

T-154

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

**Estudio para Resolver el Drenaje Agrícola
en Tesechoacán, Ver.**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a :

JORGE OCTAVIO VILLAR ESCUDERO

México, D. F.

1979



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.

I N D I C E

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. DRENAJE DE SUELOS AGRICOLAS	3
2.1. TIPOS DE DRENAJE	4
2.2. FACTORES QUE ORIGINAN EL PROBLEMA DE DRENAJE	6
2.2.1. PROBLEMAS DE DRENAJE SUPERFICIAL	6
2.2.2. PROBLEMAS DE DRENAJE DEL SUBSUELO	8
2.3. DIFERENCIAS ENTRE LOS PROBLEMAS DE DRENAJE DE LUGARES HUMEDOS Y LUGARES ARIDOS.	9
2.4. DETERMINACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL DRENAJE	10
2.4.1. ESTUDIOS TOPOGRAFICOS	10
2.4.2. ESTUDIOS AGROLOGICOS	12
2.4.3. ESTUDIOS DE SALINIDAD	14
2.4.4. ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS	15
2.4.5. ESTUDIOS SOBRE LA PROFUNDIDAD Y ESPESOR DEL MANTO FREATICO.	15
2.4.5.1. Medida del Nivel Freático	19
2.4.5.2. Frecuencia de Observación	20
2.4.5.3. Planos de Niveles Freáticos con Respecto a la Superficie del Terreno (Isobatas)	20
2.4.5.4. Gráficas de Areas-Tiempo	21
2.4.5.5. Planos de Niveles Freáticos con Respecto al Nivel del Mar (Isohypsas)	23

	Página
2.4.5.6. Plano de Mínimos Niveles Freáticos.	
Observados	24
2.4.5.7. Trazo de Líneas de Corriente	25
2.4.5.8. Planos de Isoincrementeos	26
2.4.5.9. Plano de la Profundidad del Estrato	
Impermeable o Hidroapoyo	26
2.5. ANALISIS DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL PROBLEMA DE DRENAJE	27
2.6. JERARQUIZACION DE LOS PROBLEMAS DE DRENAJE CON LA FINALIDAD DE ESTABLECER EL ORDEN DE APLICACION DE NORMAS CORRECTIVAS	29
2.6.1. CONTROL DE FUENTES SUPERFICIALES	30
2.6.2. CONTROL DE FUENTES INTERNAS	30
2.6.3. DRENAJE COMPLEMENTARIO	30
2.7. APLICACION DE METODOS CORRECTIVOS	32
2.7.1. TIPOS DE DRENES	33
2.8. DIVISION DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE	34
2.8.1. DRENAJE DE AGUAS SUPERFICIALES	35
2.8.1.1. Gastos de Diseño de los Drenes	37
2.8.1.2. Cálculo Hidráulico para Drenes	
Abiertos	38
2.8.2. DRENAJE DE AGUAS SUBTERRANEAS	40
3. SITIO TESECHOACAN	49
3.1. UBICACION	50
3.2. ESTUDIO TOPOGRAFICO	51

3.3. ESTUDIO AGROLOGICO	52
3.3.1. INTERPRETACION DE LOS ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS	54
3.4. ESTUDIO HIDROLOGICO	55
3.4.1. TEMPERATURA	57
3.4.2. VIENTOS	59
3.4.3. EVAPORACION	59
3.4.4. PRECIPITACION	61
3.4.4.1. Lluvias máximas en 24 horas	61
3.4.4.2. Curvas Intensidad-Duración- Período de retorno	63
3.5. ESTUDIO SOBRE LA PROFUNDIDAD DEL MANTO FREA- TICO	65
3.5.1. PLANOS DE ISOBATAS	67
3.5.2. GRAFICA DE AREAS-TIEMPO	67
3.5.3. PLANOS DE ISOHYPAS	68
3.6. BALANCE HIDROLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO	68
3.7. ANTEPROYECTO DE OBRAS DE DRENAJE	71
3.7.1. DESCRIPCION DE LAS OBRAS PROPUESTAS	72
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	82

1. INTRODUCCION.

La producción agropecuaria de nuestro país, muestra en la última década un crecimiento apreciablemente inferior al de la población, lo que ha dado lugar a tener que ser complementada por medio de importaciones que incrementan el problema existente de la balanza de pagos.

Esto ha dado lugar a que el gobierno busque la solución al problema de la alimentación a nivel nacional, con el fin de ser un país autosuficiente.

Los estudios que se han estado realizando con este fin, señalan la posibilidad de crear desarrollos agropecuarios en las zonas húmedas (conocidas también como "El Trópico Húmedo") del país, donde las tierras que son potencialmente productivas no han podido desarrollarse por falta de una infraestructura adecuada. La evaluación de dicho potencial dentro del país, indica que la región Golfo Sureste es una zona incorporable a este programa, en donde se estiman 3.5 millones de hectáreas de terrenos susceptibles a desarrollarse a mediano plazo cuyas condiciones ecológicas permiten obtener ventajosamente productos agropecuarios como leche, carne, ca

na de azúcar, oleaginosas perennes, frutas y hortalizas tropicales, arroz, soya y sorgo así como los cultivos anuales básicos. Algunos de estos productos se han estado cultivando en zonas de riego del norte del país en condiciones inadecuadas y su desplazamiento a su medio natural, además de mejorar rendimientos y calidad, permitirá liberar tierras de riego a otros usos más productivos.

Es por esta razón que se ha decidido implantar un proyecto piloto en la zona del Río Tesechoacán, con el objeto de detectar los problemas que se presentarán al llevar a cabo los proyectos definitivos y establecer antes de su realización, las soluciones que deban darse desde el punto de vista técnico, político y social, ya que son problemas distintos a aquellos que constituyen el grueso de la experiencia acumulada en el desarrollo agropecuario.

El presente trabajo pretende mostrar una teoría general de drenaje de los suelos agrícolas (Capítulo II), mediante la cual se hace un estudio de las condiciones actuales en el sitio piloto Tesechoacán, permitiéndose proponer a nivel de anteproyecto, un sistema de drenaje superficial que logre retirar los excesos de agua en un lapso tal, que no produzca daño al desarrollo de los cultivos y que permita la realización de las labores agrícolas (Capítulo III), finalmente se incluyen las conclusiones obtenidas a lo largo del desarrollo del estudio y sus recomendaciones principales (Capítulo IV)

2. DRENAJE DE SUELOS AGRICOLAS.

El objetivo del drenaje agrícola es el de retirar el exceso de humedad de los terrenos de cultivo hasta una profundidad tal que permita el desarrollo radicular de las plantas, en los tiempos permisibles según el tipo dominante de cultivo.

Cuando a un terreno se le ha instalado un sistema de drenaje, éste se ha convertido en potencialmente productivo, ya que constantemente se están eliminando los altos contenidos de humedad, que evitan la actividad biológica radicular, la cual es indispensable en los procesos fisiológicos de los cultivos.

El drenaje es el elemento más importante del saneamiento de los suelos alcalinos y salinos. Dentro de estos beneficios podemos considerar:

- a) Ventilación del suelo.
- b) En las zonas húmedas se mantiene el suelo a una temperatura mas elevada.

- c) Mayores elementos nutritivos para las plantas al aumentar la profundidad radicular.
- d) Salida del agua suministrada con el fin de eliminar el exceso de sal.

En las zonas húmedas como en las áridas, es necesario hacer una evaluación de la importancia de los sistemas de drenaje, comparando los beneficios alcanzados contra los costos de su instalación.

2.1. TIPOS DE DRENAJE.

Los terrenos de cultivo pueden tener dos tipos generales de drenaje: artificial y natural. Cuando interviene la mano del hombre para auxiliar la evacuación de dichos excedentes, se dice que el drenaje es artificial, y si el terreno tiene capacidad para eliminar todos los sobrantes, no importando la cuantía de la fuente (lluvia, sobrieriegos, etc.), se dice que el drenaje es natural.

El drenaje artificial se puede dividir en superficial y subterráneo, según sea el modo en que se elimine el agua.

En el drenaje superficial, se crea una pendiente para la evacuación del exceso de agua de la superficie del suelo.

En este caso el agua se desplaza por encima del suelo o por zanjas hasta llegar, por gravedad, a un punto de salida.

El drenaje superficial puede dividirse en obras que:

- a) Evacúan el agua de la tierra anegada por nivelación o aplanado del suelo, levantado o abriendo zanjas.
- b) Desvían o confinan el agua, de modo que no llegue a la zona protegida. Esta última clasificación incluye: zanjas de desvío, diques y muros de defensa, los cuales protegen la tierra para que no se anegue y la libran de los consiguientes problemas de drenaje.

En el drenaje del subsuelo se crean diferencias de carga hidráulica para evacuar el exceso de agua que hay debajo de la superficie del suelo. La carga hidráulica resultante hace que el agua se filtre en el suelo hasta llegar a conductos a cielo abierto o cubiertos, por los que el agua se lleva hasta una salida por gravedad o bombeo de la siguiente forma:

- a) Los drenes de intercepción cortan el paso al movimiento del agua del subsuelo que se desplaza lateralmente antes que, de otro modo, llegue a las zonas anegadas. Estos drenes están orientados, aproximadamente, en ángulo recto respecto a la corriente del subsuelo.
- b) Los drenes de alivio evacúan el agua del suelo en los lugares en que la velocidad de la corriente es pequeña, tal como sucede en casi todas las extensiones horizontales, o en los lugares en los que es imposible interceptar eficazmente el movimiento de las aguas freáticas. Los drenes de alivio están comun-

mente, aunque no forzosamente, orientados paralelamente al movimiento que sigue el agua del subsuelo.

2.2. FACTORES QUE ORIGINAN EL PROBLEMA DE DRENAJE.

El drenaje de una superficie anegada depende de un diagnóstico correcto del problema. En algunos lugares, un breve estudio de campo y una comparación con instalaciones anteriores bajo condiciones parecidas, pueden constituir una base suficiente para el trazo del sistema. Los problemas más complicados de drenaje reclaman un reconocimiento y estudios preliminares más detallados que determinen la fuente del agua superficial, cómo llega el agua a la zona anegada, y cuales habrán de ser los criterios que se apliquen al trazado. Sin embargo, el sistema de drenaje sólo podrá proyectarse después de que se haya identificado la naturaleza del problema.

Por razones de comodidad, los problemas típicos de drenaje que siguen, se han dividido en problemas de superficie y de subsuelo. En realidad, la tierra anegada puede incluir agua tanto superficial como del subsuelo y el trazado del drenaje deberá tomar en cuenta su interdependencia.

2.2.1. PROBLEMAS DE DRENAJE SUPERFICIAL.

Las superficies planas o casi planas están sujetas a agua estancada, debido a:

- 1.- Superficie desigual del suelo, con bolsones o crestas que impiden o retrasan el escurrimiento natural. (Los suelos lentamente permeables aumentan el problema).
- 2.- Canales o zanjas evacuadoras de baja capacidad dentro de la zona, que eliminan el agua tan lentamente que el alto nivel del caudal de los canales hace que haya encharcamientos en la tierra durante periodos capaces de causar daños.
- 3.- Condiciones de desagüe que mantienen la superficie del agua por encima del nivel del suelo, tales como alturas elevadas de agua en lagos o elevaciones del agua debidas a las mareas.

Las fuentes del agua superficial son la lluvia o la fusión de las nieves en el propio lugar, el riego superficial excesivo, el escurrimiento o las filtraciones de tierras contiguas más altas, o el derrame de los cauces de corrientes de agua.

Los métodos para el drenaje de superficie, tales como nivelación o aplano y zanjas de campo, se emplean para que recojan y lleven el agua superficial hasta canales naturales o sistemas artificiales de evacuación. Los desagües inadecuados pueden exigir: mejoramientos de los canales aguas abajo, diques con alcantarillas y compuertas oscilantes o bombas de drenaje. Los sistemas de desviación son eficientes para que impidan o reduzcan el encharcamiento cuando la fuente de agua se encuentra

fuera de la extensión que ha de protegerse.

2.2.2. PROBLEMAS DE DRENAJE DEL SUBSUELO.

Los problemas de drenaje del subsuelo se deben a diversas causas. Las tierras planas tienden a estar deficientemente drenadas, en particular -- cuando la permeabilidad del subsuelo es baja; sin embargo, hay muchas - extensiones de tierras anegadas en las que no existe ninguna relación ma nifiesta entre la superficie de filtración o un alto nivel de aguas freáti- cas y la topografía del lugar. Los altos niveles de la capa freática pug den darse en lugares con permeabilidad rápida o lenta del suelo, de cli- ma húmedo o árido y en tierras planas o en pendiente.

Por este motivo es conveniente clasificar los problemas de drenaje del subsuelo por la fuente del agua excesiva del suelo y por la forma en que se mueve en y a través de la extensión problema. Este método de iden- tificación de las condiciones del subsuelo es especialmente útil para los problemas más complejos de drenaje. Se procede al reconocimiento y a los estudios preliminares, para obtener la información necesaria acer ca de donde se da el agua del subsuelo y otras condiciones del lugar. A medida que va acumulándose experiencia acerca de los problemas de - drenaje del subsuelo de un valle o cuenca dados, la cantidad de informa- ción necesaria para indentificar determinados tipos de problemas va, -- por lo general, disminuyendo.

2. 3. DIFERENCIAS ENTRE LOS PROBLEMAS DE DRENAJE DE LUGARES HUMEDOS Y LUGARES ARIDOS.

El drenaje de lugares húmedos tiene que ver principalmente con el exceso de agua a causa de las altas precipitaciones; en los lugares áridos y semi-áridos, la necesidad de drenaje proviene principalmente del riego, ya que éstos suelos en su mayoría, contienen altos contenidos de sal por lo que se aplican riegos con el fin de lavar los terrenos, durante un lapso de treinta días antes de iniciar la siembra.

Pueden necesitarse sistemas de drenaje de superficie tanto en extensiones húmedas como de riego. Por lo general, el drenaje de superficie es parte integrante del sistema de riego de los suelos de permeabilidad lenta o en los lugares donde existan índices elevados de precipitación.

La finalidad del drenaje del subsuelo es que la capa freática descienda hasta un punto en el que no estorbe el crecimiento y desarrollo de las plantas. La profundidad mínima a la que debe mantenerse la capa freática varía de acuerdo con las necesidades del cultivo y con el tipo de suelo, pero uno de los principales factores para la altura del nivel de las aguas freáticas consiste en regular la salinidad y alcalinidad del suelo y del agua del subsuelo. Este es un motivo que observa diferencias existentes entre el drenaje del subsuelo en climas húmedos y en climas áridos.

En los climas húmedos, la profundidad de los tubos-drenes es generalmente de 90 a 150 centímetros. El agua es relativamente pura y por lo general,

hay un exceso natural de agua respecto a las necesidades de las plantas y un movimiento neto descendente del agua del subsuelo.

Los suelos de climas semiáridos o áridos exigen tubos-drenes colocados a una profundidad de cuando menos 1.50 a 2.15 metros. La mayor parte del agua que se necesita para el cultivo se añade por riego. Generalmente el agua del subsuelo es algo salina debido a las sales que contiene el suelo, el agua de riego o ambos. Una capa freática de nivel tan alto como de 60 a 75 centímetros por debajo de la superficie, que es adecuado en muchos lugares húmedos, creará en los lugares áridos una concentración nociva de sal en la zona radicular.

2.4. DETERMINACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL DRENAJE.

La investigación de las condiciones actuales de drenaje esta basado en los resultados que se obtienen de la interpretación de los siguientes estudios:

- Estudios Topográficos
- Estudios Agrológicos
- Estudios Geohidrológicos
- Estudios de Salinidad
- Estudios de la Profundidad y Espesor del Manto Freático.

2.4.1. ESTUDIOS TOPOGRAFICOS.

Es necesario contar con la configuración de la zona de estudio para tener

una representación real de todos los accidentes naturales de importancia - que faciliten o impidan el drenaje natural.

El plano topográfico constituye un auxilio importante en la planeación de - los trabajos, en el diseño de los drenes y en el proyecto de las obras que se requieran para el drenaje del área.

La escala del plano se selecciona en función de su forma y de la superfi- - cie total. En estudios generales de áreas de gran magnitud, se acostumbra usar escalas de 1:40 000 a 1:50 000; en áreas menores, escalas de 1:10 000 a 1:20 000, y para estudios de detalle, escalas de 1:5 000.

Conviene fijar con todo cuidado los cauces de los ríos o arroyos, así como también las alturas o depresiones que constituyen la orografía de la zona - y marcar, si existen, los recorridos de las redes de distribución de aguas de riego y de drenaje.

Las curvas de nivel tendrán una equidistancia de 1 metro, aunque es prefe- - rible contar con mayor detalle estableciéndolas a 0.5 m.

Los levantamientos se deben analizar eficazmente pues revelan con mucha aproximación las trayectorias que sigue el flujo subterráneo, así como - - los puntos de concentración de estos movimientos, además son una ayuda - para la estimación de las áreas que topográficamente presentarán dificul- - tades para drenarse.

Los cambios fuertes de pendiente, los cauces de los ríos y arroyos, los canales y drenes, pueden influir en la velocidad de desplazamiento de las aguas excedentes dando como consecuencia, una reducción del tiempo de inundación.

2.4.2. ESTUDIOS AGROLOGICOS.

Los estudios agrológicos presentan la localización de los diferentes perfiles que forman los suelos de la zona, su extensión y las características edafológicas de los diversos estratos que los constituyen.

Se acostumbra agruparlos en "series" y "clases", tomando como base las características que marcan su origen, el modo de formación y acomodamiento de los diferentes estratos, definidos por la textura, consistencia, estructura y edad edafológica.

Con ayuda del estudio de los perfiles, se puede evaluar el movimiento del agua, así como la probable capacidad de drenaje en cada uno de los estratos que los forman, calificándoles como de drenaje rápido, retardado o difícil, así como también de permeabilidad lenta o rápida.

Estos estudios tienen como limitación el espesor de suelo que comprenden (generalmente 2 metros), por lo que deben auxiliarse con estudios geohidrológicos, para abarcar mayores profundidades, sobre todo por la colocación de las tuberías o las rasantes de los drenes, que serán alojadas a

una profundidad de 1.5 a 3 metros; por esta razón, para el drenaje de terrenos, el técnico requiere conocer la estratigrafía y acomodo de los estratos drenables, hasta profundidades mínimas de 3 a 5 metros.

Los estudios Físico-Químicos proporcionan la información necesaria para determinar las necesidades de riego de los distintos cultivos elegidos, en función de las características Físico-Químicas del suelo en el que están alojados.

Deberán tomarse muestras de los diferentes estratos que se encuentran en los primeros 4 metros de profundidad, para efectuar los siguientes análisis:

Físicos:

- Textura
- Porcentaje de humedad correspondiente al punto de marchitamiento permanente (PMP)
- Porcentaje de humedad a capacidad de campo (PCC)
- Porcentaje de saturación (PS)
- Densidad aparente (D_a)
- Densidad Real (D_r)
- Porosidad (P)

Químicos

- pH del estrato de saturación

- Cationes solubles
- Aniones solubles
- Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

2.4.3. ESTUDIOS DE SALINIDAD.

En los terrenos de las zonas áridas con riego de gravedad existe gran correlación entre los altos contenidos de sales y las áreas de drenaje deficiente. La mayor parte de las representaciones salinas en los planos, son también áreas con problemas de drenaje.

La metodología clasifica y separa a los suelos con salinidad y sodicidad en cuatro diferentes grupos, con base en los valores de la "conductividad eléctrica" (CE), en milimhos/cm. a 25°C, y el "porcentaje de sodio intercambiable" (P.S.I.) que se determinan del extracto de saturación, bajo los siguientes grados de afectación:

GRUPOS DE SUELOS	INDICES DE CLASIFICACION	
	C.E. en Milimhos/cm. a 25°C.	P.S.I.
Normales	Menor de 4	Menor de 15
Salinos	Mayor de 4	Menor de 15
Salinos Sódicos	Mayor de 4	Mayor de 15
Sódicos	Menor de 4	Mayor de 15

El resultado de los estudios de salinidad, nos dirá si existen zonas en las que

se deben realizar labores de lavado de suelo o en las que se tenga que bajar el nivel freático.

2.4.4. ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS.

La interpretación de los perfiles en sus diez primeros metros, es de gran importancia porque los materiales que forman gran parte de los estratos, son transmisores del agua.

Por otra parte, es indispensable determinar la profundidad del estrato impermeable, por la utilidad que tiene en el cálculo de la separación de los drenes parcelarios.

En el caso de acuíferos confinados, la descripción de las características de los distintos estratos, señala la posibilidad de flujos verticales hacia la superficie.

Es conveniente dibujar los perfiles de los materiales subterráneos y colocarlos en un plano, de manera que se puedan representar los diversos estratos, su inclinación y su espesor con el fin de obtener un modelo de la estratigrafía de la zona de estudio.

2.4.5. ESTUDIOS SOBRE LA PROFUNDIDAD Y ESPESOR DEL MANTO FREÁTICO.

El estudio de los mantos freáticos comprende el aspecto más importante para conocer la naturaleza y magnitud de los problemas de drenaje.

La posición del manto freático en el perfil del suelo, tanto en tiempo como en duración, ya que en dicho perfil se desarrolla el sistema radicular de las plantas, está íntimamente relacionado con el régimen de humedad y aereación resultante, por lo que la profundidad a que se haya de conservar, deberá ser controlada mediante la existencia y el funcionamiento de un drenaje eficiente.

En primer lugar, se requiere distinguir si los niveles freáticos son producto de mantos estabilizados o de mantos confinados, para aplicar los métodos de estudios específicos en cada caso.

Cuando se trate de mantos estabilizados, es necesario abrir una serie de pozos de observación, con una profundidad de 3 a 5 metros.

Para el caso en que se tengan mantos confinados sujetos a presión, se instalará una red de piezómetros a diferentes profundidades, para determinar a través de los valores de los niveles, el comportamiento piezométrico.

Para tener una representación gráfica de los perfiles transmisores del agua hacia los drenes, es necesario abrir perforaciones que cubran las siguientes condiciones:

Profundidad de Perforación.

De 3 a 5 m - 80% del total

De 5 a 10 m - 15% del total

Mayor de 10 m - 5% del total.

Diámetro de Perforación.

De 10 a 15 cm. con barrena tipo posteadora para pozos de perforación sin presión artesiiana y de 3/8 a 1/2 pulgada de diámetro, los de instalación de piezómetros.

Barrenas Utilizables.

Tipo posteadora para perforaciones de 4 m y Veihmeyer para muestras alteradas hasta 1 m de profundidad; si las perforaciones son de mayor profundidad, se deben hacer con máquina perforadora.

Protección de las Perforaciones.

Es necesario ademarlas con tubo de P.V.C., de 2 a 3 pulgadas de diámetro o con tubo de barro o de cemento de 2 a 4 pulgadas de diámetro, ranurado y recubierto con grava en los tres casos, dejando en el fondo un colchón de grava de 50 cm para absorber posibles azolves. En la parte superior se coloca un brocal de concreto de 10 x 10 x 20 cm atravezado por un tubo de 1 pulgada de diámetro con extremo roscado y tapón de fierro. Deberá ser bombeado varias veces antes de efectuar la primera lectura y probarlo mediante la adición de agua y la observación de su ascenso (Figura 1).

Registro de los Perfiles en los Pozos.

Cuando se abren los pozos, es conveniente dibujar a escala el perfil y ano-

tar los siguientes datos:

- a) Espesor de los estratos que forman el perfil de los suelos.
- b) Texturas y estructuras.
- c) Humedad aparente que presentan los distintos espesores.
- d) Profundidad de la zona de saturación.
- e) Nivel del manto freático en la fecha de apertura.
- f) Profundidad del estrato impermeable.

Intensidad de las perforaciones.

El número de las perforaciones dependerá del grado de exactitud que requiera el estudio, de la gravedad de los problemas por detectar, y de la variación de los gradientes hidráulicos que se registren.

Se acostumbra iniciar la ubicación de los pozos con una separación de 2 - Km. distribuyéndolos en cuadrícula, para definir con ellos las zonas con distintas profundidades de niveles freáticos.

El número de barrenaciones requeridas, se puede estimar bajo un criterio práctico o siguiendo ciertas normas en atención al grado de intensidad del problema.

DISTRIBUCION PRACTICA.

Estudios Generales.

Un pozo por cada 400 Ha. en zonas donde el manto freático se presenta a más de 3 m de profundidad.

Un pozo cada 100 Ha. en zonas con nivel freático de 2 a 3 m del nivel del suelo.

Un pozo cada 50 Ha. cuando el nivel freático esté a menos de 2 metros de la superficie.

Estudios Parcelarios.

De 50 a 100 Ha., un pozo por cada 8 Ha.

De 20 a 50 Ha., un pozo por cada 4 Ha.

Menos de 10 Ha., un pozo por cada 2 Ha.

Distribución de Pozos Según el Grado o Intensidad del Problema.

Sin embargo, también se ha propuesto distribuir un mayor o menor número en cada zona, en atención a la gravedad del problema que presente, así como la cantidad total de pozos que pueden ser observados por el personal técnico.

2.4.5.1. Medida del Nivel Freático.

Se lleva a efecto sin alterar el nivel del agua, haciendo uso de una cinta metálica con un dispositivo en la parte inferior que suene al alcanzar el agua o con una manguera rígida delgada, a la que al ir introduciendo, se le inyecta aire, para detectar el momento de hacer contacto. En estudios específicos que requieren gran precisión, se utilizan las sondas eléctricas o se instalan limnógrafos.

2.4.5.2. Frecuencia de Observación.

Dependerá de la variación que presenten los niveles del manto freático según sea la recarga. Sin embargo, como es una labor donde se requiere de personal y tiempo, se acostumbra llevarla a efecto una vez por mes, y dentro del mismo período de días.

Estos datos deben obtenerse de modo que sean lo más precisos posible, evitando, en el momento de efectuar la lectura, alguna influencia de carácter local que los altere.

2.4.5.3. Planos de Niveles Freáticos con Respecto a la Superficie del Terreno (Isobatas).

Para cada observación de los niveles freáticos se hace lo siguiente:

En un plano a escala del área en estudio, se localizan los puntos donde fueron barrenados los pozos de observación y en cada uno de ellos, se anotan las profundidades de los niveles del agua desde la superficie del suelo.

Se trazan líneas envolventes que separen las profundidades observadas en cinco grupos, con base en los siguientes rangos:

de 0.00 - 1.00 m. color rojo.

de 1.00 - 1.50 m. color amarillo.

de 1.50 - 2.00 m. color verde.

de 2.00 - 3.00 m. color azul.

Mayor de 3.00 m. color café.

Posteriormente se calcula el area de cada grupo y su porcentaje con respecto al área total de la zona. En el plano No. 1 se presentan las líneas de igual profundidad de nivel freático.

El plano de niveles freáticos (Isobatas) precisará los siguientes aspectos:

- a) Localización de las zonas con diferentes niveles freáticos.
- b) Superficies mensuales con distintas profundidades de nivel freático
- c) Magnitud total de la superficie donde el manto freático se encuentra a menos de 2.00 metros de profundidad.
- d) Las áreas que presentan espesores de suelo saturado a menos de 2.00 metros de profundidad.
- e) Localización de las áreas con problemas de drenaje.
- f) Aumento o disminución de las áreas problema, con respecto al tiempo.

2.4.5.4. Graficas de Areas-Tiempo.

Las fluctuaciones que sufre el nivel freático, se detecta en las observaciones verificadas mensualmente en los pozos, y consecuentemente, se reflejan en los planos de Isobatas, en mayor o menor magnitud, como areas de diferente nivel freático.

La gráfica de "áreas-tiempo", presenta con claridad los cambios de las superficies con distintos niveles freáticos a través del tiempo, y se forma

mediante la colocación de los diferentes meses del año en el eje de las -- abscisas, y en el eje de las ordenadas las áreas resultantes de cada grupo, acumulando las superficies mensuales obtenidas en el orden de menor a -- mayor profundidad del nivel freático, siendo su suma la superficie total en estudio. (fig. 2 a)

Paralelamente, deberá formarse otra gráfica semejante donde se presenten conjuntamente las extracciones totales para riego y las precipitaciones mensuales. En la fig. 2 b están representadas las precipitaciones mensuales en el sitio y como no existen pozos para suministro de agua para riego, no se dibuja la gráfica correspondiente a estas extracciones.

El conjunto de estas dos gráficas proporciona los siguientes datos:

- a) Variación mensual del área de cada grupo.
- b) Los meses donde se presentan las mayores áreas con niveles freáticos mas cercanos a la superficie del suelo y su duración.
- c) Los meses donde se presentan las áreas con niveles freáticos más profundos y su duración.
- d) Interacción de los niveles freáticos altos con los meses de mayor extracción del agua para riego, o sea con los volúmenes mensuales extraídos de la fuente de abastecimiento.
- e) Influencia en la variación del manto freático de las precipitaciones pluviales y su duración.
- f) Fuentes principales de alimentación (riego o lluvias).

g) En caso de existir bombeos, su influencia en los abatimientos de los niveles freáticos, en los meses de mayor o menor extracción.

2.4.5.5. Planos de Niveles Freáticos con Respecto al Nivel del Mar (Isohypsas)

Posteriormente a la construcción de los pozos de observación de los niveles freáticos, se procede a efectuar una nivelación de los mismos con respecto al nivel del mar, verificando la ubicación y elevación en el plano topográfico de la zona.

Al establecer el ajuste de las observaciones con respecto al nivel del mar se elaborará paralelamente con cada plano de Isobatas, un plano de Isohypsas el cual sirve para determinar las trayectorias de las líneas de corriente de las aguas freáticas y sus posibles fuentes de alimentación, y para estimar la velocidad de los desplazamientos del flujo en las diferentes zonas que comprende el estudio.

Para formarlo, se anota en cada punto de observación el valor mensual de la altura o cota del nivel freático referida al nivel del mar. Con estos datos, se trazan las curvas de igual nivel a equidistancias que pueden variar de 0.25, 0.50 ó 1.00 metro, según sea la diferencia de desnivel existente entre la mayor y menor altura del área en estudio (Plano 2) y una vez formado se obtiene:

a) Las líneas equipotenciales.

- b) La dirección de las líneas de corriente de las aguas freáticas (suelo homogéneo).
- c) Las zonas con diferentes valores de gradientes hidráulicos.
- d) Posibles zonas de aportación o sumideros.
- e) Valor relativo de las conductividades hidráulicas de cada área.

2.4.5.6. Plano de Mínimos Niveles Freáticos Observados.

Las profundidades o cotas más bajas del nivel freático que fueron observadas en cada pozo, durante un período no menor de 12 meses, se anotan en un plano del área en estudio, y con los valores resultantes se trazan las curvas de nivel en forma semejante a como se formó el plano de Isohypsas.

Aunque este plano no muestre las condiciones del flujo de un momento dado, ya que el conjunto de lecturas mínimas que han sido seleccionadas no corresponde a una sola observación, si representa los niveles de los mantos freáticos de cada lugar cuando éstos reciben las menores aportaciones, y es posiblemente la única representación hipotética del estado que tendrá el manto freático después de que haya sido construída una red de drenaje que trabaja eficientemente.

Es por lo tanto, el momento que más se aproxima a la condición de un régimen permanente y establecido sin efectos de alimentaciones temporales.

Por otra parte, las líneas de corriente resultantes de las equipotenciales del plano de niveles mínimos, marcan la dirección y los recorridos más probables de los flujos de las aguas freáticas futuras.

Por lo anterior, se comprende la importancia que tiene para el diseño -- del drenaje "interceptor" y de "alivio", tanto de tipo general como parcelario.

2.4.5.7. Trazo de Líneas de Corriente.

Si se acepta la hipótesis anterior y aceptando también que el estrato -- transmisor es homogéneo e isotrópico, las isohypsas representan equipo-- tenciales y consecuentemente las líneas perpendiculares a ellas y de recorridos ortogonales, serán las "líneas de corriente del flujo de las aguas -- freáticas".

La unión de varias líneas de corriente definen centros de acumulación o -- sumideros, en cambio la salida y difusión de ellas corresponderán a lugares de alta alimentación. Los recorridos muestran la tendencia y di-- rección del movimiento, así como las fuentes aportadoras de carácter -- permanente y su importancia. Este plano es necesario para diseñar la di-- rección de los drenes interceptores que tendrán que ser proyectados per-- pendicularmente a las líneas de corriente.

2.4.5.8. Planos de Isoincrementos.

Estos planos se obtienen al sobreponer cada plano mensual de isohypsas - al de mínimos niveles observados, anotando la magnitud de los incrementos y uniendo con líneas continuas los puntos en que éstos sean iguales. El plano resultante muestra en forma clara verdaderos promontorios de material saturado, producto de filtraciones temporales así como la forma en que se difunden.

Con ayuda de los planos mensuales, se pueden definir las causas que originan los promontorios, ya que es probable que aquellos que se desvanecen en unos meses y vuelven a aparecer en otros, tienen su origen en sobre-riegos o en filtraciones de canales que no se operan permanentemente. En cambio, los que se desplazan con recorridos de forma más o menos constante por varios meses consecutivos, procederán de filtraciones de una fuente que se opera en forma constante.

La elaboración del plano mensual de incrementos constituye un complemento del plano de líneas de corriente, ya que con la ayuda de estos dos planos podemos precisar las localizaciones que deben tener los drenes, así como las direcciones más convenientes para interceptar los desplazamientos de agua.

2.4.5.9. Plano de la profundidad del Estrato Impermeable o Hidroapoyo.

Se define como "barrera impermeable" también llamada hidroapoyo a la

capa de suelo que limita el movimiento gravitacional del agua y se considera como tal, cuando el valor de la conductividad hidráulica es aproximadamente 1/10 de la del suelo superficial.

El Bureau of Reclamation (1964), establece que un estrato se constituye en "barrera" cuando la conductividad hidráulica es menor de 1/5 de la conductividad hidráulica ponderada en los estratos colocados sobre el mismo, de tal manera que:

$$\text{Barrera impermeable o hidroapoyo } k_3 = \frac{k_1 H_1 + k_2 H_2}{5 (H_1 + H_2)}$$

En donde

k_1 y k_2 . - conductividad hidráulica en los estratos 1 y 2 respectivamente.

H_1 y H_2 . - Espesor de los estratos 1 y 2

Para formar el plano correspondiente se interpolan las profundidades del estrato impermeable en cada uno de los puntos o pozos de observación trazando isólinas que separan a las áreas con diferente profundidad del hidroapoyo.

2.5. ANALISIS DE LOS FACTORES QUE ORIGINAN EL PROBLEMA DE DRENAJE.

Los estudios y planos elaborados, precisan los factores que en forma

directa o indirecta, originan los problemas de drenaje.

Deben examinarse y valorarse los aspectos que contribuyen a la recarga -- de los mantos freáticos, así como aquellos que interfieren la descarga, utilizando para ello un análisis de entradas y salidas del agua en el área de estudio; este análisis recibe el nombre de "Balance Hidrológico"

Establecer un balance hidrológico, es análogo a los métodos de tránsito de avenidas utilizados en los análisis de las presas, ya que está basado en el principio de conservación de la masa representado por la siguiente ecuación.

$$\Sigma \text{ Entradas} - \Sigma \text{ salidas} = \text{Cambio de Almacenamiento (1)}$$

Las entradas de agua a la zona de estudio son:

La precipitación

El agua de riego aplicada

El agua subterránea que entra en el área

El agua superficial de cuencas mas altas.

Las salidas del agua de la zona son:

La evapotranspiración.

El agua subterránea que sale del área

El agua que superficialmente sale de la zona.

Los parámetros que intervienen en el balance de la humedad son difíciles de estimar tanto por la falta de estudios geohidrológicos como por la esca-

sés de datos climatológicos; los planos de incrementos nos ayudan a complementar este balance y no obstante que no sea lo suficientemente preciso, dada la importancia que tienen éstos factores en los problemas de empantamiento y ensalitramiento, se debe efectuar su cálculo en cada lectura de los niveles freáticos y durante un lapso mínimo de un ciclo anual.

Al tratarse de áreas con riego en operación es necesario tener en cuenta la estimación de las aportaciones a la recarga por las pérdidas del agua - que se producen de la red de distribución, así como los excedentes de aplicación del riego a nivel parcelario. También se deben valorar los conceptos que auxilian a la eliminación de los volúmenes, como es el caso de estimar la influencia o grado de funcionamiento de la red de drenaje existente, desde el punto de vista de su buena o defectuosa localización interceptora, así como del estado de conservación en que se opera.

2.6. JERARQUIZACION DE LOS PROBLEMAS DE DRENAJE CON LA FINALIDAD DE ESTABLECER EL ORDEN DE APLICACION DE NORMAS CORRECTIVAS.

Se deben tomar en cuenta un gran número de factores antes de elegir las - medidas correctivas que deberán aplicarse para detener o controlar las - fuentes que provocan el problema de drenaje, y una vez determinados se jerarquizarán en atención a la urgencia de su construcción siguiendo generalmente el orden técnico que se menciona a continuación:

2.6.1. CONTROL DE FUENTES SUPERFICIALES.

- a) Formación de bordos protectores de inundación en cauces de ríos o arroyos.
- b) Construcción de drenes interceptores y red colectora para conducir los volúmenes superficiales producidos por las precipitaciones pluviales (Drenaje de Apoyo)
- c) Redes colectoras que recojan los excedentes superficiales de riego.

2.6.2. CONTROL DE FUENTES INTERNAS.

- a) Revestimiento de los tramos de los canales que son fuertemente aportadores de agua por filtraciones.
- b) Redes de drenaje para interceptar las corrientes internas.
- c) Redes de drenes interceptores de tipo parcelario.
- d) Baterías de pozos de drenaje vertical, en caso de existir subalimentación a presión.

No obstante la necesidad de la mayor parte de ellas, algunas requieren mayor atención, por lo que deberá dárseles preferencia.

2.6.3. DRENAJE COMPLEMENTARIO.

Finalmente en aquellos casos donde aún establecidas las medidas correctivas, persisten las zonas con problemas que requieren de un drenaje

complementario o parcelario, aunque sea costoso, deberá ser construido éste.

La necesidad de su requerimiento, se apoya en el criterio de definir primeramente las zonas que lo necesitan, aplicando dos grupos de valores - que indirectamente clasifican el orden de tales medidas correctivas.

Estos grupos son:

A. - Profundidad del manto freático.

B. - Capacidad de drenaje natural de los suelos.

La profundidad del manto freático resultante, una vez establecidas las normas correctivas generales de la zona, puede ser aceptable en lugares húmedos de baja salinidad; en el caso en que los suelos sean muy salinos y requieran los niveles freáticos más bajos, se les dará preferencia a las zonas que tienen los niveles freáticos más cercanos a la superficie.

Cuando el drenaje natural de los suelos es deficiente, se deberá calcular la capacidad de drenaje natural del suelo utilizando la fórmula de Averyanov, en distintos puntos del área de estudio; lo cual indicará el orden de preferencia para la construcción del drenaje complementario.

Esta fórmula es:

$$A_s = \frac{B e^2}{4 k T \alpha e}$$

- A_e Parámetro indicador de la capacidad existente de drenaje de los suelos, el cual deberá ser ajustado con base en resultados obtenidos en el lugar de estudio. Se mide en días.
- B_e Separación existente entre drenes en metros.
- k Coeficiente medio de conductividad hidráulica; se expresa en metros por día.
- T Profundidad desde el piso de los drenes hasta el estrato impermeable (hidroapoyo) en metros.
- α_e Coeficiente de suspensión (ver cap. 2.8.2.)

Con los dos grupos de valores se forma un plano denominado "Requerimiento de Drenaje Parcelario", que proporciona la prioridad u orden en que deben construirse los drenes parcelarios en las diferentes zonas.

2.7. APLICACION DE METODOS CORRECTIVOS.

Los trabajos de mejoramiento están basados en la aplicación de métodos específicos para resolver los problemas de drenaje de las dos formas siguientes:

- 1.- Mejoramiento de las condiciones de humedad en un espesor de 2 metros de suelo.
- 2.- Disminución de la salinidad dentro del perfil útil del suelo hasta alcanzar contenidos de sales no perjudiciales a las plantas de cultivo.

El mejoramiento de las condiciones de humedad en la zona radicular de los cultivos cuando los suelos contienen alta salinidad, requiere de una me-

tecnología muy amplia que debe tratarse por separado, por lo que no será incluido en el presente trabajo.

2.7.1. TIPOS DE DRENES.

Los drenes pueden clasificarse por su construcción, por su funcionamiento y por su disposición en planta, de la siguiente manera:

I. Por su construcción.

- a) Drenes abiertos (zanjas)
- b) Drenes subterráneos adomados con pacas prensadas con materia seca - de productos agrícolas (trigo, linaza, arroz, etc.)
- c) Drenes subterráneos de tubos de concreto con filtro de grava.
- d) Drenes topo (ductos subterráneos sin revestir).

II. Por su Funcionamiento.

- a) Drenes de flujo horizontal.
- b) Drenes de bombeo, de acción vertical.

Los drenes de flujo horizontal se clasifican en:

Interceptores. - Cuando se colocan perpendicularmente a las líneas de corriente y descansan sobre un estrato impermeable.

De Alivio. - Cuando se colocan arriba de un estrato impermeable y llevan la misma dirección que las líneas de corriente.

Los drenes de bombeo son pozos profundos o pozos someros para eliminar la recarga.

III. Según la disposición en planta se clasifican en:

- a) Drenaje libre o al azar.
- b) Espina de pescado
- c) Paralelos o emparrillados (a 30° , 60° , y 90°)
- d) Doble principal.

El drenaje libre o al azar no se sujeta a una localización geométrica rígida, es el que más se usa especialmente en drenes abiertos; generalmente lo único que gobierna su trazo en el terreno es el estudio topográfico y los linderos de las parcelas.

Los demás tipos de disposición se usan más frecuentemente cerrados y en su trazo influye en gran parte el estudio freaticométrico. (ver figura 3)

2.8. DIVISION DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE.

Como se mencionó en los incisos anteriores, existen medidas correctivas de los altos niveles freáticos en las planicies de inundación, solucionando los problemas que son ocasionados por las altas precipitaciones, por las entradas superficiales ya sean a causa del agua superficial de las partes altas que escurre hacia las partes más bajas sin ningún encauzamiento, o bien, por las aguas que penetran a la zona debido a los desbordamientos de los

ríos.

En todos estos casos, la aplicación de los sistemas de drenaje, se inicia con una solución de tipo superficial y se complementa con una red de drenaje interna o subsuperficial a nivel parcelario, lo que ha llevado a la separación del sistema de drenaje en:

- Drenaje de Aguas Superficiales.
- Drenaje de Aguas Subterráneas.

2.8.1. DRENAJE DE AGUAS SUPERFICIALES.

El drenaje de aguas superficiales se lleva a cabo de dos modos generales:

- 1) Se evacúa el agua de la superficie del suelo comprendida en la zona afectada.
- 2) Por medio de construcciones fuera de la zona, se desvía el agua de la extensión que se ha de proteger.

Para el primer caso, lo conveniente es que el sistema quede dividido en tres partes funcionales:

- 1.- Sistema colector.- Zanjas superficiales en el campo, surcos profundos y zanjas de desviación, son parte del sistema que recoge el agua del suelo en primer lugar.

2.- Sistema de Evacuación.- Esta es la parte del sistema - que recibe agua del sistema colector y la lleva generalmente, por medio de una zanja o un canal a cielo abierto, hasta la salida.

3.- Salida.- Este es el punto terminal del sistema de drenaje que se está considerando.

Fundamentalmente, el drenaje de la superficie utiliza la energía potencial que existe, debido a la elevación, para que proporcione un gradiente hidráulico. El sistema de drenaje superficial crea una pendiente que logra avanzar el agua desde el terreno hacia una salida o hasta una elevación más baja. El proyecto de sistemas colectores en tierras planas tales como surcos profundos o zanjas de campo, se basa en criterios empíricos es decir, el trazado se apoya en observaciones de campo del comportamiento del sistema de drenaje. La velocidad con que deba retirarse el agua de la tierra está en función de las necesidades del cultivo y de la fuente del agua excesiva.

En el trazado del drenaje puede producirse una corriente desigual y no --- continúa, tal como en las salidas a corrientes de agua sometidas al influjo de las mareas. Las pérdidas de carga en éstos casos, pueden calcularse dividiendo el tiempo en incrementos convenientes, dentro de cada uno de los cuales, el flujo cambiante puede tomarse como una velocidad constante o media de la corriente.

2.8.1.1. Gastos de Diseño de los Drenes.

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, ha estudiado por medio de aforos, la forma en que el gasto unitario proveniente de una lluvia en exceso en cuencas "planas" (pendientes del 1% o menores) decrece a medida que aumenta el área de aportación al dren, por lo que ha establecido la siguiente fórmula para el gasto de diseño de los drenes:

$$Q = C M^{5/6} \quad (2)$$

Donde:

- Q Capacidad requerida del dren en ft^3/seg .
- C Coeficiente que depende de las características de la cuenca y de la magnitud de la tormenta contra la que se quiere dar protección.
- M Area de drenaje en millas cuadradas.

El coeficiente C se determina por la relación:

$$C = 16.39 + 14.75 Re \quad (3)$$

Donde "Re" es la lluvia en exceso en pulgadas.

La lluvia en exceso dependerá del nivel de protección que se desee proporcionar a los cultivos. En la fig. 4 está graficada la solución de esta ecuación para diferentes valores de "Re"

Al determinar "Re" para cuencas planas deberán considerarse los siguientes factores:

- Es normal y no necesariamente dañino que el agua se acumule a profundidades someras en las tierras planas durante intensos o extensos períodos de lluvia. Tales acumulaciones se extenderían por lapsos -- relativamente cortos.
- No es práctico contener todo el escurrimiento dentro de canales en -- tierras planas, excepto para tormentas de extremadamente baja intensidad y corta duración.

El nivel de protección en tierras planas se refiere a la duración y frecuencia de tormentas contra las que se quiera proteger y a la profundidad y duración de la inundación para que no ocurran pérdidas significativas en los -- cultivos.

Normalmente se toma la lluvia máxima en 48 horas, para el período de retorno hasta el que se desee dar protección, se calcula la lluvia en exceso -- correspondiente y se divide entre 2. La protección no debe ser contra tormentas de baja frecuencia; se recomiendan períodos de retorno de 2 a 5 -- años dependiendo de la clase de cultivo.

Para cultivos de alto valor con baja tolerancia a la inundación, es deseable una protección contra una tormenta de 10 años de frecuencia.

2.8.1.2. Cálculo Hidráulico para Drenos Abiertos.

El cálculo hidráulico de los drenes, se hará una vez que se hayan obtenido las capacidades requeridas de los mismos. Para el diseño de éstos, se --

dibujará el perfil del terreno por el trazo de cada uno de ellos, marcando los puntos de descarga de otros drenes tributarios al mismo.

Se dibuja en cada perfil a una profundidad media de 1.5 m, la posible traza de la plantilla del canal, obteniéndose la pendiente (s) de la misma. Se iniciará el procedimiento desde los drenes más bajos (drenes principales), terminando con los que se encuentran en las partes más altas (drenes secundarios). Esto se hace con el objeto de que cuando se diseñen los drenes que descargan en otros, se consideren las elevaciones para dichas descargas.

Los drenes que se utilizan para drenaje superficial son generalmente zanjas, cuya geometría está sujeta a la estabilidad de los taludes, mismos, que dependen de las propiedades mecánicas del material en el cual se excavarán.

Los drenes que se construyan exclusivamente con el fin de eliminar el agua de la superficie, o de interceptar el escurrimiento superficial, pueden proyectarse de modo que funcionen a toda su capacidad en las épocas de máximo escurrimiento.

El procedimiento del cálculo hidráulico de estos drenes es por medio de tanteos como se indica a continuación:

- 1.- Se elije el talud (k) apropiado según las propiedades mecánicas del suelo.

- 2.- Se supone un ancho de plantilla (b) y un tirante (d) aproximado a la profundidad de la plantilla.
- 3.- Se calcula el área hidráulica (A) y el perímetro mojado (P).
- 4.- Se calcula el radio hidráulico (r) con la relación:

$$r = \frac{A}{P} \quad (4)$$

- 5.- La fórmula:

$$Q = \frac{A}{n} r^{2/3} s^{1/2} \quad (5)$$

n-coeficiente de rugosidad (sin dimensiones).

es una combinación de la ecuación de continuidad ($Q=vA$) y de la fórmula de la velocidad del agua en canales abiertos obtenida por Manning ($v = \frac{1}{n} r^{2/3} s^{1/2}$); esta fórmula ayudará a revisar si las dimensiones supuestas corresponden a la capacidad necesaria del dren, y si están dentro de los límites mínimo y máximo de velocidad; restricción con la cual se evitan tanto azolves como erosiones y cuyos valores aproximados son de 0.4 y 1.2 m/s respectivamente.

En caso de que las dimensiones supuestas no correspondan a la capacidad que requiere el dren, se harán nuevos tanteos modificando las dimensiones de la plantilla y el tirante. Si aún hechas las modificaciones anteriores, no se satisface la solución, será necesario tantear con pendientes mayores o menores, según sea el caso, a fin de que la capacidad del dren sea cumplida.

2.8.2. DRENAJE DE AGUAS SUBTERRANEAS.

El drenaje de aguas subterráneas en terrenos sin problema de ensalitra-

miento, como son los de las zonas de "humedad", está constituido por zanjas abiertas, drenes "topo", drenes de tubería de diferentes tipos y pozos de bombeo profundo, similares a los de abastecimiento de agua potable o de riego. Los volúmenes desalojados por el drenaje, son descargados a los sistemas colectores para su desfogue por medio de receptores de aguas de drenaje.

La finalidad del drenaje de las aguas subterráneas, es asegurar un régimen de humedad y aereación de la zona radicular que no perjudique a los cultivos, (evitando la saturación prolongada de los suelos hasta humedades superiores a la capacidad de campo), mediante la evacuación rápida y oportuna de los excesos de humedad acumulados de diversas fuentes, como son los sobrerriegos, precipitaciones, pérdidas por filtración en canales, así como aportaciones de corrientes subterráneas provenientes de zonas altas o de acuíferos confinados. Para lograr lo anterior el drenaje debe impedir las sobreelevaciones del manto freático, a profundidades menores que las que la práctica recomienda actualmente, según los suelos, la época y tipo de explotación agrícola.

De una manera más amplia, puede decirse que a medida que la técnica agrícola lo permita y las condiciones específicas lo aconsejen, la finalidad de los drenes subterráneos será regular el régimen de humedad de los suelos, de manera que se abastezcan las necesidades de agua de los cultivos con un mínimo de requerimientos de riego.

Por otro lado, el drenaje debe mantener suficientemente profundos los mantos freáticos de manera que la estabilidad del suelo permita el paso de la maquinaria agrícola. Sin embargo, por regla general esta condición se observa cuando se cumple lo anterior.

Los estudios del drenaje subterráneo tienen como objeto la determinación del tipo de drenaje por utilizar, su localización en planta para las zonas afectadas o en posibilidad de afectarse de altos niveles freáticos, las separaciones, la profundidad y capacidad de conducción de los drenes, así como su diámetro (si se trata de drenes de tubería) y pendiente.

El proyecto de drenaje se basa en los siguientes factores:

- a) Tipo de cultivo dominante que se estime prevalecerá en los años futuros.
- b) Características físicas del suelo.
- c) Fracción de las precipitaciones atmosféricas que se infiltra en el suelo.

La diferencia en el proceso de cálculo del drenaje de aguas subterráneas en zonas bajo cultivo, respecto de las zonas en proyecto, consiste principalmente en que para este último caso debe estimarse la alimentación probable por las pérdidas de riego eventuales. En el primer caso este dato se conoce de los estudios sobre eficiencias de aplicación y conducción del agua. Los riegos pueden ser necesarios cuando la distribución media de

las precipitaciones no satisface las demandas de agua de los cultivos.

La cuantificación del gasto total por drenar es importante, puesto que la separación, profundidad y diámetro de los drenes deben estar diseñados para desfogarlo sin necesidad de altas cargas hidráulicas, para que los niveles freáticos queden en todo tiempo abajo de las profundidades permisibles. Rigurosamente hablando, el gasto depende no de la carga hidráulica (además de la permeabilidad del suelo y capacidad del dren), sino del gradiente hidráulico medio en la zona de entrada del agua al dren. Sin embargo, puede decirse que el valor del gradiente hidráulico guarda cierta proporción con la carga hidráulica y además con la separación entre drenes y tipo de alimentación (concentrada, uniformemente distribuida, etc.).

La dificultad para calcular el drenaje subterráneo, además de la heterogeneidad del suelo, estriba en que tanto los gastos por drenar, como las profundidades permisibles de los mantos freáticos, son variables con el tiempo. Por este motivo es necesario analizar los flujos de filtración no establecida, los cuales presentan mucho mayores dificultades que los de flujo establecido (sin variación de parámetros con el tiempo).

Entre muchos investigadores ha habido la tendencia de simplificar, esquematizar y particularizar las condiciones del medio y del tipo de alimentación del manto freático, lo que ha permitido obtener ciertas fórmulas válidas para casos particulares. Estas tendencias se refieren específicamente a lo

siguiente:

- a) El medio se considera homogéneo; o bien se supone la existencia de un número determinado de estratos de configuración regular. El "hidroapoyo" o estrato impermeable cuando existe y los "techos de mantos confinados" o estratos permeables, generalmente se consideran horizontales, así como la superficie del terreno.
- b) Se supone que la alimentación del manto freático se debe a la presencia de los siguientes factores: aguas de infiltración (lluvias, sobrierios), subalimentación de aguas a presión o ambos. Sin embargo se desprecia la participación del manto freático en la evapotranspiración y la dependencia de la magnitud de la infiltración respecto de la profundidad del manto freático.
- c) No se toma en cuenta la variación de la alimentación en el tiempo y en espacio; es decir, se toman valores medios tanto a través del año como en la superficie por drenar.

Las consideraciones anteriores, a costa de la exactitud, han permitido, para diferentes combinaciones de condiciones específicas, formular y resolver las ecuaciones diferenciales que describen el proceso de trabajo del drenaje y que sirven para calcular las características de proyecto del mismo.

Suelos Homogéneos e Isotrópicos.

A continuación se presentan algunas de las fórmulas más empleadas para este tipo de suelos. Debe cuidarse que la fórmula seleccionada corresponda a condiciones similares a las del problema por resolver.

Para el drenaje de aguas exclusivamente de infiltración (lluvias, y pérdidas por sobreriego), solo se emplearán drenes horizontales, abiertos o de tubería.

En este tipo de suelos, cuando la plantilla del dren llega hasta el "hidroapoyo" (o estrato impermeable), se llaman "drenes perfectos". Si se trata de drenes entubados entonces los tubos quedan colocados sobre el hidroapoyo. Este tipo de drenaje, se ilustra en la figura 5 y solo es posible económicamente construirlo cuando el hidroapoyo es somero y se encuentra a una profundidad menor de 1.5 a 2 m.

La separación de los drenes se calcula mediante la fórmula de Rothe:

$$B = 2H \sqrt{\frac{k}{q}} \quad (6)$$

Donde:

B.- Separación en metros.

q.- Intensidad media de alimentación de infiltración de aguas de lluvia y/o sobreriegos durante el período crítico. Se expresa en metros por día.

k.- Coeficiente medio de conductividad hidráulica, se expresa en metros por día.

H_{p-a} (se expresa en metros)

p. - Profundidad de los drenes condicionada por la profundidad del estrato impermeable, pero no mayor de 2 m.

Si el hidroapoyo es más profundo se emplean drenes "suspendidos" los que se calculan con las fórmulas descritas más adelante.

a. - Profundidad permisible del manto freático según el tipo de cultivo y la época mas crítica de drenaje.

Las dimensiones del dren, su pendiente y su diámetro (si es de tubería), se calculan de acuerdo con el gasto unitario (q) y la longitud hasta su desembocadura en el colector respectivo.

Si al hacer esto se comprueba que el tirante del agua en el dren es considerable (más de 40 a 50 cm), deberá rehacerse el cálculo empleando la siguiente fórmula, en lugar de la fórmula (6).

$$B = 2 \sqrt{\frac{k}{q} (H^2 - h^2)} \quad (7)$$

Donde: B, k, H y q se definen en la fórmula (6)

h. - Tirante del agua en el dren abierto, expresado en metros.

La localización de los drenes en planta, de acuerdo con la pendiente del terreno, puede ser en sentido transversal o bien en el sentido de la pendiente.

Los drenes "suspensos" se utilizan cuando el hidroapoyo o estrato impermeable es profundo, de más de 2 m. de profundidad. El esquema de trabajo de este tipo de drenes se ilustra en la fig. 6

En el drenaje de aguas subterráneas, se procura que el nivel freático quede lo más cercano a la superficie del terreno pero abajo de las profundidades permisibles. Para mantener estas profundidades podrían emplearse drenes separados y profundos; o bien drenes a corta separación y más superficiales. Con la primera alternativa, no se logra uniformidad en el drenado, pues las zonas allegadas a los drenes quedarán excesivamente drenadas; por esta razón, así como por razones económicas, se procura emplear drenes poco profundos siempre y cuando su separación no sea demasiado pequeña pues encarecería el proyecto.

Las separaciones de los drenes suspensos se calculan por las siguientes fórmulas (Averyanov 1959):

$$B = 2H \sqrt{\frac{k}{q} \left(1 + \frac{2T}{H}\right) \alpha} \quad (8)$$

Donde las literales B, H, k, y q tienen el mismo significado que el caso anterior.

T.- Profundidad desde el hidroapoyo hasta el piso de los drenes (m)

α .- Coeficiente de suspensión y se calcula de la siguiente manera:

Si $\frac{B}{T} \geq 3$:

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{2T}{B}} \quad (9)$$

$$s = \frac{d}{\pi} \ln \left[\frac{l}{\sin \left(\frac{\pi d}{2l} \right)} \right] \quad (10)$$

Donde:

ln. - Logaritmo natural.

d. - Diámetro del dren.

Si el dren es abierto: $d = b + 0.5 h$

Donde b y h son plantilla y tirante del dren abierto.

Cuando la relación $\frac{B}{T}$ es menor de 3, la expresión del coeficiente de suspensión es más complicada. En este caso, dicho coeficiente puede ser calculado con ayuda de la figura 7, donde se entra con los valores de $\frac{B}{4T}$ y $\frac{d}{T}$; lo que implica que la determinación de B sea por tanteos.

Cuando el valor de T es muy grande (mayor de 4 m), puede emplearse la fórmula de Averyanov-Tsiuy Sine (1957):

$$B = \frac{\pi k H}{q \ln \frac{2B}{\pi \sqrt{2 d H}}} \quad (11)$$

En este caso se tiene el mismo significado de las literales y la separación de los drenes también se determina por tanteos.

3. SITIO TESECHOACAN.

La iniciativa del estudio de drenaje que envuelve este trabajo tiene como origen, el deseo de mejorar las tierras potencialmente productivas en la planicie costera del Golfo de México y la parte Sureste de la República.

Las informaciones básicas que intervienen en el estudio del Sitio Piloto Te sechoacán, en el estado de Veracruz, serán descritas a lo largo del presente capítulo incluyendo la aplicación de los principios de drenaje agrícola.

El sitio definitivo se escogió después de analizar diferentes alternativas -- con base en aspectos físicos (topografía, suelos, hidrografía, geotécnia) y socioeconómicos (tenencia de la tierra, nivel y distribución del ingreso, -- etc.) comprobándose su representatividad para varias regiones homogéneas con superficies en conjunto de 138 000 hectáreas.

Con diversas inspecciones de campo complementadas con métodos fotográficos en una superficie de 250 000 ha, se seleccionó el sitio con un área de 4 400 ha para estudios de obras de riego y drenaje y 5 488 ha para estudios

agrológicos y del manto freático.

Estas diferencias en las áreas se deben a que los estudios de los suelos, se hicieron hasta límites factibles de dominar topográficamente y los estudios de anteproyecto de las obras de drenaje, se realizaron siguiendo la delimitación parcelaria y de los ejidos.

3.1. UBICACION

El área se localiza al sureste de la República Mexicana en la planicie costera del Golfo de México, pertenece a la parte baja de la cuenca del río Papaloapan en la porción correspondiente al estado de Veracruz y sus coordenadas geográficas respecto a su centro de gravedad son $18^{\circ}06'$ de latitud norte y $95^{\circ}43'$ de longitud oeste (ver fig. 8).

El sitio definitivo se encuentra ubicado entre los ríos Obispo (margen derecha) y Tesechoacán (margen izquierda), al norte del poblado de Villa Azueta. Aún cuando existe un bordo de protección recientemente construido, el cual detiene los desbordamientos del río Tesechoacán, el área sufre problemas de inundación por las lluvias intensas, la falta de estructuras de alivio en el mismo bordo y la deficiencia del drenaje natural, circunstancias que han limitado su desarrollo.

La zona de estudio se encuentra unida a la red de carreteras del país, gracias a diferentes caminos vecinales que entroncan con las dos vías de impor

tancia que cruzan la región mediante los tramos: Alvarado - Cosamaloapan - Tuxtepec y La Tinaja - Ciudad Alemán - Acayúcan; la primera atraviesa la zona en dirección NE-SW en tanto que la segunda lo hace en dirección SW--SE; también se cuenta con el servicio de los ferrocarriles Veracruz - Istmo, en su tramo Veracruz - Villa Azueta; el transporte terrestre en general es a decuado, pero deberá ampliarse en la medida que la zona se desarrolle.

En las cabeceras municipales de la región se cuenta con el servicio de teléfono, correo y telégrafo. Esta zona se encuentra dentro de la jurisdicción de la Comisión del Río Papaloapan de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; dependencia regional que realiza un programa de desarrollo integral ejecutando una serie de obras como: introducción de agua potable, caminos, sanidad, educación, etc., para establecer mejores condiciones de vida para sus habitantes.

3.2. ESTUDIO TOPOGRAFICO

El área es generalmente plana presentando ondulaciones y lomeríos que aparecen cortados por los ríos cuyo trabajo geológico ha generado la llanura costera del Golfo mediante depósitos de acarreos fluviales de arenas, areniscas, limos y arcillas. En general las pendientes son suaves hacia la costa, lo cual proporciona la formación de planicies inundables. La zona presenta un drenaje natural en la parte central, compuesto de lagunas escalonadas, las que descargan con dificultad al río Papaloapan. Las pendientes son en general meno-

res del 1% presentándose depresiones aisladas en donde se forman encharcamientos producidos por las precipitaciones de gran intensidad y larga duración.

Existe una zona montañosa en la parte suroeste del sitio donde se forma una cuenca de aportación de 46 Km² que inunda la planicie en estudio; el lento desfogue de estas aguas es mediante el drenaje natural de la parte central - mencionado anteriormente y conocido como Arroyo de la Cruz.

3.3. ESTUDIO AGROLOGICO

Los suelos dominantes del área son de origen aluvial, con componentes de distintas edades, pudiendo diferenciarse: una zona de lomerío ligero con suelos originados en materiales antiguos; una porción plana con suelos aluviales recientes y una zona intermedia que ha recibido aportes de las dos zonas. En los estudios agrológicos se identificaron 4 series de suelos cuyas características generales son:

Serie Dobladero. - Son los suelos mas antiguos del área formados in-situ, y presentan un relieve de lomerío. Se caracteriza por tener coloraciones grises y cafés, textura ligera y por presentar horizontes con grava.

Esta serie comprende una superficie de 1 577 ha

Serie San Francisco. - Suelos recientes con topografía plana, profundos y de coloración café con textura fina en las capas superiores y media en las inferiores. La superficie de esta serie es de 1 854 ha.

Serie Tesechoacán. - Suelos recientes, profundos con topografía plana,

superficialmente son similares a los de las serie San Francisco, distinguiéndose por presentar textura fina en todo el perfil. La superficie de esta serie es de 1 239 ha.

Serie Juan Mulato. - Suelos recientes de formación coluvio - aluvial, - topografía plana a ligeramente ondulada. Presentan coloraciones cafés en su capa superficial y amarillentas a rojizas en las inferiores, - lo cual la diferencia de las series San Francisco y Tesechoacán. La superficie es de 818 ha.

Respecto a la clasificación de los suelos desde el punto de vista de su explotación bajo riego, los factores presentes de demérito intrínsecos del suelo y que no pueden ser modificables son: la textura, la permeabilidad y la profundidad de los lechos de grava; los factores de demérito factibles de mejorar con los trabajos de drenaje previstos y los de adecuación son: el drenaje superficial, la profundidad del manto freático y la inundación. De acuerdo con lo anterior, se identificaron suelos de primera a cuarta clase, según la siguiente distribución (fig. 9)

CLASE	SUPERFICIE .	
	(ha)	(%)
1	260.4	4.8
2	1418.4	25.8
3	3653.8	66.6
4	<u>155.4</u>	<u>2.8</u>
TOTAL	5488.0	100.0

3.3.1. INTERPRETACION DE LOS ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS.

Los resultados de los análisis y observaciones de campo practicados en las muestras de los suelos de cada una de las series, son interpretados a continuación:

Los suelos de las series San Francisco, Tesechoacán y Juan Mulato, muestran que en general, su textura es arcillosa y su consistencia es plástica y adherente en mojado, características que indican, que estos suelos presentarán problemas para su labranza, si esta no se realiza a contenidos de humedad convenientes; ya que si se trabajan a bajos contenidos de humedad, se levantarán terrones que será necesario romper en labores adicionales que pueden deteriorar la estructura del suelo; si se trabajan demasiado húmedos, también se formarán terrones que al secarse serán difíciles de romper, además de que se realizarán con mayor dificultad dichas labores por la adherencia del suelo a los implementos de labranza.

Los suelos de la serie Dobladero, muestran una textura franco arenosa y su consistencia es suelta en seco, muy friable en húmedo y no es plástica ni adherente en mojado, características que indican, que estos suelos no presentarán problemas para su labranza.

En todas las series el pH es ácido, lo cual reduce la eficiencia en el aprovechamiento de la mayoría de los nutrimentos mayores, sobre todo del fósforo.

Respecto a los parámetros indicadores de la fertilidad de estos suelos, to-

mados de la capa superficial que es la que tiene mayor influencia en el rendimiento de las cosechas comunes, puede decirse lo siguiente:

Solo la serie Dobladero muestra un rico contenido de materia orgánica; no obstante, el nitrógeno total se considera bajo al igual que en las otras series.

El fósforo aprovechable se encuentra en cantidades que se consideran de medias a muy altas, sin embargo, dada la acidez de los suelos, estos límites deben tomarse con reserva, ya que pudieran no ser aplicables bajo estas condiciones.

El potasio asimilable se encuentra presente en cantidades que varían de bajo a muy alto, observándose que en general domina el contenido de este elemento en niveles de fertilidad moderada. En cuanto a calcio y magnesio disponibles, sus contenidos son en general muy altos, con excepción de la serie Dobladero, que contiene bajo nivel de calcio aprovechable, pero alto el contenido de magnesio asimilable.

En lo que se refiere a salinidad y sodicidad, estos suelos se encuentran sin problema alguno, debido a la alta precipitación que se presenta en la zona.

3.4 ESTUDIO HIDROLOGICO.

Los límites naturales del área de proyecto los constituyen al norte las lagunas de inundación Lagarto y San Francisco. al este, el río Tesechoacán y al suroeste, la cuenca de aportación del Arroyo de la Cruz con 4 600 ha

de superficie. Sobre la orilla del río Tesechoacán, existe un bordo que protege el área contra desbordamientos del río, por lo que solo existe el problema de inundación por precipitaciones altas. La estación "Villa Azueta" fué seleccionada como la representativa del área, ya que es la que se encuentra más próxima al sitio piloto y es además la que cuenta con mayor información.

El clima de la zona se clasifica como semi-húmedo con moderada deficiencia de agua invernal, calido y con régimen normal de calor; la temperatura media anual es de 26° c, alcanzando ocasionalmente, máximos de 46° c y mínimos de 5° c. La temporada de lluvias se presenta de junio a octubre y el estiaje de noviembre a mayo, siendo la precipitación media anual de 1560 mm mientras que la evaporación tiene un valor medio anual de 1390 mm. Para la clasificación del clima del sitio piloto se analizaron los datos de la estación climatológica de Villa Azueta, Ver., los cuales cubren un período de observación de 28 años (de 1948 a 1975); dicha estación se encuentra ubicada en la población del mismo nombre localizada a 7 Km del sitio. No se presentan heladas, nevadas ni granizadas.

El clima es uno de los factores que mas influye en la producción agropecuaria, por lo tanto, en los incisos 3.4.1 a 3.4.4, se hace una análisis de los parámetros utilizados para su clasificación.

Dado que el río Tesechoacán es la única corriente superficial que puede te-

ner influencia directa en cuanto a inundaciones sobre el área elegida para el proyecto, la estación hidrométrica para el análisis de la información hidrométrica, fué la de Villa Azueta, que se encuentra sobre el río mencionado y en las inmediaciones de la población del mismo nombre; dicha información cubre un período de 29 años (1947 - 1975).

En general, existen pocos problemas de inundación ocasionados por el río Tesechoacán, debido al bordo de protección que se construyó; sin embargo, es conveniente determinar con base a la información existente, el nivel de aguas máximas extraordinarias que se ha presentado hasta la fecha, encontrándose que éste ha sido de 15.50 m. s. n. m., en tanto que la elevación de la corona del bordo es de 16.50 m. s. n. m., razón por la cual puede decirse que el sitio se encuentra debidamente protegido. El nivel mínimo que se ha registrado en la estación seleccionada es de 9.50 m. s. n. m.

3.4.1. TEMPERATURA.

Los datos de temperatura cubren un período de 27 años, con ellos se elaboró la tabla 1 en donde se indica la temperatura media mensual y anual.

Con esta información se construyó el diagrama de barras de temperatura media mensual que aparece en la figura 10, en donde se puede observar la variación de la temperatura a lo largo del año; de acuerdo a este diagrama, la temperatura asciende a partir del mes de enero con valores desde 22° c. hasta el mes de mayo con valores de 30° c, posteriormente las temperatu-

TABLA 1

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y ANUAL
EN LA ESTACION DE VILLA AZUETA
PERIODO 1948 - 1974

M E S	VALORES MEDIOS °C
Enero	22.16
Febrero	23.14
Marzo	25.65
Abril	28.05
Mayo	29.39
Junio	28.89
Julio	27.52
Agosto	27.95
Septiembre	27.45
Octubre	24.29
Noviembre	24.16
Diciembre	22.62
A N U A L	26.02

ras descienden hasta alcanzar los valores antes señalados.

La temperatura media anual de la zona es de 26° c, presentándose máximas de 46° c y mínimas de 5° c.

3.4.2. VIENTOS.

Del análisis de la información de vientos se determinó que los vientos dominantes en la región, soplan en dirección oeste con velocidades medias de 2 a 26 Km/h. Los meses que con mas frecuencia se presentan estos vientos son junio, julio, agosto y septiembre.

Los meses, con más calmas son de octubre a marzo, aunque esporádicamente suceden perturbaciones atmosféricas que generan vientos mayores que van de 30 a 66 Km/h.

3.4.3. EVAPORACION.

Con los datos de evaporación se elaboró la tabla 2 en la que se muestra la evaporación media mensual y anual.

A partir de la información de esta tabla, se hizo el diagrama de variación de la evaporación media mensual, misma que se muestra en la figura 10, de la que se puede apreciar que el período de máxima evaporación está comprendido entre los meses de marzo a septiembre, con valor máximo para el mes de mayo de 158 mm y mínimo de 31 mm para el de diciembre.

TABLA 2
EVAPORACION MEDIA MENSUAL Y ANUAL
EN LA ESTACION DE VILLA AZUETA, VER.
PERIODO 1951 - 1974.

M E S	VALORES MEDIOS (mm)
Enero	70.64
Febrero	82.79
Marzo	128.56
Abril	152.70
Mayo	170.72
Junio	145.75
Julio	130.37
Agosto	124.59
Septiembre	106.23
Octubre	78.31
Noviembre	90.29
Diciembre	53.13
A N U A L	1 390.60

La evaporación media anual en la zona es de 1390 mm.

3.4.4. PRECIPITACION.

Los datos mensuales de precipitación están contenidos en la tabla 3 además se incluye la precipitación media anual y media mensual; así mismo, con el fin de observar la variación de la lluvia a lo largo de un ciclo anual, se construyó el hietograma de las precipitaciones medias mensuales, el cual se muestra en la fig. 12. De acuerdo a esta figura, se puede observar que las máximas precipitaciones se presentan entre los meses de junio a octubre, las cuales definen la temporada de lluvias en la zona, en tanto que el período de estiaje es de noviembre a mayo presentándose algunas lluvias aisladas.

En la tabla 3 se puede observar que los meses de mayor y menor precipitación son julio y febrero con valores de 352 mm y 24 mm respectivamente. En la misma tabla se determinó que la precipitación media anual en la zona es de 1560 mm.

3.4.4.1. Lluvias Máximas en 24 horas.

Con el fin de determinar la ocurrencia en el tiempo de las lluvias máximas diarias, se analizaron los datos para un período de 15 años (1960-1974), encontrándose que el valor máximo es de 212.8 mm el cual se produjo el 20 de septiembre de 1974. La distribución anual de las lluvias máximas en 24 horas se presenta en la figura 13.

TABLA 3

REGISTROS DE PRECIPITACION MENSUAL (mm) EN LA
 ESTACION CLIMATOLÓGICA DE VILLA AZUETA, VER. (S.R.H.)
 PERIODO 1960 - 1974.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1960	23.6	9.9	11.2	55.1	12.6	209.5	596.7	224.4	383.3	67.1	103.5	61.9	1 750.8
1961	43.0	17.4	33.5	0.5	7.5	225.8	371.6	42.7	192.8	101.3	181.1	58.5	1 275.7
1962	17.8	0.0	24.0	107.2	5.2	176.9	186.3	234.3	164.0	341.1	32.4	29.0	1 318.2
1963	20.0	11.5	30.5	0.0	39.6	250.9	355.7	226.4	165.1	73.2	5.7	84.7	1 263.3
1964	23.2	10.1	43.7	0.0	44.5	134.2	234.6	112.7	106.8	217.2	39.1	107.5	1 073.6
1965	52.7	22.7	16.9	36.3	0.0	284.6	428.2	181.5	92.2	90.9	83.2	42.6	1 331.8
1966	35.9	48.7	28.6	7.7	54.1	295.5	212.3	128.2	182.7	341.7	41.3	4.0	1 360.7
1967	27.7	28.3	0.0	35.5	34.6	272.2	202.1	218.4	147.2	220.9	80.5	19.2	1 286.6
1968	46.0	46.1	34.3	8.0	76.2	493.8	376.8	255.4	282.1	194.9	77.6	70.4	1 961.6
1969	24.6	25.1	75.7		21.1	200.4	442.8	729.6	549.9	119.0	37.9	69.5	2 295.6
1970	15.0	31.1	27.4	1.5	10.0	327.5	300.8	269.9	216.8	66.7	54.4	12.7	1 334.6
1971	20.2	13.0	22.1	18.3	23.8	120.1	332.0	267.2	148.0	229.4	217.0	122.2	1 533.3
1972	29.4	22.0	65.9	11.3	47.1	227.1	557.2	259.2	199.0	304.2	76.1	7.2	1 805.7
1973	50.6	46.5	0.0	8.3	53.7	402.3	423.6	437.5	215.6	191.0	86.3	115.7	2 031.1
1974	93.6	27.7	12.1	3.2	100.3	393.5	269.9	100.9	548.3	207.8			1 757.3
SUMA:	524.10	360.00	425.85	341.60	530.25	4014.30	5290.50	3688.20	3593.70	2766.30	1041.60	751.38	23 407.50
MEDIA	34.94	24.00	28.39	24.40	35.35	267.62	352.70	245.88	239.58	184.42	74.40	53.67	1 560.5

3.4.4.2. Curvas de Intensidad-Duración-Período de Retorno.

Para la elaboración de las curvas de intensidad-duración-período de retorno, se utilizaron los datos de lluvias diarias registradas en la estación Villa Azueta, Ver. determinándose las lluvias máximas para duraciones de 1 a 5 días, a las que se les calculó su intensidad en mm/h para las mismas duraciones. Posteriormente se ordenaron de mayor a menor, asignándoseles el período de retorno tal como aparecen en la tabla 4 y finalmente para el proceso de cálculo que sigue, se obtuvieron los logaritmos correspondientes a: período de retorno, duración e intensidad de lluvia.

La ecuación utilizada para el cálculo de las intensidades relacionadas con un cierto período de retorno y a una duración dada es de la forma siguiente:

$$i = K \frac{T_r^\alpha}{D^\beta} \quad (12)$$

en donde:

i .- Intensidad de lluvia en mm/h

T_r .- Período de retorno (frecuencia) de la lluvia en años.

D .- Duración de la lluvia en minutos

K, α y β .- Coeficientes de ajuste lineal múltiple.

Obteniendo los logaritmos en ambos miembros de la ecuación (12)

se tiene:

$$\log i = \log K + \alpha \log T_r - \beta \log D \quad (13)$$

ESTACION CLIMATOLOGICA DE VILLA AZUETA
 INTENSIDADES MAXIMAS EN mm/hr ORDENADAS
 SEGUN EL PERIODO DE RETORNO ESPERADO
 PERIODO 1960 - 1974

ORDEN m	$\frac{Tr}{n+1}$ m	T I E M P O D E D U R A C I O N (M I N)				
		1 440	2 880	4 320	5 760	7 200
1	16	8.87	5.99	4.56	3.47	2.83
2	8	6.91	4.90	3.34	3.26	2.80
3	5.33	6.65	4.61	3.32	2.60	2.30
4	4	6.10	4.20	3.03	2.43	2.28
5	3.20	5.92	4.16	3.00	2.42	2.05
6	2.67	5.05	3.64	2.79	1.89	1.91
7	2.29	4.08	2.49	2.08	1.68	1.40
8	2.00	3.79	2.38	1.71	1.51	1.34
9	1.78	3.78	2.33	1.63	1.49	1.29
10	1.60	3.59	1.98	1.54	1.29	1.15
11	1.45	3.15	1.96	1.45	1.27	1.08
12	1.33	3.00	1.88	1.37	1.14	1.03
13	1.23	2.71	1.77	1.35	1.04	0.95
14	1.14	2.62	1.69	1.30	1.03	0.74
15	1.07	1.99	1.67	1.16	0.89	0.24

NOTA: El tiempo de duración corresponde a 1, 2, 3, 4 y 5 días expresados en minutos.

La ecuación (13) se asemeja a una ecuación de la forma:

$$a = a_0 + a_1 b + a_2 c$$

en donde a , a_0 , a_1 , a_2 , b y c son respectivamente $\log i$, $\log K$, α , $-\beta$, $\log Tr$ y $\log D$.

La aplicación de este criterio a la muestra considerada dio como resultado la siguiente ecuación:

$$i = 416.87 \frac{Tr^{0.55}}{D^{0.70}} \quad (14)$$

en donde el período de retorno se expresa en años, la duración en minutos y la intensidad en milímetros por hora.

Mediante la aplicación de la fórmula (14) se obtuvieron las curvas de intensidad-duración correspondientes a períodos de retorno de 1, 2, 5 y 10 años que se muestran en la figura 14, en donde la intensidad obtenida en mm/h se convirtió a mm/día.

3.5. ESTUDIO SOBRE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO.

El comportamiento del nivel freático se determinó de un análisis de lecturas de la profundidad de éste, obtenidas en 43 pozos de observación, mismas que están contenidas en la tabla 5. Los pozos se distribuyeron en 5 líneas en el sentido de la pendiente del terreno natural hacia el río Tesechoacán, y una línea a lo largo de la margen izquierda de dicho río.

TABLA 5
 LECTURAS DE NIVELES PRACTICOS

Fila No.	12 dic 77	6 ene 78	5 feb 78	5 mar 78	2 abr 78	7 may 78	3 jun 78	4 jun 78	2 jul 78	8 ago 78	15 sept 78	15 oct 78	15 nov 78	15 dic 78
1	3.32	5.87	seco	seco	seco	seco	seco	seco	2.79	0.80	1.05	1.49	1.32	3.23
2	1.05	1.34	1.85	2.08	2.64	2.90	3.35	3.10	2.09	0.73	0.37	0.18	0.53	0.63
3	1.94	2.20	2.75	2.99	dest.	dest.	dest.	seco	3.73	2.22	1.32	0.60	0.51	1.13
4	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	4.32	4.32	0.89	0.76	1.07	0.96	3.72
5	0.37	0.47	0.90	0.73	1.04	1.33	1.53	1.01	0.73	0.25	0.19	0.14	0.11	0.24
6	inund.	inund.	inund.	-0.18	0.25	1.03	1.20	2.35	-0.10	-0.23	inund.	inund.	inund.	-0.03
7	3.07	3.61	4.09	seco	seco	seco	seco	seco	2.83	dest.	dest.	dest.	dest.	dest.
8	3.00	3.34	3.69	3.87	seco	seco	seco	seco	3.31	2.17	1.41	0.76	0.70	1.78
9	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	2.64	1.35	1.57	0.96	0.87	3.05
10	2.23	2.41	2.81	2.92	3.39	3.58	3.88	3.58	2.19	0.79	0.87	0.89	0.62	1.04
11	0.78	1.25	1.80	2.04	2.75	3.30	3.40	3.00	2.12	-0.45	0.65	1.44	0.39	1.96
12	1.10	1.63	2.19	2.37	2.94	3.37	3.72	3.32	0.88	0.43	-	0.19	0.33	0.33
13	2.78	3.21	3.68	3.93	seco	seco	seco	3.71	2.84	1.73	1.75	0.94	0.86	2.10
14	1.51	2.11	3.03	2.99	3.40	3.65	seco	3.72	2.37	0.85	-	0.67	0.76	1.45
15	1.86	2.11	2.63	3.08	3.88	seco	seco	seco	2.77	dest.	dest.	dest.	dest.	dest.
16	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	3.87	2.89	1.70	1.36	1.54	1.59	2.55
17	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	4.20	2.80	0.67	0.92	0.88	1.21	4.20
18	no loc.	seco	2.88	0.46	0.88	0.78	1.08	1.38						
19	2.27	2.48	2.89	2.90	3.28	3.61	3.70	3.44	2.06	0.64	0.76	0.51	0.73	0.94
20	0.61	1.05	1.35	1.36	1.79	2.24	2.13	2.70	1.24	0.33	0.36	0.31	0.58	0.46
21	1.59	2.00	2.38	3.50	2.88	3.23	3.37	3.26	2.03	0.53	0.37	0.50	0.58	0.83
22	0.93	1.34	1.99	2.23	2.88	3.36	3.38	seco	2.01	0.27	dest.	dest.	dest.	dest.
23	0.86	1.30	1.79	1.77	1.86	2.05	2.05	3.09	1.78	0.16	0.14	0.04	0.12	0.26
24	0.28	0.90	1.28	1.40	1.79	2.52	2.56	2.32	1.23	-0.23	-	-0.07	-0.02	-0.02
25	0.97	1.41	1.93	2.21	2.78	3.57	3.57	2.07	1.07	-0.34	-	inund.	inund.	-0.33
26	1.89	3.06	3.21	3.22	3.37	3.37	seco	4.11	2.26	0.36	0.22	0.26	0.11	2.43
27	2.07	2.48	2.93	3.03	seco	seco	seco	3.37	0.87	0.51	0.34	0.26	0.34	1.45
28	0.32	0.48	0.67	0.71	0.92	1.23	1.28	1.04	0.66	0.00	-	0.08	0.05	0.42
29	no loc.	0.98	1.16	1.19	1.55	1.98	1.97	1.55	0.61	0.32	0.28	0.16	0.31	0.42
30	1.05	1.29	1.52	1.56	1.90	2.35	2.30	1.78	0.72	0.60	0.57	0.68	1.11	1.53
31	1.07	1.29	1.54	1.85	2.60	3.46	3.30	2.25	0.17	0.06	0.02	-0.10	0.11	0.33
32	dest.	dest.	dest.	dest.	dest.	dest.	dest.	2.30	1.60	0.23	inund.	inund.	dest.	dest.
33	1.59	1.88	2.22	2.47	2.98	3.45	seco	3.57	1.92	0.82	0.37	0.48	0.31	0.80
34	dest.	dest.	dest.	dest.	dest.	dest.	dest.	3.61	0.09	0.68	0.51	0.50	0.53	0.75
35	2.75	2.88	3.13	3.25	3.65	seco	seco	3.58	2.29	1.38	1.35	1.18	1.26	1.63
36	3.43	seco	3.83	4.00	4.40	seco	seco	4.24	3.79	2.64	1.11	0.36	0.31	0.60
37	2.15	2.48	2.81	3.03	3.55	seco	seco	3.36	0.32	0.42	0.25	0.14	0.25	0.54
38	0.89	1.13	1.41	1.41	1.87	2.52	2.58	1.80	0.90	0.16	0.06	0.00	0.16	0.40
39	0.98	1.30	1.44	1.44	1.83	2.34	2.44	.95	0.85	0.08	0.03	-0.05	0.17	0.46
40	no loc.	1.77	2.24	2.37	2.89	3.39	3.71	2.51	0.49	0.20	0.01	-0.09	0.08	0.37
41	1.50	1.88	2.29	2.45	2.84	3.17	3.48	3.31	2.55	0.60	0.37	0.45	0.45	0.77
42	1.53	1.52	2.01	2.20	2.65	2.85	3.21	3.01	0.54	0.38	0.24	0.28	0.29	0.52
43	2.15	2.80	3.32	3.62	4.23	seco	seco	3.60	2.02	1.09	0.58	0.38	0.50	1.00

Los 43 pozos de observación, se construyeron de acuerdo al esquema mostrado en la fig. 1.

Con base en los incisos teóricos 2.4.5.3, 2.4.5.4., 2.4.5.5. y 2.4.5.7. se elaboró el presente estudio cuyos procedimientos se resumen a continuación.

3.5.1. PLANOS DE ISOBATAS.

Las observaciones en los pozos se realizaron cada mes durante un ciclo anual, obteniéndose la información necesaria para la elaboración de los planos de isobatas en ese ciclo.

Para cuantificar la información que proporcionan estos planos, se calcularon las áreas con distintos niveles freáticos, valores que se agrupan en una tabla dentro del plano correspondiente (plano I).

3.5.2. GRAFICA DE AREAS-TIEMPO.

Con el objeto de presentar con claridad los cambios de las superficies con distintos niveles freáticos a través del tiempo, se formó la gráfica de Areas-Tiempo, colocando en el eje de las abscisas los diferentes meses del año y en el eje de las ordenadas las áreas resultantes de cada grupo (fig. 2a).

Adicionalmente a la gráfica de Areas-Tiempo, se hizo otra gráfica semejante a ésta, que presenta los volúmenes llovidos entre cada dos observaciones y permite conocer la influencia de la precipitación en las variaciones del nivel freático (fig. 2b).

3.5.3. PLANOS DE ISOHYPASAS.

Se realizó una nivelación de los brocales de los pozos, con el propósito de obtener las elevaciones del nivel freático de cada lectura, ya que esta información es la necesaria para la elaboración de los planos isohypsas (plano 2).

Al comparar cada uno de estos planos con el del mes subsecuente, no se observaron sumideros ni zonas con grandes aportes al manto freático, sino que las variaciones del almacenamiento subterráneo fueron mas o menos unífrmes.

3.6. BALANCE HIDROLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO.

Como se mencionó en el capítulo 2.5., es necesario examinar y evaluar los aspectos que contribuyen a la recarga del manto freático, así como aquellos que interfieren la descarga del agua almacenada en las capas del subsuelo. Es por eso, que se ha establecido un modelo para el Balance Hidrológico del Area de Estudio. (Fig. 15)

En el modelo se pueden observar 2 tipos diferentes de variables que son: Entradas al Sistema y Salidas del Sistema.

Las Entradas al Sistema en este caso son:

Precipitación

Escurremientos superficiales de la cuenca de aportación hacia la zona estudiada.

Entradas laterales a través del suelo

Las salidas del Sistema consideradas en este caso, fueron las siguientes:

Evapotranspiración

Escurrimientos superficiales de salida

Salidas subsuperficiales

Con ayuda de la información obtenida en el estudio del nivel freático se calcularon algunas de las variables anteriores, además de los cambios de almacenamiento dentro de la zona.

Como puede verse en la misma figura 15, existe una variable en este modelo la cual no se ha clasificado en los desgloses anteriores. Esta variable es el aporte o salida vertical causada por un posible confinamiento del acuífero, el cual se dedujo de la ecuación general de este balance (ecuación 1) .

La ecuación general del balance hidrológico, como se expresó en el capítulo 2 es la siguiente:

$$\Sigma \text{ Entradas al sistema} - \Sigma \text{ Salidas del sistema} = \text{Cambio de Almacenamiento}$$

En la tabla 6 están contenidos los valores de las variables calculadas en este balance. Como puede observarse en dicha tabla, no se contemplan los valores de los flujos subsuperficiales tanto de entrada como de salida; esto se debe a que en el cálculo se encontró que estos valores son insignificantes

TABLA 6

RESUMEN DE LOS PARAMETROS CALCULADOS EN EL BALANCE HIDROLOGICO

(Volúmenes en millones de metros cúbicos)

PERIODO	P	Es	Et	Ss	ΔV	ESA
6 Ene. 78 - 5 Feb. 78	1.09	0.30	0.99	0.40	-5.64	- 5.64
5 Feb. 78 - 5 Mar. 78	2.57	0.60	2.27	0.90	-2.20	- 2.20
5 Mar. 78 - 2 Abr. 78	1.74	0.40	1.44	0.70	-6.82	- 6.82
2 Abr. 78 - 7 May. 78	0.19	0.06	0.15	0.10	-6.57	- 6.57
7 May. 78 - 3 Jun. 78	4.37	0.90	3.87	1.40	-1.82	- 1.82
4 Jun. 76 - 2 Jul. 76	17.70	3.10	5.42	4.70	19.62	8.94
2 Jul. 76 - 6 Ago. 76	17.40	3.00	5.91	4.50	17.52	7.53
6 Ago. 76 -15 Sep. 76	21.30	3.70	6.94	5.50	1.87	-10.69
15 Sep. 76 -15 Oct. 76	10.15	1.90	5.23	2.90	1.04	- 2.88
15 Oct. 76 -15 Nov. 76	10.44	2.00	6.03	2.90	-0.72	- 4.23
15 Nov. 76 -15 Dic. 76	1.99	0.50	5.16	0.70	-9.51	- 6.14
12 Dic. 78 - 6 Ene. 78	0.66	0.20	0.80	0.30	-4.89	- 4.65

P - Precipitación
 Es - Entradas Superficiales
 Et - Evapotranspiración
 Ss - Salidas Superficiales
 ΔV - Cambio de Almacenamiento
 ESA - Aporte o Salida por el acuífero.

comparados con cualquiera de los utilizados en el balance, debido a la baja permeabilidad de los suelos.

Por lo que respecta a los volúmenes de aportación del acuífero o salida vertical a través de éste (ESa), el signo negativo, indica que la zona descarga hacia el acuífero ubicado en los estratos más profundos; cuando el valor de ESa es positivo, quiere decir que la parte del incremento en el volumen almacenado se debe a suministros de dicho acuífero.

3.7. ANTEPROYECTO DE OBRAS DE DRENAJE.

La solución de los problemas de drenaje en el sitio, debe darse con base en los estudios anteriormente realizados y seguir un criterio de carácter económico. Se requiere un control hidráulico que permita, anular o reducir la inundación, abatir el nivel freático a las profundidades necesarias durante la estación húmeda y que haga posible también el suministro de agua para riego durante el estiaje.

De acuerdo con los factores limitantes señalados, las características de los suelos, la topografía y la hidrografía, así como los aspectos de tenencia de la tierra, se elaboró el anteproyecto de la red de desagüe para eliminar los excedentes de agua en la época de lluvias y de una obra de defensa para regular los escurrimientos de la cuenca alta del Arroyo de la Cruz.

Para suministro del agua para riego, se contemplaron dos alternativas a -

saber: La primera consiste en una red convencional de canales en terraplén a partir de una obra de toma con bombeo sobre el río Tesechoacán. La segunda alternativa consta de una toma directa desde el mismo río para abastecer por gravedad a la red de desagüe en el estiaje, profundizándola y posibilitando el riego por bombeo a partir de los propios drenes.

3.7.1. DESCRIPCION DE LAS OBRAS PROPUESTAS.

Obra de Defensa.

Esta obra, tiene como objetivo principal el de controlar los escurrimientos de la cuenca alta del Arroyo de la Cruz. Consta de un dique regulador de 4 km de longitud, sección homogénea y un vertedor tipo Creager de cresta libre.

El cuerpo del dique será formado por material arcilloso de mediana compresibilidad procedente de préstamos laterales. La geometría propuesta para la sección de éste, es de taludes hacia ambos lados de 2:1, ancho de corona de 7 m y altura máxima de 7.50 m.

Se propone una losa de concreto pobre de 15 cm de espesor sobre la cara del talud aguas arriba, para protegerla del oleaje y una cubierta de grava-arena sobre la corona, misma que podrá ser utilizada como superficie de rodamiento.

El vertedor se ubicó en la estación 2+181.25 del eje del dique, con el fin de alojarlo fuera de la cortina, sobre un pequeño cerro localizado sobre el

mismo eje. La longitud de la cresta vertedora será de 10 m, eje recto y -- descarga al dren colector del sistema de drenaje por medio de un canal de 10 m de ancho y 181.8 m de longitud.

La avenida que se transitó para el diseño de la cortina y el vertedor, tiene un gasto máximo de $450 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual corresponde a un período de retorno de 10 000 años.

En el plano general de Drenaje Superficial, se puede observar la sección - máxima del dique y un corte por el eje del vertedor (plano 3).

Sistema de Drenaje.

El sistema de drenaje planteado consta de una red de drenes abiertos de sección trapecial, conectados a un dren colector construido sobre el cauce del Arroyo de la Cruz, que a su vez, estará conectado a un dren de descarga de 8 km de longitud el cual conducirá los excedentes hasta un afluente del río - Obispo.

Las capacidades requeridas en los drenes, se calcularon para desalojar una lluvia de un día de duración y período de retorno de cinco años, según recomendaciones del manual del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos y se explica el procedimiento seguido en el inciso 2.8.1.1. La - fig. 16 muestra la solución de la fórmula (2) para las condiciones del área de estudio y además se ilustra la variación del coeficiente de drenaje superficial en función del área drenada. Para el cálculo hidráulico de los drenes,

se utilizaron las ecuaciones de continuidad y Manning; coeficientes de rugosidad (n) de las paredes de los drenes igual a 0.04 ; velocidades entre 0.4 y 1.2 m/s y taludes de 1.5:1 . Estos cálculos están integrados en una tabla en el plano general de Drenaje Superficial (plano 3).

La localización de los drenes se determinó principalmente, con base en la topografía y delimitación parcelaria del sitio, tratando de ubicarlos en las partes mas bajas y entre los límites parcelarios. El trazo se revisó con -- las líneas de corriente determinadas en los planos de isohypsas.

Finalmente se llegó a la distribución del sistema de drenaje mostrado en el plano general de Drenaje Superficial y consta de un colector principal sobre el Arroyo de la Cruz de 9.7 km de longitud, el cual además de drenar el sitio, transporta el gasto de regulación que aporta el vertedor del dique y lo deposita en el dren de descarga. Además, el sistema cuenta con diez drenes principales y tres secundarios. Se preve además, de una red de caminos siguiendo la red de drenaje: complementada con las estructuras necesarias.

Alternativas de riego.

Las condiciones climáticas en el sitio de Tesechoacán según las observaciones de campo y las lecturas de niveles freáticos: presenta una época de estiaje de aproximadamente 6 meses, en la cual las escasas precipitaciones y la humedad residual del suelo no alcanzan a satisfacer la demanda de agua de los cultivos, y en los otros 6 meses de la temporada de llu-

vía se presentan problemas de inundación en las zonas bajas debidas a lluvias torrenciales y a la falta de drenaje adecuado de estas tierras.

Con el fin de establecer un eficiente control de las inundaciones y los niveles freáticos altos se proponen dos sistemas, uno de drenaje y otro de riego que permitan elevar el potencial productivo de la tierra.

El drenaje necesario para el desalojo de los excedentes de riego coincide con el sistema de drenes proyectados para el drenaje superficial diseñado siguiendo el criterio del Soil Conservation Service.

Con objeto de realizar un dimensionamiento aproximado de los canales, se determinó un coeficiente unitario de riego apoyado en los resultados del Estudio Agrológico Especial, donde se plantearon las necesidades de riego para el plan de cultivo propuesto y las superficies ocupadas por dichos cultivos. El coeficiente resultó de 1.44 lts/s/ha y su cálculo se presenta en la tabla 7.

Para efectuar el riego se proponen dos alternativas:

Alternativa de Riego por medio de Canales en Terraplén.

Contempla el riego a partir de un sistema convencional de canales revestidos de concreto, alojados en un terraplén previamente construido; dicho terraplén se hace necesario dado que se cuenta con una topografía de pendiente muy suave.

TABLA 7

CULTIVO	AREA ha	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mafz (I)	236	39 412	171 100	322 848	364 602	240 720	-	-	-	-	-	-	-
Soya (I)	493	181 917	440 792	296 786	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arróz (I)	471	281 187	553 425	800 229	929 754	678 240	-	-	-	-	-	-	-
Mafz (V)	300	-	-	-	-	-	-	-	-	207 300	186 900	116 100	-
Arróz (V)	600	-	-	-	-	-	-	4 800	583 200	870 600	654 000	245 400	-
Caña													
Pastos	2 080	64 480	565 760	1 395 680	2 389 920	3 020 160	1 905 280	1 021 760	1 963 520	1 308 320	592 800	411 840	10 400
Frutales	320	13 120	96 000	234 240	392 000	494 080	320 320	328 640	298 880	184 960	62 400	28 800	-
						4 433 200							
Total	4 500	580 116	1 827 007	3 049 783	4 076 294	4 433 200	2 225 600	2 355 200	2 845 600	2 571 180	1 496 100	820 140	10 400

mes crítico = mayo

Vol máximo mensual = 4 433 200

eficiencia total de riego = 0.60

$$Q_{\text{máx}} = \frac{4\,433\,200}{0.60 \times 16 \times 25 \times 3\,600} = 5.13 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$q_m = \frac{5.2}{3\,600} = 1.44 \text{ lts/s/ha.}$$

En esta alternativa se dominan 3251 ha mediante un sistema de canales con una longitud total de 53.4 Km distribuidos de la siguiente forma:

Canal Principal	14.2 Km.
Canales Laterales	27.1 Km.
Canales Sublaterales	8.4 Km.
Ramales	3.7 Km.

El sistema de canales es alimentado por una planta de bombeo localizada junto al bordo de protección a 2.5 Km aguas abajo de la población de Villa Azueta.

La planta tendrá una capacidad para un gasto máximo de 5.2 m³/s, proporcionado por 6 bombas de 156 H.P.

En la determinación del gasto máximo se hicieron las siguientes consideraciones:

Tiempo de bombeo (t) = 16 horas de los 25 días del mes de máxima demanda.

N.- Eficiencia total (ef. conducción x ef. aplicación) = 0.595.

$$Q = \frac{\text{Vol. max. mensual}}{Nxt} = \frac{4\,433\,200}{0.595 \times 25 \times 16 \times 3600} = 5.17 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la tabla 8 se muestra la relación de estructuras necesarias para la operación del sistema.

Los criterios de diseño de canales, así como el criterio de selección de estructuras fué tomado de la publicación "Proyecto de Zonas de Riego" edita-

TABLA 8

C A N A L	REPRESAS	TOMA GRANJA	TOMA LATERAL	SIFONES	PUENTE CANAL	ALCANTARILLA
1. Principal	11	34	14	1	1	
2. Lateral 0+000	5	6	1			
2.1. Sub-Lateral 1+565		1				
3. Lateral 0+425		1				
4. Lateral 1+445		1				
5. Lateral 2+530	1	2				
6. Lateral 2+580	1	3		1		
7. Lateral 3+660	6	12	4			
7.1 Sub-Lateral 1+105	3	6	1		3	1
7.2 Ramal 0+730	2	4			2	
7.3 Sub-Lateral 1+780	5	9	2		1	
7.4 Ramal 1+520		1			1	
7.5 Ramal 3+150		3				
7.6 Sub-Lateral 3+105		3				
7.7 Sub-Lateral 5+475		1				
8. Lateral 5+095	3	7				
9. Lateral 6+135		1				1
10. Lateral 6+780	2	3				
11. Lateral 7+725	1	2				
12. Lateral 8+175		1				
13. Lateral 8+630	4	8				
14. Lateral 9+325	4	9	1			
14.1 Sub-Lateral 2+060		1			1	
15. Lateral 9+810	1					
16. Lateral 11+535	1	2				
17. Lateral 12+285	3					

da por el departamento de canales de la S.R.H. en 1971. De esta alternativa se presenta un Plano General (plano 4).

Alternativa de Riego a Partir del Sistema de Drenes.

En esta alternativa se dominan 2843 ha. mediante un sistema formado por - 41.18 Km de drenes y 24.69 Km de canales, alimentados estos últimos por bombas de combustión interna que extraen el agua a partir de los primeros.

Este sistema de drenes se abastece por medio de una toma directa localizada junto al bordo de protección, a 2.5 Km. aguas abajo de la población de - Villa Azueta, lo que hace necesario profundizar este sistema para permitir el acceso del agua a la zona por gravedad. En el plano que corresponde a esta alternativa puede verse la distribución del sistema (plano 5).

La dotación de agua a los lotes será proporcionada por 30 bombas de combustión interna las cuales distribuyen el agua que se muestra en la tabla 9. La relación de estructuras necesarias para operar el sistema está contenida en la tabla 10.

El diseño de los drenes y canales fué realizado atendiendo a las recomendaciones y criterios establecidos en la mencionada publicación del departamento de canales editada en 1971.

TABLA 9

BOMBA No	NUMERO DE LOTES	AREA (ha)	Q(m ³ /seg.)
1	11	247.70	0.356
2	1	20.1	0.029
3	4	89.70	0.129
4	1	14.8	0.213
5	8	200.60	0.288
6	2	52.80	0.076
7	2	48.80	0.070
8	6	147.80	0.212
9	1	21.2	0.030
10	2	43.40	0.062
11	1	23.80	0.034
12	7	145.10	0.208
13	4	83.80	0.120
14	4	87.30	0.125
15	7	142.70	0.205
16	4	116.40	0.167
17	7	177.60	0.255
18	9	245.70	0.353
19	6	131.40	0.189
20	4	74.60	0.107
21	1	23.0	0.033
22	1	20.8	0.030
23	6	140.20	0.201
24	4	82.10	0.118
25	3	86.50	0.124
26	1	28.3	0.041
27	3	61.10	0.087
28	1	43.40	0.063
29	8	218.00	0.313
30	1	24.50	0.352
SUMA: 30	120	2 843.20	4.094

TABLA No. 10

ESTRUCTURAS EN CANALES

C A N A L	TOMAS GRANJA	TOMAS LATERALES	REPRESAS
Lat. 9+750 del dren 2	7		
Sub-Lateral 0+000 del Lat. 9+750	5	1	3
Lat 8+450 del dren 2	4		2
Lat 7+400 del dren 2	8		
Lat 5+830 del dren 2	4		4
Sub-Lateral 0+880 de Lat. 5+830	2	1	2
Lateral 4+480 del dren 2	6		
Sub-Lat. 1+180 de Lat. 4+480	1	1	
Lat 3+820 del dren 2	4		
Lat 3+740 del dren 2	7		
Lat 1+260 del dren 2	6		2
Lat del dren 2-A del dren 2	3		2
Sub-Lateral 0+470 de Lat del dren No. 2A	3	2	3
Sub-Lateral 1+110 del Lat del dren No. 2-A	3		
Lat 5+570 del dren colector	4		
Lateral 5+030 del dren colector	7		2
Lateral 1+080 del dren No. 6 del dren colector	4		3
Lateral 1+990 del dren No. 6 del dren colector	4		1
Lateral del dren No. 5-A del dren colector	3		1
Lateral del dren No. 4 del dren colector	4		
Sub-Lateral 0+540 del Lat. del dren No. 4	2	1	2
Lateral 1+750 del dren colector	3		
Lateral 1+270 del dren colector	3		
Lateral del dren No. 1 del dren colector	3		
Sub+Lateral 0+570 del Lat del dren No. 1	5	1	1
			1
S U M A :	105	7	29

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El presente estudio, tiene como meta la de establecer los posibles problemas que surgen, al buscar el desarrollo de tierras potencialmente productivas, que no han sido posibles de cultivar a toda su capacidad, debido a las inundaciones a las que están sujetas.

El sitio escogido es el representativo de varias regiones similares con superficies en conjunto de 138 000, cuyas áreas estudiadas dentro de la misma zona son de 4 400 ha para estudios de obras de riego y drenaje, y 5 488 ha para estudios agrológicos y del manto freático.

La ubicación del sitio estudiado es en la zona denominada "trópico húmedo" al sureste de la República Mexicana en el estado de Veracruz, y sus coordenadas geográficas respecto a su centro de gravedad son $18^{\circ} 06'$ de latitud norte y $95^{\circ} 43'$ de longitud oeste.

La topografía del lugar, es generalmente plana con ondulaciones y lomeríos que permiten identificar los drenajes naturales de la zona y una pequeña

cuenca de 46 Km² que aporta sus escurrimientos al sitio. Los suelos dominantes del área son profundos, con espesores mayores de 2m, y de origen aluvial con componentes de distintas edades.

Se identificaron cuatro series de suelos, cuyas superficies en ha y % son las siguientes:

SERIE	S U P E R F I C I E	
	ha	%
1.- San Francisco	1 854.00	33.8
2.- Dobladero	1 577.20	28.7
3.- Tesechoacán	1 239.20	22.6
4.- Juan Mulato	<u>817.60</u>	<u>14.9</u>
	5 488.00	100.0

Las texturas de los suelos en la zona de lomerío son ligeras y en la parte plana son finas y medias.

La agricultura que se practica actualmente en la zona es fundamentalmente de temporal y se efectúan dos ciclos agrícolas en el año. Los cultivos del ciclo de invierno se ven afectados por deficiencias de humedad y los de verano por exceso de ella debido a deficiencias de drenaje.

Considerando las características físicas y químicas de los suelos, se sugiere una diversificación de cultivos.

En el aspecto de manejo de los suelos, se sugiere en la parte plana, efec

tuar labores de preparación a contenidos de humedad entre el 25 y 50% de la aprovechable.

En el aspecto de fertilidad, se recomienda la adición de materia orgánica, fertilizaciones nitrogenadas y de roca fosfórica, debido a la condición de acidéz de los suelos, y hacer pruebas con potasio para ver su respuesta.

Otra parte del estudio agrológico consistió en realizar pruebas de velocidad de infiltración, de las cuales se concluye que ésta no es un factor - limitante para la elección del método de riego.

Con excepción de la serie Dobladero, se sugiere realizar estudios profundos de drenaje, para ver la conveniencia de abatir los niveles freáticos.

La temperatura media anual de la zona es de 26°C, presentándose máximas de 46°C y mínimas de 5°C.

Los valores medios anuales de evaporación y precipitación, son de 1390 y 1560 mm respectivamente.

La ecuación que se ajusta a las intensidades de lluvia presentadas en el sitio es:

$$i = 416.87 \frac{T_r^{0.55}}{D^{0.70}}$$

en donde el período de retorno se expresa en años, la duración en minu-

tos y la intensidad en milímetros por hora.

De las lecturas mensuales de niveles freáticos representadas en la gráfica Areas-Tiempo (fig.2a), se observa que durante los meses de julio a febrero, existen áreas de inundación, lo que asegura la necesidad del sistema de drenaje superficial.

En el balance hidrológico, se determinaron las condiciones de recarga del manto freático. Para establecer un criterio mas amplio de conocer las necesidades de drenaje interno, es muy importante construir otro modelo en el que se pronostiquen las condiciones futuras de la zona como si ya se contara con el sistema de drenaje superficial propuesto.

Con el objeto de formar un criterio empírico para la elaboración del modelo de las condiciones futuras, se recomienda no suspender las lecturas mensuales de niveles freáticos una vez construido el sistema de drenaje superficial; y el de drenaje interno en caso necesario.

Para el drenaje de la zona, se necesitará una red de drenes abiertos de sección trapecial, de 36 Km de longitud, capaces de desalojar la lámina producida por una lluvia de 5 años de período de retorno y 24 horas de duración. El sistema en general, consta de un dren colector, diez drenes principales y tres secundarios.

Para que funcione el sistema de drenaje de la forma proyectada, se re - -

comienda construir primero la obra de defensa, debido a que no están considerados los escurrimientos de la cuenca alta en las capacidades de los drenes.

En la época de estiaje se requiere de un sistema que suministre agua para el riego de los cultivos. Se contemplan dos alternativas: un sistema convencional de canales abastecidos por una planta de bombeo; y el mismo sistema de drenes, más profundo, alimentado por una toma directa, una serie de bombas de combustión interna y una pequeña red de canales que conducirán el agua hasta las parcelas.

Para la selección de la alternativa de riego óptima, se sugiere un periodo de vida útil del proyecto de 20 a 25 años pero no mayor, ya que la expansión del proyecto permitirá contar con un número mayor de beneficiados en el transcurso de este lapso.

Se recomienda como un renglón principal, previo al inicio de cualquier programa, la preparación mental del campesino que se supone recibirá los beneficios de la obra, enterándolo debidamente de los fines que se persigan, para que respalde dicho programa.

BIBLIOGRAFIA

- Ing. Ildefonso de la Peña. - "Metodología Establecida para la Determinación y Solución de los Problemas de Drenaje en los Distritos de Riego de la República Mexicana", Memorándum Técnico No. 341, SRH, - 1975.
- Ing. Oscar Castilla Pérez. - "Proyecto de Drenes Parcelarios para Fines de Lavado de Suelos", Memorándum Técnico No. 228, SRH, 1965.
- Ing. César Castilla Pérez. - "Apuntes Teórico Prácticos Sobre Drenaje Agrícola", Tesis Profesional, Chapingo, 1956.
- Ing. Oscar Castilla Pérez. - "Proceso de Estudio e Investigación del Problema de Drenaje de Aguas Freáticas", IV Seminario Latinoamericano de Irrigación, Bogotá, Colombia, SRH, 1966.
- Janes N. Luthin. - "Drenaje de Tierras Agrícolas", Editorial Lymusa, 1967.
- Soil Conservation Service. - "Drainage", National Engineering Handbook, Section 16, USA.
- "Proyectos de Zonas de Riego", Dirección de Proyectos de Grande -- Irrigación, SRH, 1971.
- "Atlas Climatológico e Hidrológico de la Cuenca del Papaloapan", SRH, 1975.

- Boletín Hidrométrico No. 20, Región Hidrológica No. 28, Comisión del Papaloapan, SRH.
- Datos Climatológicos de la Dirección de Hidrología, SARH.

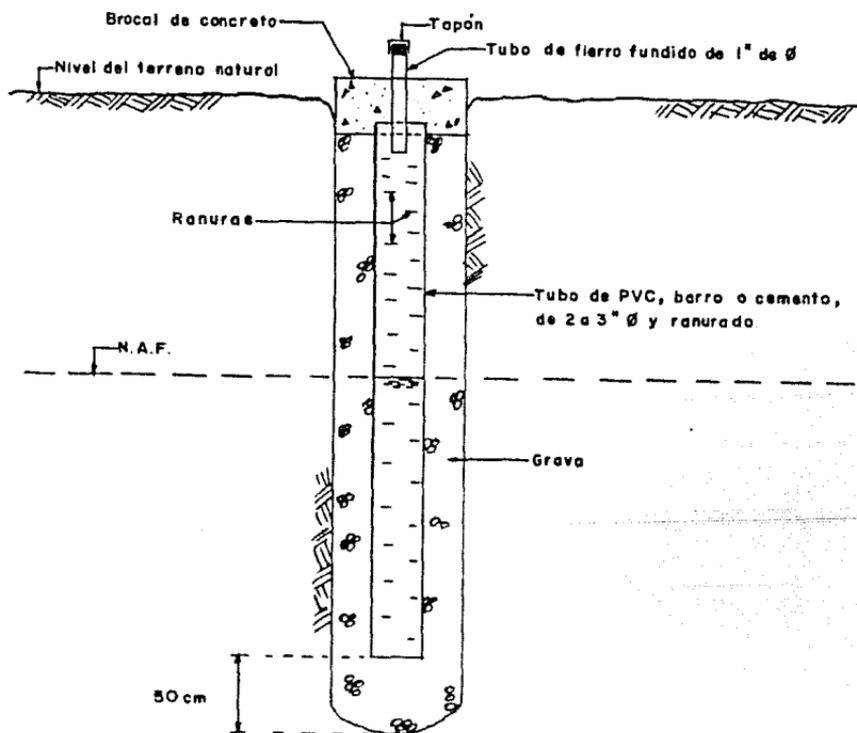


Fig 1. CORTE ESQUEMATICO DE UNA PERFORACION PARA MEDIR LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE AGUAS FREATICAS.

Fig 2a. GRAFICAS "ÁREAS-TIEMPO" PARA EL SITIO TESECHOACAN, VER.

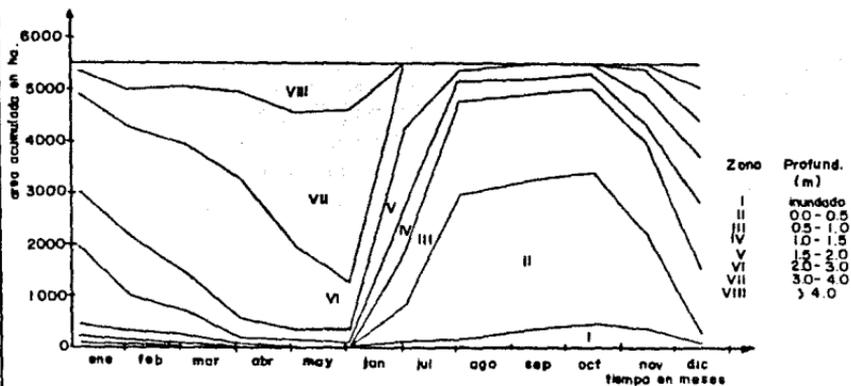
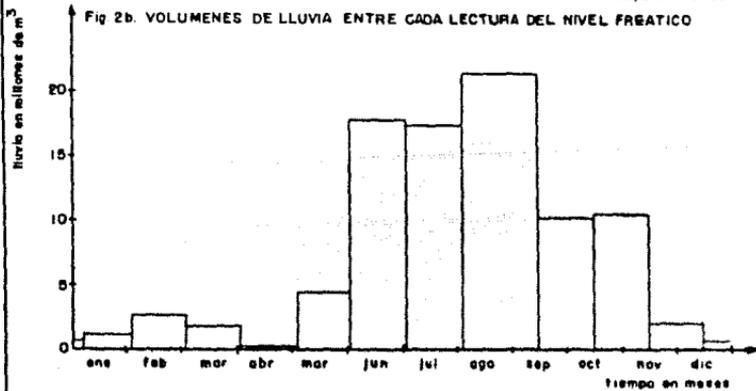
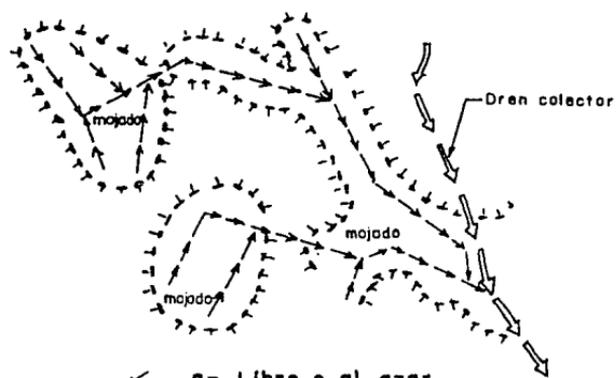
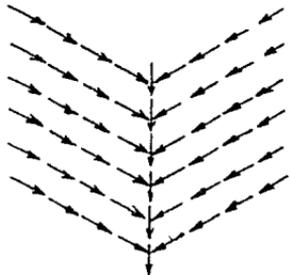


Fig 2b. VOLUMENES DE LLUVIA ENTRE CADA LECTURA DEL NIVEL FREÁTICO

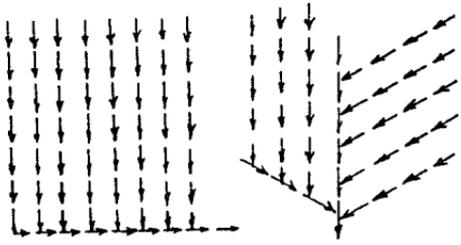




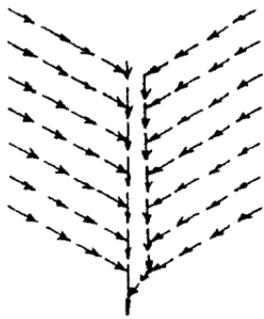
a.- Libre o al azar



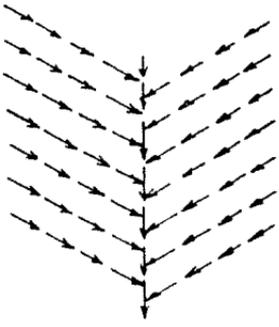
b.- Espina de pescado



c.- Paralelo o emparrillado



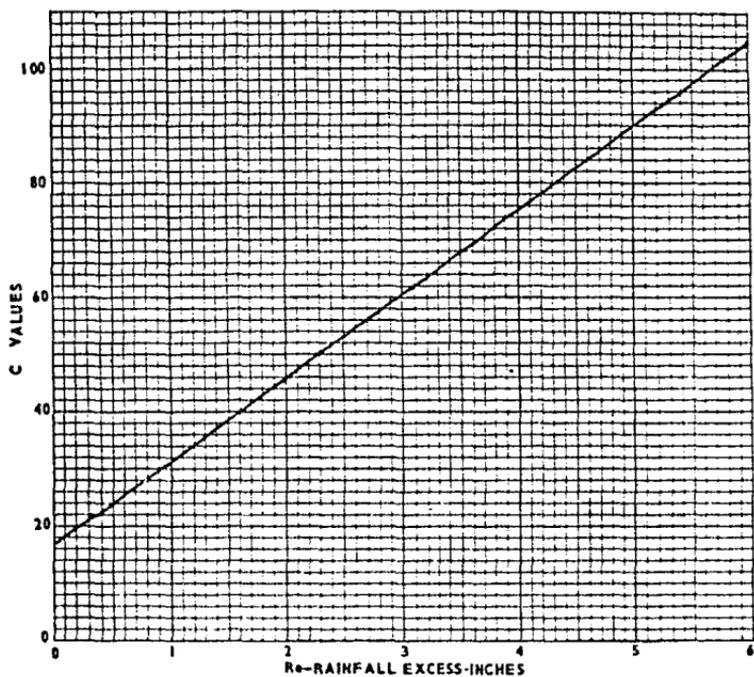
d.- Doble principal



e.- Espigado

Fig. 3. Disposicion en planta de drenes parcelarios.

DETERMINATION OF THE COEFFICIENT C IN THE
DRAINAGE FORMULA: $Q = CM^{5/6}$



REFERENCE

Stephens, J. C. and Mills, W.C.
A.R.S. 41-95. USDA-ARS
C = 16.39 + 14.73 Re

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
SOIL CONSERVATION SERVICE
ENGINEERING DIVISION - DESIGN SECTION

STANDARD DWG. NO.

ES-733

SHEET 1 OF 1

DATE 3-71

Fig. 4 Determinación del Coeficiente C en la fórmula de drenaje $Q = CM^{5/6}$

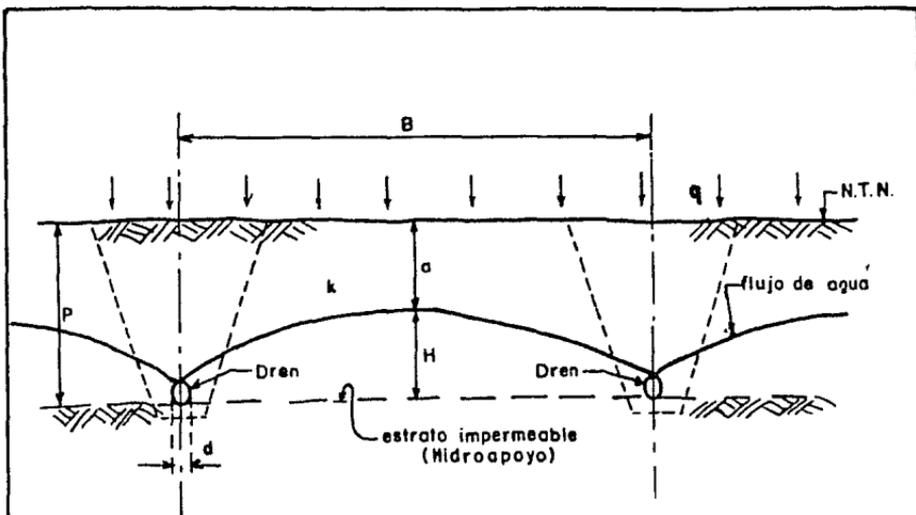


Fig. 5 Localización de los drenes "perfectos"

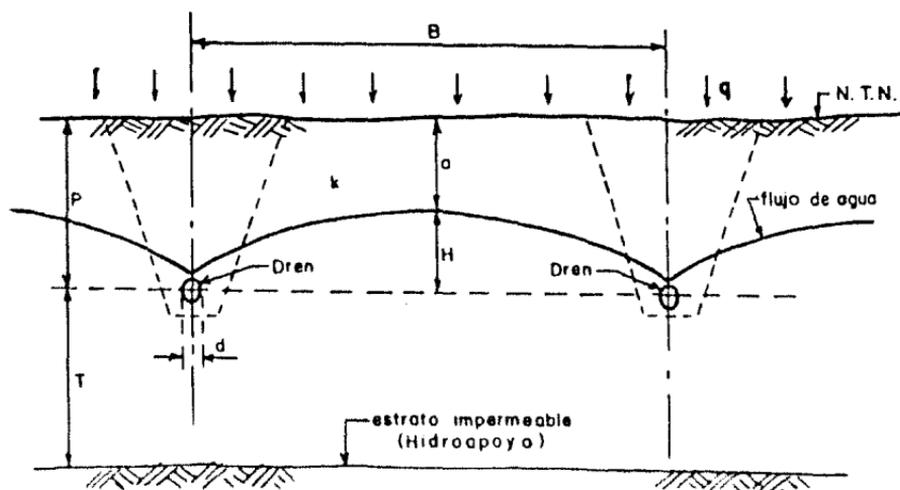


Fig. 6 Localización de los drenes "suspensos"

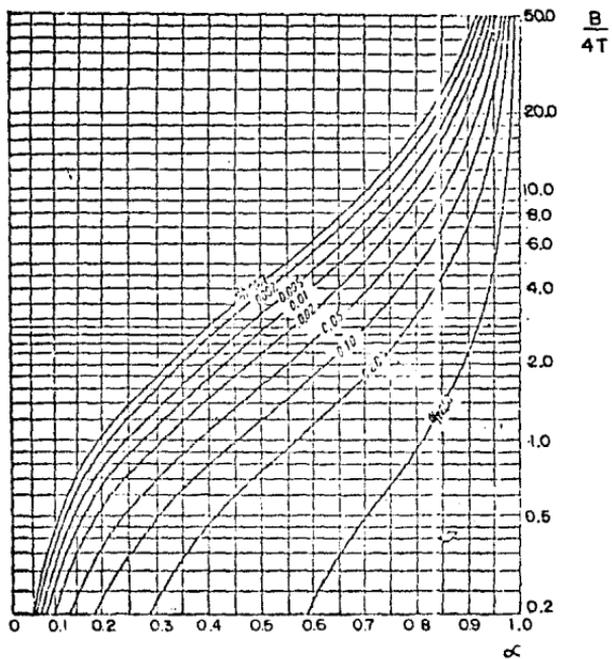


Fig. 7 Cálculo del coeficiente de suspension " α "

fig. 8
CROQUIS GENERAL DE LOCALIZACION
DEL SITIO PILOTO TESECHOACAN

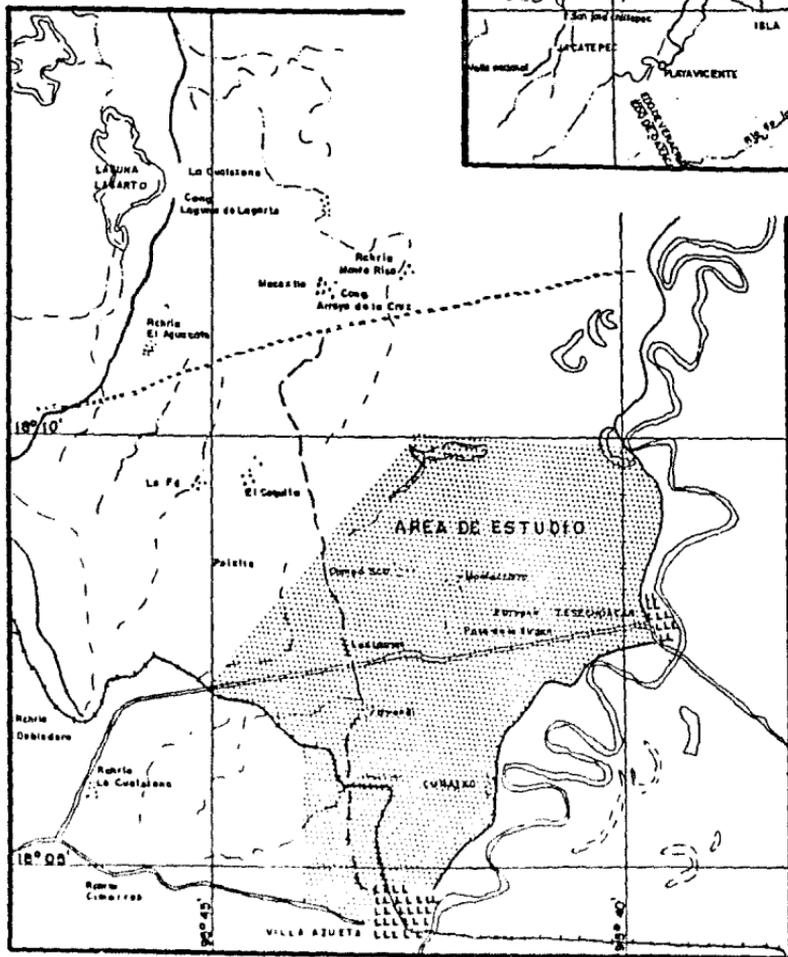
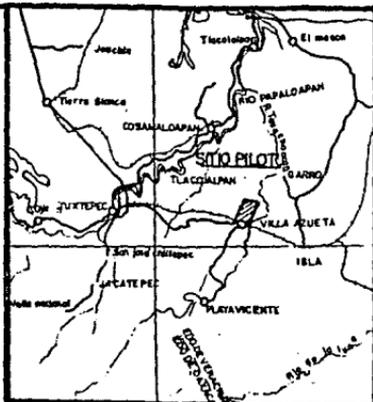


fig. 9. CLASIFICACION ACTUAL DE SUELOS



CLASE	SUPERFICIE	
	Ha.	%
1	260.4	4.8
2	1418.4	25.8
3	3653.8	66.6
4	155.4	2.8
	<u>5488.0</u>	<u>100.0</u>

ESTACION VILLA AZUETA, VER.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

PERIODO 1948 - 1974

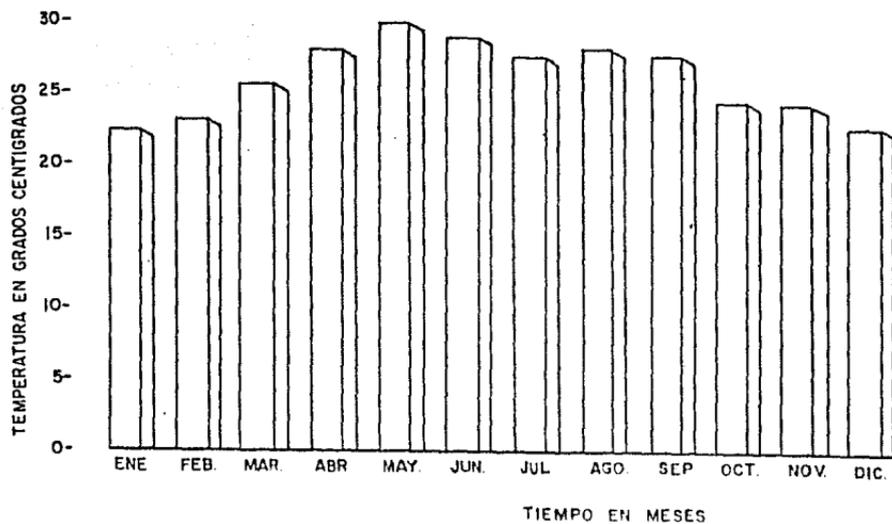


Figura 10

ESTACION VILLA AZUETA, VER.

EVAPORACION MEDIA MENSUAL

PERIODO 1951 - 1974

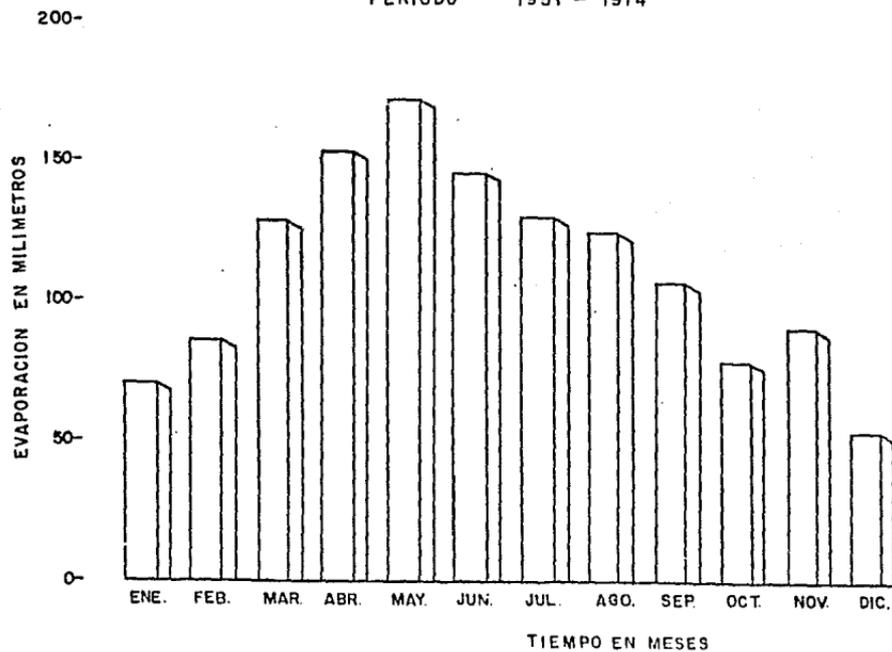


Figura .11

ESTACION VILLA AZUETA, VER

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL

PERIODO 1960 - 1974

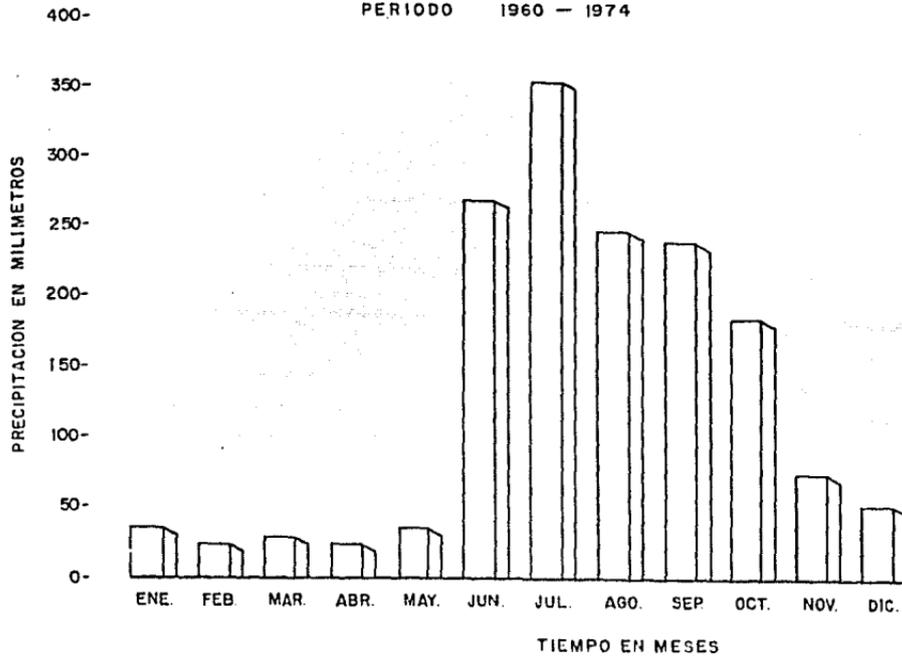
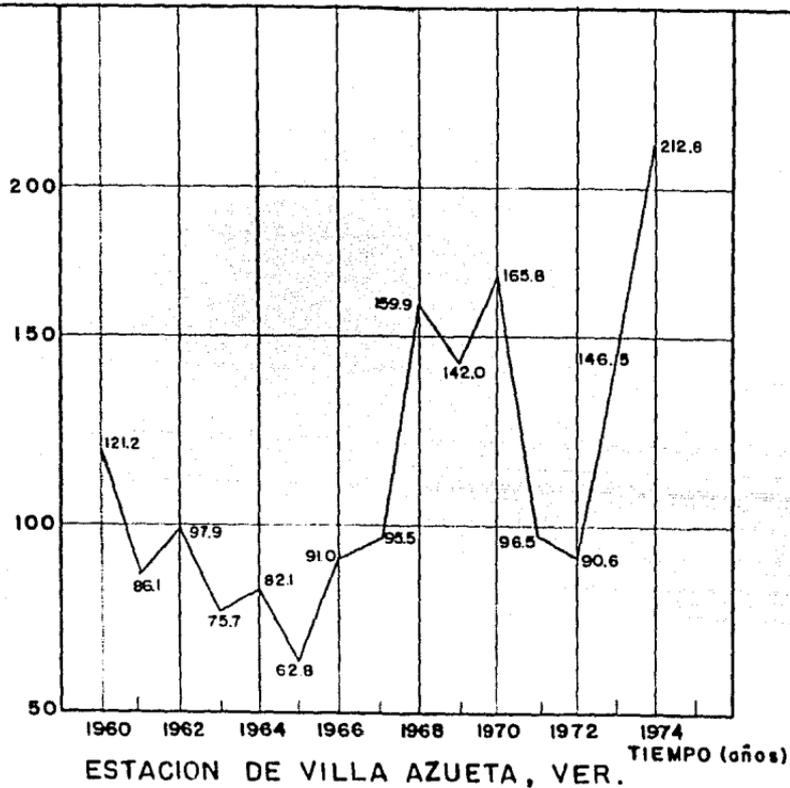
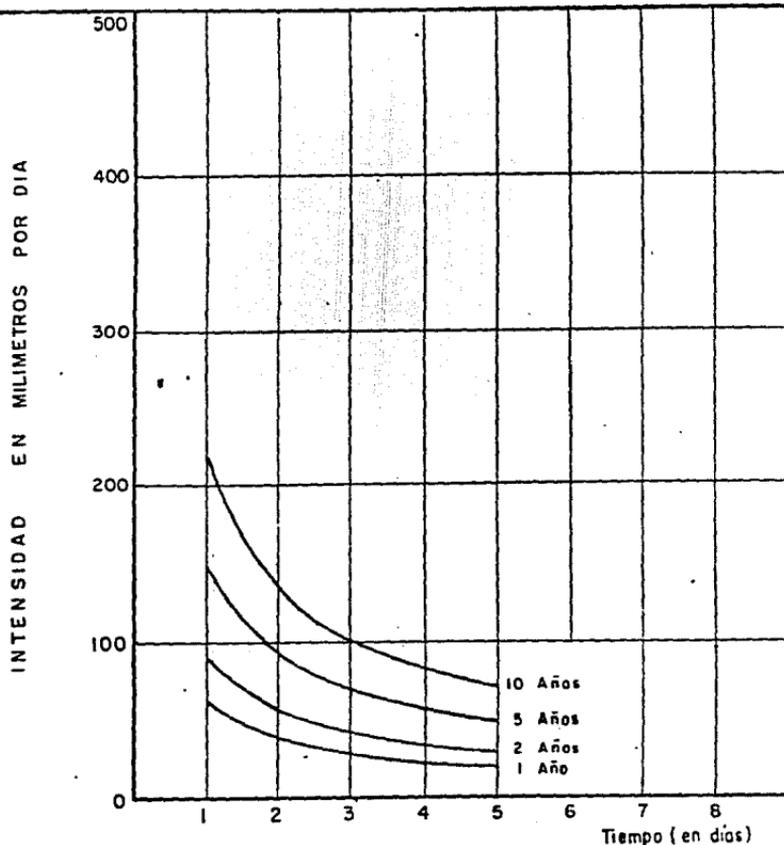


Figura 12

LAMINA DE AGUA EN MILIMETROS POR DIA



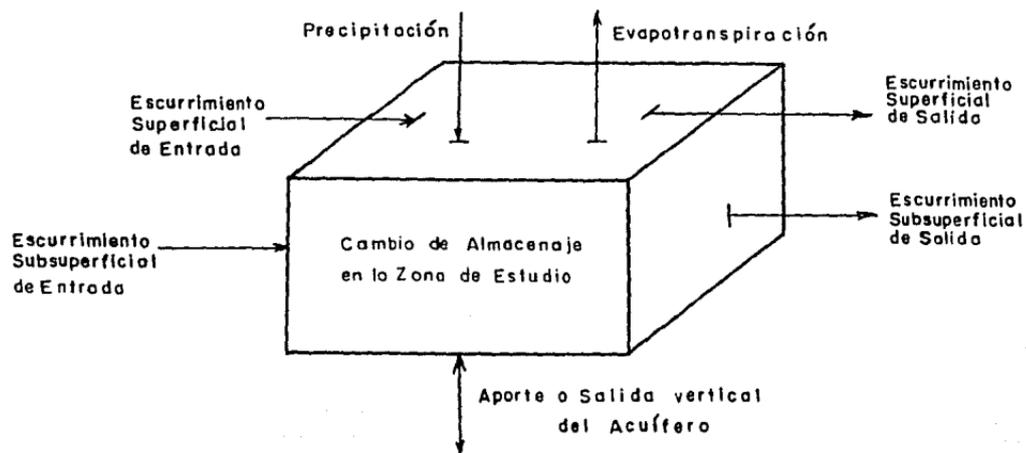
DISTRIBUCION ANUAL DE LAS LLUVIAS MAXIMAS EN 24 HORAS



ESTACION CLIMATOLOGICA DE VILLA AZUETA
CURVAS INTENSIDAD - DURACION - PERIODO DE RETORNO

PERIODO 1960 — 1974

$$i = 416.87 \frac{Tr^{0.55}}{D^{0.70}}$$



MODELO PARA EL BALANCE HIDROLOGICO EN EL AREA DE ESTUDIO

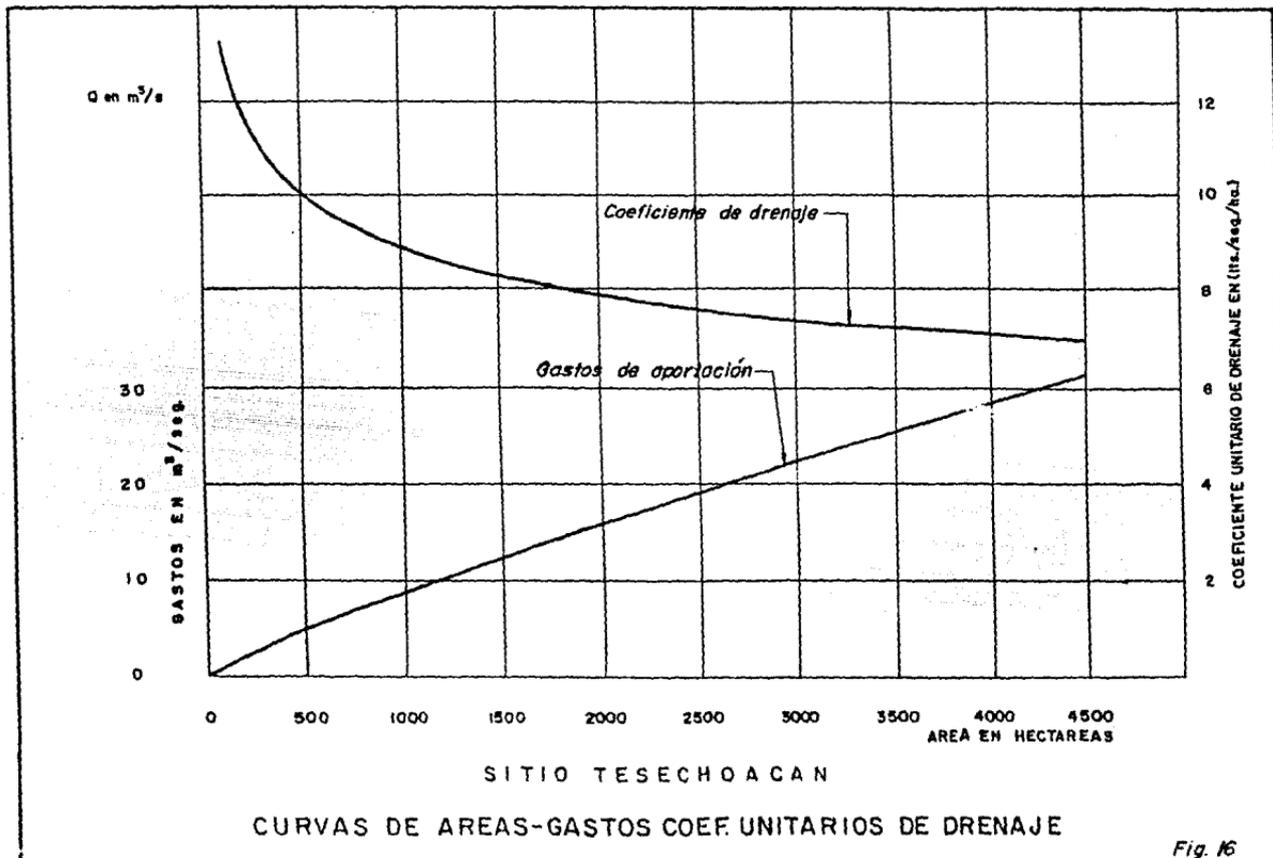
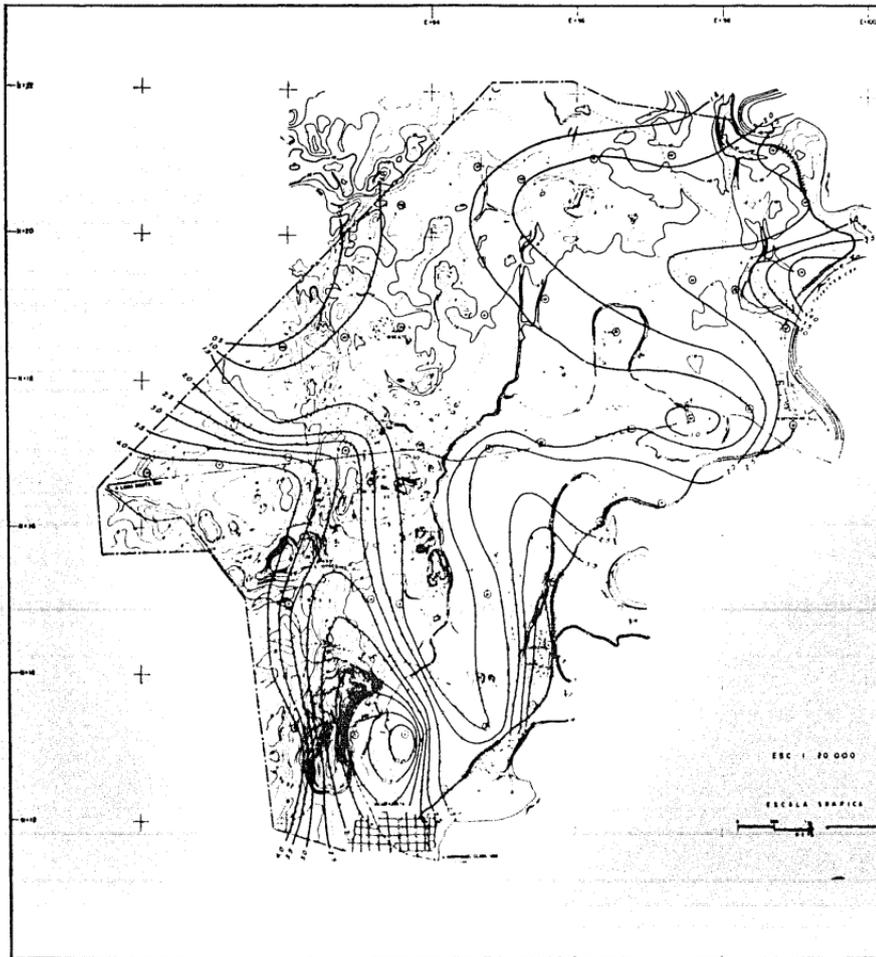


Fig. 16



PUNTO No.	ELEVACION DEL TERRENO	PROFUNDIDAD DEL B.S.P.	PUNTO No.	ELEVACION DEL TERRENO	PROFUNDIDAD DEL B.S.P.
1	11.87	3.87	21	11.24	1.10
2	13.21	1.21	22	10.77	0.00
3	14.23	2.20	23	10.70	1.11
4	13.25	* 3.4	24	11.81	0.04
5	13.51	0.27	27	10.70	2.08
6	11.52	0.05	28	12.00	0.08
7	13.33	3.41	29	11.20	0.08
8	13.50	3.34	30	10.82	1.29
9	12.57	* 3.07	31	10.10	1.29
10	10.49	7.47	32	10.20	DESTRUIDO
11	12.80	1.25	33	11.34	1.88
12	12.17	1.83	34	10.40	DESTRUIDO
13	12.21	1.81	35	11.24	2.88
14	13.23	2.11	36	10.40	* 3.0
15	12.15	2.11	37	10.33	2.88
16	10.66	1.18	38	9.00	1.1
17	11.00	1.42	39	9.11	1.10
18	10.18	1.81	40	9.08	1.1
19	10.36	2.84	41	10.08	1.88
20	11.88	0.20	42	9.44	1.82
21	12.31	1.05	43	10.43	2.00
22	11.28	1.1			

INTERVALOS Y AREAS ENTRE ISOBATAS

CLAVE	PROF. (m)	ANILLOS	PERCENTAJE
10	10.00	17.7	20.7
8	8.00	14.94	17.3
6	6.00	12.18	14.6
4	4.00	9.42	11.0
2	2.00	6.66	7.8
0	0.00	3.90	4.6
TOTAL		85.80	100.0

SIGNOS CONVENCIONALES

- Punto:
- Cumbre:
- Canchales:
- Red topográfica:
- Red del terreno:
- Lineas del agua:
- Linea a 50m del agua:
- Linea de nivel:
- Forma masada:
- Depresion:
- Linea del perfil:

NOTA
 Se levantó este plano a una escala nominal de 1:20,000
 con una altura barométrica de 1,000 m.
 Para mayor detalle de las isobatas se usó el método de la curva de nivel.

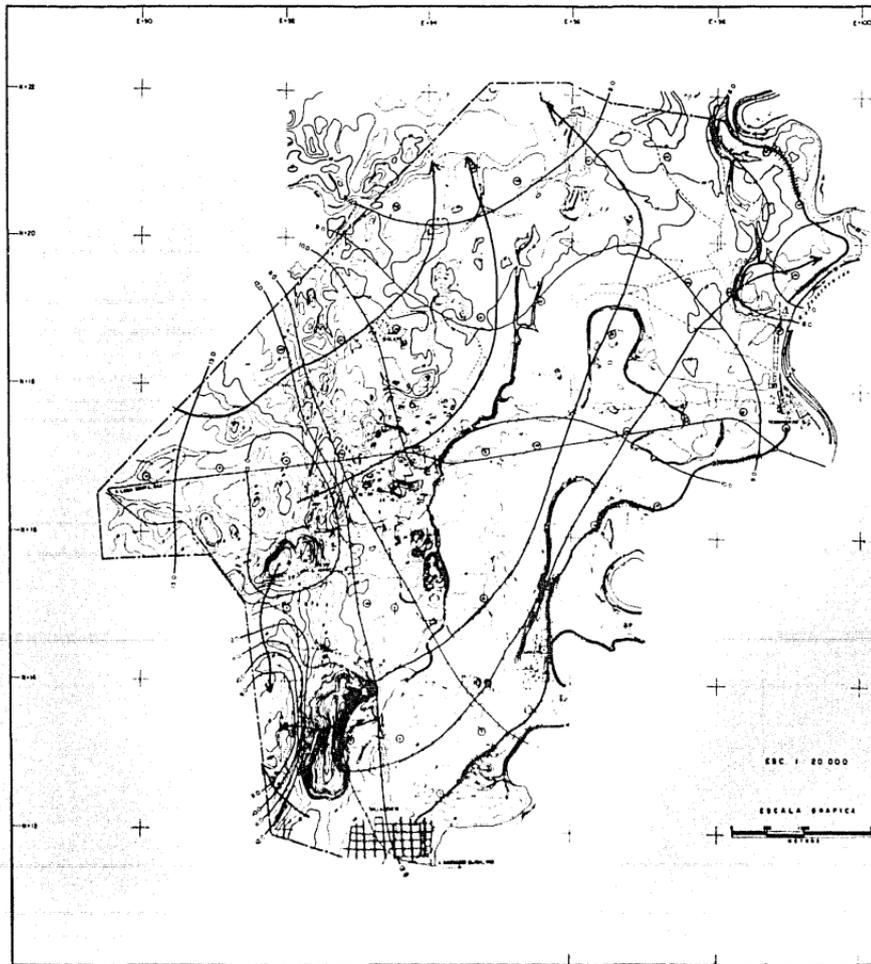
ESC 1 : 20 000

ESCALA GRAFICA

U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
SITIO TESHCOACAN, VER.
PLANO DE ISOBATAS DEL 6 DE ENERO DE 1978

TIPO PROFESIONAL
JORGE OCTAVIO VILLAR ESCUDERO

MEXICO, D.F. 1978 P L A N O N O. 1



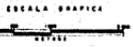
MON. NO.	ELEVACION DEL TERRENO EN METROS	ELEVACION DEL CEN. EN METROS	MON. NO.	ELEVACION DEL TERRENO EN METROS	ELEVACION DEL CEN. EN METROS
1	11.42	10.50	21	11.44	8.84
2	11.17	11.83	22	10.81	10.81
3	10.26	11.83	23	10.70	8.84
4	10.82	11.83	24	11.81	8.84
5	10.01	11.86	25	10.70	8.82
6	11.78	11.86	26	11.80	11.12
7	10.88	10.78	27	11.80	10.51
8	10.80	10.80	28	10.80	8.82
9	10.82	11.20	29	10.10	8.81
10	10.82	11.20	30	10.10	10.51
11	10.80	10.80	31	11.24	8.82
12	11.77	10.84	32	10.88	10.51
13	13.31	10.10	33	11.24	8.82
14	10.80	10.80	34	10.80	8.80
15	12.50	11.00	35	10.80	10.80
16	11.81	11.81	36	8.80	11.81
17	11.00	11.20	37	8.80	11.81
18	11.76	11.81	38	8.80	11.81
19	10.88	10.88	39	10.80	8.80
20	11.08	8.80	40	8.80	8.84
21	12.31	10.81	41	10.83	7.83
22	11.88	10.31			

INTERVALOS Y AREAS ENTRE ISOGIATAS			
CLASE	PROF. (M)	AREA (HA)	PORCENTAJE
1	0.0-0.5		
2	0.5-1.0		
3	1.0-1.5		
4	1.5-2.0		
5	2.0-2.5		
6	2.5-3.0		
7	3.0-3.5		
8	3.5-4.0		
9	4.0-4.5		
10	4.5-5.0		
TOTAL		1,474.00	100.00

- SIGNOS CONVENCIONALES**
- Parque: [Symbol]
 - Casa: [Symbol]
 - Playa: [Symbol]
 - Arbol de sombra: [Symbol]
 - Linea de ferrocarril: [Symbol]
 - Linea de telégrafo: [Symbol]
 - Linea de energía eléctrica: [Symbol]
 - Linea de drenaje: [Symbol]
 - Linea de riego: [Symbol]
 - Linea de canal: [Symbol]
 - Linea de acequia: [Symbol]
 - Linea de drenaje de agua subterránea: [Symbol]

NOTA:
 Escala de 1:20,000. El terreno está representado por curvas de nivel.
 El relieve está representado por curvas de nivel.
 El relieve está representado por curvas de nivel.

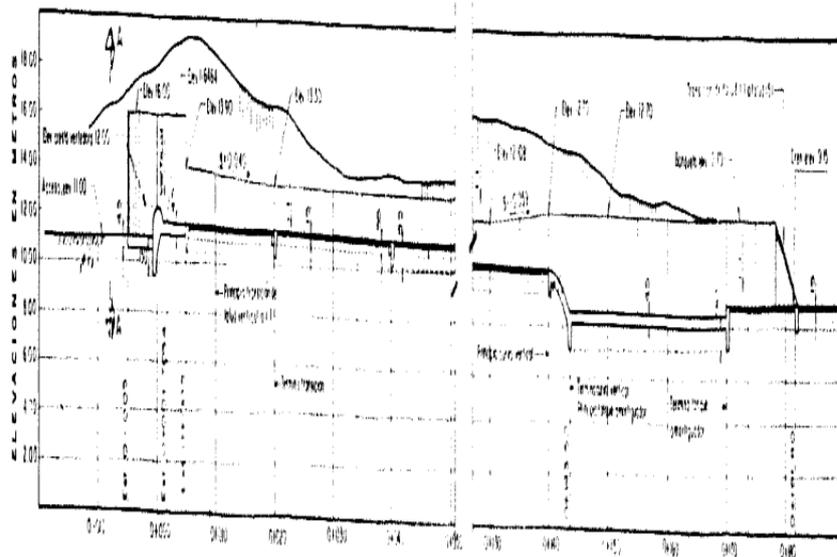
ESC 1:20 000



U N A M
 FACULTAD DE INGENIERIA
 SITIO TEBECOHACAN, VER.
 PLANO DE INGENIERIA DEL 6 DE ENERO DE 1978

JES S. PAZ-REUNAL
 JORGE OCTAVO VILLAR ESCUDERO

MEXICO, C.A. 978 PLANO BA 2



CORTE LONGITUDINAL POR EL EJE DEL VERTEDOR

CANTIDADES DE OBRA	
CONCEPTO	UNIDAD/CANTIDAD
DRENAJE	
Canchales	m ² 110
Excavación de terreno para la obra	m ³ 470.95
Excavación de drenaje	m ³ 130.96
Formación de banquetas	m ² 218.375
Pavimentación de banquetas	m ² 30.955
Concreto en banquetas	m ³ 594
Plantel de culvertas en estructuras	m ² 15.750
CUICAC	
Canchales	m ² 15.0
Excavación para drenaje	m ³ 85.575
Materiales impermeables	m ² 272.465
Plantel de culvertas en obra	m ² 15.845
Materiales para culvertas	m ³ 12.110
DRENAJE	
Canchales	m ² 1.000
Excavación de terreno	16.000 m ³
Formación de banquetas	170.000 m ²
Plantel de culvertas en obra	14.800 m ²
Excavación de terreno	250.000 m ³
Excavación de drenaje	300.000 m ³
Formación de banquetas	770 m ²
Plantel de culvertas en obra	150 m ²

DATOS DE PROYECTO	
DRENAJE	
Área de drenaje en hectáreas	1.500 ha
Longitud del drenaje	5.200 m
Longitud del drenaje en banquetas	31.000 m
Longitud del drenaje en obra	420 m
DRENAJE	
Longitud del drenaje	1.000 m
Excavación de terreno	16.000 m ³
Formación de banquetas	170.000 m ²
Plantel de culvertas en obra	14.800 m ²
Excavación de terreno	250.000 m ³
Excavación de drenaje	300.000 m ³
Formación de banquetas	770 m ²
Plantel de culvertas en obra	150 m ²

NOTAS:
 1. El proyecto se realizó por el A200254 en apoyo de
 2. 976 metros de drenaje con banquetas y obra en obra
 3. 420 metros de drenaje con banquetas y obra en obra
 4. 1.500 hectáreas de drenaje en obra
 5. 1.500 hectáreas de drenaje en obra
 6. 1.500 hectáreas de drenaje en obra

U N A M
 FACULTAD DE INGENIERIA
 SITIO TESEOACAN, VER.
 DRENAJE SUPERFICIAL-PLANO GENERAL
 TESIS PROFESIONAL
 JORGE OCTAVIO VILLAR ESCUDERO
 MEXICO, D.F. 1970 PLANO No. 3

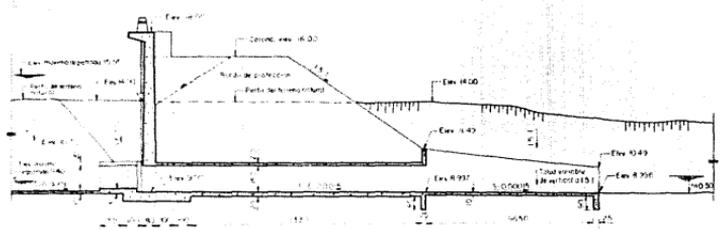


SIMBOLOGIA

- Límite del área de estudio
- Dique
- Carreteras
- Prop. de
- Cauce
- Cauce de reserva
- Fertilizante
- Límite de protección (Reserva)
- Alcantarilla
- Trazado de
- Límite
- Muro
- Suroeste

FAZETA H

P LANTA
ESCALA GRAFICA



CORTE POR EL EJE DE LA TOMA DIRECTA

