamiento e intemperismo somero.

La superficie en la zona del vaso está constituida por rocas ígneas prácticamente sanas, por lo que se considera impermeable.

Las rocas, gravas y arenas son abundantes y se encuentran a corta distancia. Los posibles bancos de roca y, de grava y arena, se encuentran respectivamente a 2 km y 800 m. Las arcillas no se localizan cerca del sitio.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, se considera que la cortina más conveniente es del ti-

po flexible construída con materiales graduados, con el vertedor, de canal lateral, ubicado sobre la ladera izquierda.

Sobre las laderas y dentro del probable vaso, será necesario realizar una limpia superficial, eliminando la capa de suelo y la materia vegetal.

- Sitio No. 2 El Jilguero

La boquilla se considera geológicamente simétrica debido a que ambas laderas están constituidas por rocas ígneas (riolitas y algunos afloramientos de basalto), las cuales están bastante intemperizadas y presentan fracturamiento moderado.

La zona del vaso está constituida por rocas ígneas impermeables, - no se observaron fallas ni fracturas y, por lo tanto, se considera que no hay problemas de permeabilidad.

Se tienen bancos de rocas, gravas y arenas, muy cerca del sitio y con fácil acceso. Las arcillas tendrán que obtenerse de lugares - distantes.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, se considera que la cortina más conveniente es del tipo de materiales graduados, con el vertedor, de canal lateral, ubicado sobre la ladera derecha.

Sobre las laderas y dentro de lo que se consideró el vaso, será necesario hacer una limpia superficial, eliminando la capa de suelo y materia vegetal existente.

- Sitio No. 3 San Francisco Xochicuautla

Geológicamente la boquilla es asimétrica, observándose en la ladera derecha, tobas arenosas, y sobre la izquierda, riolitas y algunas tobas de las mismas características que las de la derecha. Estas rocas están algo fracturadas y presentan intenso intemperismo y profunda erosión.

La zona probable para desplantar la cortina, está cubierta por un lecho de aluvión permeable que puede llegar a tener 3 m de espesor.

La zona en que se ubicaría el vaso, está constituida por rocas intrusivas intermedias (riolitas) y extrusivas ácidas, y aunque no se observaron fallas ni fracturas, las rocas presentan cierta permeabilidad.

Existe un banco de material a aproximadamente 1 km aguas arriba del sitio, en donde se pueden obtener los volúmenes necesarios de rocas, gravas y arenas. No existen arcillas cerca del lugar.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, se considera que una cortina de materiales graduados es conveniente en este sitio. El vertedor puede ser de canal lateral, ubicado en cualquiera de las laderas.

Sobre las laderas y dentro de lo que se considera el vaso, será necesario hacer una limpia superficial para eliminar la capa de suelo y materia vegetal existente.

Sitio No. 4 Flor de Gallo

La boquilla se considera geológicamente asimétrica. La ladera izquierda presenta un afloramiento reciente, y muy suelto, de conglomerados compuestos por clastos de roca ígnea en una matriz arenosa. En la ladera derecha existe un espesor considerable de suelo bajo el que probablemente hay tobas.

El área del posible vaso está constituida por tobas, arenas, brechas volcánicas y riolitas. No se observaron fallas ni fracturas, por lo que se considera que no hay problemas de permeabilidad.

Las rocas, gravas y arenas podrán obtenerse en los bancos de material localizados cerca del sitio, encontrándose uno a aproximadamente 2 km hacia el Norte y otro a unos 5 km aguas arriba. No existen arcillas cerca del sitio.

El tipo de cortina que se recomienda es de materiales graduados, - con el vertedor, de canal lateral, ubicado en la ladera derecha,

La boquilla puede considerarse simétrica. En ambas laderas existen afloramientos de andesita, en forma de bloques masivos, que se notan algo fracturados y con intemperismo somero.

La zona del probable vaso está constituida por rocas ígneas (andesitas asociadas a tobas arenáceas sobreyaciendo a brechas volcánicas). Existe fracturamiento notorio pero poco profundo, por lo que se considera que no existen problemas de permeabilidad.

A 1 km aguas abajo del sitio se encuentra un banco abandonado de - rocas, gravas y arenas. Las arcillas no se encuentran cerca del lugar.

El tipo de cortina que se recomienda es de materiales graduados, - con el vertedor, de canal lateral, ubicado sobre la ladera derecha.

Es necesario efectuar una serie de sondeos a lo largo de la sección para conocer el espesor del suelo, resistencia de la roca y permeabilidad.

- Sitio No. 6 Mayorazgo

La boquilla es geológicamente simétrica, pudiéndose observar afloramientos de basalto vesicular bastante permeable, conglomerados recientes compuestos de grandes peñascos empotrados en arena, algunas tobas con intemperismo profundo y una gruesa capa de suelo cubriendo gran parte del lugar.

La posible área del embalse se compone de tobas y arenas, observándose también, afloramientos de andesitas y basaltos que se encuentran bastante fracturados y son permeables.

A 3 km aguas abajo del sitio se localizan bancos de gravas y arenas, y muy cerca, existe un banco de roca actualmente en explota--

ción. Las arcillas no existen en volúmenes suficientes para su explotación.

El tipo de cortina que se recomienda es de materiales graduados, y el vertedor puede ser de canal lateral ubicado sobre la ladera derecha.

Será necesario hacer una limpia superficial en ambas laderas para remover la roca no sana, así como quitar del cauce los peñascos y el material de arrastre que se ha acumulado. También, deberán realizarse estudios tendientes al control de la erosión en la cuenca.

- Sitio No. 7 Zarco

La boquilla se considera geológicamente simétrica debido a que ambas laderas están compuestas por tobas que, en algunas partes, presentan un intemperismo somero, y en otras, profundo.

La zona del vaso está formada por rocas piroclásticas de permeabilidad media, con intemperismo profundo y fracturas someras.

Las rocas, gravas y arenas que se necesiten, podrán obtenerse de los bancos mencionados para el sitio anterior (Mayorazgo). No existen arcillas cerca del lugar.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, se considera que la cortina más conveniente es del tipo de materiales graduados. El vertedor puede ser de canal lateral, ubicado sobre la ladera derecha.

Será necesaria una limpia, tanto en las laderas como en el cauce, para remover los materiales arrastrados por la corriente y la materia vegetal. Asimismo, deberán realizarse estudios tendientes al control de la erosión.

- Sitio No. 8 San Mateo Capulhuac

La boquilla es geológicamente asimétrica. En la margen derecha, se observan afloramientos de andesita algo fracturada y con intemper-

rismo somero. La margen izquierda, presenta afloramientos de tobas arenosas que subyacen a una gruesa capa de suelo.

La zona del posible vaso está compuesta por rocas piroclásticas como tobas arenosas con fragmentos de cuarzo, no habiéndose detectado problemas de infiltración.

A no más de 2 km aguas arriba del sitio, existen volúmenes suficientes de rocas, gravas y arenas para cubrir las necesidades de la obra. Las arcillas no se encuentran en cantidades explotables en las cercanías del sitio.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, el tipo de cortina conveniente es de materiales graduados. El vertedor puede ser de canal lateral, ubicado en la ladera izquierda.

- Sitio No. 9 Miranda

La boquilla se considera geológicamente simétrica. Ambas laderas están compuestas por rocas piroclásticas, en su mayoría tobas arenosas con intemperismo somero, fracturamiento moderado y baja permeabilidad.

El área del vaso está constituida por rocas piroclásticas con intemperismo somero y fracturamiento moderado. La permeabilidad se considera entre baja y nula.

Las gravas y arenas de lugares cercanos, son producto del intemperismo y están mezcladas con materia vegetal, por lo que su uso no es recomendable. El banco de materiales más cercano se encuentra a 3 km del sitio. No existen arcillas en volúmenes explotables en las cercanías del lugar.

El tipo de cortina que se recomienda es de materiales graduados, con el vertedor, de canal lateral, ubicado en la ladera derecha.

Sería conveniente quitar las rocas intemperizadas que se localizan

en las laderas, y también, el material de arrastre que se encuentra en el cauce, requiriéndose asimismo, estudios tendientes al control de la erosión.

Sitio No. 10 Cordero

La boquilla presenta laderas muy erosionadas compuestas por tobas arenosas. Geológicamente se considera simétrica.

El área posible del vaso está compuesta por tobas arenosas, bastante intemperizadas y muy deleznable, que están debajo de una gruesa capa de suelo de más de 3 m de espesor, y aunque no se apreciaron fallas ni fracturas, se considera que la permeabilidad es alta.

Las rocas, arenas y gravas, podrán obtenerse en los bancos de materiales mencionados para los sitios Zolotepec y La Planta, que aunque se encuentran a unos 11 km, son los más accesibles. Las arcillas, por no existir en las cercanías, tendrán que obtenerse de otro lugar aún no definido.

Una cortina de materiales graduados sería conveniente en este sitio, y el vertedor, podría ser de canal lateral ubicado sobre la ladera derecha.

Es conveniente una limpia, tanto en las laderas como en el cauce, para remover la roca intemperizada y los materiales arrastrados por la corriente, recomendándose además, la realización de estudios para controlar la erosión.

Sitio No. 11 La Planta

La boquilla está labrada en tobas arenosas con fracturamiento escaso e intemperismo profundo. Geológicamente se considera simétrica porque en ambas laderas se observaron afloramientos de tobas cubiertas por una gruesa capa de suelo.

El posible vaso está constituido por materiales piroclásticos, del

tipo de tobas, que están debajo de una gruesa capa de suelo. En algunas zonas se observó que las tobas están bastante intemperizadas y presentan ligeras fracturas, sin embargo, puede considerarse que el vaso es impermeable.

La roca es el material más abundante en la región, localizándose - bancos de ella a unos 1 500 m aguas abajo del sitio, en tanto que, ubicado a 600 m al Este, se encuentra un banco de gravas y arenas. Las arcillas, como en los sitios anteriores, no se encuentran en las cercanías del lugar.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, se recomienda una cortina de materiales graduados. El vertedor puede ser de canal lateral, ubicado sobre la ladera derecha.

Sobre las laderas y dentro del cauce, será necesario realizar una limpia superficial eliminando la capa de suelo y roca alterada, - así como escombros y material de arrastre.

Sitio No. 12 Vidado

Se puede considerar que la boquilla es geológicamente simétrica - porque ambas laderas presentan afloramientos uniformes de tobas - arenosas muy erosionadas. Bajo las tobas, se encuentra un afloramiento de conglomerados compuestos por clastos mal clasificados.

Las rocas que constituyen la zona del embalse, son en gran parte - piroclásticas, como las tobas que afloran en forma masiva y están debajo de grandes espesores de suelo. Estas rocas presentan un grado profundo de intemperismo, con fracturamiento y metamorfismo casi nulos. La permeabilidad de la zona es apreciable.

Con fácil acceso y cercanos al sitio, se observaron bancos de arenas, gravas y rocas cuyos volúmenes son suficientes para las necesidades de la obra. Las arcillas, no se encuentran en volúmenes explotables en las cercanías del sitio.

Se recomienda construir una cortina de materiales graduados, con el vertedor de canal lateral y alojado sobre la ladera derecha.

Sería conveniente tratar de evitar la erosión sobre las laderas con una cobertura vegetal, para así, disminuir el azolvamiento.

- Sitio No. 13 La Mirla

La boquilla se puede considerar geológicamente simétrica, ya que en ambas laderas existen afloramientos de tobas. Las rocas de la ladera izquierda, presentan un mayor grado de alteración, debido probablemente, a la fuerte pendiente y a la poca vegetación existente.

El vaso estaría sobre capas de aluvión con laderas amplias, donde se observan, afloramientos de rocas piroclásticas con metamorfismo somero, intemperismo bajo y sin fracturas o fallas, por lo que se considera la no existencia de problemas de permeabilidad.

Hacia el Oeste del sitio, a unos 3 km, se encuentra un banco de rocas cuyo volumen puede satisfacer las necesidades de la obra. Las gravas y arenas pueden obtenerse en las márgenes cercanas al sitio, y las arcillas, no se encuentran en las cercanías.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, el tipo de cortina que se recomienda es de materiales graduados. El vertedor podría ser de canal lateral, ubicado en la ladera derecha.

Dentro del cauce será necesario realizar una limpia superficial, eliminando el material de arrastre.

- Sitio No. 14 San Bartolo

Geológicamente la boquilla es simétrica, pues en ambas laderas, se observaron afloramientos de conglomerados recientes, compuestos por clastos de riolitas en una matriz arenosa. Debajo de los conglomerados, se detectaron tobas en afloramientos masivos. Ambos

afloramientos presentan intemperismo somero y permeabilidad baja.

La zona probable del embalse, se encuentra formada por afloramientos de rocas piroclásticas, tobas y andesitas. Las tobas, que constituyen la mayor parte de la superficie a inundar, están bastante intemperizadas, pero con una permeabilidad estimada de baja a media.

Las arenas y gravas se pueden obtener en las cercanías del sitio, mientras que las rocas se encuentran en un banco localizado a 1 km en dirección Noroeste. No existen arcillas en volúmenes explotables cerca del lugar.

Se recomienda construir una cortina de materiales graduados por haber disponibilidad de materiales para este tipo de obra. El vertedor podría ser de canal lateral y alojarse en la ladera izquierda.

Sería conveniente amacizar las rocas en las laderas para evitar derrumbes y así un posible azolvamiento en el sitio.

- Sitio No. 15 San Lorenzo Malacota

El lugar donde se propone colocar la cortina se considera geológicamente asimétrico, debido a que, en la ladera derecha, se presentan afloramientos de tobas cubiertas por gruesos espesores de suelo, y en la izquierda, además de los afloramientos de tobas, se observa un conglomerado suelto de edad reciente, compuesto por clastos mal clasificados de roca ígnea en una matriz arenosa.

La zona del vaso, casi totalmente, está compuesta por rocas piroclásticas que se encuentran muy compactas, sin fracturamiento y con intemperismo somero, por lo que se considera impermeable.

En el poblado de San Lorenzo Malacota, se encuentra un banco de rocas que puede satisfacer las necesidades de la obra. Las gravas y arenas se pueden encontrar en bancos situados a unos 1 500 m hacia el Norte del sitio, y las arcillas, no se encuentran en las cercanías del lugar, por lo que habrá necesidad de obtenerlas de alguna

otra zona aún no definida.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, se recomienda construir una cortina de materiales graduados. El vertedor puede ser de canal lateral, ubicado en la ladera derecha.

Sitio No. 16 La Garita

La boquilla, en ambas laderas, presenta afloramientos de un conglomerado reciente, compuesto por clastos de material ígneo, en una matriz arenosa bastante compacta y con intemperismo somero. Debajo de los conglomerados, se encuentran tobas con bajo índice de permeabilidad y con características de resistencia aceptables.

La zona del vaso está constituida por tobas de baja permeabilidad y andesitas y riolitas que no presentan fallas ni fracturas, por lo que se considera que no hay problemas de infiltración.

A unos 1 500 m aguas arriba del sitio se encuentran bancos de roca, y aguas abajo, pueden obtenerse gravas y arenas en volúmenes suficientes. Las arcillas tendrán que transportarse de otro lugar aún no definido.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, se recomienda construir una cortina de materiales graduados. El vertedor podría ser de canal lateral, ubicado en la ladera derecha.

Sitio No. 17 Tabernillas

La boquilla puede considerarse geológicamente simétrica y se encuentra labrada sobre rocas ígneas extrusivas, como basaltos y tobas, que muestran poca intemperización y leve fracturamiento.

La probable área del embalse está constituida por rocas volcánicas (basalto), con algo de tobas y areniscas. No se observaron fallas y el fracturamiento de la roca es somero, por lo que se considera

que no hay problemas de permeabilidad.

Las rocas pueden obtenerse en las cercanías del sitio, mientras que las arenas y gravas, pueden encontrarse en los bancos que se mencionan para el sitio El Salto. No existen arcillas en volumen suficiente cerca del lugar.

Se recomienda construir una cortina de materiales graduados, ubicando, en cualquiera de las laderas, el vertedor que podría ser de canal lateral.

Sitio No. 18 La Pila

En el sitio de la boquilla existen capas de aluvi6n, las laderas son amplias y est1n compuestas por tobas arenosas y permeables con alto grado de intemperismo y profunda erosi6n.

La probable 1rea del embalse est1 formada por rocas pirocl1sticas (tobas arenosas), cubiertas por gruesas capas de suelo. Las tobas est1n afectadas por un alto grado de intemperismo, son permeables y poco compactas, por lo que el vaso se considera permeable.

Las gravas y arenas son abundantes, existiendo actualmente en explotaci6n bancos de estos materiales muy cerca del lugar. Las rocas podr1an obtenerse de un banco localizado a 3 km del sitio en direcci6n Oeste, pero las arcillas, no existen en vol1menes explotables.

Se propone la construcci6n de una cortina de materiales graduados y se considera que el vertedor puede ser de canal lateral, ubicado en la ladera izquierda.

Dentro del cauce ser1 necesario realizar una limpia para eliminar materiales sueltos que contribuyan al azolvamiento de la obra, y para controlar la erosi6n en las laderas, se recomienda protegerlas con una cubierta vegetal.

Sitio No. 19 La Guajolota

La boquilla tiene laderas amplias, compuestas por tobas arenosas y permeables con alto grado de intemperismo y erosión.

La zona del vaso está formada por rocas clásticas, como tobas arenosas altamente intemperizadas, permeables, poco compactas y cubiertas por gruesas capas de suelo, por lo que en general el vaso se considera permeable.

El banco de material más cercano es el mismo que para el sitio La Pila, debido a la proximidad de ambos sitios.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, se recomienda construir una cortina de materiales graduados. El vertedor puede ser de canal lateral, ubicado en cualquiera de las laderas.

Dentro del cauce será necesario realizar una limpia, con el fin de quitar los materiales que las corrientes han arrastrado y que se han depositado en este lugar. Asimismo, para evitar en algo la erosión de las laderas y así el azolvamiento de la obra, es necesario proteger a éstas con mamparas de mampostería.

- Sitio No. 20 San Ildefonso

En la zona de la boquilla, se localizan gruesos estratos aluviales producto de la erosión de las rocas que componen la región (ígneas y sedimentarias). Debajo de estos estratos, se encuentran areniscas y tobas, por lo que se puede decir que la permeabilidad es despreciable.

El área del posible embalse, está compuesta por rocas piroclásticas, como tobas bastante arenosas, cubiertas por una gruesa capa de suelo de más de 3 m de espesor. Se considera que no presenta problemas de permeabilidad.

Las rocas, gravas y arenas, se localizan en zonas cercanas aguas arriba del sitio. Las arcillas no se encuentran en las cercanías, por lo que será necesario obtenerlas de otro lugar aún no definido.

La cortina recomendable en este sitio es de materiales graduados, y el vertedor, puede ser de canal lateral, ubicado en cualquiera de las laderas.

Sitio No. 21 El Salto

La boquilla es geológicamente simétrica y está labrada sobre basaltos que sobreyacen a brechas volcánicas.

La zona del posible vaso, está compuesta por rocas volcánicas (basaltos) con intemperismo bajo, y subyaciendo a éste, se encuentran brechas volcánicas en afloramiento no uniforme. No se observaron fallas o fracturas, por lo que prácticamente se considera que no hay problemas de permeabilidad.

En las inmediaciones del sitio, y hacia el Este del mismo, se encuentran bancos de rocas, y de gravas y arenas, respectivamente. No hay cerca volúmenes explotables de arcillas, por lo que tendrán que obtenerse de otro lugar aún no determinado.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, se recomienda construir una cortina de materiales graduados. El vertedor podría ser de canal lateral, ubicado en cualquiera de las laderas.

Sitio No. 22 Mostejé

La boquilla es geológicamente simétrica, con afloramientos en ambas laderas de tobas arenosas. Los conglomerados se observan sueltos y están compuestos por clastos de rocas ígneas en una matriz arenosa.

La zona del vaso está compuesta por conglomerados sueltos mal clasificados, formados por clastos de roca ígnea en una matriz arenosa. Tobas arenosas sobreyacen a los conglomerados, presentando ambas capas, problemas de permeabilidad.

Hacia el Oeste del sitio, a 2 km, se localizan bancos de rocas ac-

tualmente en explotación, mientras que las gravas y arenas se pueden obtener en las cercanías del lugar. Las arcillas, al igual que en los demás sitios, tendrán que obtenerse de otras zonas.

Se recomienda una cortina de materiales graduados, con un vertedor de canal lateral, ubicado en cualquiera de las laderas.

- Sitio No. 23 La Manzanita

La boquilla se considera geológicamente simétrica, pues en ambas laderas, afloran conglomerados recientes semicompactos, de baja permeabilidad, compuestos con clastos ígneos en una matriz arenosa y cubiertos por una gruesa capa de suelo. Subyaciendo a los conglomerados se encuentran tobas de baja permeabilidad.

El área del vaso está compuesta por rocas clásticas (tobas) que presentan intemperismo somero, fracturamiento escaso y permeabilidad baja.

Existen bancos de rocas a unos 500 m hacia el Este del sitio, encontrándose también, en las cercanías, volúmenes suficientes de gravas y arenas. Las arcillas tendrán que obtenerse de otro lugar no determinado aún.

Se recomienda la construcción de una cortina de materiales graduados. El vertedor podría ser de canal lateral, ubicado en la ladera derecha.

- Sitio No. 24 El Toro

La boquilla se considera geológicamente simétrica. Presenta afloramientos de conglomerados sueltos, compuestos de clastos ígneos en una matriz arenosa de grano grueso.

El área del vaso está compuesta por un conglomerado mal clasificado y suelto, compuesto por clastos de roca ígnea en una matriz arenosa y cubierto por una gruesa capa de suelo.

Existen bancos de rocas, gravas y arenas, en volúmenes suficientes

para satisfacer las necesidades de la obra, a unos 500 m aguas arriba del sitio. Las arcillas deberán obtenerse de otros lugares, por no existir en las cercanías.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, se considera que la cortina más conveniente es del tipo flexible, construída con materiales graduados. El vertedor podría ser de canal lateral, ubicado en la ladera derecha.

- Sitio No. 26 San Lucas

Los gruesos espesores de suelo existentes en la boquilla, no dejaron observar a la roca sana, y sólo en algunas zonas, se notaron tobas arenosas con un grado de intemperismo somero y mediana permeabilidad.

La zona del vaso está cubierta por grandes extensiones de aluvi3n. Se infiere que debajo de gruesos espesores de suelo, existen tobas arenosas que pudieran representar problemas de permeabilidad.

Para la obtenci3n de rocas, gravas y arenas, podr3n utilizarse los bancos mencionados para el sitio El Toro, en tanto que las arcillas, tendr3n que acarreararse de otro lugar.

De acuerdo a la topografía, a la geología y a la disponibilidad de materiales, se considera conveniente construir una cortina de materiales graduados. El vertedor puede ser de canal lateral, ubicado en la ladera derecha.

CAPITULO 4
AFECTACION A LA CUENCA DEL ALTO LERMA

4.1 Afectaciones locales

Así se denominarán, en este trabajo, las afectaciones que provocaría cada probable aprovechamiento en su correspondiente lugar de ubicación.

Estas afectaciones tendrían como causa tanto los trabajos de preparación del terreno para la construcción de las estructuras necesarias por aprovechamiento, como la existencia de cada uno de ellos, ya que todo esto podría ocasionar, además de la destrucción e inundación de áreas dedicadas a la agricultura de temporal, de tramos de caminos y de conjuntos de viviendas, el incremento de los volúmenes de agua subterránea.

Determinar con precisión la magnitud de las alteraciones, así como los beneficios y los costos que todo ello traería consigo, requeriría contar con información comparativamente mayor y más completa que la utilizada en el desarrollo de este análisis, y por tanto, sería parte de un estudio de mayor jerarquía, siempre y cuando, considerando como un hecho la confiabilidad de los resultados proporcionados por la estructuración del análisis preliminar, dichos resultados justifiquen la inversión de tiempo y dinero que implicaría la realización de un estudio más profundo.

Sin embargo, con objeto de contar con números que proporcionen una idea de las consecuencias que se derivarían de las afectaciones, se procedió a estimarlos con la ayuda de la información cartográfica disponible, de las observaciones hechas durante los reconocimientos terrestres y de los resultados del funcionamiento hidráulico de los embalses, encontrándose que, en la mayoría de los sitios, se inundarían áreas cubiertas con maíz de temporal y pastizales, y además, en los sitios San Francisco Xochicuautla, San Mateo Capulhuac y San Lorenzo Malacota, se inundarían, aproximada y respectivamente, 500 m del camino de terracería transitable en todo tiempo que une las poblaciones Santa María Atarasquillo y San Francisco Xochicuautla, 11 ha cubiertas de encinos y 10 ha con siembra

de cebada.

En la tabla 4.1 se dan, por sitio visitado, las magnitudes aproximadas de las áreas con maíz de temporal y pastizales que podrían ser inundadas.

4.2 Afectaciones fuera de la zona de ubicación de los sitios seleccionados

Si se construyera un aprovechamiento en cada uno de los sitios cuya ubicación se verificó durante los reconocimientos terrestres, los volúmenes de agua superficial que se utilizarían para el funcionamiento de cada uno de ellos dejarían de ser, en general, parte de las aportaciones que reciben los aprovechamientos existentes en la cuenca alta del río Lerma y, consecuentemente, se presentarían deficiencias probablemente no previstas ni convenientes para el funcionamiento de éstos.

De información proporcionada por la Comisión del Plan Nacional Hidráulico, se determinó que, dentro de las subcuencas correspondientes a la estación hidrométrica La Y, a la presa José Antonio Alzate, a la presa Ignacio Ramírez y a la estación hidrométrica Puente Atlacomulco, se podrían afectar algunos de los aprovechamientos de agua superficial para pequeña irrigación que ahí se encuentran, además de las dos presas mencionadas.

La presa José Antonio Alzate dejaría de recibir, al ser retenido en los sitios San Mateo, El Jilguero, San Francisco Xochicuautila, Flor de Gallo, Zolotepec, Mayorazgo, Zarco, San Mateo Capulhuac, Miranda, Cordero, El Toro y San Lucas, un volumen promedio de 57.34 millones de m³ anuales, cantidad que representa un 36% del volumen medio anual de escurrimientos superficiales que actualmente recibe. De modo semejante, en el caso de la presa Ignacio Ramírez, se encuentra que por efecto de los sitios Tabernillas, La Pila, La Guajolota y El Salto, un promedio de 5.10 millones de m³ anuales, que representan aproximadamente un 21% del volumen medio

anual de escurrimientos superficiales que entran al vaso, serían restados a dicho volumen.

Sin embargo, al determinar la capacidad conjunta de riego de los 25 sitios analizados, se encontró que podrían regarse unas 20 400 ha, de las cuales, el 68%, el 6% y el 26%, representan la contribución, respectivamente, de cada grupo de sitios con efecto en las presas citadas y del grupo formado por los 9 restantes, cuyos nombres son: La Planta, Vidado, La Mirla, San Bartolo, San Lorenzo Malacota, La Garita, San Ildefonso, Mostejé y La Manzanita. Así; suponiendo que dichos porcentajes de contribución al riego son constantes, tomando en cuenta que la superficie por regar mide aproximadamente 11 400 ha, y además, considerando una relación lineal entre la superficie regada y el correspondiente volumen medio anual de escurrimientos superficiales manejados, se puede decir que los sitios que afectarían a la presa José Antonio Alzate tendrían que regar 7 782 ha, lo cual implicaría contar, en promedio, con 32.04 millones de m³ anuales, es decir, un 20% del volumen medio anual de escurrimientos superficiales que llegan a la presa. Del mismo modo, los sitios que se encuentran dentro de la cuenca de drenaje a la presa Ignacio Ramírez, regarían alrededor de 659 ha, manejando para ello un promedio de 2.85 millones de m³ anuales, los cuales representan cerca del 12% del volumen medio anual de escurrimientos superficiales que entran al vaso de esta presa.

Como puede observarse, las consideraciones hechas dieron como resultado una disminución en la magnitud de las afectaciones que habían sido estimadas, y, si se toma en cuenta que una recuperación adicional de agua sería representada, tanto por los volúmenes que se derramarían durante el funcionamiento hidráulico de los probables embalses, como por aquéllos excedentes en las zonas regadas, la magnitud de las afectaciones se haría aun menor.

Por otra parte, decir con precisión qué aprovechamientos para pequeña irrigación serían afectados, con qué cantidad de agua no contarían y cuáles serían los sitios que los afectarían, no es posi-

ble hacerlo debido a que no se conoce su ubicación dentro de las -
subcuencas que los contienen.

CAPITULO 5
SITIOS FACTIBLES

5.1 Elección de los sitios factibles

Este proceso se llevó a cabo con apoyo en los reconocimientos terrestres realizados en los 25 sitios seleccionados en el capítulo 3. De esta manera se encontró que los sitios San Francisco Xochi-cuautla, Mayorazgo, Cordero, Vidado, San Bartolo, La Pila, La Guajolota, Mostejé y San Lucas, presentan problemas de permeabilidad en sus respectivos vasos, lo cual indica que es inapropiada la construcción de aprovechamientos. También, tomando en cuenta la escasez de escurrimientos observada y dado que los reconocimientos se hicieron en época de lluvias, los sitios El Jilguero, La Plan-ta, Tabernillas, San Ildefonso, El Salto, La Manzanita, El Toro y San Lucas, resultan poco atractivos para ser estudiados a mayor profundidad. Así, se tiene que el número de sitios factibles se reduce a 9, siendo éstos: San Mateo, Flor de Gallo, Zolotepec, Zar-co, San Mateo Capulhuac, Miranda, La Mirla, San Lorenzo Malacota y La Garita.

En los subcapítulos siguientes, con objeto de poder determinar la capacidad de riego del conjunto de sitios factibles, y también, el costo aproximado de las obras que en ellos se construirían, se da un resumen de los resultados obtenidos al realizar, simultáneamente con los reconocimientos terrestres, el análisis hidrológico y el cálculo de costos para los 25 sitios visitados.

5.2 Resultados del análisis hidrológico

Estos se obtuvieron teniendo como apoyo lo expuesto en el capítulo 2, cuya aplicación se explica en los puntos siguientes:

Para estimar los volúmenes medios mensuales de escurrimiento superficial en cada sitio, se recurrió al contenido del subcapítulo 2.1, produciéndose así los resultados que se muestran en las tablas 5.1 a 5.3. Las áreas que de las cuencas de drenaje correspondientes, se utilizaron en el cálculo, fueron las verificadas y rectifi

cadadas después de estudiar la información recabada durante los reconocimientos terrestres.

De acuerdo con lo mencionado en el inciso 2.1.1, se efectuó el funcionamiento hidráulico de los embalses que se formarían, presentándose por sitio, en la tabla 5.4, un resumen de los principales resultados. Asimismo, en la tabla 5.5, se da la magnitud de los volúmenes de agua que podrían extraerse de cada vaso durante el periodo en que se presenta la demanda de riego, es decir, en los meses de Febrero, Marzo y Abril.

Para la determinación del gasto representativo de las condiciones extremas del escurrimiento en cada sitio, se empleó primero el método de la Regionalización de Gastos Máximos, lo cual implicó, fundamentalmente, la aplicación de las ecuaciones 2.3, 2.4 y 2.5 de la manera descrita en el inciso 2.2.1.

Dado que la ecuación 2.3 es función del periodo de retorno T_r , éste se aceptó igual a 100 años, valor que para el caso de aprovechamientos pequeños se sugiere en la referencia 5.

La tabla 5.6 contiene, tanto los valores que en cada sitio adquirieron las variables que intervienen en las ecuaciones mencionadas, como los gastos calculados.

La determinación de la Precipitación Máxima Probable en cada cuenca de drenaje a los sitios (inciso 2.2.2), y posteriormente, la realización de relaciones lluvia-escurrimiento con las ecuaciones del hidrograma unitario triangular, fueron los factores constitutivos del segundo método por medio del cual se valuó el gasto a que se refiere el punto anterior.

Con respecto al concurso de este método, es necesario

hacer las observaciones siguientes:

- a) El tiempo de concentración del escurrimiento superficial en cada cuenca, se calculó con la expresión de Chow (ecuación 2.10), debido a que todas las áreas son menores que 3 000 km².
- b) Como en todos los casos el tiempo de concentración resultó menor que 6 horas, este valor se consideró igual a la duración de la Precipitación Máxima Probable correspondiente a cada cuenca. Esto se hizo porque en el Análisis Regional de Precipitación Máxima Probable (referencia 6), se juzgó no conveniente trabajar con duraciones menores que 6 horas, dada la limitación de los datos utilizados en su elaboración (figuras 2.13 y 2.14).
- c) Para conocer el valor de la PMP_c , se recurrió a las curvas de la figura 2.13, ya que en todos los casos las áreas de las cuencas de drenaje en estudio son menores que 5 000 km².
- d) Con la utilización de las figuras 2.15 y 2.16 y con la aplicación de la ecuación 2.9, se obtuvieron los factores de ajuste (FA) y de reducción (FR), los cuales resultaron, para las 25 cuencas, iguales respectivamente a 1.00 y 0.70. Así, la ecuación 2.8 se pudo escribir como a continuación se muestra:

$$PMP = 0.70PMP_c \quad (5.1)$$

- e) En el proceso de estimación del número de escurrimiento N , se encontró que ninguna de las cuencas analizadas tiene más de un tipo hidrológico de suelo, pero sí están compuestas por fracciones con diferente uso o cobertura.

f) Para que durante la ejecución de las relaciones lluvia-escurrimiento fuera posible determinar el valor del tiempo de pico de cada hidrograma unitario triangular (ecuación 2.13), el intervalo de análisis (Δt) de la Precipitación Máxima Probable se aceptó igual a su duración (6 horas), ya que no se contó con el hidrograma de dicha precipitación.

El conjunto de los principales resultados derivados al emplear el método comentado en este punto, es el formador de la tabla 5.7.

Comparando en cada sitio los gastos calculados mediante los dos criterios expuestos, se observó la existencia de diferencias entre ambos valores, por lo que, dado el nivel del análisis, se consideró conveniente aceptar el mayor de ellos como representativo de las condiciones extremas del escurrimiento. En las tablas 5.6 y 5.7 se encuentran marcados con un asterisco los gastos seleccionados.

5.3 Estimación de costos

Esta actividad se realizó con el apoyo de los costos índice proporcionados en la referencia 8, utilizando de ahí, en particular y como a continuación se describe, las gráficas que se muestran en las figuras 5.1 a 5.3 de este trabajo.

Debido a que los costos índice están dados en dólares, se procedió a conocer su equivalente en moneda nacional, para lo cual se consideró un dólar igual a 23 pesos.

Dado que en todos los sitios se propone que la cortina sea de materiales graduados (inciso 3.2.1), el costo de cada una se determinó con apoyo en la gráfica de la fi-

gura 5.1, la cual proporciona, para este tipo de obras y en función del correspondiente volumen total por construir, el costo por m^3 terminado.

En una columna de la tabla 5.8 se da, por sitio, el volumen total de la cortina que se haya planteado, siendo necesario mencionar que las dimensiones que intervinieron en su cálculo se valoraron de la manera siguiente:

- a) La altura total se aceptó igual a la que resultó del funcionamiento de vaso más un bordo libre de 0.50 m.
- b) La longitud se determinó al localizar, en el perfil de la boquilla, la elevación correspondiente a la corona.
- c) Para los paramentos de aguas arriba y de aguas abajo, se propusieron taludes 2:1 (figura 5.4).
- d) Se asignó un ancho de corona de 5.00 m a aquellas cortinas cuya altura fuera menor que 30.00 m, y de 10.00 m, a las cortinas con alturas mayores.

Con la gráfica correspondiente a la figura 5.2, se calculó el costo de las tomas de agua, utilizando como dato de entrada, el máximo gasto que pasaría por cada una de ellas. Dicho gasto se determinó, transformando a m^3/s , el volumen mensual máximo que de acuerdo con los resultados del funcionamiento de vaso podría extraerse (tabla 5.5).

La gráfica de la figura 5.3 proporcionó, en cada caso y en función del gasto máximo seleccionado como correspondiente a la avenida de diseño, la longitud y la carga máxima para una sección vertedora rectangular. Estas dimensiones se consideraron constantes a lo largo de la obra de excedencias, la cual se supuso, por una parte, totalmente revestida con una capa de concreto de 0.30 m

de espesor, y por otra, ocupando una distancia igual a 1.15 veces la magnitud que tuviera la base en la sección transversal máxima de la cortina.

Con lo anterior, se procedió a calcular volúmenes de ex cavación y de concreto para así determinar, aceptando - un precio de \$ 3 000.00/m³ de concreto y de \$ 220.00/m³ de excavación, el costo de la obra de excedencias.

Un resumen de los resultados obtenidos se da en la tabla 5.8.

CAPITULO 6
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Teniendo como apoyo los resultados obtenidos tanto del funcionamiento hidráulico de los embalses como de la estimación de costos realizada, se elaboró, para cada uno de los 9 sitios factibles escogidos en el capítulo anterior, el resumen que de dichos resultados se muestra en la tabla 6.1. En ella puede observarse que en caso de realizarse los proyectos indicados, podrían regarse unas 11 566 ha con la inversión de aproximadamente 646 millones de pesos, lo cual equivale a tener un costo índice inicial de 56 mil pesos por hectárea regada. Por otra parte, para lograr la capacidad de riego mencionada, sería necesario contar anualmente con unos 48 millones de m³ de agua, los cuales, representando el 8% de los escurrimientos superficiales disponibles en la cuenca alta del río Lerma hasta la estación hidrométrica Puente Atlacomulco, serían restados a los aprovechamientos que se encuentran dentro de las subcuencas correspondientes a la estación hidrométrica La Y, a la presa José Antonio Alzate y a la estación hidrométrica Puente Atlacomulco, ya que los 9 sitios están ubicados en la parte oriental de lo que en el capítulo 1 se definió como zona de almacenamientos.

Tomando en cuenta los resultados del balance hidrológico existente para la cuenca del río Lerma, se puede decir que ésta se encuentra prácticamente sobreexplotada y en una etapa de degradación, y debido a esto, sin considerar las conclusiones a las que se llegara después de un necesario análisis minucioso de alternativas de solución y de los factores que sirvan de apoyo o rechazo a los proyectos aquí esbozados, se estima difícil que las autoridades de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos estén de acuerdo con la realización de dichos proyectos.

Una de las observaciones hechas en la tabla 6.1, se refiere a la capacidad de riego del conjunto de sitios factibles, la cual, siendo aproximadamente de 11 566 ha, excede en 166 ha a la demanda que se quiere satisfacer, y consecuentemente, dado que la capacidad

de riego de cada posible aprovechamiento es mayor que dicha diferencia, se considera que si la única alternativa de solución es la que en forma preliminar se ha analizado en este trabajo, el objetivo que se perseguiría sería la construcción de los aprovechamientos que se sugieren, sin importar los problemas que fuera necesario resolver, ni el costo asociado a ello, ya que no sería posible prescindir de ninguno de los 9 sitios factibles.

6.2 Recomendaciones

Como se mencionó en el subcapítulo anterior, la cuenca del río Lerma se encuentra sobreexplotada y en una etapa de degradación, lo cual, al ser un factor cuyo peso es suficiente para provocar dudas con respecto al apoyo que se pudiera dar a la realización de los aprovechamientos planteados, sugiere la necesidad de proceder, primero, a la revisión cuidadosa y crítica de los convenios celebrados entre el Departamento del Distrito Federal y el gobierno del Estado de México, ya que se considera extraño que una zona dedicada tradicionalmente a la agricultura de temporal se transforme, sin justificación públicamente conocida, en zona para agricultura de riego, y por ende, con dicha revisión, es posible que se llegue a una solución cuya naturaleza probablemente sea diferente a la de la esquematizada en el desarrollo de este análisis preliminar. En segundo lugar, si se concluye que debe satisfacerse la demanda de los agricultores de la región en estudio, sería recomendable buscar y estudiar alternativas adicionales orientadas a satisfacer esa demanda.

En caso de que las alternativas adicionales de solución no se encuentren o resulten inconvenientes, se requeriría la construcción de aprovechamientos en los sitios definidos como factibles, siendo recomendable el análisis superior de cada uno de ellos y también, la búsqueda de posibles ajustes en las políticas con que son aprovechados los recursos hidráulicos de la cuenca del río Lerma.

Con respecto a la recomendación de realizar estudios de mayor je-

rarquía para los sitios San Mateo, Flor de Gallo, Zolotepec, Zarco, San Mateo Capulhuac, Miranda, La Mirla, San Lorenzo Malacota y La Garita, se sugieren, para un inmediato nivel de estudios, los siguientes puntos generales:

- Realización de levantamientos topográficos de detalle - en las zonas que ocuparían los embalses, en el sitio de las boquillas y en las laderas. Esto se haría para poder determinar, con mayor precisión, las características de las cortinas, de los vertedores de excedencias, y asimismo, la ubicación de ellos.
 - Efectuar estudios de Geotecnia que permitan conocer, - con exactitud, las condiciones geológicas a profundidad, la calidad de la roca, su permeabilidad y su grado de alteración.
 - Estudiar detalladamente el problema de la erosión, con objeto de identificar qué áreas requieren control inmediato y cuáles a futuro.
 - Investigar la ubicación exacta de las porciones en que probablemente se encuentra dividida la superficie por regar, y asimismo, determinar la mejor manera de hacer llegar, a esas porciones, los volúmenes de agua que requieran de los aprovechamientos potenciales
 - Realizar un estudio agrológico que permita conocer, sin duda alguna, los diferentes valores que durante el periodo en que se presenta la necesidad de regar, debe tomar el espesor de la lámina de agua que se utilice para satisfacer la demanda.
- Analizar, con todo cuidado, el problema de las afectaciones a la cuenca alta del río Lerma, para así estar en condiciones de hacer un cálculo fidedigno, tanto de su magnitud, como de los beneficios y costos que debido

a ellas se generarían.

El análisis de los costos que se derivarían de la construcción de los aprovechamientos, se deberá realizar con precisión, ya que en un estudio de mayor jerarquía se contaría con información más completa que la hasta aquí utilizada.

TABLAS

TABLA 1.1

USO ACTUAL DEL SUELO

| USO DE SUELO | % |
|---|-------|
| <p>FORESTAL</p> <p>Bosque natural, bosque artificial, bosque caducifólio</p> | 29.06 |
| <p>PECUARIO</p> <p>Pastizal natural, pastizal cultivado, pastizal inducido</p> | 7.15 |
| <p>AGRICOLA</p> <p>De riego y de temporal permanente</p> | 51.49 |
| <p>ASOCIACIONES ESPECIALES DE VEGETACION</p> <p>Palmar, manglar, tular, nopalera, chaparral, matorral inerme, matorral espinoso, etc.</p> | 4.22 |
| <p>DESPROVISTO DE VEGETACION</p> <p>Erosión eólica, erosión hídrica, eriales</p> | 8.08 |

Fuente: Ref. 4

TABLA 1.2

EDAFOLOGIA

| UNIDAD DE SUELO | CARACTERISTICAS | % |
|-----------------|--|------|
| Luvisol | Suelo predominante con clase textural de media a fina. Suelo de baja permeabilidad | 25.0 |
| Vertisol | Suelo predominante con clase textural fina. Suelo de baja permeabilidad | 10.0 |
| Cambisol | Suelo predominante con clase textural media. Suelo de moderada permeabilidad | 8.0 |
| Feozem | Suelo predominante con clase textural media. Suelo de alta permeabilidad | 8.0 |
| Andosol | Suelo predominante con clase textural media. Suelo de moderada permeabilidad | 49.0 |

Fuente: Ref. 4

TABLA 2.1

ESTACIONES HIDROMETRICAS

| No. | ESTACION | CUENCA | CORRIENTE | LOCALIZACION | | PERIODO OBSERVADO | SUSPENDIDA | TIPO DE MEDICION E A L S | AREA DRENADA km ² | VOLUMEN ANUAL 10 ³ m ³ | G A S T O S m ³ /seg | | |
|-----|-----------------------|------------|-----------------|--------------|-----------|-------------------|------------|--------------------------|------------------------------|--|---------------------------------|-------|--------|
| | | | | LATITUD | LONGITUD | | | | | | MAXIMO | MEDIO | MINIMO |
| 1 | Atenco | Lerma | Rfo Lerma | 19°10'55" | 99°30'45" | 1942-1950 | | xx | 406.0 | 62.6 | 3.16 | 1.99 | 0.000 |
| 2 | Atotonilco | Lerma | Rfo La Gavia | 19°27'10" | 99°46'35" | 1951-1978 | | xx x | 506.0 | 88.8 | 38.20 | 2.80 | 0.000 |
| 3 | Calixtlahuaca | Lerma | Rfo Tejalpa | 19°20'20" | 99°41'15" | 1962-1975 | | xx | 225.0 | 20.2 | 100.00 | 0.61 | 0.000 |
| 4 | El Pescado No. 2 | Lerma | Rfo El Pescado | 19°46'45" | 99°42'45" | 1966-1978 | | xx | 36.0 | 5.0 | 5.57 | 0.18 | 0.000 |
| 5 | La Y | Lerma | Rfo Lerma | 19°24'22" | 99°35'22" | 1943-1978 | | xxxx | 1 582.0 | 132.6 | 33.50 | 4.21 | 0.070 |
| 6 | Los Velázquez | La Gavia | Rfo El Rosario | 19°25'10" | 99°52'00" | 1964-1976 | | xx x | 35.0 | 4.8 | 26.90 | 0.14 | 0.000 |
| 7 | Otzolotepec | Lerma | Rfo Otzolotepec | 19°24'00" | 99°34'35" | 1942-1978 | | xx x | 212.0 | 42.7 | 21.50 | 1.35 | 0.000 |
| 8 | Puente Atlacomulco | Lerma | Rfo Lerma | 19°47'20" | 99°53'35" | 1948-1976 | | xxxx | 4 436.0 | 590.7 | 249.00 | 18.64 | 0.600 |
| 9 | Puente Carretera | Lerma | Rfo Lerma | 19°17'10" | 99°31'25" | 1950-1962 | x | xx | 888.0 | 46.0 | 7.73 | 1.51 | 0.000 |
| 10 | Puente Carretera II | Lerma | Rfo Lerma | 19°16'45" | 99°31'25" | 1964-1976 | | xx | 885.0 | 47.2 | 11.20 | 1.49 | 0.004 |
| 11 | Puente Ferrocarril | Lerma | Rfo Lerma | 19°17'00" | 99°31'25" | 1944-1948 | x | xx | 886.0 | 165.7 | 12.90 | 5.25 | 0.206 |
| 12 | Puente Los Velázquez | Lerma | Rfo La Gavia | 19°25'27" | 99°52'05" | 1964-1975 | | xx x | 163.0 | 19.2 | 42.70 | 0.61 | 0.000 |
| 13 | Puente Mexitepec | Lerma | Rfo Jaltepec | 19°39'00" | 99°56'30" | 1944-1978 | | xxxx | 387.0 | 55.9 | 68.60 | 1.82 | 0.000 |
| 14 | San Bartolo | Lerma | Rfo Lerma | 19°23'52" | 99°34'27" | 1942-1970 | x | xx | 1 346.0 | 95.7 | 17.10 | 3.03 | 0.005 |
| 15 | San Bartolo del Llano | S. Domingo | Rfo Sila | 19°36'00" | 99°42'35" | 1965-1978 | | xxx | 175.0 | 45.2 | 28.40 | 1.37 | 0.000 |
| 16 | San Bernabé | Lerma | Rfo Lerma | 19°28'22" | 99°43'12" | 1961-1978 | | xxx | 2 142.0 | 191.3 | 61.00 | 6.13 | 0.005 |
| 17 | Santa María del Llano | Lerma | Rfo S. Domingo | 19°38'00" | 99°43'20" | 1965-1976 | | xx | 378.0 | 57.2 | 27.20 | 1.69 | 0.030 |

E: Escala; A: Aforos; L: Limnógrafo; S: Sedimentos.

Fuente: Boletín hidrológico Número 50 Tomos I, II, III;

Dirección de Hidrología, S.A.R.H.

TABLA 2.2

VOLUMENES DE ESCURRIMIENTO REGISTRADOS EN LA ESTACION EL PESCADO No. 2, MEXICO

MILES DE m³

PERIODO REGISTRADO DE 1966 A 1978

| ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 16 | 389 | 1 280 | 671 | 606 | 117 | 13 | 3 094 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 159 | 219 | 410 | 2 651 | 1 088 | 170 | 88 | 4 785 |
| 42 | 3 | 1 | 117 | 194 | 390 | 947 | 860 | 1 573 | 86 | 18 | 1 | 4 232 |
| 47 | 25 | 0 | 0 | 0 | 15 | 1 309 | 2 416 | 1 685 | 235 | 66 | 27 | 5 825 |
| 7 | 5 | 6 | 1 | 0 | 690 | 1 020 | 2 468 | 1 385 | 744 | 283 | 38 | 6 647 |
| 3 | 1 | 2 | 3 | 9 | 262 | 1 406 | 3 196 | 1 721 | 820 | 347 | 91 | 7 861 |
| 23 | 1 | 4 | 0 | 63 | 542 | 392 | 667 | 1 995 | 763 | 88 | 22 | 4 560 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 58 | 1 715 | 1 880 | 1 172 | 647 | 145 | 41 | 5 666 |
| 14 | 4 | 1 | 10 | 29 | 267 | 909 | 1 481 | 1 335 | 762 | 162 | 53 | 5 028 |
| 25 | 12 | 1 | 0 | 65 | 421 | 834 | 1 481 | 929 | 330 | 102 | 53 | 4 253 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 1 697 | 1 654 | 800 | 1 872 | 384 | 146 | 6 585 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 16 | 343 | 543 | 847 | 866 | 486 | 25 | 5 | 3 141 |
| 2 | 3 | 0 | 1 | 0 | 276 | 442 | 618 | 568 | 1 470 | 204 | 106 | 3 690 |
| VALORES MEDIOS | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 4 | 1 | 10 | 29 | 267 | 909 | 1 481 | 1 335 | 762 | 162 | 53 | 5 028 |

Fuente: Ref. 4

TABLA 2.3

VOLUMENES MEDIOS DE ESCURRIMIENTO EN LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

MILES DE m³

| ESTACION | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| ATENCO | 5 742 | 4 813 | 4 882 | 4 384 | 4 290 | 4 205 | 5 052 | 5 665 | 6 102 | 6 086 | 5 634 | 5 768 | 62 623 |
| ATOTONILCO | 1 378 | 1 593 | 2 275 | 4 290 | 5 781 | 9 997 | 16 209 | 19 756 | 11 952 | 9 922 | 3 705 | 1 972 | 88 831 |
| CALIXTLANUACA | 196 | 52 | 58 | 305 | 964 | 2 165 | 3 738 | 4 526 | 4 310 | 2 700 | 894 | 284 | 20 192 |
| EL PESCADO No. 2 | 14 | 4 | 1 | 10 | 29 | 267 | 909 | 1 481 | 1 335 | 762 | 162 | 53 | 5 028 |
| LA Y | 4 933 | 2 664 | 1 867 | 2 077 | 3 191 | 7 340 | 16 209 | 22 953 | 27 694 | 23 877 | 12 486 | 7 266 | 132 556 |
| LOS VELAQUEZ | 80 | 38 | 39 | 94 | 190 | 486 | 1 022 | 1 210 | 926 | 449 | 131 | 105 | 4 771 |
| OIZOLOTEPEC | 1 027 | 331 | 148 | 499 | 1 187 | 3 041 | 6 117 | 8 294 | 10 168 | 7 181 | 2 957 | 1 785 | 42 736 |
| PUENTE ATLAOMULCO | 14 749 | 10 621 | 11 984 | 15 132 | 19 445 | 50 292 | 108 909 | 115 897 | 113 799 | 78 505 | 31 886 | 19 466 | 590 684 |
| PUENTE CARRETERA | 1 719 | 1 081 | 550 | 566 | 806 | 1 787 | 6 491 | 8 857 | 10 449 | 7 683 | 3 960 | 2 060 | 46 008 |
| PUENTE CARRETERA II | 1 144 | 469 | 332 | 308 | 414 | 1 347 | 4 411 | 9 289 | 12 096 | 10 704 | 4 789 | 1 939 | 47 241 |
| PUENTE FERROCARRIL | 9 992 | 8 576 | 8 357 | 7 702 | 9 481 | 11 444 | 17 194 | 20 639 | 25 194 | 22 723 | 13 811 | 10 591 | 165 704 |
| PUENTE LOS VELAQUEZ | 511 | 258 | 265 | 359 | 681 | 1 587 | 3 896 | 4 548 | 4 222 | 1 844 | 595 | 457 | 19 224 |
| PUENTE MEXTEPEC | 981 | 725 | 1 039 | 1 318 | 2 370 | 6 608 | 10 609 | 6 739 | 13 321 | 8 973 | 2 497 | 670 | 55 850 |
| SAN BARTOLO | 4 527 | 2 813 | 2 118 | 1 832 | 2 129 | 4 247 | 10 698 | 15 389 | 18 811 | 17 447 | 9 877 | 5 822 | 95 710 |
| SAN BARTOLO DEL LLANO | 159 | 66 | 21 | 126 | 465 | 3 771 | 10 646 | 13 141 | 11 323 | 4 570 | 587 | 317 | 45 190 |
| SAN BERNABE | 4 982 | 4 598 | 6 447 | 8 305 | 6 687 | 16 538 | 30 538 | 32 993 | 28 992 | 26 675 | 13 680 | 7 858 | 191 293 |
| SANJA MARIA DEL LLANO | 1 128 | 591 | 473 | 752 | 1 331 | 4 278 | 9 970 | 16 814 | 11 735 | 6 591 | 2 090 | 1 484 | 57 237 |

TABLA 2.4

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

| No. | ESTACION | ESTADO | PERIODO | No. | ESTACION | ESTADO | PERIODO |
|-----|--------------------------|--------|-----------|-----|-----------------------------|--------|-----------|
| 1 | Acanbay | México | 1957-1979 | 40 | Sta. Ma. Magdalena Caluacan | México | 1961-1979 |
| 2 | Ajusco | D.F. | 1961-1979 | 41 | Sta. María Nativitas | México | 1956-1979 |
| 3 | Almoloya de Juárez | México | 1959-1979 | 42 | Santa Martha | México | 1959-1977 |
| 4 | Almoloya del Río | México | 1971-1979 | 43 | Santiago Tianguistengo | México | 1956-1972 |
| 5 | Amanalco de Becerra | México | 1962-1979 | 44 | Santiago Tlazala | México | 1961-1979 |
| 6 | Atlaconulco | México | 1954-1979 | 45 | Santiago Yeche | México | 1965-1979 |
| 7 | Atotonilco | México | 1961-1979 | 46 | Tenascalcingo | México | 1961-1979 |
| 8 | Capulhuac | México | 1971-1979 | 47 | Tenosaya | México | 1961-1979 |
| 9 | Ejido de Llano Grande | México | 1964-1970 | 48 | Tenango del Valle | México | 1970-1979 |
| 10 | El Capulín | México | 1971-1977 | 49 | Toluca Oficinas | México | 1960-1979 |
| 11 | El Guarda | D.F. | 1958-1979 | 50 | Tullenango | México | 1967-1979 |
| 12 | El Pescado No. 2 | México | 1966-1972 | 51 | Zictepec | México | 1959-1977 |
| 13 | Enyege | México | 1949-1979 | 52 | Aserradero de la Rosa | México | 1971-1977 |
| 14 | Huixquilucan | México | 1955-1979 | 53 | Atarasquillo | México | 1971-1970 |
| 15 | Hacienda La Y | México | 1944-1972 | 54 | Calacoaya | México | 1971-1979 |
| 16 | Ixtlahuaca | México | 1968-1976 | 55 | Cieneguilla del Labra | México | 1971-1977 |
| 17 | Magdalena Chichicasta | México | 1961-1979 | 56 | Desierto de los Leones | D.F. | 1971-1979 |
| 18 | La Marquesa | México | 1966-1970 | 57 | El Oro | México | 1972-1978 |
| 19 | Lerma | México | 1943-1979 | 58 | El Salitre | México | 1971-1979 |
| 20 | Los Velázquez | México | 1964-1979 | 59 | El Tejocote | México | 1971-1979 |
| 21 | Molinalco | México | 1975-1979 | 60 | Molino Blanco | México | 1971-1979 |
| 22 | Mexicaltzingo | México | 1968-1979 | 61 | Navado de Toluca | México | 1969-1979 |
| 23 | Mintapan | México | 1956-1979 | 62 | Palizada | México | 1971-1979 |
| 24 | Molinillo | México | 1971-1979 | 63 | Palos Mancornados | México | 1973-1977 |
| 25 | Presa Danxho | México | 1950-1979 | 64 | Presa Totollica | México | 1971-1979 |
| 26 | Presa El Tigre | México | 1954-1979 | 65 | Presa Tuxpan | Méx. | 1971-1976 |
| 27 | Presa Imajonay | México | 1954-1979 | 66 | Presa Valle de Bravo | México | 1971-1976 |
| 28 | Presa J. T. Fabela | México | 1974-1979 | 67 | San Bartolomé | México | 1971-1977 |
| 29 | Presa Tepetitlán | México | 1949-1979 | 68 | San Fco. Tlalnepantla | D.F. | 1971-1979 |
| 30 | Pueblo Nuevo | México | 1955-1979 | 69 | Sta. Cruz Tezontepec | México | 1971-1977 |
| 31 | San Andrés Tlalilpan | México | 1964-1979 | 70 | Sta. Ma. del Monte | México | 1971-1979 |
| 32 | San Bartolo del Llano | México | 1965-1979 | 71 | Senigto | Méx. | 1971-1979 |
| 33 | San Felipe del Progreso | México | 1960-1979 | 72 | Tacubaya | D.F. | 1971-1970 |
| 34 | San Francisco Oxtotilpan | México | 1962-1979 | 73 | Tenaxcaltepec | México | 1971-1976 |
| 35 | San Juan de las Huertas | México | 1960-1977 | 74 | Tenancingo | México | 1971-1976 |
| 36 | San Luis Ayucan | México | 1960-1979 | 75 | Tequixquapan | México | 1971-1977 |
| 37 | San Pedro de los Baños | México | 1966-1979 | 76 | Totollica | México | 1971-1979 |
| 38 | San Pedro Techuahuac | México | 1963-1979 | 77 | Villa de Allende | México | 1971-1976 |
| 39 | San Pedro Tlanisco | México | 1958-1977 | 78 | Villa del Carbón | México | 1971-1975 |

TABLA 2.5

PRECIPITACIONES REGISTRADAS EN LA ESTACION NEVADO DE TOLUCA, MEXICO
(mm)
PERIODO REGISTRADO DE 1969 A 1979

| ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---------|
| 53.0 | 8.3 | 0.0 | 79.5 | 150.0 | 74.2 | 324.3 | 379.8 | 350.0 | 86.8 | 0.0 | 18.0 | 1 523.9 |
| 9.0 | 37.0 | 6.0 | 12.0 | 110.2 | 281.0 | 241.0 | 342.0 | 301.0 | 62.8 | 9.0 | 10.0 | 1 421.0 |
| 9.0 | 26.0 | 104.0 | 71.0 | 96.0 | 209.1 | 339.0 | 252.6 | 197.4 | 75.0 | 16.0 | 26.0 | 1 421.1 |
| 16.0 | 24.0 | 35.5 | 92.0 | 104.0 | 248.5 | 293.4 | 224.0 | 162.5 | 74.0 | 32.5 | 30.0 | 1 336.4 |
| 14.5 | 2.0 | 0.0 | 43.1 | 214.2 | 197.3 | 321.2 | 226.3 | 171.3 | 124.1 | 21.6 | 45.5 | 1 381.1 |
| 18.3 | 35.0 | 37.0 | 64.4 | 48.5 | 322.5 | 262.2 | 159.1 | 236.5 | 35.6 | 53.0 | 3.0 | 1 275.1 |
| 15.8 | 24.0 | 0.0 | 0.0 | 142.4 | 183.4 | 164.7 | 197.9 | 181.7 | 62.1 | 12.2 | 0.0 | 984.2 |
| 13.0 | 17.0 | 31.0 | 146.5 | 83.7 | 122.1 | 282.1 | 220.9 | 184.7 | 99.4 | 134.6 | 40.5 | 1 375.5 |
| 13.4 | 11.0 | 5.6 | 29.7 | 125.4 | 206.1 | 187.0 | 248.4 | 175.0 | 162.3 | 22.1 | 38.9 | 1 224.9 |
| 12.0 | 36.5 | 33.7 | 34.4 | 47.5 | 279.2 | 343.9 | 303.4 | 190.8 | 78.6 | 7.3 | 13.8 | 1 381.1 |
| 0.0 | 43.0 | 12.1 | 35.7 | 137.2 | 176.2 | 255.5 | 224.3 | 186.6 | 16.1 | 9.9 | 52.6 | 1 149.2 |
| VALORES MEDIOS | | | | | | | | | | | | |
| 15.8 | 24.0 | 24.1 | 55.3 | 114.5 | 209.1 | 274.0 | 252.6 | 212.5 | 79.7 | 28.9 | 25.3 | 1 315.8 |

80

Fuente: Ref. 4

TABLA 2.6

PRECIPITACIONES MEDIAS EN LAS CUENCAS DE DRENAJE A LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS
(mm)

| CUENCA DE LA ESTACION | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|-----------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|---------|
| Atenco | 16.8 | 8.2 | 15.2 | 32.0 | 73.8 | 161.7 | 200.2 | 187.7 | 156.0 | 66.8 | 16.4 | 12.3 | 947.0 |
| Atotonilco | 19.5 | 9.7 | 13.5 | 29.9 | 79.2 | 155.3 | 197.8 | 173.5 | 136.5 | 78.0 | 18.6 | 15.1 | 926.7 |
| Calixtlahuaca | 21.5 | 13.7 | 20.2 | 46.9 | 87.3 | 185.1 | 211.2 | 204.6 | 188.1 | 91.9 | 25.2 | 15.8 | 1 111.5 |
| El Pescado No. 2 | 15.8 | 17.4 | 15.0 | 26.0 | 68.2 | 135.2 | 152.7 | 164.0 | 104.3 | 55.5 | 9.3 | 10.8 | 774.2 |
| La Y | 15.3 | 8.5 | 15.8 | 36.8 | 73.7 | 169.1 | 194.5 | 188.8 | 160.2 | 69.5 | 18.7 | 11.5 | 962.3 |
| Los Velázquez | 21.2 | 10.3 | 12.1 | 31.4 | 86.6 | 165.9 | 222.3 | 188.5 | 142.3 | 83.6 | 22.6 | 19.0 | 1 008.9 |
| Otzolotepec | 14.8 | 11.4 | 17.6 | 43.9 | 72.3 | 182.7 | 205.0 | 203.2 | 178.2 | 75.4 | 20.8 | 14.6 | 1 039.9 |
| Puente Atlacomulco | 16.3 | 9.7 | 13.7 | 31.4 | 70.6 | 159.8 | 187.8 | 181.2 | 147.7 | 71.2 | 18.2 | 12.8 | 920.2 |
| Puente Carretera | 15.4 | 7.8 | 15.5 | 34.2 | 74.5 | 167.0 | 196.2 | 192.9 | 159.1 | 67.7 | 17.7 | 11.6 | 959.5 |
| Puente Carretera 11 | 15.4 | 7.8 | 15.5 | 34.2 | 74.5 | 167.0 | 196.3 | 193.0 | 159.1 | 67.7 | 17.7 | 11.6 | 959.9 |
| Puente Ferrocarril | 32.2 | 16.0 | 30.7 | 66.3 | 148.2 | 328.7 | 396.5 | 380.7 | 315.2 | 139.5 | 34.1 | 23.9 | 1 906.9 |
| Puente Los Velázquez | 21.4 | 10.3 | 12.0 | 31.5 | 86.8 | 166.0 | 223.6 | 189.1 | 142.4 | 83.9 | 22.8 | 19.2 | 1 012.2 |
| Puente Mextepec | 17.5 | 8.3 | 8.3 | 22.5 | 67.0 | 154.7 | 189.1 | 186.3 | 142.4 | 80.6 | 18.0 | 11.3 | 905.8 |
| San Bartolo | 15.4 | 8.1 | 15.5 | 35.7 | 74.0 | 167.1 | 193.2 | 187.0 | 157.8 | 68.6 | 18.3 | 11.0 | 951.7 |
| San Bartolo del Llano | 18.3 | 10.1 | 12.6 | 30.7 | 61.8 | 167.7 | 195.8 | 195.3 | 153.1 | 64.2 | 18.9 | 15.2 | 943.7 |
| San Bernabé | 16.0 | 8.9 | 16.2 | 37.2 | 74.1 | 169.2 | 194.0 | 187.9 | 160.0 | 71.7 | 19.1 | 12.0 | 966.4 |
| Santa María del Llano | 16.0 | 14.6 | 14.7 | 29.3 | 66.0 | 155.3 | 188.1 | 187.4 | 141.2 | 63.1 | 16.7 | 14.9 | 907.4 |

TABLA 2.7

CALCULO DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO PARA LA ESTACION EL PESCADO No. 2

| | | |
|---|--------|------------|
| AREA DE LA CUENCA: 36.00 km ² | | |
| ESTACIONES CLIMATOLOGICAS CON INFLUENCIA EN LA CUENCA | | |
| ESTACION | ESTADO | ↓ THIESSEN |
| El Pescado No. 2 | México | 72.65 |
| Prosa El Tigre | México | 25.29 |
| San Andrés Timilpan | México | 2.06 |

PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES INDICADAS, EN mm

| ENR | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 16.1 | 20.6 | 16.7 | 26.3 | 71.0 | 132.8 | 145.1 | 157.7 | 90.4 | 53.0 | 6.6 | 9.9 | 746.2 |
| 15.5 | 8.7 | 10.2 | 25.7 | 59.6 | 140.0 | 171.6 | 177.4 | 138.5 | 61.0 | 16.6 | 12.8 | 837.7 |
| 9.4 | 13.1 | 15.4 | 21.7 | 73.2 | 160.2 | 189.9 | 218.8 | 173.7 | 79.3 | 13.3 | 15.8 | 983.6 |
| ALTURA DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN LA CUENCA, EN mm | | | | | | | | | | | | |
| 15.8 | 17.4 | 15.0 | 26.0 | 68.2 | 135.2 | 152.7 | 164.0 | 104.3 | 55.5 | 9.3 | 10.8 | 774.2 |
| VOLUMENES DE PRECIPITACION MEDIOS MENSUALES EN LA CUENCA, EN MILLONES DE m ³ | | | | | | | | | | | | |
| 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.9 | 2.5 | 4.9 | 5.5 | 5.9 | 3.8 | 2.0 | 0.3 | 0.4 | 27.9 |
| VOLUMENES DE ESCURRIMIENTO MEDIOS MENSUALES EN LA CUENCA, EN MILLONES DE m ³ | | | | | | | | | | | | |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.9 | 1.5 | 1.3 | 0.8 | 0.2 | 0.1 | 5.0 |
| COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO MEDIOS MENSUALES EN LA CUENCA | | | | | | | | | | | | |
| 0.025 | 0.007 | 0.002 | 0.011 | 0.012 | 0.055 | 0.165 | 0.251 | 0.355 | 0.381 | 0.486 | 0.135 | 0.180 |

82

Fuente: Ref. 4.

TABLA 2.8
COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO DEDUCIDOS

| ESTACION | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Atenco | 0.841 | 1.452 | 0.793 | 0.337 | 0.143 | 0.064 | 0.062 | 0.074 | 0.096 | 0.225 | 0.845 | 1.159 | 0.163 |
| Atoionilco | 0.140 | 0.323 | 0.333 | 0.283 | 0.144 | 0.127 | 0.162 | 0.225 | 0.173 | 0.251 | 0.395 | 0.257 | 0.189 |
| Calixtlahuaca | 0.041 | 0.017 | 0.013 | 0.029 | 0.049 | 0.052 | 0.079 | 0.098 | 0.102 | 0.131 | 0.158 | 0.080 | 0.081 |
| El Pescado No. 2 | 0.025 | 0.007 | 0.002 | 0.011 | 0.012 | 0.055 | 0.165 | 0.251 | 0.355 | 0.381 | 0.486 | 0.135 | 0.180 |
| La Y | 0.203 | 0.198 | 0.075 | 0.036 | 0.027 | 0.027 | 0.053 | 0.077 | 0.109 | 0.217 | 0.423 | 0.401 | 0.087 |
| Los Velázquez | 0.094 | 0.105 | 0.091 | 0.085 | 0.063 | 0.034 | 0.131 | 0.183 | 0.186 | 0.153 | 0.166 | 0.158 | 0.135 |
| Otzolotepec | 0.327 | 0.137 | 0.040 | 0.054 | 0.077 | 0.078 | 0.141 | 0.193 | 0.269 | 0.449 | 0.670 | 0.577 | 0.194 |
| Puente Atlacomulco | 0.204 | 0.248 | 0.198 | 0.109 | 0.062 | 0.071 | 0.131 | 0.144 | 0.174 | 0.249 | 0.395 | 0.342 | 0.145 |
| Puente Carretera | 0.126 | 0.157 | 0.040 | 0.019 | 0.012 | 0.012 | 0.037 | 0.052 | 0.074 | 0.128 | 0.252 | 0.200 | 0.054 |
| Puente Carretera 11 | 0.084 | 0.068 | 0.024 | 0.010 | 0.006 | 0.009 | 0.025 | 0.054 | 0.086 | 0.179 | 0.306 | 0.188 | 0.056 |
| Puente Ferrocarril | 0.350 | 0.607 | 0.307 | 0.131 | 0.072 | 0.039 | 0.049 | 0.061 | 0.090 | 0.191 | 0.457 | 0.500 | 0.098 |
| Puente Los Velázquez | 0.128 | 0.154 | 0.135 | 0.070 | 0.048 | 0.059 | 0.107 | 0.148 | 0.182 | 0.135 | 0.160 | 0.146 | 0.117 |
| Puente Mextepec | 0.145 | 0.227 | 0.323 | 0.152 | 0.091 | 0.110 | 0.145 | 0.093 | 0.242 | 0.288 | 0.359 | 0.154 | 0.159 |
| San Bartolo | 0.218 | 0.259 | 0.101 | 0.038 | 0.021 | 0.019 | 0.041 | 0.061 | 0.089 | 0.189 | 0.401 | 0.395 | 0.075 |
| San Bartolo del Llano | 0.050 | 0.037 | 0.009 | 0.023 | 0.043 | 0.129 | 0.311 | 0.385 | 0.422 | 0.407 | 0.177 | 0.119 | 0.274 |
| San Bernabé | 0.145 | 0.210 | 0.186 | 0.104 | 0.042 | 0.046 | 0.074 | 0.082 | 0.085 | 0.193 | 0.335 | 0.305 | 0.092 |
| Santa María del Llano | 0.186 | 0.107 | 0.085 | 0.068 | 0.053 | 0.073 | 0.140 | 0.237 | 0.220 | 0.276 | 0.331 | 0.263 | 0.167 |

TABLA 2.9

RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANALISIS DE CORRELACION

| ESTACION | a | b | r | hpma para Tr = 10 años (mm) |
|-----------------------------|-------|-------|------|-----------------------------------|
| Almoleya de Juárez | 25.96 | 8.36 | 0.99 | 45.2 |
| Atotonilco | 32.48 | 8.74 | 0.89 | 52.6 |
| Ejido de Llano Grande | 33.14 | 17.16 | 0.98 | 72.7 |
| Enyege | 29.79 | 10.34 | 0.95 | 53.6 |
| Ixtlahuaca | 31.50 | 26.44 | 0.96 | 92.4 |
| Lerma | 29.61 | 17.81 | 0.95 | 70.6 |
| Los Velázquez | 31.28 | 10.49 | 0.96 | 55.4 |
| Mimiapan | 22.59 | 24.61 | 0.92 | 79.3 |
| Presa El Tigre | 28.96 | 19.27 | 0.98 | 73.3 |
| Presa Tepetitlán | 30.32 | 11.82 | 0.98 | 57.5 |
| San Bartolo del Llano | 34.65 | 10.30 | 0.93 | 58.4 |
| San Luis Ayucan | 39.68 | 21.19 | 0.98 | 88.5 |
| San Pedro de Los Baños | 26.86 | 10.03 | 0.97 | 50.0 |
| Sta. Ma. Magdalena Cahuacan | 39.53 | 19.03 | 0.98 | 83.3 |
| Santa María Nativitas | 30.79 | 10.18 | 0.98 | 54.2 |
| Santiago Tlazala | 44.31 | 19.38 | 0.98 | 88.9 |
| Santiago Yeche | 32.15 | 12.42 | 0.97 | 60.7 |
| Temoaya | 32.84 | 10.32 | 0.95 | 56.6 |
| Atarasquillo | 28.59 | 11.16 | 0.99 | 54.3 |
| Palos Mancornados | 16.40 | 18.12 | 0.92 | 58.1 |

Fuente: Ref. 4

TABLA 2.10

SELECCION DEL NUMERO DE ESCURRIMIENTO N

| USO DE LA TIERRA O COBERTURA | CONDICION DE LA SUPERFICIE | TIPO DE SUELO | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|---------------|----|----|----|
| | | A | B | C | D |
| Bosques (sembrados y cultivados) | Esparcido o de baja transpiración | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | Normal | 36 | 60 | 73 | 79 |
| | Denso o de alta transpiración | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Caminos | De tierra | 72 | 82 | 87 | 89 |
| | Superficie dura | 74 | 84 | 90 | 92 |
| Bosques naturales | Muy esparcido o de baja transpiración | 56 | 75 | 86 | 91 |
| | Esparcido o de baja transpiración | 46 | 68 | 78 | 84 |
| | Normal | 36 | 60 | 70 | 76 |
| | Denso o de alta transpiración | 26 | 52 | 62 | 69 |
| | Muy denso o de alta transpiración | 15 | 44 | 54 | 61 |
| Descanso (sin cultivo) | Surcos rectos | 77 | 86 | 91 | 94 |
| Cultivos de surco | Surcos rectos | 70 | 80 | 87 | 90 |
| | Surcos en curvas de nivel | 67 | 77 | 83 | 87 |
| | Terrazas | 64 | 73 | 79 | 82 |
| Cereales | Surcos rectos | 64 | 76 | 84 | 88 |
| | Surcos en curvas de nivel | 62 | 74 | 82 | 85 |
| | Terrazas | 60 | 71 | 79 | 82 |

TABLA 2.10 (Cont.)

| USO DE LA TIERRA O COBERTURA | CONDICION DE LA SUPERFICIE | TIPO DE SUELO | | | |
|---|----------------------------|---------------|-----|-----|-----|
| | | A | B | C | D |
| Leguminosas (sembradas con maquinaria o al voleo) o - potrero de rotación | Surcos rectos | 62 | 75 | 83 | 87 |
| | Surcos en curvas de nivel | 60 | 72 | 81 | 84 |
| | Terrazas | 57 | 70 | 78 | 82 |
| Pastizal | Pobre | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | Normal | 49 | 69 | 79 | 84 |
| | Bueno | 39 | 61 | 74 | 80 |
| | Curvas de nivel, pobre | 47 | 67 | 81 | 88 |
| | Curvas de nivel, normal | 25 | 59 | 75 | 83 |
| | Curvas de nivel, bueno | 6 | 35 | 70 | 79 |
| Potrero (permanente) | Normal | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Superficie impermeable | | 100 | 100 | 100 | 100 |

TABLA 3.1
SITIOS IDENTIFICADOS

| No. SITIO | N O M B R E | Area (km ²) | Longitud (km) | Pendiente | No. SITIO | N O M B R E | Area (km ²) | Longitud (km) | Pendiente |
|-----------|---------------------------|-------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------------------|-------------------------|---------------|-----------|
| 1 | A. San Mateo | 14.98 | 8.700 | 0.0626 | 18 | A. El Toro | 8.08 | 6.995 | 0.0269 |
| 2 | A. El Jilguero | 9.63 | 3.000 | 0.1019 | 18-1 | A. El Toro - 1 | 5.13 | 4.750 | 0.0432 |
| 3 | Sn. Fco. Xochicusutla | 9.38 | 3.950 | 0.0837 | 19 | San José Las Lomas | 2.83 | 2.700 | 0.0363 |
| 3-I | Sn. Fco. Xochicusutla - I | 5.96 | 3.400 | 0.1235 | 20 | A. La Cueva | 8.86 | 5.600 | 0.0246 |
| 4 | Rfo Sn. Lorenzo | 34.65 | 9.245 | 0.0422 | 21 | Las Lomas | 2.71 | 3.450 | 0.0348 |
| 5 | A. Flor de Gallo | 49.27 | 12.545 | 0.0340 | 22 | Las Lomas - II | 2.25 | 3.420 | 0.0398 |
| 5-I | A. Flor de Gallo - 1 | 6.18 | 6.150 | 0.1089 | 23 | Allende | 5.50 | 4.850 | 0.0361 |
| 6 | Rfo Zolotepec | 48.38 | 14.630 | 0.0348 | 24 | San Antonio Bonixi | 2.80 | 4.400 | 0.0580 |
| 7 | Rfo Mayorazgo | 56.25 | 14.540 | 0.0400 | 25 | San Antonio Bonixi II | 2.20 | 3.240 | 0.0611 |
| 7-I | Rfo Mayorazgo - 1 | 38.75 | 7.750 | 0.1045 | 26 | San Lorenzo Toxico | 2.88 | 2.400 | 0.0792 |
| 7-II | Rfo Mayorazgo - 2 | 41.00 | 9.450 | 0.0921 | 27 | San Miguel Yuxtepec | 4.45 | 3.150 | 0.0562 |
| 7-III | Rfo Mayorazgo - 3 | 10.75 | 7.500 | 0.0893 | 28 | La Purísima | 3.70 | 2.300 | 0.0913 |
| 8 | A. Zarco | 19.90 | 11.000 | 0.0418 | 29 | San Martín Morelos | 4.18 | 3.300 | 0.0364 |
| 8-I | A. Zarco - 1 | 14.03 | 9.050 | 0.1000 | 30 | A. La Planta | 36.90 | 10.320 | 0.0209 |
| 9 | Sn. Mateo Capulhuac | 44.13 | 15.890 | 0.0488 | 31 | La Pastora | 4.25 | 4.040 | 0.0433 |
| 10 | A. Los Pantanos | 3.55 | 6.750 | 0.0373 | 32 | Santa M. Nativitas | 3.54 | 3.650 | 0.0452 |
| 10-I | A. Los Pantanos - 1 | 2.88 | 5.050 | 0.0436 | 33 | Hostejé | 6.58 | 4.350 | 0.0595 |
| 11 | A. San Lorenzo | 5.80 | 6.500 | 0.0131 | 34 | A. Vidado | 11.44 | 8.010 | 0.0800 |
| 11-I | A. San Lorenzo - 1 | 0.88 | 1.550 | 0.0532 | 35 | A. La Híria | 9.03 | 5.460 | 0.0869 |
| 11-II | A. San Lorenzo - 2 | 2.46 | 4.150 | 0.0222 | 36 | A. San Bartolo | 21.38 | 11.350 | 0.0677 |
| 12 | A. Naguadi | 1.73 | 3.670 | 0.0243 | 37 | A. La Manzanita | 5.85 | 5.350 | 0.0779 |
| 13 | A. Miranda | 44.71 | 21.245 | 0.0500 | 38 | Sn. Lorenzo Malacota | 10.75 | 5.260 | 0.1029 |
| 13-I | A. Miranda - 1 | 39.39 | 16.395 | 0.0515 | 39 | A. La Garita | 12.50 | 11.120 | 0.0622 |
| 13-II | A. Miranda - 2 | 42.02 | 18.545 | 0.0550 | 40 | Loma de Malacota | 2.88 | 3.350 | 0.0448 |
| 14 | A. Cordero | 25.88 | 16.480 | 0.0369 | 41 | Tabernillas | 11.00 | 5.250 | 0.0838 |
| 14-I | A. Cordero - 1 | 17.20 | 13.330 | 0.0649 | 42 | A. El Salto | 4.95 | 5.290 | 0.0917 |
| 15 | A. Rancho Viejo | 4.41 | 4.900 | 0.0243 | 43 | A. La Pila | 11.45 | 7.740 | 0.0422 |
| 16 | A. Los Nopales | 7.25 | 5.395 | 0.0327 | 44 | A. La Guajolota | 16.98 | 9.590 | 0.0262 |
| 16-I | A. Los Nopales - 1 | 4.50 | 4.250 | 0.0311 | 45 | A. Maro | 3.25 | 2.795 | 0.0555 |
| 17 | A. San Lucas | 6.00 | 7.780 | 0.0343 | 46 | San Ildefonso - I | 5.43 | 4.405 | 0.0341 |
| 17-I | A. San Lucas - 1 | 5.05 | 6.920 | 0.0397 | 47 | San Ildefonso | 12.02 | 6.420 | 0.0339 |

TABLA 3.2

SITIOS SELECCIONADOS

| SITIO | A (km ²) | h _p (mm) | V _{lluv} (Mill. m ³) | Ce | V _{esc} (Mill. m ³) | A _{in} (ha) | h _{ev} (mm) | V _{ev} (Mill. m ³) | C.U. (Mill. m ³) |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|--|-------|---|-------------------------|-------------------------|--|---------------------------------|
| San Mateo | 14.98 | 1 050.0 | 15.73 | 0.110 | 1.73 | 12.47 | 1 430.0 | 0.15 | 1.58 |
| El Jilguero | 9.63 | 990.0 | 9.53 | 0.138 | 1.32 | 10.21 | 1 445.0 | 0.13 | 1.19 |
| San Francisco Xochicuautla | 9.38 | 930.0 | 8.72 | 0.135 | 1.18 | 17.09 | 1 490.0 | 0.24 | 0.94 |
| Flor de Gallo | 49.27 | 970.0 | 47.79 | 0.168 | 8.03 | 96.04 | 1 570.0 | 1.42 | 6.61 |
| Zolotepec | 48.38 | 980.0 | 47.41 | 0.190 | 9.01 | 48.55 | 1 620.0 | 0.66 | 8.35 |
| Mayorazgo | 41.00 | 950.0 | 38.95 | 0.200 | 7.79 | 48.26 | 1 590.0 | 0.60 | 7.11 |
| Zarco | 19.90 | 900.0 | 17.91 | 0.168 | 3.01 | 63.81 | 1 550.0 | 0.95 | 2.06 |
| San Mateo Capulhuac | 44.13 | 925.0 | 40.82 | 0.196 | 8.00 | 55.67 | 1 570.0 | 0.75 | 7.25 |
| Miranda | 39.39 | 937.0 | 36.91 | 0.183 | 6.75 | 60.73 | 1 500.0 | 0.82 | 5.94 |
| Cordero | 25.88 | 890.0 | 23.03 | 0.150 | 3.45 | 59.45 | 1 600.0 | 0.92 | 2.54 |
| La Planta | 34.90 | 915.0 | 31.93 | 0.125 | 3.99 | 61.10 | 1 530.0 | 0.89 | 3.10 |
| Vidado | 11.44 | 950.0 | 10.87 | 0.185 | 2.01 | 18.83 | 1 450.0 | 0.25 | 1.76 |
| La Miria | 9.03 | 940.0 | 8.49 | 0.198 | 1.68 | 22.28 | 1 525.0 | 0.31 | 1.37 |
| San Bartolo | 21.38 | 960.0 | 20.52 | 0.200 | 4.10 | 23.19 | 1 600.0 | 0.31 | 3.79 |
| San Lorenzo Malacota | 10.75 | 975.0 | 10.48 | 0.200 | 2.10 | 19.75 | 1 620.0 | 0.28 | 1.82 |
| La Garita | 12.50 | 975.0 | 12.19 | 0.200 | 2.44 | 21.74 | 1 630.0 | 0.32 | 2.12 |
| Tabernillas | 11.00 | 885.0 | 9.74 | 0.138 | 1.34 | 13.94 | 1 860.0 | 0.24 | 1.10 |
| La Pila | 11.45 | 905.0 | 10.36 | 0.172 | 1.78 | 25.85 | 2 000.0 | 0.53 | 1.25 |
| La Guajolota | 16.98 | 905.0 | 15.37 | 0.182 | 2.80 | 49.57 | 1 970.0 | 0.99 | 1.80 |
| San Ildefonso | 12.02 | 795.0 | 9.56 | 0.153 | 1.46 | 31.18 | 1 810.0 | 0.57 | 0.89 |
| El Salto | 4.95 | 875.0 | 4.33 | 0.156 | 0.68 | 4.55 | 1 850.0 | 0.08 | 0.59 |
| Mostejé | 6.58 | 915.0 | 6.02 | 0.177 | 1.07 | 16.68 | 1 550.0 | 0.24 | 0.82 |
| La Manzanita | 5.85 | 960.0 | 5.62 | 0.200 | 1.12 | 12.73 | 1 610.0 | 0.19 | 0.93 |
| El Toro | 8.08 | 870.0 | 7.03 | 0.116 | 0.82 | 14.65 | 1 645.0 | 0.25 | 0.57 |
| Los Nopales | 7.25 | 875.0 | 6.34 | 0.136 | 0.86 | 22.70 | 1 625.0 | 0.38 | 0.49 |
| San Lucas | 6.00 | 875.0 | 5.25 | 0.126 | 0.66 | 10.77 | 1 630.0 | 0.17 | 0.49 |

TABLA 4.1

MAGNITUD APROXIMADA DE LAS AREAS QUE SERIAN
INUNDADAS POR LOS EMBALSES

| SITIO | MAIZ (ha) | PASTOS (ha) |
|-----------------------------|--------------|----------------|
| San Mateo | | 18 |
| El Jilguero | 12 | |
| San Francisco Xochicuautila | 22 | |
| Flor de Gallo | 109 | |
| Zolotepec | 52 | |
| Mayorazgo | 20 | 20 |
| Zarco | 76 | 8 |
| San Mateo Capulhuac | 44 | |
| Miranda | 44 | 17 |
| Cordero | 62 | |
| La Planta | 123 | 14 |
| Vidado | 17 | 2 |
| La Mirla | 38 | 4 |
| San Bartolo | 19 | 3 |
| San Lorenzo Malacota | 10 | |
| La Garita | 15 | 6 |
| Tabernillas | 7 | 7 |
| La Pila | 17 | 7 |
| La Guajolota | 23 | 9 |
| San Ildefonso | | |
| El Salto | 1 | 4 |
| Mostejé | 20 | |
| La Manzanita | 9 | 9 |
| El Toro | 2 | 19 |
| San Lucas | 7 | 7 |

TABLA 5.1

COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO MEDIOS MENSUALES PARA LOS SITIOS ANALIZADOS

| SITIOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| San Mateo | 0.169 | 0.047 | 0.100 | 0.077 | 0.047 | 0.105 | 0.155 | 0.169 | 0.250 | 0.325 | 0.379 | 0.108 |
| El Jilguero | 0.200 | 0.035 | 0.088 | 0.087 | 0.055 | 0.124 | 0.160 | 0.194 | 0.294 | 0.363 | 0.400 | 0.275 |
| San Francisco Xochicuautla | 0.142 | 0.063 | 0.088 | 0.077 | 0.055 | 0.114 | 0.156 | 0.175 | 0.269 | 0.344 | 0.379 | 0.164 |
| Flor de Gallo | 0.135 | 0.063 | 0.070 | 0.082 | 0.062 | 0.125 | 0.158 | 0.206 | 0.288 | 0.331 | 0.379 | 0.150 |
| Zolotepec | 0.131 | 0.060 | 0.063 | 0.085 | 0.062 | 0.128 | 0.158 | 0.213 | 0.294 | 0.347 | 0.379 | 0.150 |
| Mayorazgo | 0.112 | 0.075 | 0.069 | 0.082 | 0.057 | 0.120 | 0.156 | 0.200 | 0.269 | 0.369 | 0.361 | 0.100 |
| Zarco | 0.200 | 0.090 | 0.075 | 0.075 | 0.049 | 0.110 | 0.154 | 0.187 | 0.238 | 0.344 | 0.348 | 0.115 |
| San Mateo Capulhuac | 0.250 | 0.075 | 0.063 | 0.081 | 0.053 | 0.120 | 0.155 | 0.212 | 0.263 | 0.326 | 0.352 | 0.100 |
| Miranda | 0.190 | 0.075 | 0.069 | 0.063 | 0.043 | 0.115 | 0.153 | 0.205 | 0.244 | 0.338 | 0.327 | 0.118 |
| Cordero | 0.180 | 0.057 | 0.094 | 0.040 | 0.040 | 0.090 | 0.130 | 0.138 | 0.187 | 0.263 | 0.306 | 0.175 |
| La Planta | 0.130 | 0.088 | 0.075 | 0.040 | 0.040 | 0.110 | 0.145 | 0.212 | 0.237 | 0.300 | 0.293 | 0.125 |
| Vidado | 0.130 | 0.024 | 0.038 | 0.062 | 0.040 | 0.130 | 0.156 | 0.190 | 0.246 | 0.326 | 0.305 | 0.190 |
| La Hirla | 0.120 | 0.018 | 0.026 | 0.070 | 0.041 | 0.135 | 0.158 | 0.197 | 0.260 | 0.337 | 0.308 | 0.232 |
| San Bartolo | 0.140 | 0.013 | 0.012 | 0.083 | 0.042 | 0.140 | 0.160 | 0.207 | 0.285 | 0.359 | 0.319 | 0.275 |
| San Lorenzo Malacota | 0.150 | 0.010 | 0.013 | 0.090 | 0.045 | 0.140 | 0.160 | 0.212 | 0.300 | 0.369 | 0.319 | 0.275 |
| La Garita | 0.130 | 0.012 | 0.013 | 0.090 | 0.048 | 0.140 | 0.160 | 0.212 | 0.295 | 0.359 | 0.310 | 0.275 |
| Tabernillas | 0.180 | 0.050 | 0.175 | 0.060 | 0.050 | 0.060 | 0.137 | 0.150 | 0.185 | 0.200 | 0.212 | 0.113 |
| La Pita | 0.140 | 0.080 | 0.169 | 0.082 | 0.100 | 0.100 | 0.137 | 0.182 | 0.144 | 0.200 | 0.320 | 0.200 |
| La Guajolota | 0.140 | 0.100 | 0.175 | 0.090 | 0.116 | 0.100 | 0.145 | 0.194 | 0.135 | 0.200 | 0.350 | 0.225 |
| San Ildefonso | 0.150 | 0.092 | 0.160 | 0.070 | 0.070 | 0.053 | 0.135 | 0.100 | 0.100 | 0.200 | 0.400 | 0.206 |
| El Salto | 0.170 | 0.058 | 0.134 | 0.065 | 0.065 | 0.065 | 0.134 | 0.163 | 0.169 | 0.200 | 0.262 | 0.131 |
| Mosteje | 0.130 | 0.035 | 0.050 | 0.050 | 0.040 | 0.125 | 0.154 | 0.181 | 0.288 | 0.363 | 0.305 | 0.225 |
| La Manzanita | 0.140 | 0.013 | 0.013 | 0.085 | 0.045 | 0.140 | 0.160 | 0.212 | 0.290 | 0.359 | 0.314 | 0.275 |
| El Toro | 0.140 | 0.068 | 0.119 | 0.043 | 0.040 | 0.080 | 0.103 | 0.113 | 0.140 | 0.200 | 0.295 | 0.231 |
| San Lucas | 0.150 | 0.067 | 0.113 | 0.040 | 0.040 | 0.082 | 0.105 | 0.113 | 0.144 | 0.207 | 0.297 | 0.212 |

TABLA 5.2

PRECIPITACIONES MEDIAS EN LAS CUENCAS DE DRENAJE A LOS SITIOS ANALIZADOS

(mm)

| SITIOS | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|----------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| San Mateo | 16.9 | 7.6 | 18.4 | 41.7 | 80.0 | 221.1 | 225.7 | 223.9 | 199.8 | 76.3 | 23.7 | 9.6 |
| El Jilguero | 13.3 | 7.0 | 14.0 | 31.6 | 73.6 | 175.5 | 200.1 | 164.6 | 161.7 | 64.7 | 21.9 | 4.5 |
| San Francisco Xochicuautla | 13.5 | 8.1 | 14.6 | 34.5 | 73.7 | 175.9 | 200.5 | 169.4 | 163.9 | 66.1 | 21.9 | 6.1 |
| Flor de Gallo | 14.9 | 11.5 | 16.4 | 44.5 | 76.1 | 184.1 | 211.5 | 200.8 | 179.1 | 74.3 | 20.9 | 11.9 |
| Zolotepec | 14.0 | 12.1 | 17.9 | 46.1 | 77.1 | 187.9 | 214.4 | 211.7 | 190.8 | 76.3 | 20.4 | 14.5 |
| Mayorazgo | 14.1 | 12.7 | 17.5 | 50.1 | 74.9 | 193.7 | 218.7 | 220.9 | 199.5 | 79.2 | 22.0 | 14.0 |
| Zarco | 15.1 | 12.9 | 18.2 | 48.2 | 74.1 | 184.6 | 204.6 | 200.0 | 177.0 | 74.7 | 21.7 | 14.5 |
| San Mateo Capulhuac | 16.2 | 9.0 | 17.0 | 34.6 | 64.3 | 175.2 | 195.4 | 196.6 | 163.7 | 74.7 | 19.5 | 16.2 |
| Miranda | 18.8 | 9.1 | 13.7 | 33.4 | 57.8 | 167.4 | 197.1 | 197.0 | 167.4 | 71.0 | 19.6 | 18.9 |
| Cordero | 16.5 | 8.6 | 17.2 | 32.3 | 63.2 | 171.5 | 189.6 | 189.4 | 154.7 | 73.5 | 19.2 | 16.5 |
| La Planta | 20.4 | 9.6 | 12.3 | 31.3 | 62.9 | 174.6 | 200.7 | 199.5 | 159.9 | 64.8 | 17.3 | 16.0 |
| Vidado | 20.1 | 9.5 | 11.6 | 34.1 | 54.7 | 165.0 | 201.4 | 201.4 | 174.8 | 69.6 | 19.8 | 20.4 |
| La Mirla | 20.1 | 9.5 | 11.6 | 34.1 | 54.7 | 165.0 | 201.4 | 201.4 | 174.8 | 69.6 | 19.8 | 20.4 |
| San Bartolo | 20.1 | 9.5 | 11.6 | 34.1 | 54.7 | 165.0 | 201.4 | 201.4 | 174.8 | 69.6 | 19.8 | 20.4 |
| San Lorenzo Malacota | 19.9 | 9.9 | 11.9 | 34.0 | 55.6 | 165.3 | 201.9 | 201.3 | 173.7 | 69.4 | 19.7 | 20.2 |
| La Carita | 18.2 | 13.7 | 14.6 | 32.9 | 63.1 | 167.7 | 205.7 | 201.0 | 164.6 | 68.0 | 18.9 | 18.8 |
| Tabernillas | 14.7 | 9.7 | 13.0 | 24.2 | 74.0 | 138.4 | 164.0 | 155.2 | 127.0 | 69.1 | 19.1 | 10.7 |
| La Pila | 14.8 | 10.1 | 14.6 | 25.9 | 68.2 | 139.7 | 170.3 | 157.6 | 124.6 | 71.4 | 16.5 | 11.3 |
| La Guajolota | 14.2 | 9.8 | 13.8 | 25.0 | 66.7 | 136.5 | 167.8 | 155.3 | 122.6 | 70.0 | 17.3 | 10.9 |
| San Ildefonso | 9.2 | 8.0 | 6.6 | 22.6 | 60.4 | 155.2 | 179.4 | 160.4 | 126.1 | 57.9 | 14.5 | 8.1 |
| El Salto | 13.8 | 9.1 | 11.9 | 22.5 | 70.3 | 128.8 | 157.4 | 149.4 | 121.5 | 67.2 | 21.0 | 10.1 |
| Mosteje | 20.1 | 9.5 | 11.6 | 34.1 | 54.7 | 165.0 | 201.4 | 201.4 | 174.8 | 69.6 | 19.8 | 20.4 |
| La Manzanita | 20.0 | 9.7 | 11.7 | 34.1 | 55.1 | 165.1 | 201.6 | 201.3 | 174.3 | 69.5 | 19.7 | 20.3 |
| El Toro | 21.0 | 9.9 | 13.0 | 27.5 | 73.9 | 187.5 | 200.4 | 197.4 | 140.4 | 58.1 | 14.0 | 10.1 |
| San Lucas | 20.3 | 9.8 | 13.7 | 27.9 | 73.2 | 186.2 | 198.7 | 196.1 | 140.9 | 59.8 | 14.5 | 10.5 |

TABLA 5.3

VOLUMENES MEDIOS MENSUALES DE ESCURRIMIENTO DEDUCIDOS
MILES DE m³

| SITIO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|----------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|
| San Mateo | 42.70 | 5.30 | 27.50 | 48.10 | 56.30 | 347.80 | 524.10 | 566.90 | 748.20 | 371.50 | 134.50 | 27.10 |
| El Jilguero | 25.60 | 2.40 | 11.90 | 26.40 | 39.00 | 209.50 | 308.30 | 307.50 | 457.70 | 226.10 | 84.40 | 11.90 |
| San Francisco Xochicuautla | 18.00 | 4.80 | 12.10 | 24.90 | 38.00 | 188.10 | 293.40 | 278.10 | 413.40 | 213.30 | 77.70 | 9.40 |
| Flor de Gallo | 98.90 | 35.70 | 56.60 | 179.90 | 232.60 | 1 134.10 | 1 646.60 | 2 037.70 | 2 541.50 | 1 212.10 | 389.40 | 88.10 |
| Zolotepec | 88.60 | 35.10 | 54.50 | 189.60 | 231.40 | 1 163.50 | 1 638.50 | 2 181.30 | 2 713.40 | 1 280.70 | 373.20 | 105.60 |
| Mayorazgo | 61.97 | 37.38 | 47.38 | 161.21 | 167.53 | 912.09 | 1 338.76 | 1 733.62 | 2 105.83 | 1 146.78 | 311.64 | 54.94 |
| Zarco | 59.90 | 23.10 | 27.20 | 71.90 | 72.20 | 404.20 | 627.10 | 744.20 | 838.40 | 511.10 | 150.20 | 33.10 |
| San Mateo Capulhuac | 178.70 | 29.80 | 47.30 | 123.70 | 150.40 | 927.80 | 1 336.60 | 1 839.30 | 1 899.90 | 1 074.70 | 302.90 | 71.50 |
| Miranda | 140.60 | 27.00 | 37.10 | 83.00 | 97.90 | 758.20 | 1 187.60 | 1 590.50 | 1 608.70 | 945.40 | 252.00 | 87.90 |
| Cordero | 76.80 | 12.70 | 41.90 | 33.40 | 65.40 | 399.30 | 638.00 | 676.50 | 748.40 | 500.10 | 151.80 | 74.50 |
| La Planta | 96.00 | 30.58 | 33.39 | 45.32 | 91.08 | 695.26 | 1 053.47 | 1 531.04 | 1 371.85 | 703.73 | 183.49 | 72.40 |
| Vidado | 29.90 | 2.60 | 5.00 | 24.20 | 25.00 | 245.40 | 359.50 | 437.70 | 491.80 | 259.50 | 69.10 | 46.10 |
| La Miria | 27.06 | 1.92 | 3.38 | 26.78 | 25.16 | 249.93 | 357.03 | 445.16 | 509.93 | 263.17 | 68.42 | 53.10 |
| San Bartolo | 60.70 | 2.60 | 3.00 | 60.60 | 49.10 | 493.90 | 689.00 | 891.10 | 1 064.90 | 534.10 | 135.00 | 119.70 |
| San Lorenzo Malacota | 32.10 | 1.10 | 1.70 | 32.90 | 26.90 | 248.80 | 347.20 | 458.80 | 560.20 | 275.40 | 67.60 | 59.70 |
| La Garita | 29.60 | 2.10 | 2.40 | 37.00 | 37.90 | 293.50 | 411.40 | 532.70 | 606.90 | 305.20 | 73.20 | 64.80 |
| Tabernillas | 29.20 | 5.30 | 25.00 | 16.00 | 40.70 | 91.30 | 247.10 | 256.10 | 258.50 | 152.00 | 44.60 | 13.30 |
| La Pila | 23.70 | 9.30 | 28.30 | 24.30 | 78.10 | 160.00 | 267.20 | 328.40 | 205.40 | 163.40 | 60.60 | 25.90 |
| La Guajolota | 33.70 | 16.60 | 41.10 | 38.30 | 131.40 | 231.70 | 413.20 | 511.60 | 281.00 | 237.90 | 102.80 | 41.60 |
| San Ildefonso | 16.60 | 8.90 | 12.60 | 19.00 | 50.90 | 98.80 | 291.20 | 192.80 | 151.60 | 139.10 | 69.70 | 20.00 |
| El Salto | 10.49 | 2.36 | 7.13 | 6.54 | 70.43 | 37.42 | 94.28 | 108.85 | 91.78 | 60.08 | 24.59 | 5.91 |
| Mostejé | 17.74 | 2.26 | 3.94 | 11.58 | 14.86 | 140.04 | 210.60 | 247.52 | 341.82 | 171.55 | 41.00 | 31.17 |
| La Manzanita | 17.28 | 0.78 | 0.94 | 17.88 | 15.30 | 142.61 | 199.02 | 263.31 | 311.87 | 153.94 | 38.17 | 34.44 |
| El Toro | 25.81 | 5.91 | 13.58 | 10.38 | 25.95 | 131.70 | 181.23 | 195.85 | 172.58 | 102.02 | 36.26 | 20.48 |
| San Lucas | 18.97 | 4.09 | 9.64 | 6.95 | 18.24 | 95.12 | 129.98 | 138.05 | 126.40 | 77.12 | 26.83 | 13.87 |

TABLA 5.4

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL FUNCIONAMIENTO DE VASO

| No. | S I T I O | Altura total de cortina (m) | Capacidad total del vaso (miles m ³) | Capacidad útil (miles m ³) | Capacidad de azolves (miles m ³) | Area inundada (ha) | Area regada (ha) | % aprovechamiento | % de rrames | % evaporación | % deficiencias |
|-----|----------------------------|-----------------------------|--|--|--|----------------------|--------------------|-------------------|-------------|---------------|----------------|
| 1 | San Mateo | 47.8 | 3483.8 | 2679.8 | 803.9 | 17.6 | 715.1 | 94.2 | 4.9 | 0.9 | 4.7 |
| 2 | El Jilguero | 40.9 | 2041.3 | 1570.2 | 471.1 | 12.4 | 414.8 | 93.0 | 4.9 | 2.1 | 4.3 |
| 3 | San Francisco Xochicuautla | 17.4 | 1872.5 | 1440.4 | 432.1 | 21.7 | 376.7 | 92.0 | 4.5 | 4.0 | 4.3 |
| 4 | Flor de Gallo | 17.6 | 11552.8 | 8886.8 | 2666.0 | 108.8 | 2347.6 | 92.9 | 4.6 | 2.6 | 4.7 |
| 5 | Zolotepec | 70.2 | 12029.0 | 9246.2 | 2773.8 | 51.6 | 2467.2 | 93.9 | 5.0 | 1.0 | 4.5 |
| 6 | Mayorazgo | 60.5 | 9699.1 | 7460.8 | 2238.2 | 39.3 | 1990.8 | 94.6 | 4.7 | 0.7 | 4.2 |
| 7 | Zarco | 4.5 | 4218.8 | 3245.2 | 973.6 | 84.6 | 848.7 | 90.9 | 4.4 | 5.3 | 4.8 |
| 8 | San Mateo Capulhuac | 41.4 | 9535.9 | 7335.3 | 2200.6 | 55.2 | 1937.7 | 93.3 | 5.0 | 1.7 | 4.0 |
| 9 | Miranda | 37.7 | 8156.7 | 6274.4 | 1882.3 | 61.2 | 1657.5 | 92.7 | 5.0 | 2.2 | 4.9 |
| 10 | Cordero | 13.8 | 4023.4 | 3095.0 | 928.5 | 61.7 | 801.3 | 90.1 | 5.1 | 4.8 | 4.1 |
| 11 | La Planta | 8.7 | 7062.5 | 5432.7 | 1629.8 | 136.7 | 1378.6 | 89.2 | 4.8 | 6.2 | 4.6 |
| 12 | Vidado | 27.9 | 2431.3 | 1870.2 | 561.1 | 19.0 | 489.1 | 93.6 | 4.4 | 2.0 | 4.7 |
| 13 | La Hirla | 8.9 | 2467.8 | 1898.3 | 569.5 | 41.9 | 486.6 | 91.4 | 4.6 | 4.0 | 4.9 |
| 14 | San Bartolo | 53.7 | 4981.1 | 3831.6 | 1149.5 | 22.9 | 1012.2 | 94.1 | 4.8 | 1.1 | 4.8 |
| 15 | San Lorenzo M. Jacota | 34.7 | 2568.0 | 1975.4 | 592.6 | 20.5 | 516.6 | 93.7 | 4.5 | 1.8 | 4.4 |
| 16 | La Garita | 36.8 | 2926.9 | 2251.4 | 675.4 | 20.9 | 588.8 | 94.2 | 4.1 | 1.6 | 4.3 |
| 17 | Tabernillas | 30.1 | 1360.9 | 1046.9 | 314.1 | 13.2 | 279.3 | 90.8 | 4.8 | 4.4 | 4.3 |
| 18 | La Pila | 9.6 | 1557.5 | 1190.1 | 359.4 | 24.2 | 316.5 | 88.1 | 4.3 | 7.6 | 4.5 |
| 19 | La Guajolota | 9.0 | 2345.3 | 1804.1 | 541.2 | 46.9 | 471.8 | 86.5 | 4.4 | 9.1 | 4.8 |
| 20 | San Ildefonso | 8.2 | 1213.3 | 933.3 | 280.0 | 29.0 | 239.2 | 85.3 | 4.7 | 10.1 | 4.7 |
| 21 | El Salto | 24.2 | 544.1 | 418.6 | 125.6 | 5.1 | 110.6 | 90.3 | 4.8 | 4.9 | 4.2 |
| 22 | Hostejé | 17.1 | 1485.6 | 1142.8 | 342.8 | 20.2 | 295.9 | 91.5 | 5.0 | 3.5 | 4.8 |
| 23 | La Manzanita | 13.9 | 1452.4 | 1117.2 | 335.2 | 18.3 | 289.3 | 92.4 | 4.8 | 2.8 | 4.7 |
| 24 | El Toro | 10.1 | 1068.6 | 822.0 | 246.6 | 20.8 | 212.8 | 89.8 | 4.8 | 6.4 | 4.0 |
| 26 | San Lucas | 9.8 | 777.5 | 598.1 | 179.4 | 14.0 | 154.8 | 89.2 | 4.8 | 6.0 | 4.4 |

TABLA 5.5

VOLUMENES QUE PODRIAN EXTRAERSE DE LOS VASOS

| SITIO | EXTRACCIONES EN MILES DE m ³ | | |
|----------------------------|---|----------|----------|
| | FEB | MAR | ABR |
| San Mateo | 1 072.59 | 1 072.59 | 586.46 |
| El Jilguero | 622.18 | 622.18 | 346.31 |
| San Francisco Xochicuautla | 565.04 | 565.04 | 314.85 |
| Flor de Gallo | 3 521.35 | 3 521.35 | 1 923.04 |
| Zolotepec | 3 700.76 | 3 700.76 | 2 044.91 |
| Mayorazgo | 2 986.18 | 2 986.18 | 1 669.31 |
| Zarco | 1 273.04 | 1 273.04 | 693.07 |
| San Mateo Capulhuac | 2 906.60 | 2 906.60 | 1 637.02 |
| Miranda | 2 486.20 | 2 486.20 | 1 349.15 |
| Cordero | 1 201.96 | 1 201.96 | 675.58 |
| La Planta | 2 067.86 | 2 067.86 | 1 135.14 |
| Vidado | 733.65 | 733.65 | 401.47 |
| La Mirla | 729.86 | 729.86 | 395.99 |
| San Bartolo | 1 518.26 | 1 518.26 | 826.10 |
| San Lorenzo Malacota | 774.90 | 774.90 | 430.41 |
| La Garita | 883.20 | 883.20 | 492.21 |
| Tabernillas | 419.01 | 419.01 | 232.85 |
| La Pila | 474.73 | 474.73 | 261.43 |
| La Guajolota | 707.71 | 707.71 | 384.52 |
| San Ildefonso | 358.82 | 358.82 | 195.94 |
| El Salto | 165.85 | 165.85 | 92.71 |
| Mostejé | 443.80 | 443.80 | 241.44 |
| La Manzanita | 433.88 | 433.88 | 236.89 |
| El Toro | 319.22 | 319.22 | 180.14 |
| San Lucas | 232.27 | 232.27 | 128.91 |

TABLA 5.6

GASTOS DE DISEÑO OBTENIDOS CON LA APLICACION DE LA REGIONALIZACION DE GASTOS MAXIMOS

| SITIO | Ar (km ²) | L (km) | S | P (mm) | I (mm) | Y (Tr) | A | B | Q (Tr) (m ³ /s) |
|----------------------------|--------------------------|-----------|--------|-----------|-----------|--------|-------|-------|-------------------------------|
| San Mateo | 14.98 | 8.700 | 0.0626 | 1 144.7 | 58.07 | 4.0 | 18.49 | 29.49 | 103.45* |
| El Jfiguero | 9.63 | 3.000 | 0.1019 | 932.5 | 60.64 | 4.0 | 25.63 | 38.98 | 141.50* |
| San Francisco Xochicuautla | 9.38 | 3.950 | 0.0837 | 948.2 | 64.80 | 4.0 | 24.66 | 37.84 | 136.48* |
| Flor de Gallo | 49.27 | 12.545 | 0.0340 | 1 046.1 | 69.00 | 4.0 | 34.49 | 51.19 | 189.15* |
| Zolotepec | 48.38 | 14.630 | 0.0348 | 1 083.1 | 80.70 | 4.0 | 43.94 | 65.44 | 241.70* |
| Mayorazgo | 39.24 | 10.340 | 0.0730 | 1 117.2 | 83.20 | 4.0 | 66.68 | 98.82 | 365.54* |
| Zarco | 19.90 | 11.000 | 0.0418 | 1 045.5 | 72.30 | 4.0 | 26.12 | 40.25 | 144.73* |
| San Mateo Capulhuac | 44.13 | 15.890 | 0.0408 | 982.3 | 69.10 | 4.0 | 42.69 | 62.03 | 232.79* |
| Miranda | 39.39 | 16.395 | 0.0515 | 971.2 | 61.50 | 4.0 | 34.04 | 49.75 | 185.91* |
| Cordero | 25.88 | 16.480 | 0.0369 | 952.0 | 60.00 | 4.0 | 21.16 | 31.76 | 116.40* |
| La Planta | 36.20 | 11.070 | 0.0246 | 969.4 | 61.50 | 4.0 | 19.87 | 29.80 | 109.28 |
| Vidado | 11.44 | 8.810 | 0.0800 | 982.3 | 56.40 | 4.0 | 20.13 | 31.08 | 111.60* |
| La Miria | 11.22 | 6.210 | 0.0702 | 982.3 | 56.80 | 4.0 | 18.49 | 28.68 | 102.64* |
| San Bartolo | 21.38 | 11.350 | 0.0677 | 982.3 | 60.13 | 4.0 | 28.15 | 42.23 | 154.83* |
| San Lorenzo Malacota | 10.75 | 5.260 | 0.1029 | 982.8 | 64.20 | 4.0 | 29.13 | 44.56 | 161.08* |
| La Garita | 12.50 | 11.120 | 0.0622 | 987.3 | 65.50 | 4.0 | 23.27 | 35.88 | 128.96* |
| Tabernillas | 11.00 | 5.250 | 0.0838 | 819.0 | 54.40 | 4.0 | 21.87 | 32.28 | 119.76* |
| La Pila | 11.45 | 7.740 | 0.0422 | 825.0 | 66.80 | 4.0 | 20.35 | 30.40 | 111.80* |
| La Guajolota | 16.98 | 9.590 | 0.0262 | 810.0 | 70.80 | 4.0 | 20.53 | 31.74 | 113.86* |
| San Ildefonso | 12.02 | 6.420 | 0.0139 | 808.3 | 81.70 | 4.0 | 14.51 | 22.06 | 80.10* |
| El Salto | 4.47 | 4.640 | 0.0932 | 783.0 | 55.70 | 4.0 | 15.74 | 23.91 | 86.87* |
| Mostejé | 6.79 | 4.350 | 0.0595 | 982.3 | 57.20 | 4.0 | 12.84 | 20.52 | 71.88* |
| La Manzanita | 6.17 | 5.850 | 0.0713 | 982.5 | 59.30 | 4.0 | 14.71 | 23.46 | 82.30* |
| El Toro | 8.78 | 7.645 | 0.0240 | 953.1 | 66.84 | 4.0 | 10.86 | 17.37 | 60.81* |
| San Lucas | 6.23 | 8.080 | 0.0338 | 951.6 | 65.80 | 4.0 | 11.09 | 17.85 | 62.21* |

* Gastos de diseño seleccionados

Fuente: Ref. 4

TABLA 5.7

GASTOS DE DISEÑO OBTENIDOS POR PMP

| SITIO | t_c (h) | PMP _c (mm) | PMP (mm) | TIPO DE SUELO | H | h_e (mm) | A (km ²) | n | d = Δt (h) | t_p (h) | T_b (h) | Q_p (m ³ /s) |
|----------------------------|--------------|--------------------------|-------------|------------------|-------|---------------|-------------------------|-----|---------------|--------------|--------------|------------------------------|
| San Mateo | 1.85 | 161.6 | 113.1 | B | 65.52 | 33.9 | 14.98 | 2.0 | 6.00 | 3.93 | 7.86 | 35.92 |
| El Jilguero | 0.80 | 162.5 | 113.7 | C | 75.90 | 53.4 | 9.63 | 2.0 | 6.00 | 3.40 | 6.80 | 42.05 |
| San Francisco Xochicuautla | 1.02 | 162.5 | 113.8 | C | 82.04 | 66.6 | 9.38 | 2.0 | 6.00 | 3.51 | 7.02 | 49.48 |
| Flor de Gallo | 2.84 | 156.1 | 109.3 | C | 80.20 | 58.7 | 49.27 | 2.0 | 6.00 | 4.42 | 8.84 | 101.90 |
| Zolotepec | 3.11 | 156.3 | 109.4 | B | 68.61 | 36.7 | 48.39 | 2.0 | 6.00 | 4.56 | 9.12 | 108.25 |
| Mayorazgo | 1.96 | 157.7 | 110.4 | B | 70.75 | 41.1 | 39.24 | 2.0 | 6.00 | 3.99 | 7.96 | 112.65 |
| Zarco | 2.44 | 160.8 | 112.6 | B | 74.23 | 49.2 | 19.90 | 2.0 | 6.00 | 4.22 | 8.44 | 64.50 |
| San Mateo Capulhuac | 2.94 | 156.9 | 109.9 | B | 70.13 | 39.6 | 44.13 | 2.0 | 6.00 | 4.47 | 8.94 | 108.68 |
| Miranda | 2.95 | 157.7 | 110.4 | B | 69.63 | 39.1 | 39.39 | 2.0 | 6.00 | 4.48 | 8.96 | 95.57 |
| Cordero | 3.29 | 159.9 | 111.9 | C | 83.03 | 67.2 | 25.88 | 2.0 | 6.00 | 4.65 | 9.30 | 103.97 |
| La Planta | 2.91 | 158.2 | 110.8 | C | 82.42 | 64.8 | 36.20 | 2.0 | 6.00 | 4.46 | 8.92 | 146.22* |
| Vidado | 1.72 | 162.2 | 113.5 | B | 72.87 | 47.3 | 11.44 | 2.0 | 6.00 | 3.86 | 7.72 | 38.97 |
| La Miria | 1.43 | 162.2 | 113.5 | C | 80.64 | 63.3 | 11.22 | 2.0 | 6.00 | 3.72 | 7.44 | 53.08 |
| San Bartolo | 2.14 | 160.6 | 112.4 | B | 71.52 | 44.0 | 21.38 | 2.0 | 6.00 | 4.07 | 8.14 | 64.26 |
| San Lorenzo Malacota | 1.14 | 162.3 | 113.6 | B | 68.18 | 38.8 | 10.75 | 2.0 | 6.00 | 3.57 | 7.14 | 32.48 |
| La Grita | 2.17 | 162.0 | 113.4 | B | 68.11 | 38.5 | 12.50 | 2.0 | 6.00 | 4.09 | 8.18 | 32.71 |
| Tabernillas | 1.22 | 162.2 | 113.6 | C | 80.76 | 63.6 | 11.00 | 2.0 | 6.00 | 3.61 | 7.22 | 53.88 |
| La Pila | 1.94 | 162.2 | 113.5 | B | 75.84 | 53.2 | 11.45 | 2.0 | 6.00 | 3.97 | 7.94 | 42.66 |
| La Guajolota | 2.60 | 161.3 | 112.9 | B | 75.21 | 51.4 | 16.98 | 2.0 | 6.00 | 4.30 | 8.60 | 56.43 |
| San Ildefonso | 2.46 | 162.1 | 113.5 | B | 77.17 | 55.8 | 12.02 | 2.0 | 6.00 | 4.23 | 8.46 | 44.08 |
| El Salto | 1.09 | 163.3 | 114.3 | B | 69.04 | 40.8 | 4.47 | 2.0 | 6.00 | 3.55 | 7.10 | 14.28 |
| Mostejé | 1.20 | 162.9 | 114.0 | C | 84.42 | 72.3 | 6.79 | 2.0 | 6.00 | 3.60 | 7.20 | 37.91 |
| La Manzanita | 1.37 | 163.0 | 114.1 | B | 72.80 | 47.6 | 6.17 | 2.0 | 6.00 | 3.69 | 7.38 | 22.13 |
| El Toro | 2.31 | 162.6 | 113.8 | C | 83.74 | 70.5 | 8.78 | 2.0 | 6.00 | 4.16 | 8.32 | 41.37 |
| San Lucas | 2.15 | 163.0 | 114.1 | C | 84.03 | 71.4 | 6.23 | 2.0 | 6.00 | 4.08 | 8.16 | 30.31 |

* Gasto de diseño seleccionado.

TABLA 5.8

DETERMINACION DE COSTOS

| SITIO | CORDENA | | | | IONA | | PERIODO | | | | | | | | | | Costo Total (Mill. \$) | Area Regada (ha) | Costo Unitario (Mill. \$/ha) |
|---------------------------|------------|--------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------|------------|--------------|--|--|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------|------------------------|------------------|------------------------------|
| | Altura (m) | Longitud (m) | Volumen (Mill. m ³) | Costo (Mill. \$) | Q dia (m ³ /d) | Costo (Mill. \$) | Q dia (m ³ /s) | Ancho (m) | Altura (m) | Longitud (m) | Volumen Concreto (Mill. m ³) | Volumen Excavacion (Mill. m ³) | Costo Concreto (Mill. \$) | Costo Excavacion (Mill. \$) | Costo Vertedor (Mill. \$) | | | | |
| San Mateo | 48.30 | 322.26 | 689.82 | 90.81 | 0.41 | 0.37 | 103.85 | 6.15 | 4.05 | 231.49 | 1.04 | 4.64 | 3.32 | 1.51 | 4.63 | 95.61 | 715.10 | 131.70 | |
| El Jilguero | 41.60 | 197.99 | 327.01 | 47.23 | 0.24 | 0.22 | 141.50 | 6.97 | 4.58 | 201.82 | 1.01 | 7.37 | 3.04 | 1.44 | 4.69 | 52.12 | 414.80 | 125.65 | |
| San Francisco Kochiavilla | 17.90 | 618.54 | 274.94 | 33.49 | 0.22 | 0.20 | 136.48 | 6.87 | 4.53 | 88.10 | 0.84 | 3.18 | 1.31 | 0.75 | 2.01 | 32.70 | 316.70 | 94.77 | |
| Flor de Gallo | 10.10 | 917.08 | 509.74 | 70.40 | 1.16 | 1.15 | 189.15 | 7.82 | 5.15 | 89.01 | 0.90 | 4.08 | 1.50 | 0.90 | 2.40 | 71.95 | 2 347.60 | 21.50 | |
| Colatepec | 10.10 | 228.65 | 867.45 | 114.59 | 1.43 | 1.20 | 241.20 | 8.62 | 5.68 | 216.32 | 2.68 | 14.57 | 4.24 | 4.08 | 10.32 | 126.11 | 2 467.20 | 51.11 | |
| Najarega | 60.90 | 629.83 | 1 815.53 | 236.16 | 1.15 | 1.01 | 105.54 | 10.17 | 6.71 | 292.01 | 2.12 | 22.01 | 6.35 | 4.84 | 11.20 | 248.37 | 1 990.20 | 124.76 | |
| Najarega | 5.00 | 863.04 | 18.94 | 3.63 | 0.49 | 0.44 | 144.73 | 7.03 | 4.63 | 20.75 | 0.15 | 1.51 | 0.44 | 0.24 | 0.67 | 4.22 | 814.70 | 5.56 | |
| Taru | 41.90 | 783.35 | 1 007.94 | 130.47 | 1.12 | 0.98 | 232.79 | 8.50 | 5.60 | 204.24 | 1.24 | 14.37 | 4.73 | 3.14 | 8.74 | 117.49 | 1 937.70 | 73.01 | |
| San Mateo Cuquihuc | 34.20 | 576.43 | 467.97 | 65.38 | 0.36 | 0.36 | 105.91 | 7.77 | 5.12 | 189.22 | 1.05 | 4.49 | 1.14 | 1.87 | 5.00 | 71.24 | 1 657.50 | 42.94 | |
| Niraula | 14.30 | 943.18 | 126.49 | 20.23 | 0.46 | 0.42 | 116.43 | 6.45 | 4.25 | 71.53 | 0.31 | 2.29 | 1.00 | 0.50 | 1.51 | 27.16 | 831.30 | 27.64 | |
| Cardero | 9.20 | 170.50 | 31.81 | 5.13 | 0.00 | 0.12 | 146.22 | 7.06 | 4.15 | 48.07 | 0.24 | 1.82 | 0.73 | 0.40 | 1.11 | 7.98 | 1 378.60 | 5.79 | |
| La Planta | 28.60 | 467.69 | 369.80 | 52.90 | 0.28 | 0.25 | 111.60 | 6.14 | 4.18 | 136.38 | 0.63 | 4.24 | 1.68 | 0.91 | 2.81 | 51.26 | 449.10 | 134.11 | |
| La Miria | 9.40 | 1 232.71 | 189.09 | 22.61 | 0.20 | 0.25 | 132.64 | 6.13 | 4.04 | 40.99 | 0.22 | 1.43 | 0.65 | 0.31 | 0.97 | 23.83 | 425.60 | 82.97 | |
| San Bartolo | 54.20 | 438.59 | 1 181.59 | 169.14 | 0.55 | 0.51 | 154.81 | 7.23 | 4.74 | 260.82 | 1.36 | 12.31 | 4.07 | 2.27 | 6.35 | 156.27 | 1 037.20 | 154.34 | |
| San Lorenzo Matacota | 35.20 | 549.83 | 469.82 | 65.60 | 0.20 | 0.27 | 111.03 | 7.14 | 4.04 | 173.42 | 0.92 | 7.08 | 2.75 | 1.56 | 4.31 | 70.19 | 918.80 | 115.85 | |
| La Garita | 37.30 | 271.21 | 281.37 | 38.33 | 0.24 | 0.21 | 129.96 | 6.72 | 4.43 | 183.08 | 0.89 | 4.34 | 2.67 | 1.39 | 4.06 | 42.70 | 548.00 | 12.52 | |
| San Mateo | 10.60 | 562.11 | 306.20 | 44.40 | 0.16 | 0.15 | 119.74 | 6.52 | 4.30 | 152.26 | 0.72 | 4.89 | 2.15 | 1.10 | 3.25 | 47.80 | 219.30 | 171.14 | |
| San Mateo | 10.10 | 364.87 | 67.02 | 11.60 | 0.18 | 0.18 | 111.80 | 6.35 | 4.18 | 52.32 | 0.26 | 1.43 | 0.72 | 0.36 | 1.09 | 17.92 | 316.50 | 80.83 | |
| La Pila | 9.50 | 362.36 | 22.71 | 4.18 | 0.27 | 0.24 | 113.86 | 6.29 | 4.21 | 49.45 | 0.23 | 1.54 | 0.69 | 0.34 | 1.03 | 6.05 | 493.80 | 12.82 | |
| La Bujolota | 8.66 | 407.20 | 26.38 | 5.24 | 0.14 | 0.12 | 80.10 | 5.94 | 3.66 | 45.38 | 0.18 | 1.11 | 0.55 | 0.24 | 0.80 | 6.16 | 219.20 | 25.75 | |
| San Blas | 24.74 | 240.07 | 110.79 | 18.02 | 0.06 | 0.04 | 96.87 | 5.74 | 3.78 | 119.54 | 0.50 | 3.08 | 1.50 | 0.68 | 2.18 | 20.26 | 110.60 | 183.18 | |
| La Pila | 17.64 | 587.45 | 187.16 | 29.49 | 0.17 | 0.15 | 71.88 | 5.32 | 3.53 | 96.90 | 0.14 | 1.94 | 1.01 | 0.43 | 1.44 | 19.08 | 795.90 | 101.66 | |
| La Miria | 14.36 | 835.37 | 224.32 | 32.45 | 0.17 | 0.15 | 82.30 | 5.62 | 3.70 | 31.80 | 0.29 | 1.79 | 0.88 | 0.39 | 1.27 | 34.67 | 209.10 | 120.53 | |
| El Tolu | 10.64 | 318.12 | 27.32 | 6.18 | 0.12 | 0.11 | 60.61 | 4.94 | 3.28 | 54.70 | 0.20 | 1.09 | 0.60 | 0.24 | 0.84 | 7.31 | 212.80 | 34.45 | |
| San Lucas | 10.34 | 315.20 | 29.90 | 5.81 | 0.09 | 0.08 | 64.21 | 5.07 | 3.31 | 62.32 | 0.20 | 1.08 | 0.59 | 0.24 | 0.83 | 6.72 | 154.80 | 41.47 | |

TABLA 6.1

SITIOS MAS ATRACTIVOS DE ESTUDIARSE EN UNA ETAPA POSTERIOR

| S I T I O | Vol. Esc. (Mill. m ³) | Area Regada (ha) | Costo total (Mill. \$) | Costo de Riego (Miles \$/ha) |
|----------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------------|
| San Mateo | 2.90 | 715.1 | 95.61 | 133.70 |
| Flor de Gallo | 9.65 | 2 347.6 | 73.95 | 31.50 |
| Zolotepec | 10.05 | 2 467.2 | 126.11 | 51.11 |
| Zarco | 3.56 | 848.7 | 4.72 | 5.56 |
| San Mateo Capulhuac | 7.98 | 1 937.7 | 137.59 | 71.01 |
| Miranda | 6.82 | 1 657.5 | 71.24 | 42.98 |
| La Mirla | 2.03 | 486.6 | 23.83 | 48.97 |
| San Lorenzo Malacota | 2.11 | 516.6 | 70.18 | 135.85 |
| La Garita | 2.40 | 588.8 | 42.70 | 72.52 |
| T O T A L | 47.50 | 11 565.8 | 645.93 | 55.85 |

FIGURAS

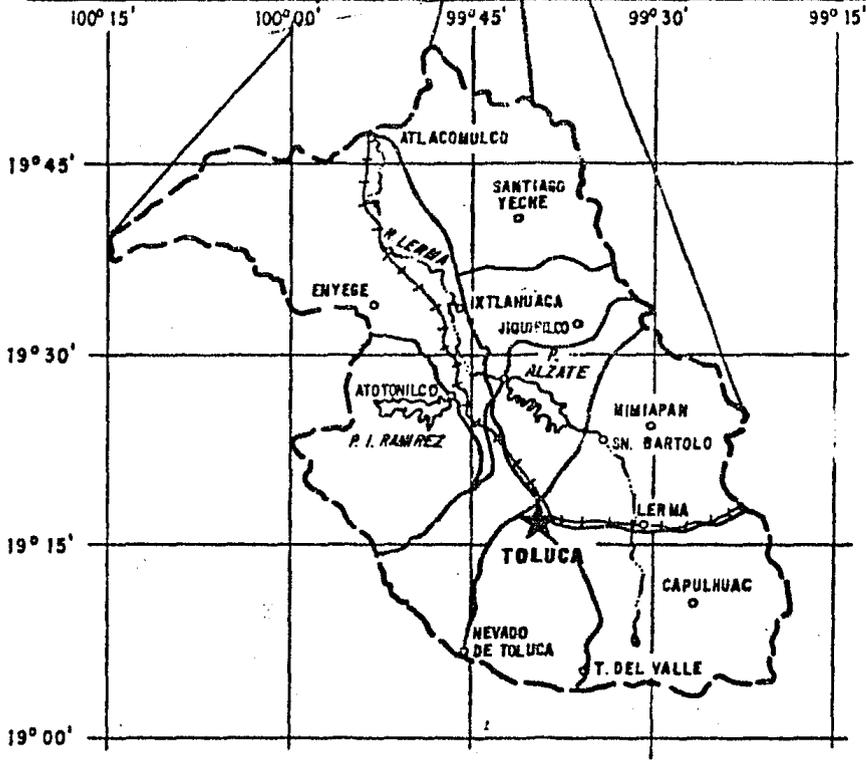
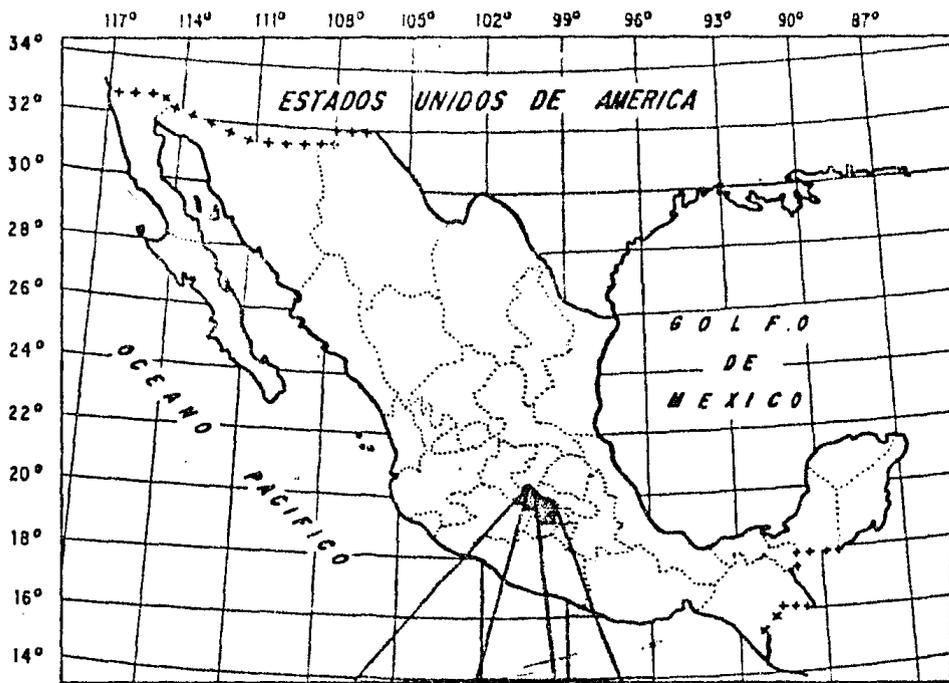
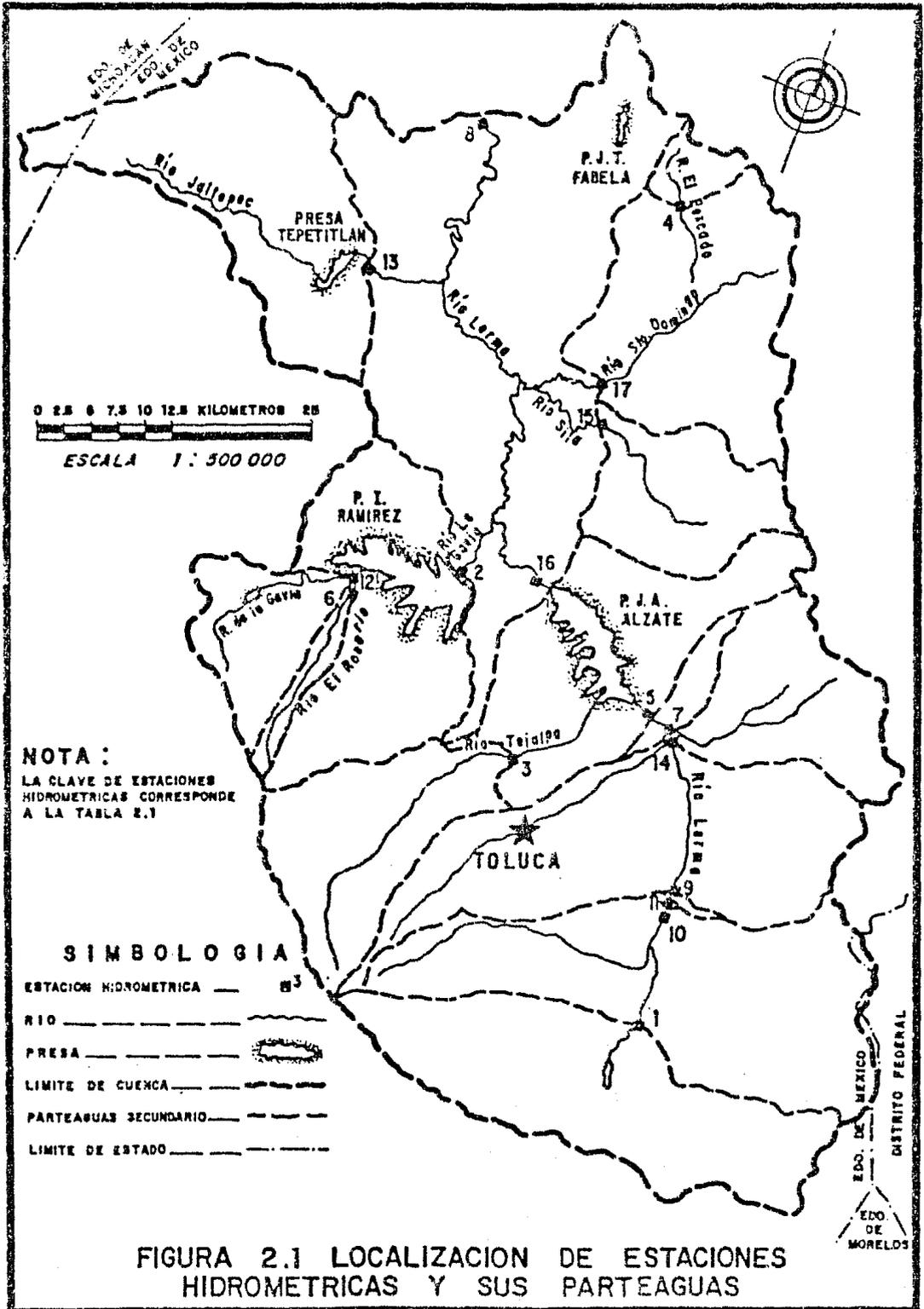


FIGURA 1.1 LOCALIZACION DE LA ZONA EN ESTUDIO



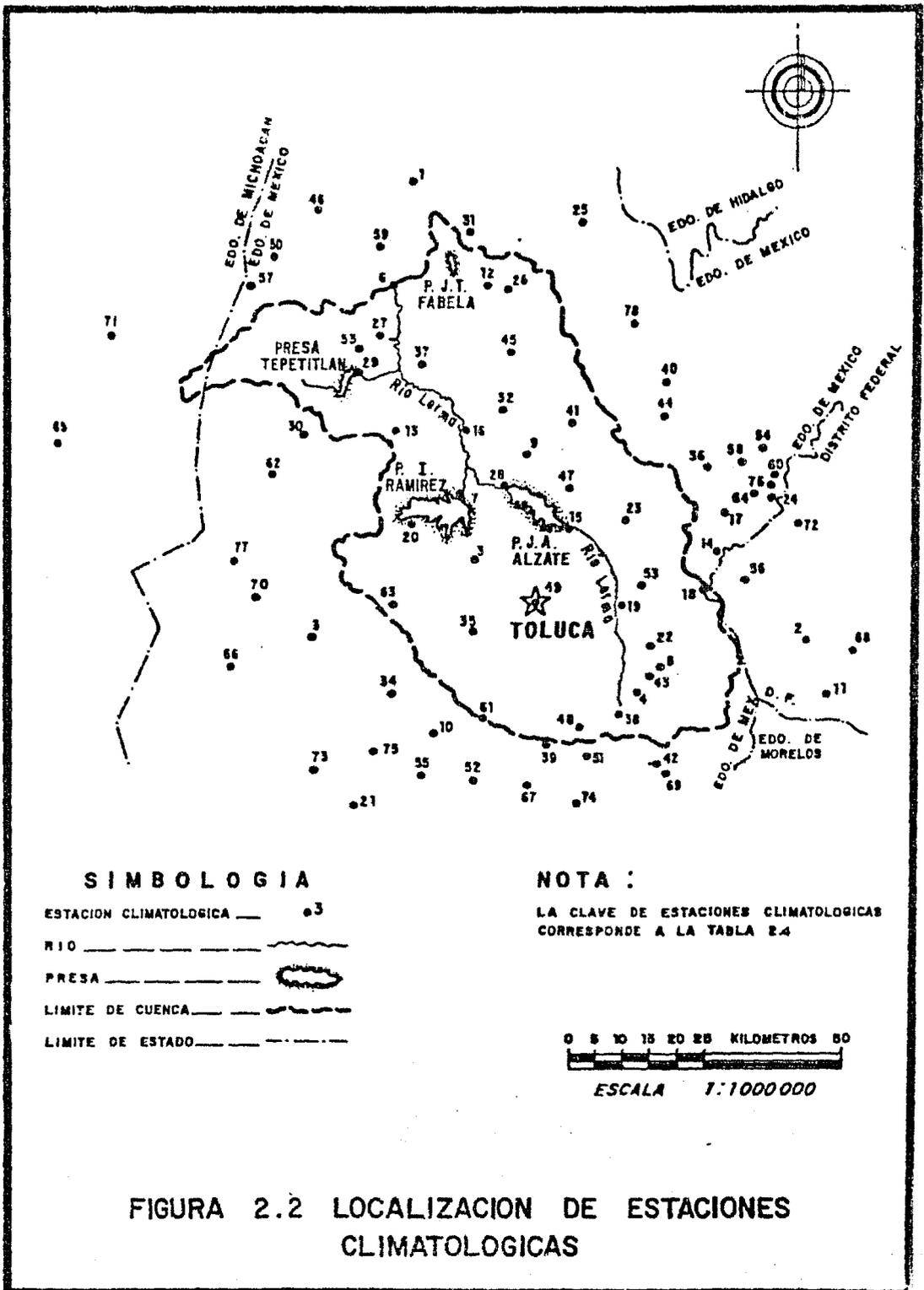


FIGURA 2.2 LOCALIZACION DE ESTACIONES CLIMATOLOGICAS

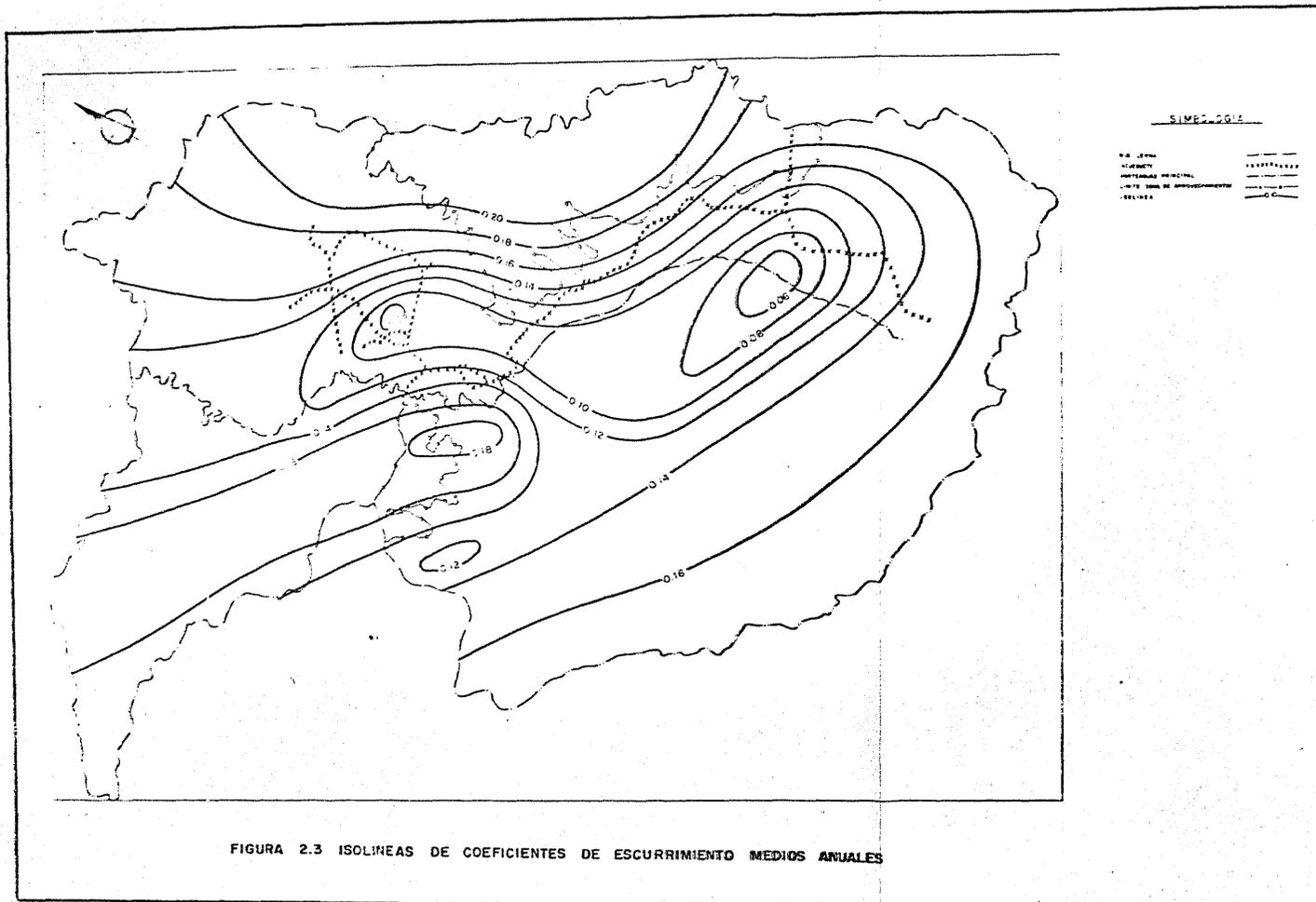
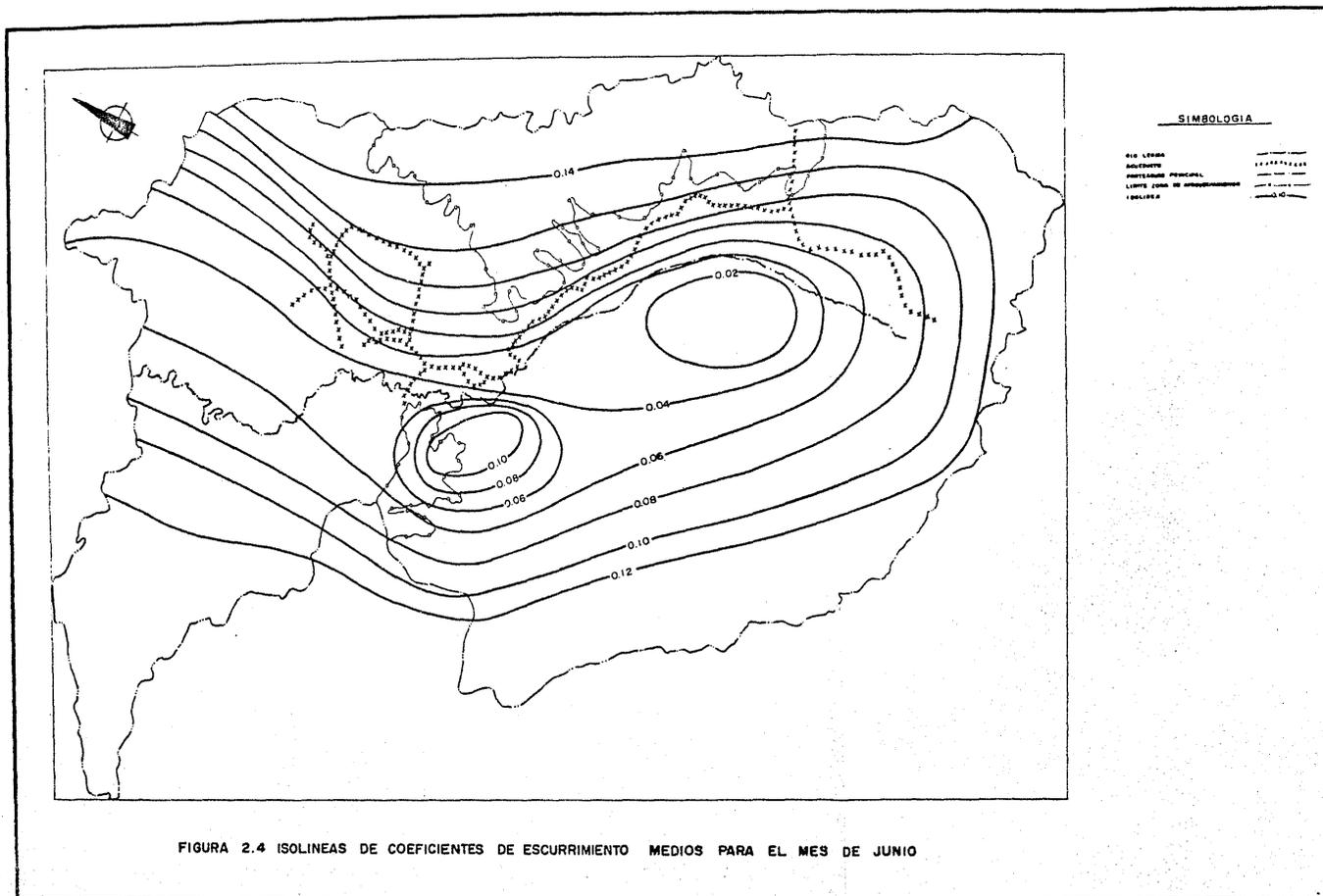


FIGURA 2.3 ISOLINEAS DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO MEDIOS ANUALES



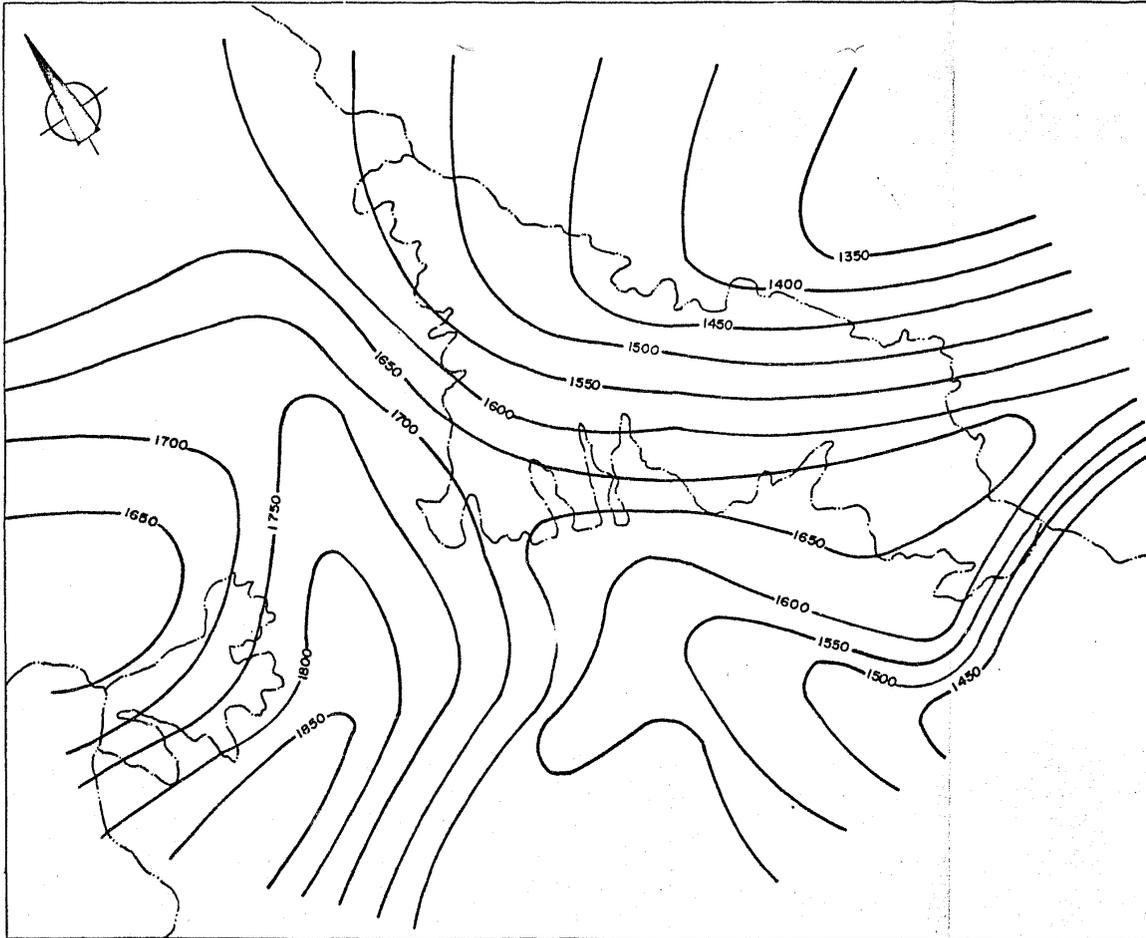
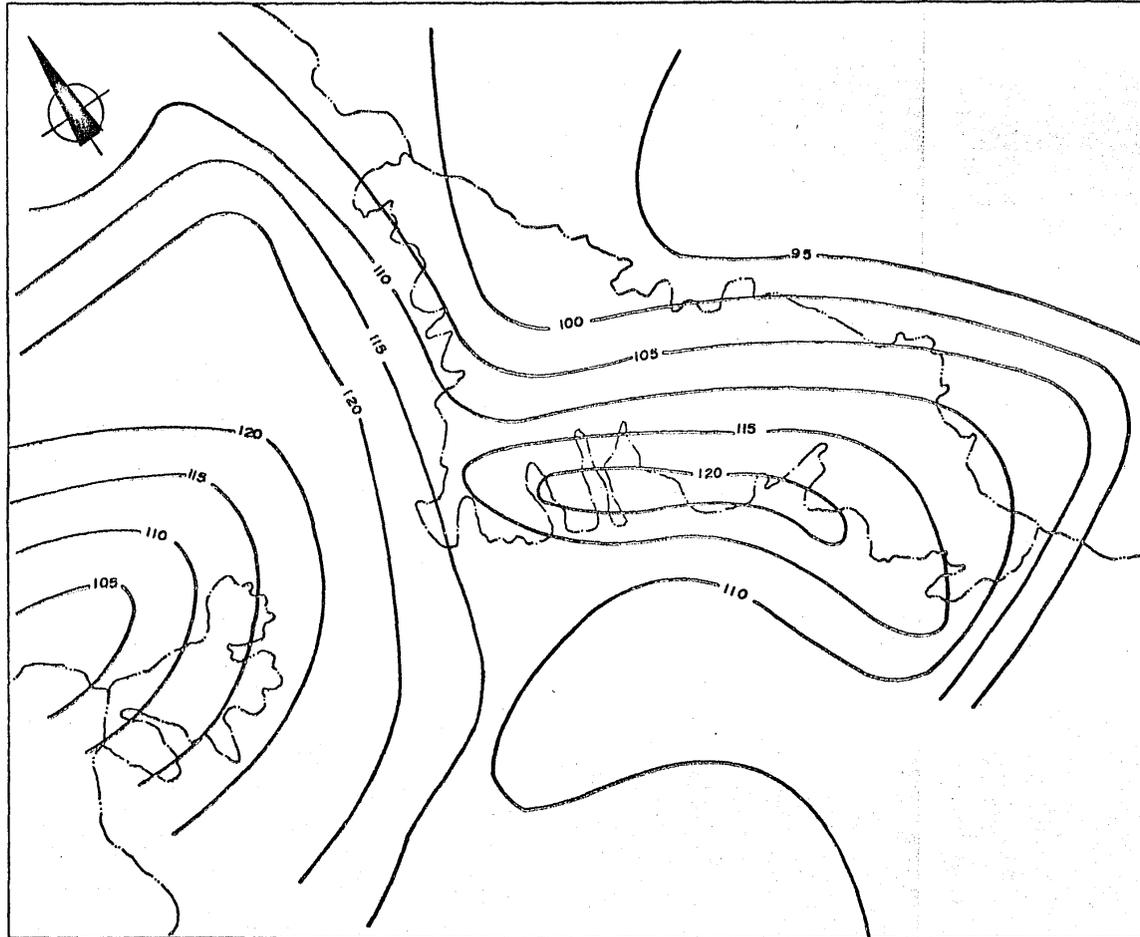


FIGURA 2.5 ISOLINEAS DE EVAPORACION MEDIA ANUAL



SIMBOLOGIA

- FRONTERAS PRINCIPAL 
- LIMITE ZONA DE APROVECHAMIENTO 
- ISOLINEA 

FIGURA 2.6 ISOLINEAS DE EVAPORACION MEDIA PARA EL MES DE SEPT.

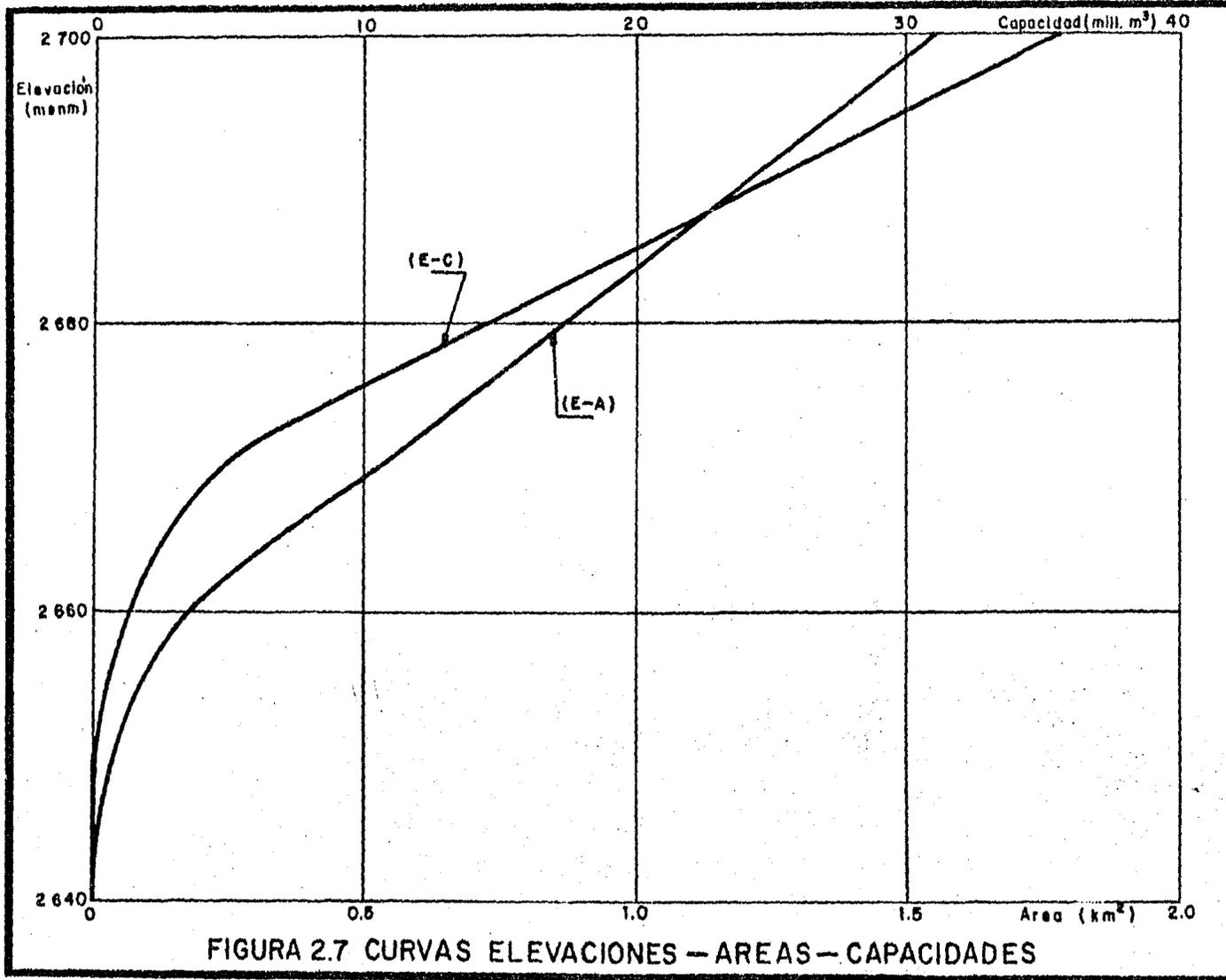


FIGURA 2.7 CURVAS ELEVACIONES - AREAS - CAPACIDADES

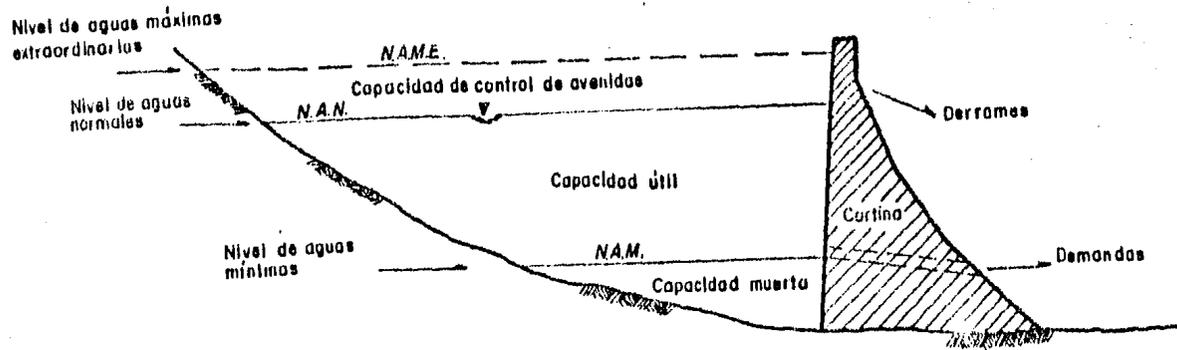


FIGURA 2.8 ZONAS DE EMBALSE

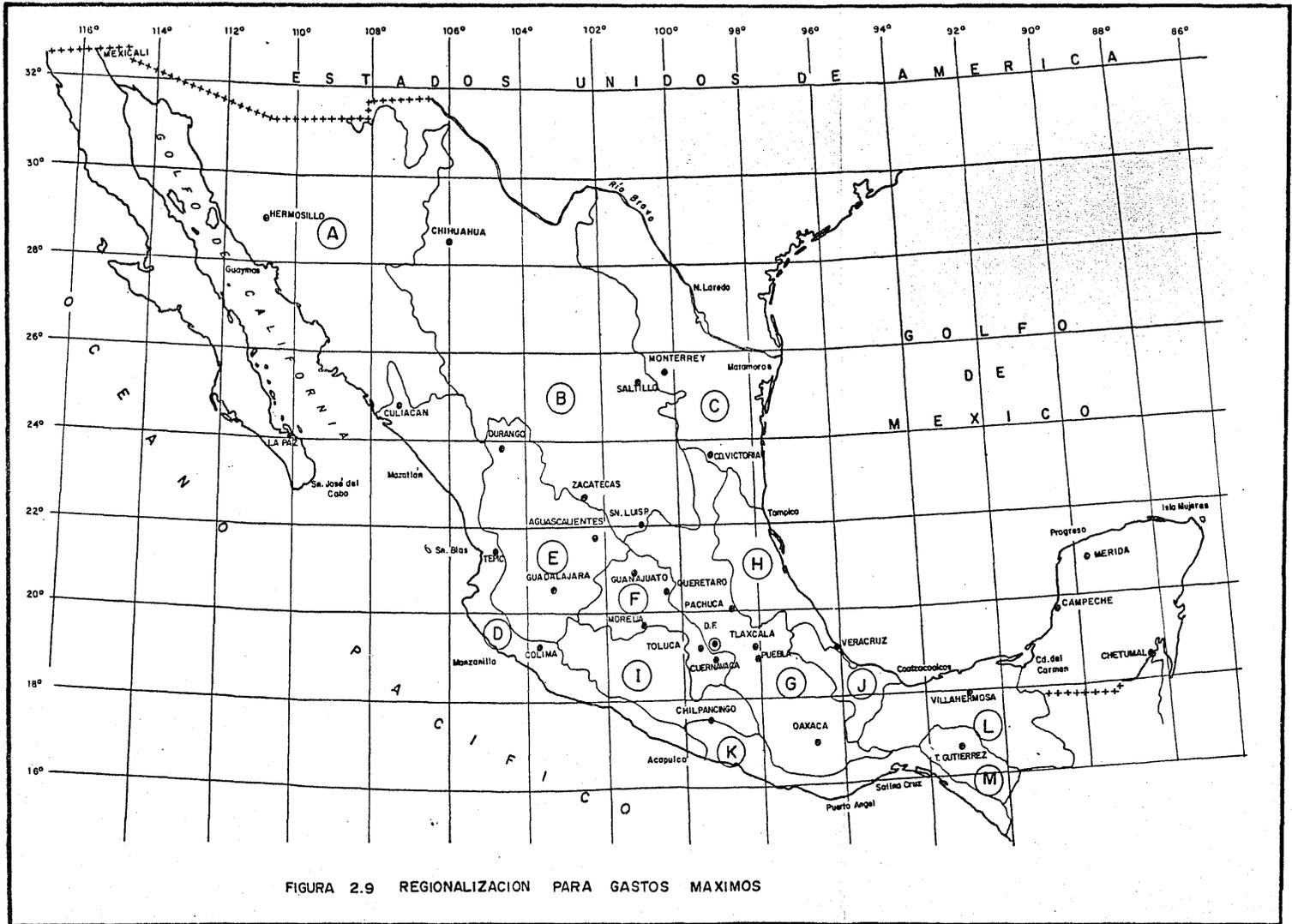
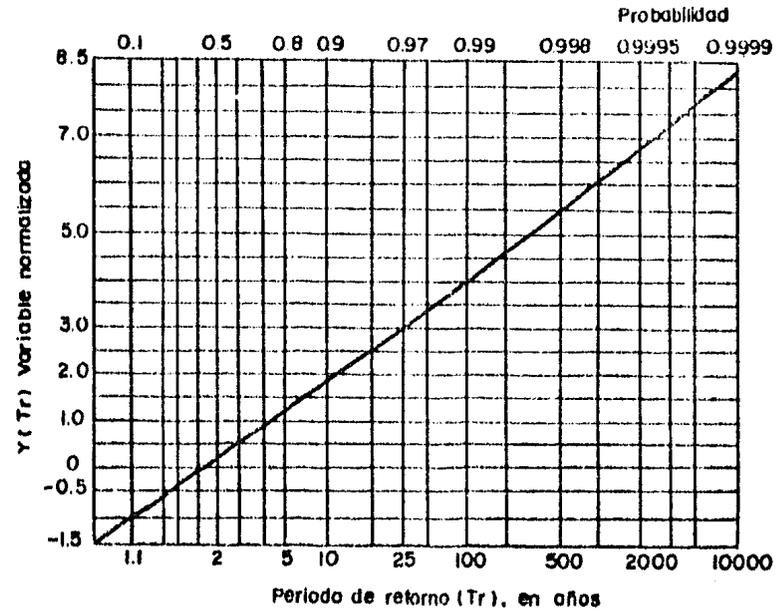


FIGURA 2.9 REGIONALIZACION PARA GASTOS MAXIMOS



REGION F

FIGURA 2.10 ESTIMACION DEL GASTO MAXIMO EN FUNCION DE LA VARIABLE NORMALIZADA

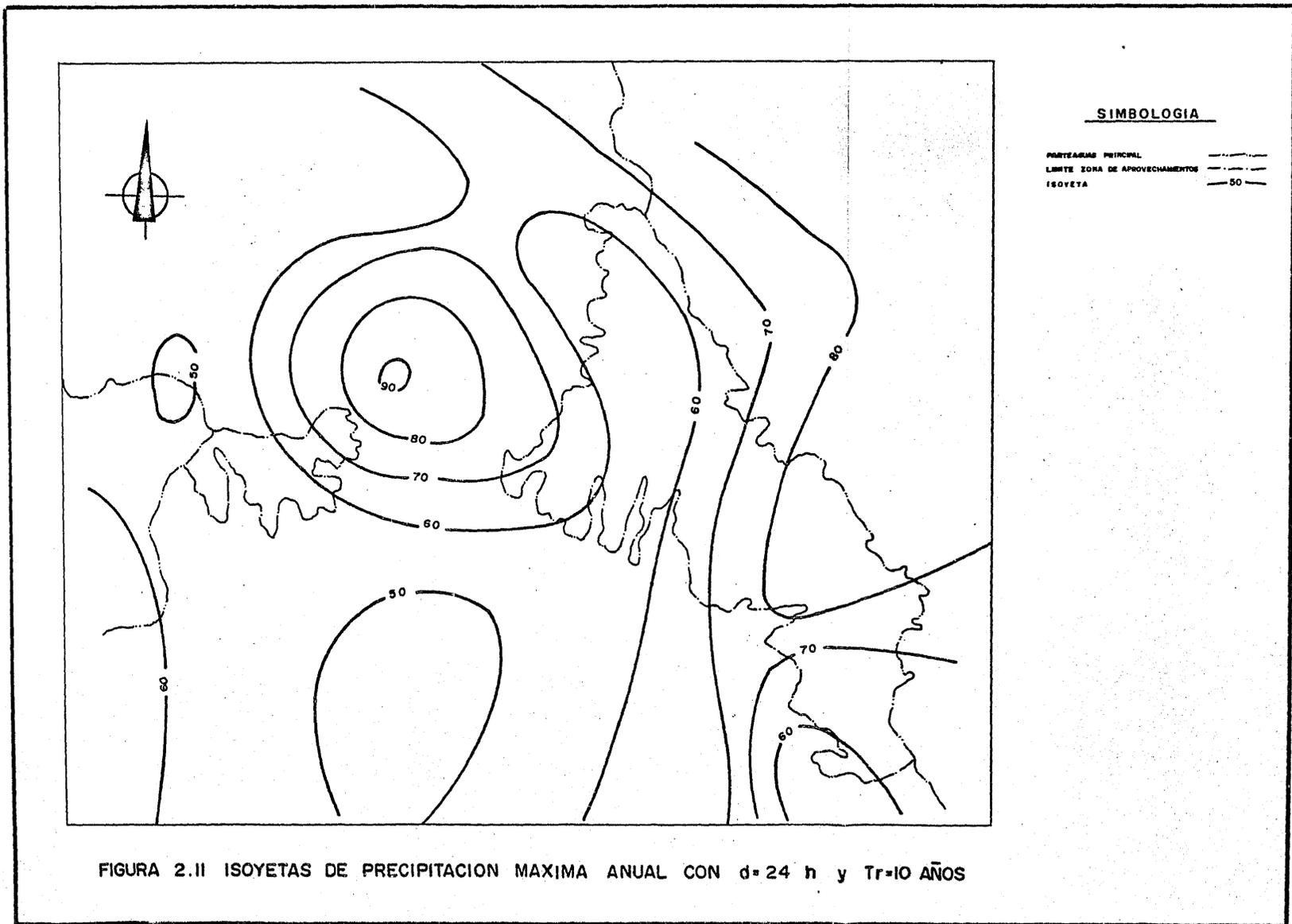


FIGURA 2.II ISOYETAS DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL CON $d=24$ h y $Tr=10$ AÑOS

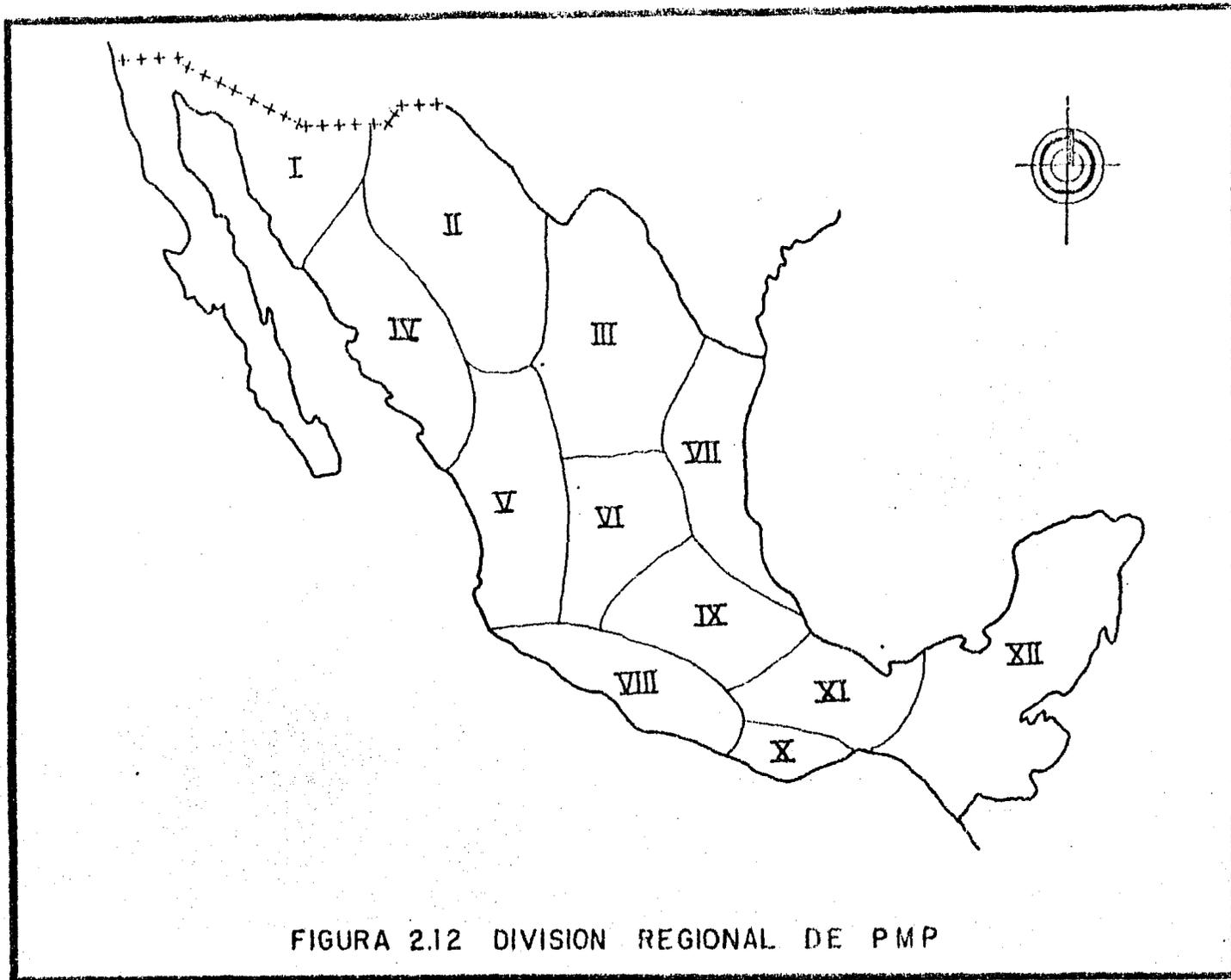


FIGURA 2.12 DIVISION REGIONAL DE PMP

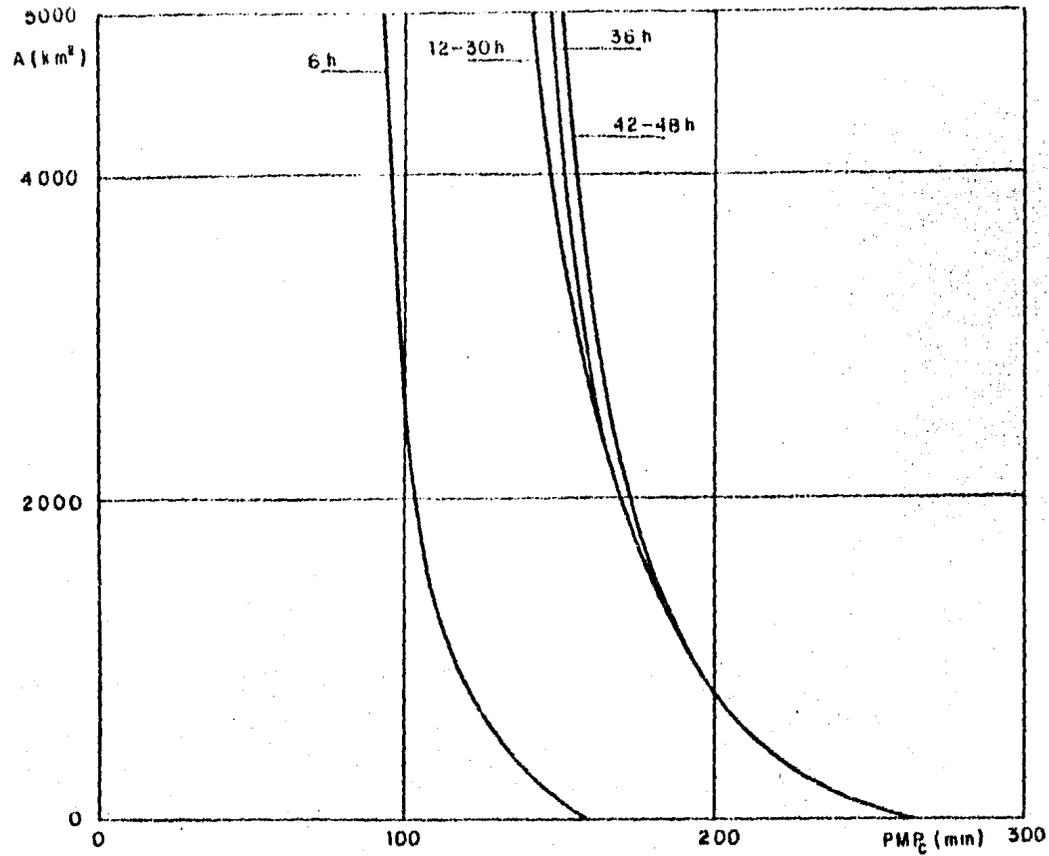


FIGURA 2.13 CURVAS DE PRECIPITACION MAXIMA PROBABLE—AREA—DURACION
(AREAS MENORES DE 5000 km^2)

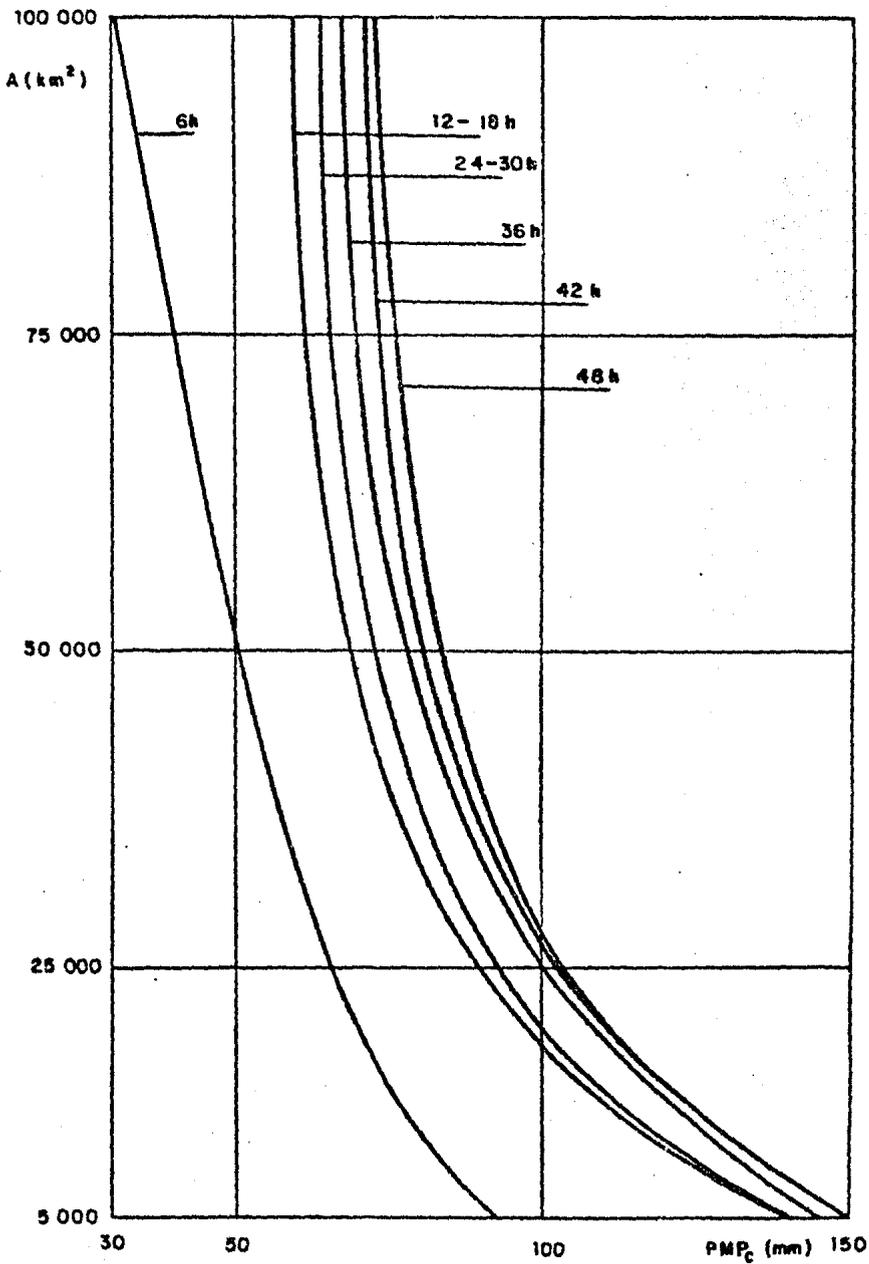


FIGURA 2.14 CURVAS DE PRECIPITACION MAXIMA PROBABLE—AREA — DURACION (AREAS MAYORES DE 5000 km^2)

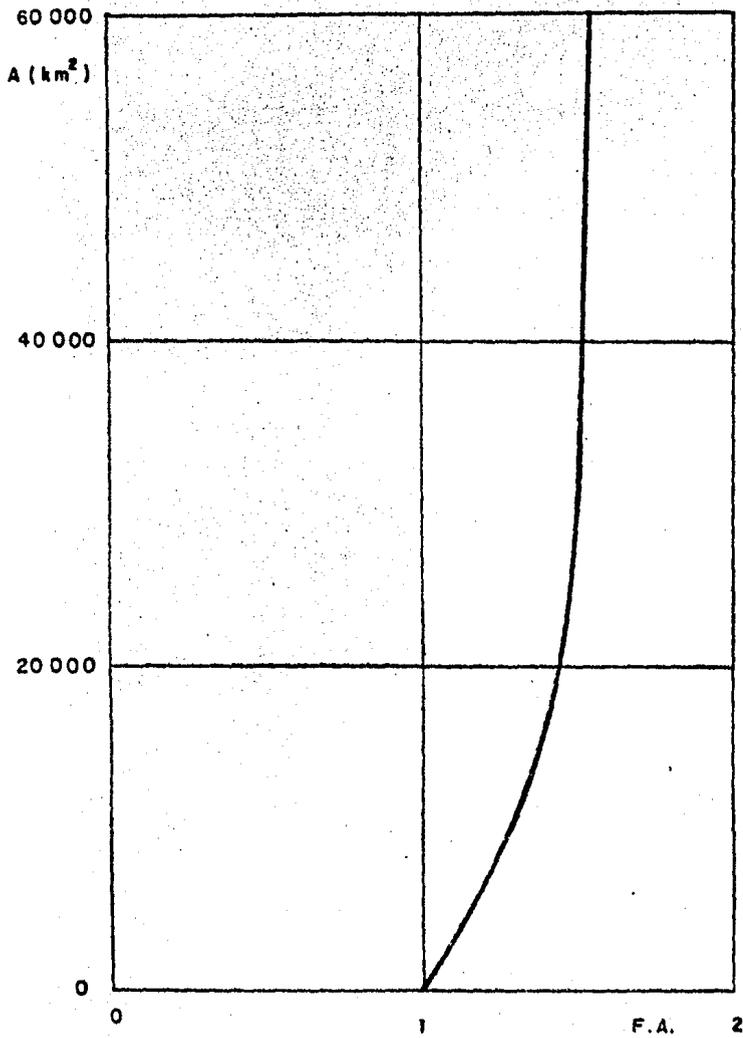


FIGURA 2.15 AJUSTE DE PMP POR DISTRIBUCION DE LA TORMENTA EN EL ESPACIO

Lluvia en exceso (mm.)

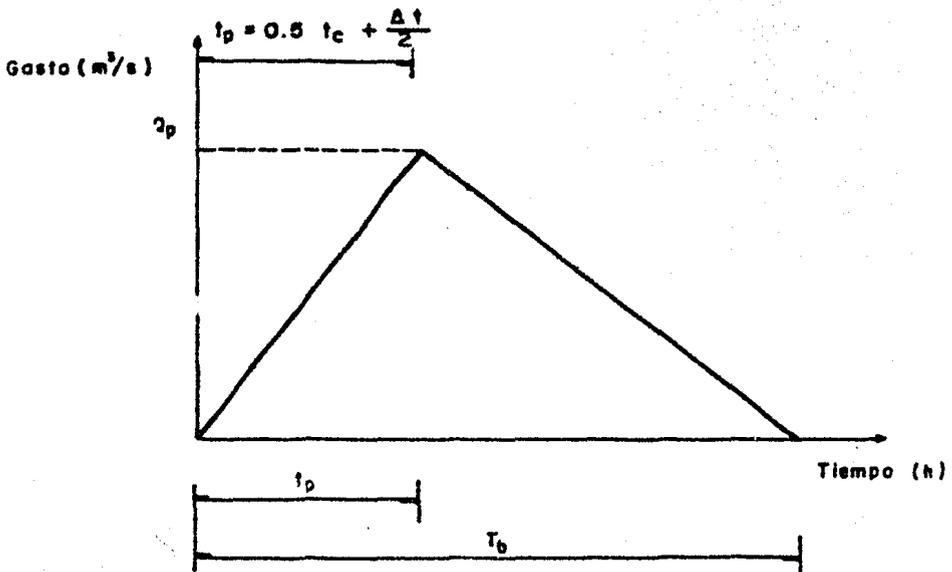
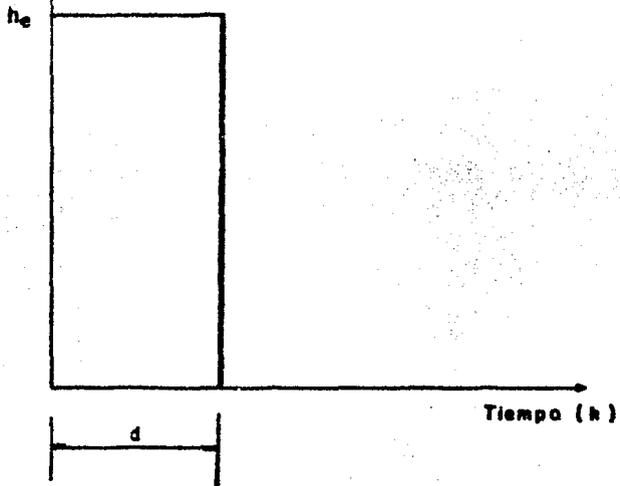


FIGURA 2.17 HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

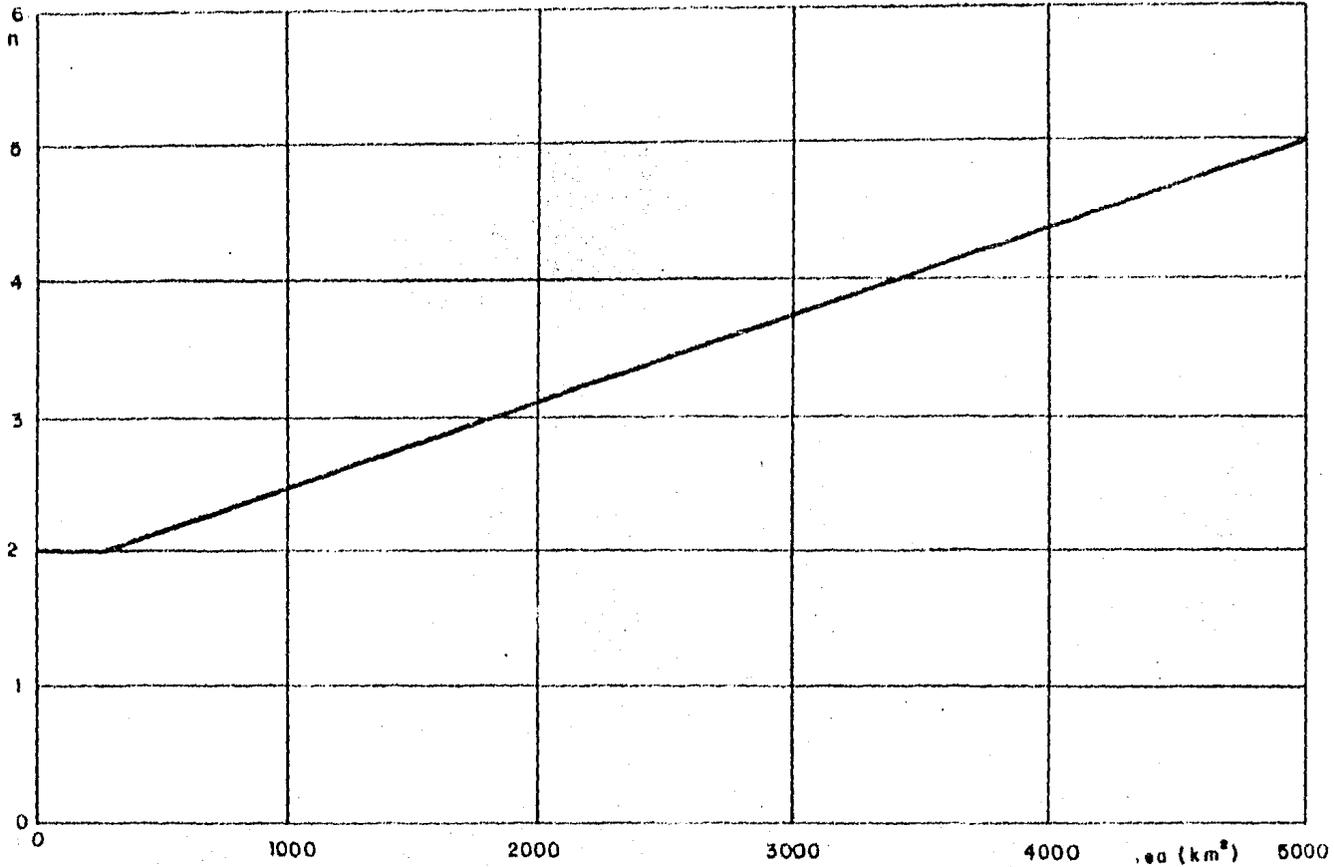
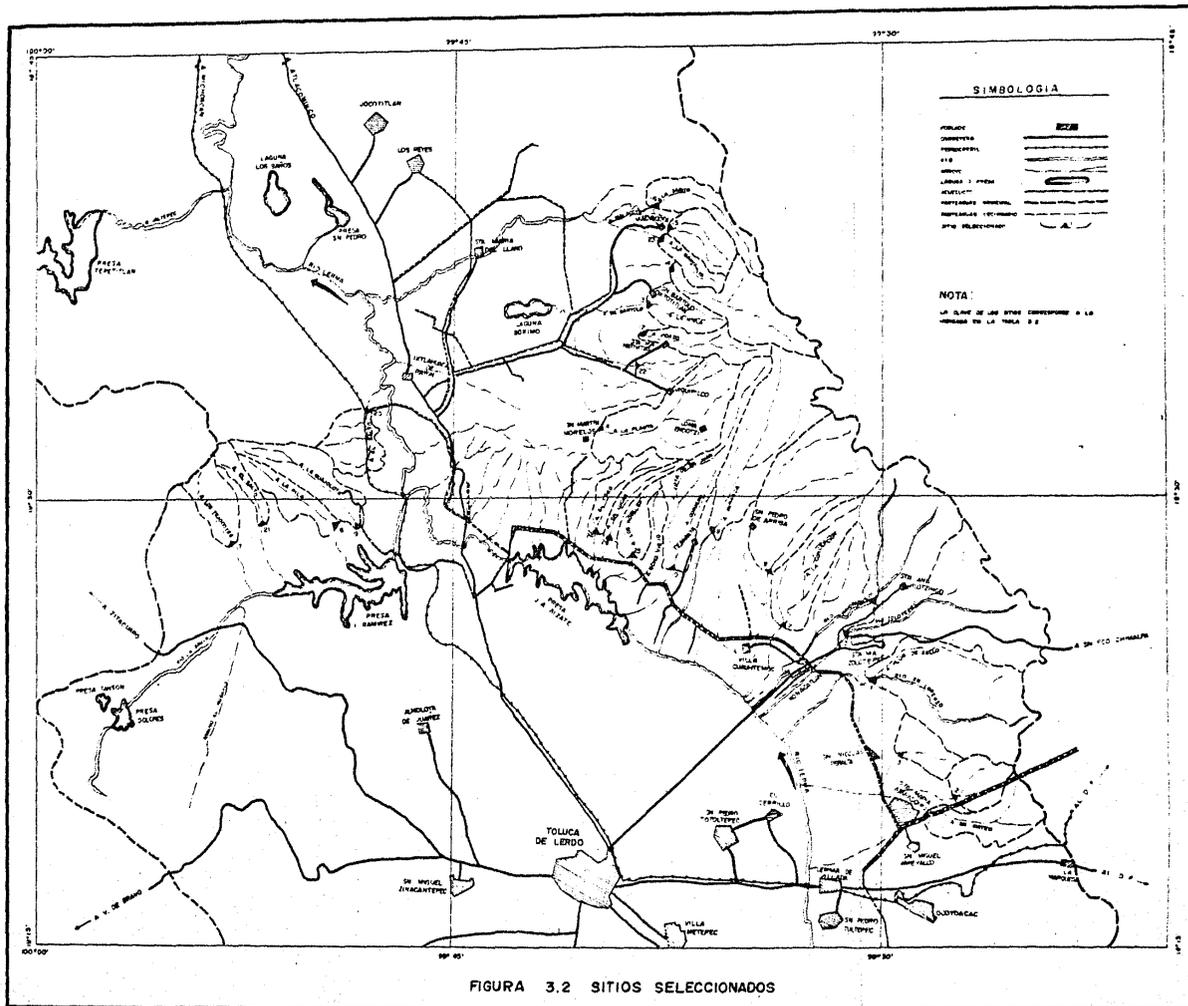


FIGURA 2.18 VARIACION DEL PARAMETRO n EN FUNCION
DEL AREA DE LA CUENCA



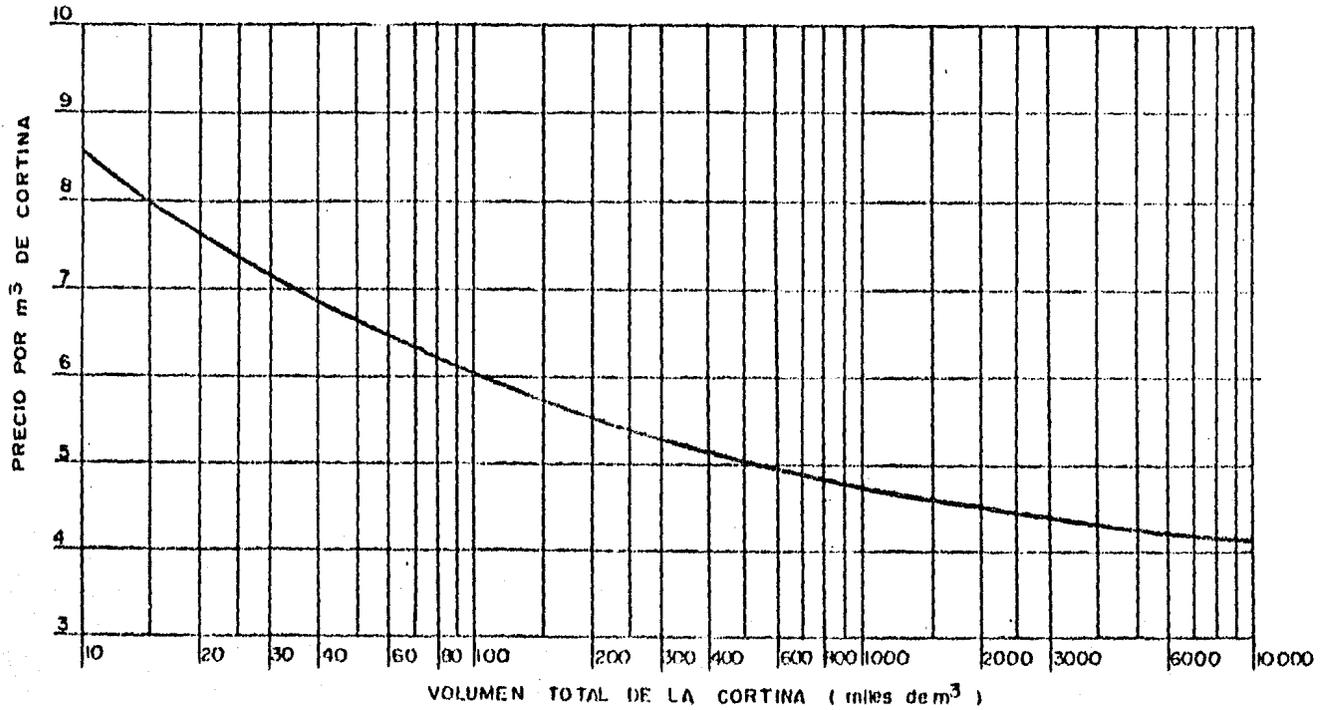


FIGURA 5.1 PRECIO DE CORTINAS DE TIERRA EN FUNCION DE SU VOLUMEN

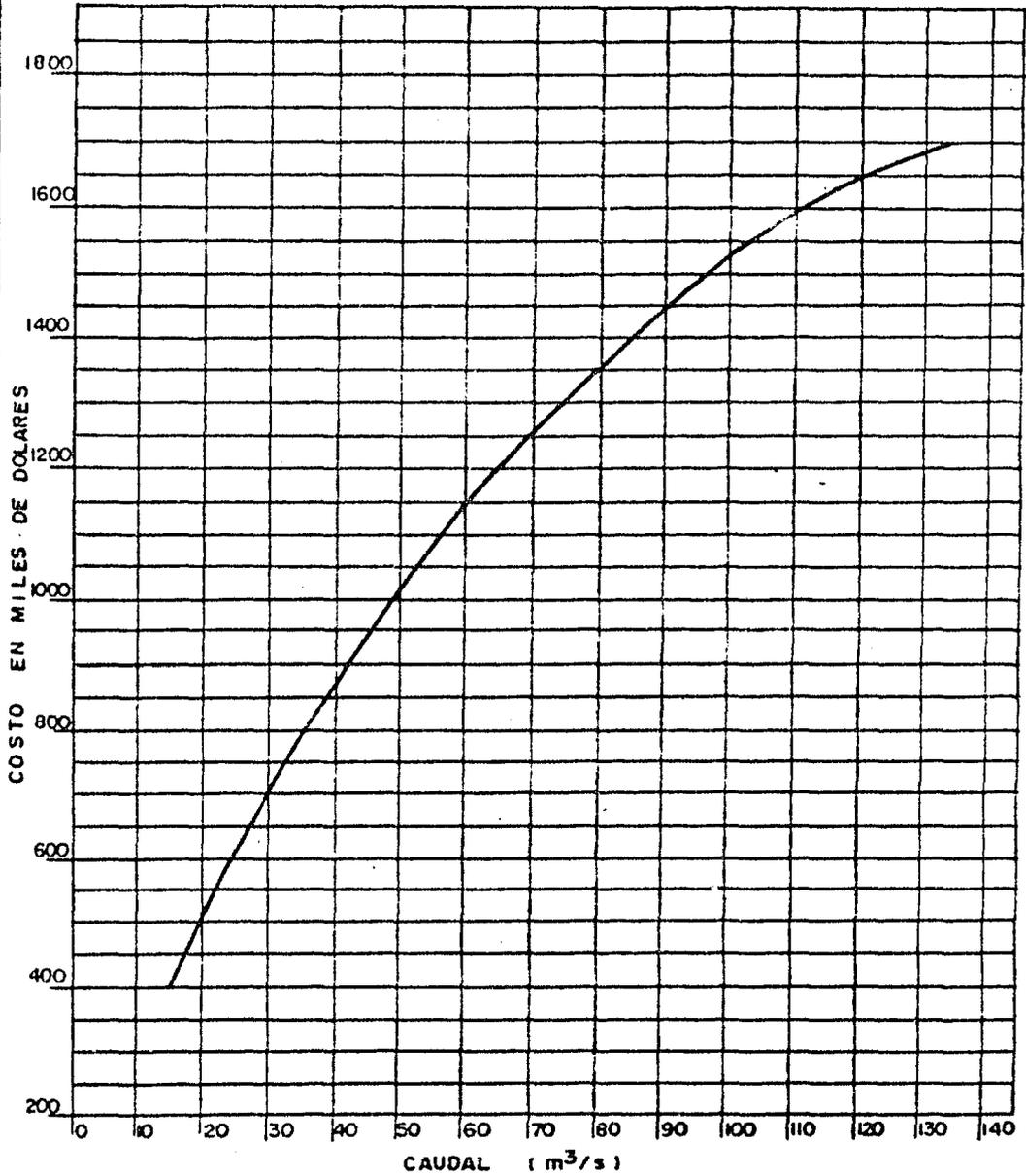


FIGURA 5.2 COSTO DE TOMAS DE AGUA EN FUNCION DEL CAUDAL

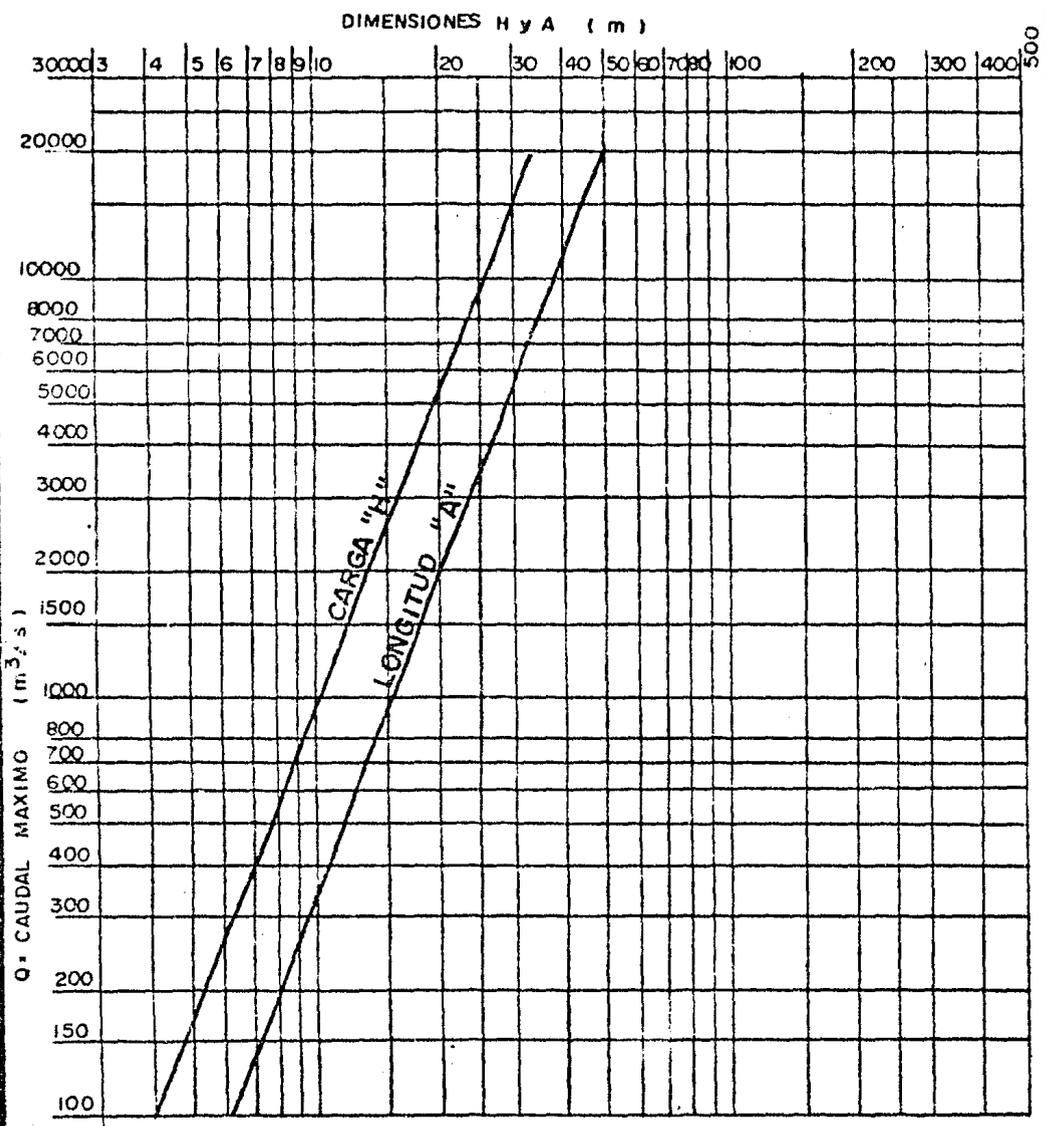
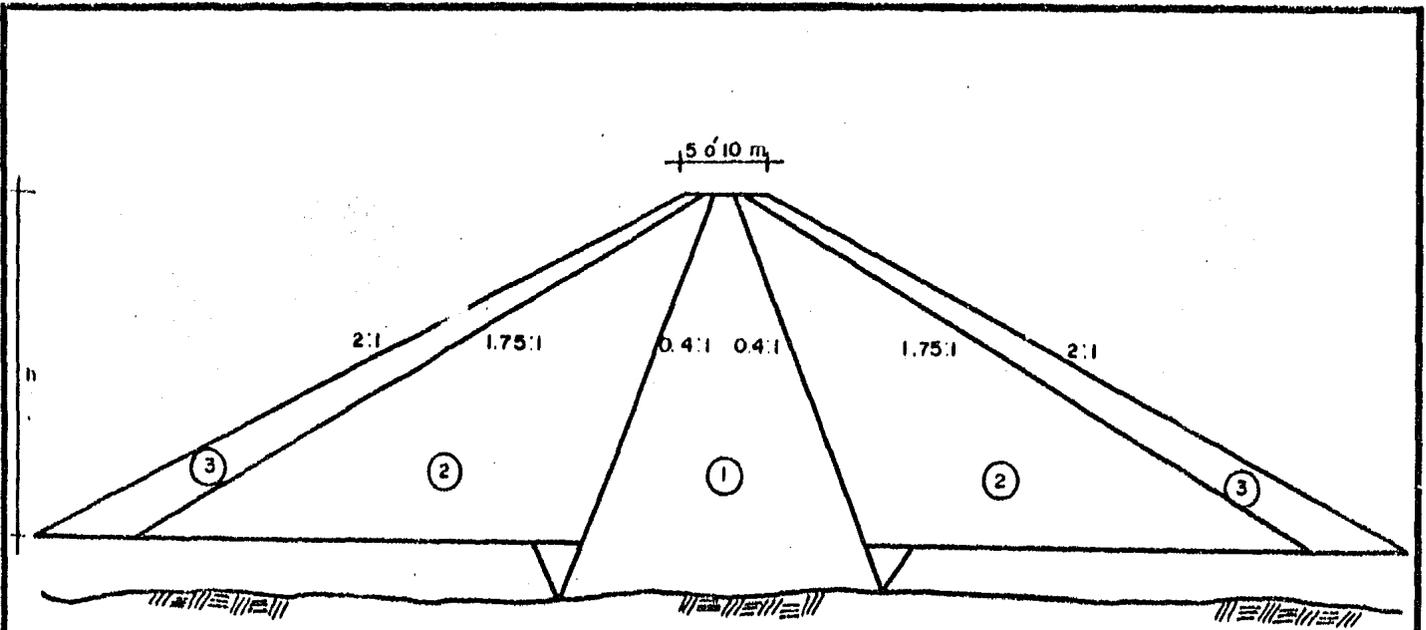


FIGURA 5.3 DIMENSIONES DE LA SECCION VERTEDORA EN FUNCION DEL GASTO MAXIMO



- ① Corazón impermeable de arcilla compactada al 95% Proctor.
- ② Respaldo de grava arena sin clasificar
- ③ Enrocamiento colocado a volteo.

FIGURA 5.4 CROQUIS DE LAS CORTINAS QUE SE PROPONEN

REFERENCIAS

1. Boletín Hidrológico No. 50. Región hidrológica No. 12, tomos I a IV. Cuenca del río Lerma hasta la presa Solís. Dirección de Hidrología, SARH.
2. Boletín Climatológico No. 1. Región hidrológica No. 12A (Parcial). tomos I y II. Río Lerma (Orígenes-Poncitlán). Dirección de Hidrología, SARH.
3. Proyecto Alto Lerma. Realizado por TERAN Y VALES, S.A., para el DDF.
4. "Estudio de gran visión para la selección de sitios de almacenamiento pequeños en el valle de Lerma". Realizado por CONSULTORES, S.A., para el DDF, 1980.
5. "Recomendaciones para el diseño y revisión de estructuras para el control de avenidas". Elaborado por CONSULTORES, S.A., para la CPNH de la SARH, 1978.
6. "Análisis regional de Precipitación Máxima Probable". Elaborado por CONSULTORES, S.A., para la CPNH de la SARH, 1979.
7. Linsley R. K y Franzini J. B. Ingeniería de los Recursos Hidráulicos.
8. Anéxos 2-A del "Estudio sobre Interconexión Eléctrica en el Istmo Centroamericano". Comisión Económica para América Latina (CEPAL).
9. "Manual de diseño de obras fluviales para la protección contra inundaciones", tomo I. Elaborado por CONSULTORES, S.A., para la Dirección General de Control de Ríos e Ingeniería de Seguridad Hidráulica, SARH, 1981.