



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE  
DISEÑO PARA UN DISTRITO DE RIEGO CON  
AGUA SUPERFICIAL.**

**T E S I S**

Que para obtener el título de.

**I N G E N I E R O C I V I L**

p r e s e n t a :

**RICARDO ANDRES ALVAREZ BRETON**

México, D. F.

1979



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | INTRODUCCION   | 1  |
| 1.1   | Antecedentes   | 1  |
| 1.2   | Motivo de la tesis   | 9  |
| 1.3   | Desarrollo de la tesis   | 12 |
| 2     | ANALISIS HIDROLOGICO   | 13 |
| 2.1   | Cálculo de las características<br>fisiográficas de una cuenca                  | 13 |
| 2.2   | Modelo lluvia-escorrimento   | 17 |
| 2.2.1 | Precipitación media sobre una cuenca   | 17 |
| 2.2.2 | Obtención de los volúmenes de<br>escorrimento en una cuenca                    | 19 |
| 2.2.3 | Relación lluvia-escorrimento   | 20 |
| 2.3   | Obtención de la avenida máxima   | 23 |
| 2.3.1 | Curvas de altura ó intensidad de<br>lluvia-duración-periodo de retorno (i-d-T) | 25 |
| 2.3.2 | Curvas de altura de precipitación<br>máxima-24hrs-periodo de retorno           | 29 |
| 2.3.3 | Modelo de Tormenta   | 30 |
| 2.3.4 | Duración de la tormenta  | 32 |
| 2.4   | Cálculo de la avenida máxima   | 35 |
| 2.4.1 | Lluvia en exceso   | 35 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 2.4.2 | Hidrograma unitario triangular .....                      | 37  |
| 3     | PLAN DE CULTIVOS Y LEYES DE DEMANDA .....                 | 39  |
| 3.1   | Balace hidrológico .....                                  | 39  |
| 3.1.1 | Evaporación .....   | 40  |
| 3.1.2 | Transpiración .....                                       | 41  |
| 3.1.3 | Evapotranspiración .....                                  | 42  |
| 3.2   | Plan de cultivo .....                                     | 43  |
| 3.2.1 | Cultivo .....   | 43  |
| 3.2.2 | Tipos de riego .....                                      | 44  |
| 3.3   | Uso consuntivo .....                                      | 46  |
| 3.3.1 | Métodos de estimación del uso consuntivo .....            | 46  |
| 3.3.2 | Desarrollo de la teoría del método .....                  | 47  |
|       | de Thornthwaite   |     |
| 3.3.3 | Desarrollo de la teoría del método .....                  | 49  |
|       | de Blaney-Criddle   |     |
| 3.4   | Obtención de láminas de riego .....                       | 51  |
| 3.4.1 | Lámina bruta de riego .....                               | 51  |
| 4     | APLICACION AL DISTRITO DE RIEGO DE ZIRAPITIRO, MICH. .... | 61  |
| 4.1   | Antecedentes .....  | 62  |
| 4.2   | Estudio Hidrológico .....                                 | 63  |
| 4.2.1 | Análisis de los escurrimientos medios .....               | 63  |
|       | suceptibles de aprovechamiento                            |     |
| 4.2.2 | Alternativas de solución .....                            | 71  |
| 4.2.3 | Obtención de láminas de riego para .....                  | 81  |
|       | satisfacer la ley de demanda                              |     |
| 4.3   | Obtención de la avenida máxima .....                      | 99  |
| 4.3.1 | Análisis de tormentas puntuales .....                     | 99  |
| 4.3.2 | Transposición de Tormentas .....                          | 100 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 4.3.3 | Modelo de tormenta .....                | 101 |
| 4.3.4 | Duración de la tormenta de diseño ..... | 101 |
| 4.3.5 | Tormenta de diseño .....                | 104 |
| 4.3.6 | Lluvia en exceso .....                  | 107 |
| 4.3.7 | Índice de infiltración .....            | 108 |
| 4.3.8 | Cálculo de las avenidas .....           | 109 |
| 5     | CONCLUSIONES .....                      | 114 |
|       | BIBLIOGRAFIA .....                      | 117 |

## 1 INTRODUCCION

### 1.1 Antecedentes

Los parámetros mas inmediatos que intervienen en el diseño de un distrito de riego son dos, el suelo disponible y el agua para regar esa superficie y hacer posible que las condiciones de éste sean tales que de su aprovechamiento se obtengan mejores cosechas con los consiguientes beneficios.

El objeto del diseño de un distrito de riego, así como de cualquier construcción de aprovechamiento, es el mejoramiento social y económico de los pobladores de la región, se debe considerar como otro factor de estudio, ya que es necesario determinar el grado en que la obra resolverá los problemas existentes así como la aceptación y/o cooperación de los habitantes, pues muchas veces las políticas resultan desfavorables a la consecución del proyecto.

Estos tres parámetros o factores, se interrelacionan, debiéndose entonces obtener de esta combinación el mejor partido.

Cada uno de estos factores tienen, a su vez, otras variables y problemas que deben conocerse para poderlas controlar.

#### 1.1.1 Socioeconomía

En la recopilación de datos de tipo socio-económico se debe considerar:

- a) Las poblaciones cercanas y número de habitantes de cada una de ellas que serán beneficiados por la obra.
- b) La condición social y económica de los habitantes, así como su interés por la construcción de la obra.
- c) Las fuentes de trabajo y la forma en que podrán cooperar.
- d) Tener presente el carácter legal de las afectaciones de la tierra de propiedad particular, comunal y ejidal.
- e) Los cultivos propios de la región (a los que los habitantes - están acostumbrados y a cuales serían factibles de adaptarse dependiendo también de las condiciones climáticas y de humedad)

Si éste análisis resulta positivo se deberán desarrollar entonces los estudios preliminares y consecuentes del agua y del suelo.

#### 1.1.2 El suelo

Para definición congruente y relacionada con la agricultura, el suelo es el medio natural para el crecimiento de las plantas compuesto de materiales minerales, orgánicos, de agua y de aire.

El clima, el relieve o topografía, así como el tiempo transcurrido modifican los factores físicos, químicos y biológicos que intervienen en las características propias del material madre que dá lugar a la formación del suelo.

Genéricamente hablando, el suelo agrícola es la capa superior formada por los horizontes donde el intemperismo ha actuado con mayor inten-



sidad y donde los elementos nutritivos se encuentran en condiciones de fácil aprovechamiento por las plantas, debido a su gran solubilidad y por su composición simple.

Por la aplicación de técnicas inadecuadas en el uso y captación de los recursos naturales renovables como son el suelo, el agua, la flora, y la fauna, el equilibrio se altera. La destrucción de la cubierta vegetal y la tala excesiva e immoderada de árboles provoca que el agua y el viento arrastren la capa de suelo útil, conociéndose este efecto como erosión, - siendo mas intensa en suelos de texturas ligeras o arenosas, y menos en los de texturas pesadas y compactas o arcillosas. Este efecto se incrementa en velocidad y severidad cuando es mayor la pendiente del terreno, cuando se surca en sentido de la pendiente, cuando se destruye la cubierta vegetal y cuando es excesiva la intensidad de las lluvias, de los vientos y de los cambios locales de temperatura.

Las lluvias, los arroyos, los torrentes, los ríos y el flujo y reflujo de los mares producen efectos constantes de erosión de los suelos, siendo mayor o menor su intensidad de acuerdo a la pendiente del terreno y con el volumen y la velocidad del movimiento del agua, que a su vez lo determina el tamaño y la cantidad de las partículas o componentes acarreados del suelo.

El aire origina, así mismo, serios problemas de erosión, principalmente en áreas desprovistas de árboles y pastos donde soplan fuertes vientos. Produce además graves perjuicios por la acumulación de material y la formación de dunas con las arenas que acarrea, y las molestas tormentas de polvo que se forman con el material fino transportado por el viento a grandes distancias de su lugar de origen.

En resumen, existen dos tipos bien definidos de erosión acelerada de los suelos; la producida por el agua, que se conoce con el nombre de *erosión hídrica*, y la que origina el viento, *erosión eólica*.

La erosión hídrica, que en este caso es la que mas importancia tiene, es producida por dos fenómenos; uno físico y otro químico, es decir el acarreo y la disolución del suelo por medio del agua. Tiene su origen en el escurrimiento superficial del agua o en una prolongada filtración -- hacia las capas profundas de los terrenos, fenómenos que son favorecidos -

por la topografía accidentada, por las precipitaciones torrenciales o prolongadas, y por el empleo de volúmenes excesivos de agua de riego.

En el primer caso, o sea la erosión del suelo originada por los escurrimientos superficiales, puede ser apreciada a simple vista por el color que toman las aguas, que es semejante al color del suelo que lleva en suspensión, y cuyas partículas constituyen los azolves. La disolución de los elementos nutritivos del suelo se aprecia por la disminución de los rendimientos en los cultivos máxime si el terreno cuenta con un excesivo drenaje natural o artificial.

Quando el drenaje es deficiente la disolución de los nutrientes o de las sales se manifiesta a través de fenómenos de capilaridad y evaporación al acumularse el material soluble, fenómeno que se conoce generalmente como salinización de los suelos; aunque en realidad no es sino uno de los tipos de erosión hídrica que tiene su origen en el mal uso del agua para riego, o debido a precipitaciones torrenciales, favorecida en ambos casos por un drenaje deficiente, lo que acarrea la aceleración de la improductividad de los terrenos de cultivo.

Lo anterior debe evitarse tecnificando el riego, limitando los volúmenes aplicados a las láminas indicadas en los coeficientes de riego y aplicando las prácticas adecuadas de conservación del suelo, a fin de obtener los máximos beneficios ecológicos, económicos y sociales.

La erosión eólica, tiene lugar principalmente en terrenos planos, desprovistos de vegetación, de textura ligera, sueltos y sujetos a altas temperaturas por su exposición prolongada a la acción de los rayos solares.

Este tipo de erosión se manifiesta a través de dos fenómenos;

- a) El acarreo superficial de partículas de suelo que está en relación directa con la intensidad del viento y el diámetro de las partículas transportadas (tolvaneras).
- b) La formación de dunas, por acumulación del material transportado, que se llega a depositar en grandes cantidades, en donde el viento pierde su velocidad, debido a la presencia de un obstáculo.

### 1.1.3 El agua

El parámetro por determinar, a cuyo estudio, está directamente enfocada la presente tesis, es el agua.

Como es ya bien conocido, el agua obedece a un ciclo en la naturaleza, llamado *ciclo hidrológico*, término descriptivo que es aplicable al proceso de circulación del agua en estado líquido, de vapor o sólido, desde los océanos a la atmósfera y de ella a la tierra, sobre la superficie o bajo el suelo para finalmente regresar al océano.

El vapor resultante del calentamiento de masas de agua, es transportado por el aire en movimiento. En determinadas condiciones el vapor se condensa formando nubes que, a su vez, pueden ocasionar precipitaciones. La precipitación que cae sobre el terreno se dispersa de varios modos. Si ésta llega a una superficie impermeable (por ejemplo un área pavimentada) que previene su infiltración, provoca que escurra rápidamente hacia los cauces naturales. Si la precipitación encuentra un terreno permeable, entonces puede infiltrarse o acumularse.

El suelo tiene una cierta capacidad de infiltración, definida como la cantidad máxima de agua por unidad de tiempo que un suelo puede absorber en condiciones dadas, cuando la intensidad de lluvia excede a esta capacidad, ocurre el escurrimiento superficial; la capacidad de infiltración disminuye al aumentar el contenido de humedad del suelo. El agua es retenida temporalmente por el suelo y será devuelta a la atmósfera por evaporación y transpiración de la vegetación.

Los cauces naturales, arroyos y ríos, así como las corrientes subterráneas se abren camino debido a la gravedad, hasta alcanzar las cotas más bajas y eventualmente pueden verter en el océano.

El diagrama esquemático de la fig 1.1 se simplificó mucho, por ejemplo, otra condición probable es que parte del agua de las corrientes superficiales se infiltre hasta el agua subterránea y en otros casos, el agua subterránea dará origen a corrientes superficiales.

Debe tenerse presente que el ciclo hidrológico no es un mecanis-

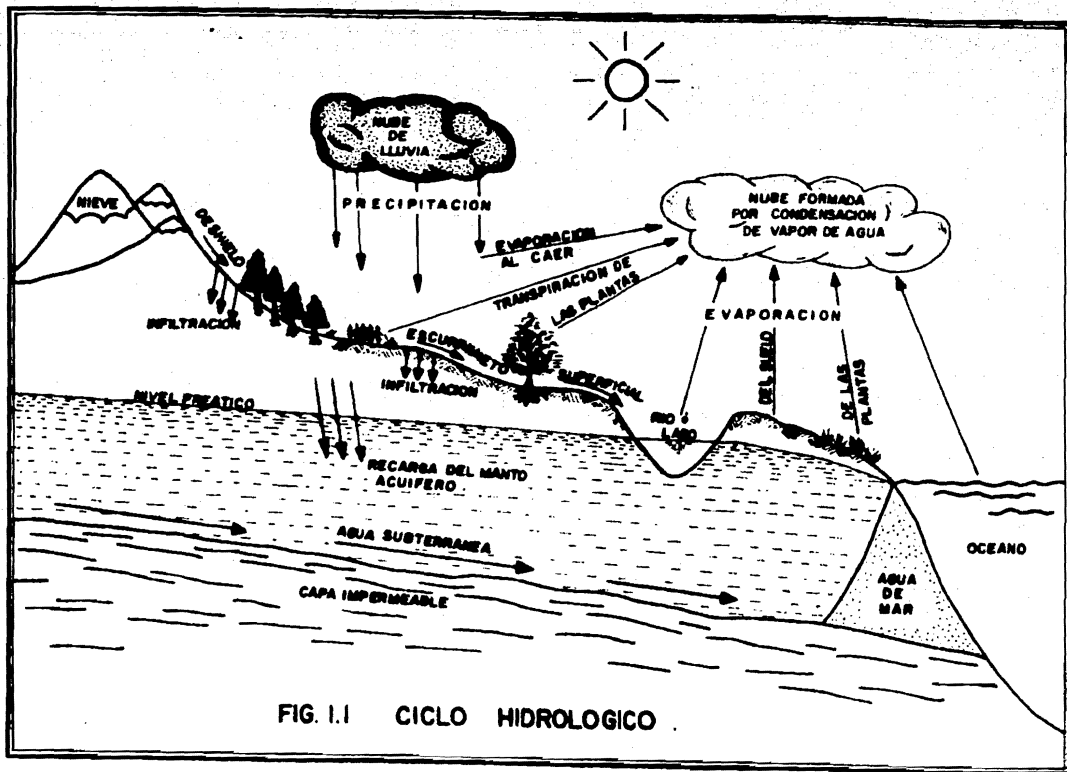


FIG. 1.1 CICLO HIDROLOGICO

no continuo en el que el agua se desliza continuamente a velocidad constante. El movimiento del agua a través de las diversas fases del ciclo es , principalmente irregular, tanto en tiempo como en espacio.

El agua en el suelo se encuentra en las siguientes formas:

Cerca de la superficie en la zona de aereación, los espacios de los poros contienen agua y aire, a ésta agua se le dá el nombre de agua retenida o humedad del suelo. Esta zona se puede dividir en tres capas, la capa de agua de suelo, la capa intermedia y el borde capilar.

La capa de agua del suelo, yace inmediatamente debajo de la superficie, y ésta es la región de la que las plantas extraen, por medio de sus raíces, la humedad para su desarrollo. El espesor de esta capa varía grandemente dependiendo del tipo de suelo y vegetación.

La capa intermedia, está comprendida entre la capa de agua del suelo y el borde capilar. El agua de ésta capa se llama agua de gravedad o vadosa.

El borde capilar, ocupa la porción del fondo de la zona de aereación y yace inmediatamente sobre la zona de saturación.

El agua en esta capa se encuentra suspendida por fuerzas capilares similares a las que causan que el agua se eleve en un tubo estrecho o capilar por encima del nivel del agua contenida en un recipiente mayor que aloja verticalmente al tubo. El espesor de la capa depende de la textura del suelo y puede ser practicamente nula cuando los poros son grandes.

En general la humedad en la zona de aereación puede estar presente como, agua de gravedad en tránsito a través de los huecos de los poros mayores; agua capilar en los poros menores y humedad higroscópica, adherida por atracción molecular en delgada película a las partículas del suelo, y como vapor de agua.

El coeficiente de marchitez (humedad del suelo en el momento en que las plantas no pueden extraer agua) queda comprendido entre los valores correspondientes al agua capilar y a la higroscópica. A partir de ese valor hacia la saturación o agua útil, se le denomina capacidad de campo, que es el grado ideal de humedad hacia el cual se lleva a un suelo con los riegos.

Por debajo de la zona de aereación, los poros están llenos de -

agua, esta zona es la llamada de saturación o de agua freática.

la presión hidrostática del agua subterránea en la superficie - que limita estas dos zonas, llamada capa freática, es la presión atmosférica.

Ocasionalmente existen zonas de saturación locales en forma de bolsas de agua rodeadas de un estrato impermeable, formando agua cautiva o artesiana. Esta agua suele estar bajo presión debido al peso del suelo que la recubre y a la carga hidrostática.

Si un pozo perfora la capa impermeable, el agua se elevará hasta el nivel piezométrico o equivalente artesiano del nivel hidrostático.

## 1.2 Motivo de la tesis

El uso adecuado de los recursos naturales y el incremento de la productividad que requieren un armónico y estable desarrollo de la economía nacional, necesita algo más que construcción de una infraestructura material técnicamente concebida y funcionalmente dispuesta. Es indispensable que el hombre, objeto de toda preocupación del sector público, ponga en marcha esos mecanismos participando activamente en la empresa de su propio mejoramiento.

Debido al estancamiento que prevalece en el medio rural la meta resulta difícil de alcanzar, puesto que la mayor parte de la población del campo permanece prácticamente al margen de la vida nacional.

La actividad agropecuaria a nivel de subsistencia, practicada de acuerdo a métodos primitivos altamente destructivos de los recursos naturales, el sobre pastoreo y la agricultura nómada no solo han mantenido a la población dentro de los límites de la mayor estrechez sino que han dado lugar a los más trágicos y espectaculares procesos de erosión en el suelo mexicano.

Día a día la superficie agrícola del país, de por sí escasa está sujeta a la presión demográfica que demanda mayores volúmenes de cosechas, y si los suelos no responden con un incremento proporcional en sus rendimientos, hasta un límite económico factible, tendrá que sufrir un colapso económico la región en donde no se haya cuidado debidamente su conservación.

Si dedicamos mayores esfuerzos, más pronto podremos subsanar deficiencias y remediar injusticias hoy por hoy existentes en numerosas regiones del país, por lo que la ayuda al campo es tarea que concierne a todos.

En todos los países son complicados y de difícil solución los problemas de desarrollo. En México, cuya configuración geográfica, étnica y social hacen del país un complejo mosaico, hay una economía que comprende desde grupos de mísero autoconsumo, hasta sectores de alto desarrollo

industrial.

Así, miles de campesinos emigran del campo, atraídos por las re motas posibilidades de empleo, para ir a formar en las ciudades un numero so subproletariado; capas de la clase media en ascenso y expansión por la concentración de actividades económicas debido a la implantación de moder nos sistemas comerciales, encaran una segura decadencia.

El artesano desplazado por la mediana industria, y ésta amenaza da por la grande, el pequeño comerciante aplastado o a punto de serlo por los modernos métodos mercantiles. Profesiones que en su individualismo y saturación ven reducido su campo de actividad remunerada, otras de carac ter cada vez mas social que exigen muchos años de capacitación que hacen esperar a quien las ejercen los beneficios de otras que son o se reputan mas lucrativas y exigen menos sacrificios.

Todo lo anterior aunado a una defectuosa distribución del ingre so nacional, que va desde la miseria hasta el exceso y que da lugar a un irritante y ostentoso desperdicio, de cara a una secular pobreza.

Son apenas estos unos cuantos de los muchos obstáculos a que -- nos enfrentamos y que demandan políticas económicas y sociales más amplias y profundas.

Como profesionistas, tenemos un gran compromiso de lealtad para con nuestro país; por todos los medios que están al alcance de nuestros conocimientos y contando con la cooperación del pueblo y el gobierno se deberá poner un alto a la creciente destrucción de sus recursos naturales renovables. Se debe aplicar ampliamente la técnica de captación, conservación y mejoramiento de esos recursos, para devolverle al suelo toda su capacidad de uso, para lograr un aprovechamiento máximo del agua, evitando que sea un factor de destrucción, para transformar ambos recursos natura les en aliados de una mejor economía y un buen nivel de vida.

Con ello, no solamente se impedirá la destrucción del suelo pro ductivo y la escases de agua de lluvia, sino que se favorecerá el desarro llo óptimo de los recursos, flora y fauna que tantos beneficios producen y cuya riqueza ha de aumentarse mediante la aplicación de programas espe cíficos para su conservación.



Esta problemática me cuestionó la posibilidad de desarrollar la presente tesis, con el objeto de emplear las teorías y técnicas de la hidrología para proporcionar las bases de estudios de planeación y solución de problemas prácticos como es la determinación de la humedad disponible en el suelo con fines agrícolas. Ya que los estudios hidrológicos tienen un interés potencial, de aspecto económico (dado que permiten valorar la evaporación en presas, estudiar depósitos y corrientes superficiales, optimizar las operaciones de irrigación en zonas de riego y planificar los cultivos en las zonas de temporal) es necesario emplearlos ampliamente en beneficio de la comunidad, pues es urgente salvaguardar y proteger los elementos de subsistencia de nuestra actual generación y de las futuras y crecientes generaciones que nos sucedan .

### 1.3 Desarrollo de la tesis

El objetivo principal de la tesis, es determinar los parámetros que intervienen en el diseño de un distrito de riego, empleando agua superficial. El estudio tiene un enfoque principal desde el punto de vista hidrológico, aunque se menciona la interacción con los diversos aspectos que conforman un distrito de riego como es el factor agrológico.

Para lograr el objetivo, la tesis se dividió en los siguientes capítulos cuyos alcances se dan a continuación en forma resumida:

#### Capítulo Primero

Se dieron las generalidades del estudio fundamental de la tesis.

#### Capítulo Segundo

Exposición de las teorías de diferentes autores para el análisis hidrológico, que dará como resultado el cálculo cuantitativo del agua disponible en la cuenca de estudio, así como las bases necesarias para el diseño y revisión de las estructuras hidráulicas, haciendo este estudio para las cuencas pequeñas que carecen de información hidrométrica, siendo éste un problema de interés, pues se presenta frecuentemente.

#### Capítulo Tercero

Se plantea el análisis del Uso Consuntivo para encontrar la lámina de agua necesaria que deberá darse por riego al suelo agrícola dependiendo del cultivo o cultivos propuestos para una región.

#### Capítulo Cuarto

Desarrollo de un ejemplo de aplicación en el distrito de riego en Zirapitiro, Michoacán.

#### Capítulo Quinto

Se dan las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

### 1.3 Desarrollo de la tesis

El objetivo principal de la tesis, es determinar los parámetros que intervienen en el diseño de un distrito de riego, empleando agua superficial. El estudio tiene un enfoque principal desde el punto de vista hidrológico, aunque se menciona la interacción con los diversos aspectos que conforman un distrito de riego como es el factor arológico.

Para lograr el objetivo, la tesis se dividió en los siguientes capítulos cuyos alcances se dan a continuación en forma resumida:

#### Capítulo Primero

Se dieron las generalidades del estudio fundamental de la tesis.

#### Capítulo Segundo

Exposición de las teorías de diferentes autores para el análisis hidrológico, que dará como resultado el cálculo cuantitativo del agua disponible en la cuenca de estudio, así como las bases necesarias para el diseño y revisión de las estructuras hidráulicas, haciendo este estudio para las cuencas pequeñas que carecen de información hidrométrica, siendo éste un problema de interés, pues se presenta frecuentemente.

#### Capítulo Tercero

Se plantea el análisis del uso Consuntivo para encontrar la lámina de agua necesaria que deberá darse por riego al suelo agrícola dependiendo del cultivo o cultivos propuestos para una región.

#### Capítulo Cuarto

Desarrollo de un ejemplo de aplicación en el distrito de riego en Zirapitiro, Michoacán.

#### Capítulo Quinto

Se dan las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

## 2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

### 2.1 Cálculo de las características fisiográficas de una cuenca.

El conocimiento de las características fisiográficas de una cuenca es de fundamental importancia ya que estos factores influyen en el proceso del escurrimiento. Entre éstas, principalmente se pueden mencionar, el área, la pendiente, elevación de la cuenca y la red de drenaje; además es importante conocer las características del cauce principal, como son longitud y pendiente.

La cuenca de una corriente está limitada por una línea imaginaria que une los puntos de mayor nivel topográfico, llamada *parteaguas*, ésta línea solo cruza a las corrientes en sus puntos de salida y sirve de división entre cuencas adyacentes.

La cuenca, así limitada, es el área que capta la precipitación y

contribuye al escurrimiento, proporcionando parte o todo el flujo a las corrientes tributarias y al cauce principal.

Cuando las condiciones físicas del suelo de una cuenca influyen notablemente en el escurrimiento causando que sea sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración, se tiene entonces el caso de una cuenca -- pequeña, que puede variar en tamaño, desde pocas hectáreas hasta 250 Km<sup>2</sup> - que es un límite práctico fijado por Chow\*.

Por otro lado, si la cuenca es grande, el efecto de almacenaje del cauce es muy importante, debiendo dársele atención a las características de éste último.

No se debe comparar dos cuencas teniendo unicamente en cuenta el tamaño, pues hay otros factores fisiográficos tales como la condición de humedad del suelo, tipo de superficie del suelo y subsuelo, y la vegetación que varían según su localización.

### 2.1.1 Pendiente del cauce principal

La pendiente del cauce principal se puede valuar empleando alguno de los tres criterios que a continuación se citan:

- Considerar como pendiente promedio, al desnivel total dividido por la longitud horizontal del cauce.
- Calcular la pendiente del cauce como la pendiente de una línea recta que se inicia en la parte más baja de la corriente e involucra la misma área bajo de ella como el perfil del cauce.
- Emplear la ecuación que proponen Taylor y Shwartz\*\*

$$S = \left[ \frac{m}{\sqrt{\frac{L}{S_1}} + \sqrt{\frac{L}{S_2}} + \dots + \sqrt{\frac{L}{S_m}}} \right]^2 \quad (2.1)$$

donde S pendiente media de la corriente  
m número de tramos de igual longitud  
S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>m</sub> la pendiente de cada tramo

\* ref 1

\*\* ref 3

### 2.1.2 Longitud del cauce principal

La longitud de la corriente, en general, se mide a lo largo del eje del valle y no se toman en cuenta sus meandros, además la longitud que se mide consiste en una serie de segmentos lineales trazados lo más próximo posible a las trayectorias de los cauces de las corrientes.

### 2.1.3 Area de la cuenca

El área de una cuenca es la proyección en un plano horizontal de la zona limitada por el parteaguas, se determina generalmente con un planímetro, expresándose en kilómetros cuadrados.

### 2.1.4 Pendiente de la cuenca

Son dos los criterios mas empleados para el cálculo de la pendiente de una cuenca, el que expone Horton y el criterio de Alvord.

#### a) Criterio de Horton.

Para aplicar este criterio se traza una malla de cuadros sobre el plano del área de la cuenca en estudio, la cual conviene orientar en sentido de la corriente principal. Si la cuenca es menor de 250 Km<sup>2</sup> se requerirá por lo menos una malla de cuatro cuadros por lado, si es mayor, el número de cuadros deberá incrementarse, ya que de ésto depende la aproximación del cálculo.

La pendiente de la cuenca se calcula como:

$$S_c = \frac{n}{2(l_x \cdot l_y)} (N_x \cdot l_y + N_y \cdot l_x) \quad (2.2)$$

donde  $l_x$  longitud de las líneas de la malla en la dirección x, limitada por el parteaguas  
 $l_y$  longitud de las líneas de la malla en la dirección y, limitadas por el parteaguas  
 $N_x$  número de intersecciones o tangencias de

las líneas en la dirección x con las curvas de nivel.

$N_y$  número de intersecciones o tangencias de las líneas en la dirección y con las curvas de nivel.

D desnivel entre curvas de nivel.

#### b) Criterio de Alvord,

Se analiza primero la pendiente existente entre curvas de nivel. Analizando la faja definida por las líneas medias que pasan entre las curvas de nivel. La ecuación definida es:

$$S_c = \frac{D \cdot l}{A} \quad (2.3)$$

donde D desnivel entre curvas de nivel  
A área de la cuenca  
l longitud de las curvas de nivel limitadas por el partearguas.

#### 2.1.5 Elevación de una cuenca

La variación en elevación de una cuenca, así como su elevación media, puede obtenerse con el método de las intersecciones. El mapa topográfico de la cuenca se divide en cuadros de igual tamaño, considerando que por lo menos 100 intersecciones estén comprendidas dentro de la cuenca.

La elevación media de la cuenca se calcula como el promedio de las elevaciones de todas las intersecciones.

#### 2.1.6 Red de drenaje

Otras características importantes de cualquier cuenca son las trayectorias o el arreglo de los cauces de las corrientes naturales dentro de ella. Su importancia se manifiesta en la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante. Por otra parte la forma de drenaje

## 2.2 Modelo lluvia-escorrentamiento

### 2.2.1 Precipitación media sobre una cuenca

En la mayoría de los problemas hidrológicos, es necesario conocer la altura media de lluvia sobre una zona determinada, para lo cual se cuenta con aparatos de medición clasificados según el registro de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos. Al primero se acostumbra hacerle una sola lectura cada 24 horas. Utilizando el pluviógrafo, se conoce la intensidad de precipitación  $i$ , que se define como la altura de precipitación entre el tiempo en que se originó.

Los registros de pluviógrafos se pueden transformar para obtener el hietograma de las diversas tormentas. El hietograma es una gráfica que indica la variación de la altura de lluvia o de su intensidad con respecto a un intervalo de tiempo, que entre más pequeño se escoja, más se aproxima a la variación real de la lluvia.

Para conocer la distribución y la precipitación media de una tormenta en una zona, se requiere de varias estaciones pluviográficas o pluviométricas, localizadas convenientemente. En base a éstos registros se han desarrollado diferentes criterios de cálculo siendo el método más simple para obtener la altura de precipitación media, el hallar la media aritmética de las cantidades registradas en dicha área. Da buenos resultados en terrenos llanos, siempre y cuando los pluviómetros estén uniformemente distribuidos y las cantidades registradas en cada estación no difieran mucho de la media. Es el criterio más impreciso, pero es el único que no requiere del conocimiento de la localización de las estaciones en la zona en estudio.

El método de los Polígonos de Thiessen admite una distribución no uniforme de pluviómetros o pluviógrafos, afectando de un peso a los valores de los registros de cada uno.

Las estaciones se localizan en un plano y se unen las más próximas por medio de triángulos. Se trazan líneas bisectoras formando polígonos alrededor de cada estación, limitando el área que le corresponde y que



se determina por planimetría expresando el valor en porcentajes del área de la cuenca.

La lluvia media del área total se calcula multiplicando la precipitación de cada estación por el porcentaje de superficie tributaria y sumando cada uno de los productos obtenidos de todas las estaciones y dividiendo entre el área total.

La altura de precipitación media se expresa como sigue:

$$h_{p_m} = \frac{\sum_{i=1}^n h_{p_i} \cdot A_i}{A} \quad (2.4)$$

donde

|                            |  |
|----------------------------|--|
| A                          | área de la zona, en Km <sup>2</sup>                        |
| A <sub>i</sub>             | área tributaria de la estación i, en Km <sup>2</sup>       |
| h <sub>p<sub>i</sub></sub> | altura de precipitación registrada en la estación i, en mm |
| h <sub>p<sub>m</sub></sub> | altura de precipitación media en la zona en estudio, en mm |
| n                          | número de estaciones localizadas dentro de la zona.        |

Los resultados suelen ser más precisos que los obtenidos por simple media aritmética. La mayor limitación del método de Thiessen es su falta de flexibilidad, requiriéndose un diagrama nuevo cada vez que se produce un cambio en la red pluviométrica. Además, el método supone simplemente una variación lineal de precipitación entre estaciones y asigna cada segmento de área a la estación más próxima.

El método más preciso para promediar la precipitación sobre una zona es el de las Isoyetas. La localización de las estaciones y sus cantidades registradas se dibujan sobre un mapa apropiado, y se trazan las líneas de igual precipitación ó isoyetas. La precipitación media de una zona se calcula multiplicando la precipitación media entre isoyetas sucesivas (generalmente se toma la media de los valores extremos) por el área entre isoyetas, sumando dichos productos y dividiendo por el área total.

El método de las isoyetas permite usar e interpretar todos los datos disponibles y se adapta bien a la exposición y discusión. Al elaborar un mapa con curvas isoyetas, si la precipitación es de tipo orográfico las isoyetas tenderán a seguir la configuración del terreno, adoptando la forma de las curvas de nivel.

La precisión del método de las isoyetas depende en gran parte de la experiencia de la persona que trace el mapa de isoyetas. Si se emplea la interpolación lineal entre estaciones, los resultados serán esencialmente los mismos que los obtenidos con el método de Thiessen. Por otra parte, un análisis inadecuado podría conducir a errores serios.

### 2.2.2 Obtención de los volúmenes de escurrimiento en una cuenca

El escurrimiento es la parte de la precipitación drenada por las corrientes de las cuencas hasta su salida. El agua que fluye por las corrientes proviene de diversas fuentes, y con base en ellas, se considera el escurrimiento como superficial, subsuperficial, o subterráneo.

El superficial es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. Se puede decir que su efecto sobre el escurrimiento total es directo y sólo existirá durante una tormenta e inmediatamente después de que esta cese. La parte de la precipitación que contribuye al escurrimiento superficial se denomina precipitación en exceso.

El escurrimiento subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada en la superficie del suelo y que se mueve lateralmente sobre el horizonte superior del mismo.

El escurrimiento subterráneo se recarga por la parte de la precipitación que se infiltra a través del suelo, una vez que este se ha saturado. La contribución del escurrimiento subterráneo al total varía muy lentamente con respecto al superficial.

El escurrimiento de una cuenca puede determinarse mediante una estación hidrométrica o aforadora colocada adecuadamente en la corriente

de drenaje, a la salida de la cuenca.

En la sección escogida, se instalan aparatos de medición de diferentes características, pero encaminados todos a obtener el gasto que escurre diariamente.

Para poder hacer uso de la ecuación de continuidad  $Q = A V$ , se encuentran en la sección de cauce del río, la velocidad  $V$  del agua mediante un molinete y el área transversal de la sección por un levantamiento topográfico, que es posible efectuar en época de estiaje. Existen otros métodos para determinar el gasto (ref 1, 3).

En México las estaciones hidrométricas son manejadas en su mayoría por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, y algunas - - otras por la Secretaría de Marina y La Comisión Federal de Electricidad.

### 2.2.3 Relación Lluvia - Escurrimiento.

Para poder analizar el escurrimiento de una cuenca pequeña cuando no se cuenta con un control hidrométrico de la misma, se recurre a una transposición de causas y efectos a la cuenca en estudio de otras cuencas cercanas que dispongan de suficientes datos, tanto de climatología como hidrométricos.

Si se cuenta con la información adecuada, considerando que para un proyecto, los resultados se acercan más a la realidad y son de mayor confiabilidad entre más datos de registros se dispongan, teniendo por lo menos diez años de registros, conviene efectuar un análisis de los datos a fin de establecer una relación Lluvia-escurrimiento, encontrando para cada mes alguna ecuación que defina el volumen de escurrimiento mensual en función del volumen de lluvia mensual, para lo cual, se disponen de métodos estadísticos y de correlación (ref. 2, 5 y 11). Las ecuaciones pueden ser de tipo:

a) Lineal

$$V_e = a + b \cdot V_{11}$$

b) Exponencial

$$V_e = a V_{11}^b$$

c) Logarítmico

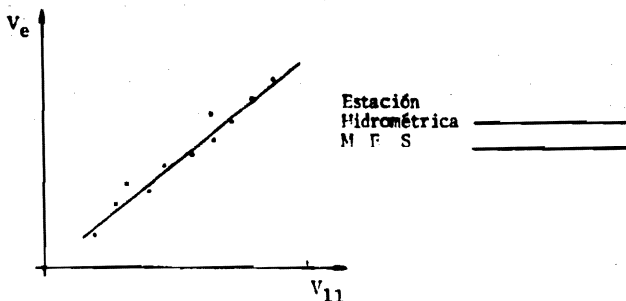
$$V_e = a \cdot e^{bV_{11}}$$

donde  $V_e$  volumen escurrido en miles de  $m^3$

$V_{11}$  volumen llovido en miles de  $m^3$

a y b parámetros a determinar.

según sea la curva de mejor ajuste de los puntos graficados, correspondiendo para el volumen escurrido las ordenadas y para el volumen llovido las abscisas.



Determinada la ecuación por mes, se hace una transposición de efectos, aceptando para esto la condición mas desfavorable, o sea la que de los menores gastos, en caso de haber analizado los datos de varias cuencas cercanas.

Como en la cuenca en estudio se conocen los datos de lluvia, entonces con la ecuación del mes, se obtiene el volumen de lluvia correspondiente.

Este método implica, la disposición de gran cantidad de regis---

tros, así como de tiempo de cálculo, pero los resultados obtenidos son confiables.

Si el número de años de registro es menor de diez años el método anterior no es recomendable, haciéndose en éste caso uso de los coeficientes de escurrimiento  $C_e$  que se define como:

$$C_e = \frac{V_e}{V_{11}} \quad (2.5)$$

De la misma forma que antes, se determinarán los coeficientes de escurrimiento para cada mes, al hacer la transposición a la cuenca en estudio, el volumen escurrido en el mes será función del volumen llovido en el mes correspondiente según el coeficiente de escurrimiento, tan solo despejando de la ecuación anterior:

$$V_{ei} = C_e \cdot V_{11i} \quad (2.6)$$

dónde

$C_e$  coeficiente de escurrimiento del mes correspondiente.

$V_{ei}$  volumen escurrido en la cuenca en estudio  $i$ , en miles de  $m^3$ .

$V_{11i}$  volumen llovido en la cuenca en estudio  $i$ , en miles de  $m^3$ .

### 2.3 Obtención de la avenida máxima.

Cuando se diseña cualquier tipo de obra hidráulica de dimensiones significativas en cuanto a tamaño, costo y servicio ya sea de aprovechamiento o protección, es de gran importancia conocer el gasto máximo producto de una avenida y en muchas ocasiones la distribución de esta avenida respecto al tiempo, como es el caso de la desviación de una corriente para construir la cortina de una presa.

La magnitud de la avenida es función directa del período de retorno que se le asigne, el cual a su vez dependerá del riesgo que se quiera correr, de acuerdo a la importancia de la obra y de la vida útil de la misma.

El intervalo de recurrencia o período de retorno  $T$ , de un evento hidrológico se define como el intervalo promedio de tiempo dentro del cual una avenida sea igualada o superada por lo menos una vez en promedio. El período de retorno ligado a los datos, se pueden valorar a partir de diversos criterios. Las expresiones más usuales para valorar los períodos de retorno se refieren a series de máximos y excedentes anuales.

Sea que se dispongan de "n" observaciones, dato de una cierta distribución de eventos, estos "n" valores se pueden arreglar en orden de magnitudes diferentes, asignándole a cada uno un número de orden "m", el cual para el valor más grande es igual a uno, para el siguiente es dos, y así sucesivamente.

Puede demostrarse que la media  $\bar{X}$  del número de veces que el m-avo valor más grande puede ser igualado o excedido en  $N$  futuros tanteos es:

$$\bar{X} = N \frac{m}{n+1} \quad (2.7)$$

Para valores máximos anuales,  $T_m$  puede definirse como

el tiempo en años para  $N$  futuros tanteos de que el  $m$ -avo valor más grande de los máximos anuales puede ser igualado o excedido una vez en promedio. Lo anterior implica que  $T_m = N$  cuando  $\bar{X} = 1$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (2.7) se tiene que

$$T_m = \frac{n+1}{m} \quad (2.8)$$

Esto indica que el periodo de retorno de un valor máximo anual es igual al número de años de registro más uno, dividido entre el número de orden. En el caso de los valores excedentes anuales, como se refieren a los valores más grandes, entonces  $N/(n+1)$  tiende a  $N/n$  y la ecuación (2.8) se transforma en

$$T_e = \frac{n}{m} \quad (2.9)$$

que implica que el periodo de retorno de un valor excedente anual es igual al número de años de registro dividido entre el número de orden.

Utilizando la ec (2.8) ó la ec (2.9), ya sea que se analicen valores máximos ó excedentes anuales, es posible disponer de una relación entre los valores en estudio y sus periodos de retorno o bien su frecuencia de incidencia.

Para valuar la avenida de diseño se cuenta con diversos criterios cuyo rango de aplicabilidad es función de los datos disponibles.

Estos criterios se pueden dividir en tres grupos, de acuerdo a sus características.

- a) Métodos empíricos
- b) Métodos basados en relaciones lluvia-escurrencimiento.
- c) Métodos estadísticos

Los primeros muestran criterios rígidos y están obtenidos para determinadas zonas, y no toman en cuenta la periodicidad

dad de las avenidas y están en función directa de los datos disponibles para su análisis. Son de fácil aplicación.

Los métodos del segundo grupo presentan cierta flexibilidad en su aplicación, pudiendo ajustarse ciertos parámetros de acuerdo con el problema en estudio. Requieren mayor cantidad de datos pero los resultados que proporcionan son mucho más confiables que los primeros.

Los métodos estadísticos son más precisos, según la cantidad de datos disponibles y se basan únicamente en datos de escurrimientos.

En el caso particular de la presente tesis, el estudio está enfocado a las cuencas pequeñas que carecen de información hidrométrica, siendo este problema uno de los que se presentan con mayor frecuencia, lo que hace preciso el estudio de la avenida máxima según los métodos basados en relaciones de lluvia-escurrimientos.

No obstante, en el cuadro de la fig.2.1 se muestra la secuela de cálculo adoptada para deducir la avenida de diseño para cualquier estructura hidráulica, cuenca de drenaje e información disponible, y en el siguiente inciso se presenta uno de los métodos de relación de lluvia-escurrimiento, que posteriormente será empleado en el ejemplo de aplicación.

### 2.3.1 Curvas de altura ó intensidad de lluvia-duración-período de retorno. ( i-d-T )

En cuencas pequeñas sin información hidrométrica, el análisis hidrológico se sigue a través de un análisis regional de lluvias que involucra conocer la frecuencia de estas, su distribución y su relación con los escurrimientos.

Las curvas de intensidad-duración-período de retorno de un registro de lluvia permite tener un conocimiento de la variación de las características de las lluvias en relación con -





su período de retorno (frecuencia), siendo ésta, la única manera de acotar un evento de diseño de una obra hidráulica, cuando el análisis se apoya en los registros de lluvias.

Los registros de los pluviógrafos son los que permiten elaborar un análisis mas completo del comportamiento del fenómeno deduciéndolo por medio de las curvas de intensidad-duración-período de retorno, pues el registro muestra de forma continua la variación de la altura de lluvia respecto al tiempo.

Antes de proceder a utilizar una técnica de análisis, se requiere procesar y ordenar los datos disponibles. Dado que los registros de un pluviógrafo son continuos, hay múltiples combinaciones para asociar la altura de lluvia con una cierta duración, siendo dos las formas más usuales.

Una de ellas, es considerar solo las características finales de las tormentas, relacionando su altura de lluvia total con su duración total, lo que implicaría perder información, ya que no se valúa la variación existente entre estas variables durante un proceso de lluvia. Esta pérdida de información no es significativa en el momento en que aumente el número de años de registro. Con este criterio se seleccionan intervalos de duración de lluvia constantes, considerando representativos de cada uno de ellos, su duración media. De esta forma, se tendrá para cada duración característica un grupo de alturas de lluvia.

La otra forma de analizar los registros de lluvias, es valuando la máxima variación de la altura de lluvia respecto a un intervalo de duración constante. Para esto, es necesario conocer la curva masa de cada tormenta que se esté estudiando.

Teniendo la curva masa, en un papel transparente se hacen divisiones verticales de las duraciones que se estén analizando, generalmente múltiplos de un cierto intervalo de tiempo.

Así se procede a superponer el papel transparente en la curva masa de la tormenta, y desplazando el origen de las abscisas se determina el máximo incremento de altura de lluvia en un cierto intervalo de tiempo.

De esta manera, se obtienen las condiciones más críticas de altura de lluvia-duración para cada tormenta. Terminado el proceso de análisis, se dispone de grupos de altura de lluvia para duraciones constantes.

Conocidas las características de las lluvias más desfavorables, se puede utilizar el criterio que a continuación se desarrolla para obtener las curvas de altura o intensidad de lluvia-duración-período de retorno. Para esto, como para cada duración de lluvia  $d$  se dispone de un grupo de intensidades  $i$  o de altura de lluvia  $h_p$ , éstas deberán ordenarse en forma de creciente para asignarle su período de retorno  $T_m$ , el cual se obtiene según la ec (2.8).

Para valuar las curvas de intensidad de lluvia-duración período de retorno, se requiere obtener la ecuación de mejor ajuste entre los diversos grupos de valores de intensidad de lluvia, su duración y su período de retorno. El tipo de ecuación general más usual corresponde a la forma:

$$h_p = K \cdot T^h \cdot d^{-f} \quad (2.10)$$

donde  $h_p$  altura de precipitación  
 $T$  período de retorno  
 $d$  duración de la lluvia  
 $K, h, f$  parámetros

Tomando logaritmos a ésta ecuación, se tiene:

$$\log h_p = \log K + h \log T - f \log d$$

y transformando, ésta ecuación puede escribirse como:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

donde  $y = \log h_p$ ,  $x_1 = \log T$ ,  $x_2 = \log d$   
 $a_0 = \log K$ ,  $a_1 = h$ ,  $a_2 = -f$

Para valuar los parámetros,  $a_0$ ,  $a_1$ , y  $a_2$  de tal manera que la suma de los errores al cuadrado sea mínima se debe resolver el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{bmatrix} N & X_{1i} & X_{2i} \\ X_{1i} & X_{1i}^2 & X_{1i}X_{2i} \\ X_{2i} & X_{1i}X_{2i} & X_{2i}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_i \\ Y_{1i}Y_i \\ X_{2i}Y_i \end{bmatrix}$$

siendo  $N$  el número de grupos de valores  $X_1, X_2, X_3, Y$  y las sumas son desde  $i=1$  hasta  $i=N$ . (refs. 2,5,11.)

### 2.3.2 Curvas de altura de precipitación máxima-24hrs -período de retorno. (transposición de tormentas)

Los pluviómetros, aparatos a los cuales se les hace una lectura cada 24 horas, (lo que limita su información a un análisis diario) son de gran utilidad como apoyo para el estudio de las tormentas dentro de la zona de la cuenca en estudio, por su gran densidad en relación con los pluviógrafos.

De esta manera, es posible definir el modelo de tormenta y con apoyo en el tiempo de concentración de los escurrimientos - en la cuenca, se encuentra la tormenta de diseño.

La obtención de las curvas de altura de precipitación - de lluvia máxima en 24 horas-período de retorno es un caso particular del análisis visto en el inciso anterior. Una vez recabada la información de la estación climatológica en estudio, los valores de altura de precipitación máxima anual con duración de 24 - horas se ordenan de mayor a menor y se deducen sus periodos de retorno correspondientes, de acuerdo a la ec. (2.8).

Con lo anterior se plantea una ecuación del tipo

$$h_p = a + b \log T \quad (2.11)$$

donde T período de retorno, en años  
 $h_p$  altura de lluvia máxima anual  
 en 24 hrs, en mm  
 a, b parámetros de ajuste

Si  $X=h_p$  y  $Y=\log T$ , la ecuación quedaría expresada como

$$X = a + bY$$

que es una ecuación que define una recta con pendiente  $b$  y ordenada al origen  $a$  con la característica de una recta de regresión pudiendo así emplear el análisis de correlación lineal simple. (refs. 2,5)

De esta manera, se conoce en cada estación con pluviómetro su altura de lluvia para un período de retorno cualesquiera y en consecuencia su distribución en el área de estudio, a través de su plano de isoyetas.

### 2.3.3 Modelo de tormenta

Para definir el modelo de tormenta se acepta que las ecuaciones deducidas de la información recabada en los pluviógrafos son representativas de la distribución en el tiempo de las tormentas de la región y que la distribución en el área está dada por el proceso de la información de los pluviómetros.

La ecuación (2.10) define un modelo de tormenta que hay que ajustar para la cuenca en estudio. Para ello, se debe tener en cuenta el número de pluviógrafos y el plano de isoyetas resultante de la aplicación de la ec.(2.11) a todas las estaciones climatológicas, asignando el período de retorno de diseño.

En el caso de no disponer de pluviógrafos el análisis solo se hará con apoyo en el plano de isoyetas y con intervalos diarios.

Para el período de retorno de diseño, la ec.(2.10) deduce

cida para cada pluviógrafo  $j$  se puede expresar como :

$$h_{pj} = C_j \cdot d^{(1-f_j)} \quad (2.12)$$

donde  $h_p = i \cdot d$  ,  $C = KTh$

Cada pluviógrafo  $j$  controla un porcentaje de la cuenca en estudio, mismo que se puede cuantificar, de acuerdo al criterio de Thiessen, resultando una altura de lluvia media --- igual a :

$$h_{p_{m,d}} = \sum_{j=1}^n (Th)_j \cdot C_j \cdot d^{(1-f_j)} \quad (2.13)$$

siendo  $h_{p_{m,d}}$  altura de lluvia media en la cuenca ligada a una duración de tormenta.  
 $(Th)_j$  por ciento del área de la cuenca controlada por la estación  $j$

Esta  $h_{p_{m,d}}$  se requiere ajustar de acuerdo con el plano de isoyetas correspondiente al periodo de retorno deducido con apoyo en el análisis de las estaciones con pluviómetro y pluviógrafo.

Si únicamente se cuenta con un solo pluviógrafo, se considera el 100% de influencia del área. Teniendo el plano de isoyetas se deduce la lluvia media en la cuenca para una duración de 24 horas como:

$$\bar{h}_p = \frac{\sum_{i=1}^s h_{p_i} \cdot A_i}{A} \quad (2.14)$$

donde  $A$  área de la cuenca  
 $A_i$  área entre isoyetas e isoyetas y el parteaguas de la cuenca.  
 $h_{p_i}$  precipitación media entre isoyetas  
 $s$  número de fajas entre isoyetas e isoyetas y el parteaguas.

De la misma manera, de la ec.(2.13) si  $d=24$ hrs. se deduce una altura de lluvia media en la cuenca para una duración de 24 hrs ( $h_{p,m,24}$ ) obtenida con apoyo en la información pluviográfica y el método de Thiessen.

Aceptando que la información deducida del plano de isoyetas es la correcta, el factor de ajuste para utilizar la ec.(2.13) en la cuenca es:

$$F = \frac{\bar{h}_p}{h_{p,m,24}} \quad (2.15)$$

Así el modelo de la tormenta a utilizar para deducir la tormenta de diseño es:

$$[h_{p,m,d}]_{\text{ajustado}} = \frac{\bar{h}_p}{h_{p,m,24}} \sum_{j=1}^n (Th)_j \cdot C_j \cdot d^{(1-f_j)} \quad (2.16)$$

#### 2.3.4 Duración de la tormenta

Para deducir el tiempo de la duración de la tormenta, éste se considerará igual al tiempo de concentración del escurrimiento, siendo esto válido para cuencas pequeñas (ref.4).

El tiempo de concentración  $t_c$  se define como el tiempo que dilata una partícula de agua en recorrer la distancia más alejada del parteaguas a la salida de la cuenca. El tiempo puede valuarse según el criterio seguido por Chow\*

$$t_c = 0.01 \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64} \quad (2.17)$$

donde  $L$  longitud del cauce principal, en m  
 $S$  pendiente media del cauce, en porcentaje  
 $t_c$  tiempo de concentración, en horas.

\* ref 4

T A B L A 2.1

OBTENCION DEL HIETOGRAMA DE LA TORMENTA DE DISEÑO

| INTERVALO DE ANALISIS * | DURACION DE ANALISIS | ALTURA DE LLUVIA ;<br>MEDIA TOTAL EC. 2.16 . | INCREMENTO DE ALTURA DE LLUVIA |            |
|-------------------------|----------------------|--|--------------------------------|------------|
|                         |                      |  | MAYOR A MENOR                  | HIETOGRAMA |
| t                       | d/4                  | $h_{p_m,1}$ **                               | $h_1 = h_{p_m,1}$              | $h_1$      |
| t                       | d/2                  | $h_{p_m,2}$                                  | $h_2 = h_{p_m,2} - h_{p_m,1}$  | $h_2$      |
| t                       | 3d/4                 | $h_{p_m,3}$                                  | $h_3 = h_{p_m,3} - h_{p_m,2}$  | $h_3$      |
| t                       | d                    | $h_{p_m,4}$                                  | $h_4 = h_{p_m,4} - h_{p_m,3}$  | $h_4$      |

\* INTERVALO DE ANALISIS  $t = d/4$   
 DURACION DE LA TORMENTA  $d = t_c$  EC. 2.17

\*\*  $h_{p_m,1} = [h_{p_m,d/4}]$  ajustado. EC. 2.16



TABLA 2.2  
SELECCION DEL NUMERO DE ESCURRIMIENTOS N

| Uso de la tierra<br>ó cobertura                                 | Condición de<br>la superficie  | Tipo de suelo |     |     |     |
|---|--------------------------------|---------------|-----|-----|-----|
|   |                                | A             | B   | C   | D   |
| Bosques (sembrados<br>y cultivados)                             | Ralo, baja transpiración       | 45            | 66  | 77  | 83  |
|   | Normal, transpiración media    | 36            | 60  | 73  | 79  |
|   | espeso, alta transpiración     | 25            | 55  | 70  | 77  |
| Caminos   | De tierra                      | 72            | 82  | 87  | 89  |
|   | Superficie dura                | 74            | 84  | 90  | 92  |
| Bosques naturales   | Muy ralo, baja transpiración   | 56            | 75  | 86  | 91  |
|   | Ralo, baja transpiración       | 46            | 68  | 78  | 84  |
|   | Normal, transpiración media    | 36            | 60  | 70  | 76  |
|   | Espeso, alta transpiración     | 26            | 52  | 62  | 69  |
|   | Muy espeso, alta transpiración | 15            | 44  | 54  | 61  |
| Descanso<br>( sin cultivo )                                     | Surcos rectos                  | 77            | 86  | 91  | 94  |
| Cultivos de surco   | Surcos rectos                  | 70            | 80  | 87  | 90  |
|   | Surcos en curvas de nivel      | 67            | 77  | 83  | 87  |
|   | Terrazas                       | 64            | 73  | 79  | 82  |
| Cereales  | Surcos rectos                  | 64            | 76  | 84  | 88  |
|   | Surcos en curvas de nivel      | 62            | 74  | 82  | 85  |
|   | Terrazas                       | 60            | 71  | 79  | 82  |
| Leguminosas (sembradas con maquinaria ó al potrero de rotación) | Surcos rectos                  | 62            | 75  | 83  | 87  |
|   | Surcos en curvas de nivel      | 60            | 72  | 81  | 84  |
|   | Terrazas                       | 57            | 70  | 78  | 82  |
| Pastizal  | Pobre                          | 68            | 79  | 86  | 89  |
|   | Normal                         | 49            | 69  | 79  | 84  |
|   | Bueno                          | 39            | 61  | 74  | 80  |
|   | Curvas de nivel, pobre         | 47            | 67  | 81  | 88  |
|   | Curvas de nivel, bueno         | 6             | 35  | 70  | 79  |
|   | Curvas de nivel, normal        | 25            | 59  | 75  | 83  |
| Potrero(permanente)   | Normal                         | 30            | 58  | 71  | 78  |
| Superficie Impermeable  |                                | 100           | 100 | 100 | 100 |

## 2.4 Cálculo de la avenida máxima

Definida la duración de la tormenta en estudio y en base a la ec. (2.16) se procede a cuantificar la distribución de la altura de lluvia media correspondiente al período de retorno de diseño.

Dividiendo la duración de la tormenta, ec.(2.17) en cuatro partes, deduciéndose en forma redondeada el intervalo de tiempo de análisis. Con éste intervalo, aceptándolo en forma acumulada se obtiene el correspondiente valor de la altura de lluvia media total y el hietograma de la tormenta (tabla 2.1).

Deducida la tormenta de diseño, y según el Manual de Recomendaciones Para el Diseño y Revisión de Estructuras Para el Control de Avenidas de la S.A.R.H. se requiere conocer la relación lluvia-escorrimento necesaria para deducir la avenida de diseño.

Se debe tomar en cuenta que este estudio, considera que la cuenca no dispone de control hidrométrico.

### 2.4.1 Lluvia en exceso

La lluvia en exceso se define como la parte de la lluvia que contribuye al escurrimiento directo, siendo éste el producido por el escurrimiento superficial y en menor o mayor grado por el escurrimiento subsuperficial rápido.

Los factores que afectan directamente a la cantidad de lluvia en exceso o escurrimiento directo, son el uso de la tierra, condición de la superficie del terreno, tipo de suelo y cantidad de la lluvia, lo mismo que su duración.

Para tomar en cuenta el efecto de estos factores en cuencas naturales, se tiene el número del escurrimiento  $N$ , el cual es un coeficiente de peso del escurrimiento directo, y es función del uso del suelo y las características de éste (ref 4).

Los suelos se clasifican, según la forma en como hacen variar sus componentes al escurrimiento, en cuatro tipos a saber A, B, C, y D.

Tipo A. (Potencial de escurrimiento mínimo)

Incluye arenas profundas con poco limo y arcilla y a los loess muy permeables.

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

Tipo C. Comprende suelos poco profundos y los que contienen cantidades considerables de arcilla y coloides, aunque menos que los del Tipo D. El grupo tiene una infiltración inferior a la media después de la presaturación.

Tipo D. (Potencial de escurrimiento máximo)

Incluye principalmente arcillas con alto porcentaje de hinchamiento, también incluye algunos suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie.

Conocido el tipo de suelo de acuerdo con la clasificación anterior y tomando en cuenta el uso que tenga el suelo se podrá conocer el valor de  $N$ . Para ello la tabla 2.2 es de utilidad. Una vez conocido el número de escurrimiento, el valor de la lluvia en exceso  $h_e$  puede calcularse para un tirante de lluvia dada  $h_p$  de la ecuación

$$h_e = \frac{(h_p - \frac{508}{N} + 5.08)^2}{h_p + \frac{2032}{N} - 20.32} \quad (2.18)$$

## 2.4 Cálculo de la avenida máxima

Definida la duración de la tormenta en estudio y en base a la ec. (2.16) se procede a cuantificar la distribución de la altura de lluvia media correspondiente al periodo de retorno de diseño.

Dividiendo la duración de la tormenta, ec.(2.17) en cuatro partes, deduciéndose en forma redondeada el intervalo de tiempo de análisis. Con éste intervalo, aceptándolo en forma acumulada se obtiene el correspondiente valor de la altura de lluvia media total y el hietograma de la tormenta (tabla 2.1).

Reducida la tormenta de diseño, y según el Manual de Recomendaciones Para el Diseño y Revisión de Estructuras Para el Control de Avenidas de la S.A.R.H. se requiere conocer la relación lluvia-escorrimento necesaria para deducir la avenida de diseño.

Se debe tomar en cuenta que este estudio, considera que la cuenca no dispone de control hidrométrico.

### 2.4.1 Lluvia en exceso

La lluvia en exceso se define como la parte de la lluvia que contribuye al escurrimiento directo, siendo éste el producido por el escurrimiento superficial y en menor o mayor grado por el escurrimiento subsuperficial rápido.

Los factores que afectan directamente a la cantidad de lluvia en exceso o escurrimiento directo, son el uso de la tierra, condición de la superficie del terreno, tipo de suelo y cantidad de la lluvia, lo mismo que su duración.

Para tomar en cuenta el efecto de estos factores en cuencas naturales, se tiene el número del escurrimiento  $N$ , el cual es un coeficiente de peso del escurrimiento directo, y es función del uso del suelo y las características de éste (ref 4).

Los suelos se clasifican, según la forma en como hacen variar sus componentes al escurrimiento, en cuatro tipos a saber A,B,C,yD.

- Tipo A. (Potencial de escurrimiento mínimo)  
Incluye arenas profundas con poco limo y arcilla y a los loess muy permeables.
- Tipo B. Son suelos arenosos menos profundos que el Tipo A y son loess menos profundos o menos compactos que los del Tipo A. El grupo en conjunto, tiene una infiltración superior a la media después de su completo humedecimiento.
- Tipo C. Comprende suelos poco profundos y los que contienen cantidades considerables de arcilla y coloides, aunque menos que los del Tipo D. El grupo tiene una infiltración inferior a la media después de la presaturación.
- Tipo D. (Potencial de escurrimiento máximo)  
Incluye principalmente arcillas con alto porcentaje de hufamiento, también incluye algunos suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie.

Conocido el tipo de suelo de acuerdo con la clasificación anterior y tomando en cuenta el uso que tenga el suelo se podrá conocer el valor de N. Para ello la tabla 2.2 es de utilidad. Una vez conocido el número de escurrimiento, el valor de la lluvia en exceso  $h_e$  puede calcularse para un tirante de lluvia dada  $h_p$  de la ecuación

$$h_e = \frac{(h_p - \frac{5.08}{N} + 5.08)^2}{h_p + \frac{2032}{N}} - 20.32 \quad (2.18)$$

donde  $h_e$  lluvia en exceso, en cm  
 $h_p$  lluvia total, en cm

Para procesar el hietograma de una tormenta, conocida la lluvia en exceso, se procede a determinar el índice de infiltración  $\emptyset$ . Para ello se aplica por tanteos la ecuación

$$h_e = \sum_{i=1}^n (h_{p_i} - \emptyset \Delta_t) \quad (2.19)$$

donde  $h_e$  lluvia en exceso, en mm  
 $h_{p_i}$  lluvia correspondiente al intervalo  $i$  del hietograma, en mm  
 $\emptyset$  índice de infiltración, en mm/hr  
 $\Delta_t$  intervalo de tiempo asignado al hietograma, de la tormenta, en hrs.  
 $n$  número de intervalos.

obsérvese que

$$h_p = \sum_{i=1}^n h_{p_i} \quad (2.20)$$

siendo  $h_p$  la altura de lluvia total de la tormenta en estudio.

#### 2.4.2 Hidrograma Unitario Triangular

El model lluvia-escorrimento a utilizar corresponde al hidrograma unitario triangular, cuyas ecuaciones características son las que a continuación se dan (ref. 6):

$$Q_p = 2 \frac{h_e \cdot A}{T_p} \quad (2.21)$$

donde A área de la cuenca  
Q<sub>p</sub> gasto de pico  
h<sub>e</sub> lluvia en exceso  
T<sub>p</sub> tiempo base  
t<sub>p</sub> tiempo de pico

además  $T_p = (1+H)t_p$

y dado que para una cuenca pequeña (ref 4) se tiene que H=1.67  
entonces

$$T_p = 2.67 t_p$$

Aceptando que el tiempo de pico es igual al tiempo de  
concentración, siendo esta la condición más desfavorable, se ob  
tiene la deducción del hidrograma de la avenida resultante.

### **3 PLAN DE CULTIVOS Y LEYES DE DEMANDA**

#### **3.1 Balance Hidrológico**

El conocimiento sobre el balance hidrológico de una región en particular, es de gran interés ya que proporciona las bases para la planeación de cultivos, en zonas sujetas a riego, y no solo esto, sino que permite estimar la evaporación en presas, estudiar depósitos y corrientes ya sean superficiales o subterráneas.

Uno de los componentes principales que intervienen en el balance hidrológico es la pérdida de agua ocasionada por evaporación de la superficie y la transpiración de las plantas ó combinando ambos fenómenos, por evapotranspiración. El suministro de agua es proporcionado por la precipitación. Un análisis del balance hidrológico con base en la precipitación y la evapotranspiración hace posible conocer las condiciones de humedad en las zonas



agrícolas en estudio y fijar coeficientes de riego para tecnificar los volúmenes por aplicar a los cultivos.

### 3.1.1 Evaporación

Es la fase del ciclo hidrológico en que el agua es devuelta a la atmósfera en forma de vapor.

Aunque existe un intercambio continuo de moléculas de agua a la atmósfera y viceversa, en hidrología la definición de evaporación se refiere exclusivamente a la cantidad de vapor que pasa a la atmósfera. Este cambio de estado requiere una cesión de aproximadamente 600 cal/gr.de agua, lo cual quiere decir que para mantener estas condiciones de temperatura se requiere de grandes cantidades de calor, suministradas por la radiación solar y conducción desde el aire circundante.

Considerando la evaporación natural como un proceso de intercambio de energía, puede demostrarse que la radiación es el factor mas importante, no obstante que experiencias en túneles de viento han permitido observar que la evaporación del agua por unidad de superficie, a una temperatura dada, es proporcional a la velocidad del viento y depende extremadamente de la presión del vapor del aire circundante, en suma, la evaporación depende rá de la radiación solar, temperatura del aire, presión del vapor, viento y presión atmosférica. Como la radiación solar es un factor importante la evaporación varía con la latitud, estación del año, hora del día y estado del cielo.

La medición directa de la evaporación en el campo no es factible, en forma precisa, pero si se puede obtener un buen índice de la evaporación de una región usando un evaporímetro.

El evaporímetro más usual consiste en un recipiente cilíndrico de lámina abiero por arriba, de 1.20 m de diámetro y 26 cm de alto.

Llenando el tanque de agua hata un nivel arbitrario y -

midiendo con un vernier, que es colocado dentro, la variación del nivel en un determinado tiempo, se obtiene un índice de evaporación de la región.

### 3.1.2 Transpiración

Pequeñas porciones del agua absorbida por las raíces de las plantas quedan en los tejidos de las mismas, practicamente todo se devuelve a la atmósfera en forma de vapor por lo que el proceso llamado transpiración constituye una importante fase del ciclo hidrológico, dado que es el mecanismo principal de retorno a la atmósfera de la precipitación que cae sobre el terreno.

Los factores que afectan la transpiración de las plantas son varias, pero queda aumentada la importancia de la radiación solar, puesto que la velocidad del movimiento del agua dentro de los tejidos de la planta depende de la luz solar, tanto la transpiración como el crecimiento de la planta está relacionadas estrechamente con la radiación solar recibida. Además la transpiración queda restringida al estado de crecimiento, siendo un factor importante la etapa de desarrollo.

La transpiración está limitada por la velocidad en que la planta dispone de la humedad del suelo, aunque aparentemente aparecen algunas discrepancias de opiniones, debido a la obtención de datos en forma muy diferente, algunos investigadores dan por hecho que la transpiración es independiente de la humedad disponible hasta que ésta desciende al punto de marchitez ó contenido de agua del suelo en que tiene lugar el marchitamiento permanente de las plantas, otros suponen que la transpiración es aproximadamente proporcional al remanente de humedad del suelo disponible para las plantas. Se define como capacidad de campo a la cantidad de agua retenida en el suelo, después que el exceso de agua de gravitación se ha drenado; la fluctuación de

la humedad del suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez (agua útil) es una medida de la cantidad máxima de agua disponible para las plantas.

La medición de la pérdida de agua por transpiración de un área en condiciones naturales es prácticamente imposible por ello las determinaciones se limitan a experiencias en condiciones de laboratorio.

Un método consiste en la colocación de una o más plantas en macetas en una habitación cerrada, calculando la transpiración por el aumento del contenido de humedad en el espacio confinado. La mayoría de las medidas se realizan con un fitómetro, que consiste en un recipiente grande lleno de tierra, en la que están sembrados una o varias plantas. El único escape de la humedad es por transpiración ya que la superficie de la tierra ha sido sellada para impedir la evaporación que puede determinarse pesando maceta y planta en intervalos de tiempo establecidos.

Con aereación y agua adicional, puede lograrse un estudio fitométrico del ciclo completo de la planta, siendo éste de interés puramente teórico, considerando que constituye poco más que un índice de la zona útil para un cultivo bajo condiciones de campo.

### 3.1.3 Evapotranspiración

Al estudiar el balance hidrológico de un área, solo interesa generalmente, la evaporación total o evapotranspiración hoy en día conocido como *uso consuntivo*.

El estudio del uso consuntivo tiende a reducir a un mínimo las pérdidas que se tienen en el almacenamiento y en la conducción así como la propia transpiración de la planta.

Hay numerosos métodos para estimar la evapotranspiración pero no todos son aplicables al mismo caso.

### 3.2 Plan de Cultivo

Teniendo siempre presente que el problema por resolver es de tipo socio-económico en la región de proyecto, antes de proponer algún plan de cultivo, se hará un estudio de mercado dando así una distribución de cultivos y trabajando preferentemente con aquellos que presenten mayor seguridad en su rendimiento, de acuerdo al estudio de mercado actual y potencial previamente efectuado, y a las condiciones climáticas y del suelo existentes en la zona de cultivo, lo cual es proporcionado por un estudio agrológico, que no es motivo directo de ésta tesis, pero se presentan a continuación algunos conceptos útiles.

#### 3.2.1 Cultivo

Comprende las características propias de la planta que se tomarán en cuenta dado que es un factor directo del uso consuntivo. Se deberá conocer su especie y variedad, su ciclo vegetativo, así como las fases de desarrollo, pues de éste dependerá la forma en como se dé la lámina de agua necesaria por irrigación.

El primer término, o sea la especie, define las características propias de la planta e indica las diferencias en la constitución de los tejidos de unos vegetales y otros. En una especie se agrupan varias clases de plantas, las cuales guardan -- una relación muy estrecha tanto en funcionamiento como en estructura, tal es el caso de la alfalfa y los pastos.

La variedad particulariza a la especie, ya que se habla de un tipo de cultivo y así todas las plantas que tienen un factor común. Es importante distinguir y conocer las distintas variedades ya que una variedad puede modificar la época de cultivo o variar el volumen de agua.

El ciclo vegetativo, indica el tiempo en que la planta cubre todas las etapas de su crecimiento. El tiempo desde que se siembra hasta su cosecha, es función de la especie. Hay especies que no desarrollan estructura base por ser cultivos de un solo ciclo o cultivos anuales, los cuales se desarrollan en unos cuantos meses, entre 4 y 8 aproximadamente y permiten aprovechar la tierra en dos cultivos por año. Esta duplicidad de cultivos se logra intercalando cultivos de verano y de invierno, cuidando que sus ciclos no se empalmen, como es el caso del cártamo y de la soya, además permiten el descanso de la tierra y la rotación de cultivos para mayor beneficio de suelo y cosecha.

Otros son de varios ciclos o cultivos perenes (árboles frutales).

El conocimiento del ciclo vegetativo da como resultado el estimar el tiempo que tardará en dar fruto y las necesidades de riego que hay que cubrir a lo largo de su ciclo.

### 3.2.2 Tipos de Riego

Una vez conocidas todas las características importantes de los cultivos, se podrá determinar el tipo de riego más adecuado. Los métodos más usuales son los siguientes:

- a) Riego en surco
- b) Riego por aspersión
- c) Riego en melgas
- d) Riego por goteo

El riego en surcos se realiza haciendo escurrir el agua en pequeños canales (surcos), en los que el agua se infiltra al mismo tiempo que se mueve en el sentido de la pendiente. Este método se adapta a los cultivos sensibles al exceso de humedad como son los cultivos en hilera (maíz, papa, algodón) pues no se moja toda la superficie del suelo dado que se cuenta con movi\_

miento lateral del agua hacia el interior de la cama que separa a dos surcos.

Para el riego por aspersión se requiere bombear desde el abastecimiento a través de tuberías, hasta llegar a las parcelas, en donde se conecta con los rociadores que esparcirán el agua al cultivo.

Hay varios tipos de rociadores, como son los de aspersiones giratorias, tubería perforada, de pistola y otros, utilizados según las necesidades. Este sistema puede ser fijo o móvil, siendo lo más común dejar el marco de conducción principal fijo y la tubería intermedia móvil, permitiendo su traslado a otra parcela reduciendo así el costo de la inversión. Es útil para todos los cultivos excepto para el arroz.

El método de melgas hace uso de bordos paralelos que conducen el volumen de agua en el sentido de la pendiente. La separación entre dos bordos es considerable, conociéndose la separación como melga. Este procedimiento es adecuado en terrenos grandes ya que reduce el costo de preparación de tierras permitiendo obtener eficiencias altas. Se emplea en el riego de cereales, frutales y pasturas.

El riego por goteo es un sistema que por sus características, permite la máxima economía del agua lo que, aunado a una elasticidad controlable en todo tiempo, permite dar la justa medida de agua que las plantas necesitan.

Este procedimiento se aplica con éxito en la explotación frutícola. Requiere de una cantidad mínima de agua comparada con los demás métodos convencionales de riego, y en casos de bombeo, un equipo mucho más económico.

Es también muy importante consignar que el procedimiento de riego por goteo resuelve por consecuencia lógica muchos trabajos, que hasta ahora han resultado indispensables con otros

métodos;

- a) No requiere nivelación de suelos
- b) Se elimina en gran parte los trabajos de control de malezas al no mojarse más área que la que ocupan los árboles
- c) Se elimina la formación y conservación de regaderas interiores.
- d) Permite mayor eficacia

Con este sistema se podrá planear, a gran escala, la incorporación a la producción frutícola, de terrenos accidentados en los que aún se dispone de volúmenes sumamente precarios de agua.

### 3.3 Uso consuntivo

#### 3.3.1 Métodos de estimación del uso consuntivo

Existen diversos métodos para estimar la evapotranspiración, que bien pueden estar basados en experiencias de campo o teorías experimentales. De acuerdo a éstas circunstancias se clasifican en dos grupos:

- a) Métodos directos
- b) Métodos indirectos

Los primeros determinan el volumen de agua necesaria para el cultivo por medio de las mediciones directas en el campo en condiciones reales del sitio, obteniéndose resultados que no son adecuados para otra zona, ya que se trabaja con las condiciones propias de una localidad, condiciones difíciles de encontrar en otra región.

Los métodos indirectos proporcionan relaciones empíricas y se basan en resultados y experiencias proporcionadas por

los métodos directos, permitiendo, cuando no se pueden realizar experimentos de campo, cuantificar a través de expresiones empíricas la evapotranspiración. Estas expresiones normalmente son aplicables en diferentes zonas, teniendo en cuenta para el traslado, las condiciones y limitaciones en que se apoya la teoría.

Estos métodos relacionan los diferentes parámetros que influyen en el uso consuntivo y proporcionan los coeficientes de riego necesarios a cada cultivo.

A continuación se exponen los métodos mas usuales por la flexibilidad en su aplicación y que proporcionan buena aproximación en latitudes de 0° a 50°, siendo éstos los que proponen Thornthwaite y Blaney-Criddle, los dos basados en relaciones empíricas.

### 3.3.2 Desarrollo de la teoría del método de Thornthwaite.

Esta teoría tuvo su origen en investigaciones realizadas en Sacramento California U.S.A. que es de clima templado continental. El autor encontró una relación entre la temperatura, la latitud y la evapotranspiración, lo cual es un buen índice de la energía propia de la zona, proponiendo la siguiente ecuación.

$$F = 1.6 \left( \frac{10t}{i} \right)^a \quad (3.1)$$

donde F evapotranspiración potencial no ajustada, en cm.  
t temperatura media mensual, en °C  
a constante que depende del lugar  
i índice de eficiencia mensual de temperatura dado por la siguiente relación.

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad (3.2)$$



Este valor de evapotranspiración es estandar en función del tiempo, ya que el resultado es para meses de 30 días, aplicable en zonas en que se cuenta con 12 hrs. de luz.

La constante  $a$  se deduce utilizando la siguiente ec.

$$a = 6.75 \times 10^{-7} (i^3) - 7.71 \times 10^{-5} (i^2) + 0.01792 (i) + 0.49239 \quad (3.3)$$

que está en función del índice de eficiencia de temperatura.

El valor de la evapotranspiración potencial no ajustada es corregido por la duración real de la luz del día y el número de días del mes, esto permite determinar el valor real de la evapotranspiración en la zona de estudio, resultando finalmente la ecuación como:

$$F_c = 1.6 K_a \left( \frac{10t}{i} \right)^a \quad (3.4)$$

donde  $E_c$  evapotranspiración potencial corregida, en cm  
 $K_a$  coeficiente de ajuste (latitud y mes, tabla 3.1)

Las limitaciones que presenta éste método son principalmente debidas a la zona de aplicación, usándose con buenos resultados en regiones húmedas de abundante vegetación, indicando valores fuera de rango para el caso de zonas áridas.

Este método no toma en cuenta el tipo de cultivo ni de suelo. Para su aplicación hay que tener en cuenta sus deficiencias, pues considera la temperatura como un buen indicador de la energía disponible para la evapotranspiración, lo que no es totalmente cierto, dado que el fenómeno de transpiración involucra un volumen de agua aprovechado, el cual es función propia de cada -

planta.

La temperatura del aire es distinta a la temperatura procedente de la radiación solar.

### 3.3.3 Desarrollo de la teoría del método de Blaney-Criddle.

Harry F. Blaney y Mayne D. Criddle realizaron estudios de evapotranspiración en Nuevo México U.S.A. encontrando una relación empírica basada en la interacción de la temperatura con la evapotranspiración, así como la duración de la luz del día, siendo esta relación expresada como sigue:

$$E = K_g \cdot t \cdot p \quad (3.5)$$

donde F evapotranspiración en cm  
K<sub>g</sub> coeficiente global experimental dependiente del cultivo (tabla 3.2)  
t temperatura media mensual del aire  
p fotoperíodo o porcentaje de horas luz al mes ( tabla 3.3 ).

Se encontró también la relación entre la temperatura y el fotoperíodo, obteniéndose un factor f llamado fuerza evaporante, con lo que la ecuación queda

$$E = K_g \cdot f \quad (3.6)$$

donde el valor de la fuerza evaporante está dada por:

$$f = p \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right) \quad (3.7)$$

Posteriormente, al hacer investigaciones se encontraron que era necesario hacer correcciones ajustando la temperatura según un nuevo coeficiente:

$$K_t = 0.03114t + 0.2396 \quad (3.8)$$

donde  $K_t$  ajuste en la temperatura quedando la expresión en la forma siguiente:

$$E = K_g \cdot f \cdot K_t \quad (3.9)$$

Al continuar las investigaciones, propusieron un coeficiente variable a lo largo del ciclo vegetativo que llamaron coeficiente de crecimiento  $K_c$  y que substituye al coeficiente global  $K_g$ .

Este coeficiente de crecimiento se debe obtener para cada zona tomando en cuenta las características de la región, las cuales no son iguales en otras regiones.

Entonces la ecuación queda:

$$E = K_c \cdot f \cdot K_t \quad (3.10)$$

donde  $K_c$  coeficiente de crecimiento mensual (tabla 3.4).

Los resultados entre estos dos métodos varía en mas ó menos 10% aproximadamente.

La limitación con que cuentan ambos métodos es la de la zona de aplicación, pues se dedujo para zonas áridas, sin embargo no se ha demostrado que el método de coeficientes de crecimiento no sirva en zonas templadas.

### 3.4 Obtención de láminas de riego

#### 3.4.1 Lámina bruta de riego

Conocida la evapotranspiración mensual del cultivo y haciendo uso de la información de las estaciones climatológicas de la zona se valía la lámina neta de riego procediendo de la siguiente forma:

$$L_n = F - l_{11} \quad (3.11)$$

donde  $L_n$  lámina neta de riego, en cm  
 $F$  uso consuntivo en el mes, en cm  
 $l_{11}$  lámina de lluvia en el mes,  $h_p$  en cm

y entonces, tomando en cuenta un coeficiente de riego  $C_r = 0.5$  se tiene:

$$L_B = \frac{L_n}{C_r} \quad (3.12)$$

donde  $L_B$  lámina bruta de riego, en cm

#### 3.4.2 Láminas teóricas y reales de riego.

Conocidas las características agrológicas de la zona de proyecto, se obtiene la lámina teórica de riego y su período de aplicación de acuerdo a la siguiente expresión.

$$L_{tr} = (C_c - P_{mp}) \cdot P_a \cdot P_r$$

si  $A_a = (C_c - P_{mp})$

entonces  $L_{tr} = A_a \cdot P_a \cdot P_r \quad (3.13)$

|       |          |   |
|-------|----------|---|
| donde | $L_{tr}$ | lámina teórica de riego   |
|       | $C_c$    | porcentaje de humedad respecto al peso del suelo seco ó capacidad de campo                        |
|       | $P_{np}$ | porcentaje de humedad respecto del peso del suelo seco o porcentaje de marchitamiento permanente. |
|       | $A_a$    | agua aprovechable (%)   |
|       | $D_a$    | densidad aparente, en $gr/cm^3$   |
|       | $P_r$    | profundidad radicular a máxima demanda. (tabla 3.5)   |

Si la zona por regar ya ha sido cultivada anteriormente la estimación de la lámina teórica requiere de un ajuste, el cual ha sido determinado por experiencia en los distritos de riego, siendo el valor de ajuste de 0.8 .

Esta lámina se obtiene para cada cultivo, y representa el valor de agua capaz de retener el suelo para aprovechamiento de la planta.

Conocido este valor y el de la lámina bruta de riego mensual del cultivo, se obtiene el intervalo de riego y el número de ellos por mes.

$$I_n = \frac{L_{tr}}{L_B} \quad (3.14)$$

$$No. r = \frac{30}{I_n} \quad (3.15)$$

donde  $I_n$  intervalo de tiempo entre riegos para cada cultivo.

$No. r$  número de riegos

Estos valores de intervalo varían para cada cultivo en

los diferentes meses, por lo cual es práctico uniformizar el período de riego, ya que es más fácil regar a intervalo constante y volumen diferente que a volumen constante y períodos diferentes.

Para uniformizar se redondea el intervalo mayor al número entero o medio más próximo, obteniéndose con ello el número de riegos por mes, ó dividiendo entre 30 para darlo por día.

Conocido este valor y la lámina bruta de riego mensual se obtiene la lámina de riego real a período uniforme.

$$L_r = \frac{L_B}{No. r} \quad (3.16)$$

donde  $L_r$  lámina real de riego a período constante, en cm.

TABLA 3.1

DURACION PROMEDIO POSIBLE DEL FOTOPERICULO (Ka) EN LOS  
HEMISFERIOS NOROCCIDENTAL Y SUR, EXPRESADO EN UNIDADES DE 30  
MINUTOS DE 12 HORAS CADA UNO.

| Lat. N | E    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    | S    | O    | N    | D    |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 00     | 1.04 | 0.94 | 1.04 | 1.01 | 1.04 | 1.01 | 1.04 | 1.04 | 1.01 | 1.04 | 1.01 | 1.04 |
| 05     | 1.02 | 1.93 | 1.03 | 1.02 | 1.06 | 1.03 | 1.06 | 1.05 | 1.01 | 1.03 | 0.99 | 1.02 |
| 10     | 1.00 | 0.91 | 1.03 | 1.03 | 1.08 | 1.06 | 1.08 | 1.07 | 1.02 | 1.02 | 0.98 | 0.99 |
| 15     | 0.97 | 0.91 | 1.03 | 1.04 | 1.11 | 1.08 | 1.12 | 1.08 | 1.02 | 1.01 | 0.95 | 0.96 |
| 20     | 0.95 | 0.90 | 1.03 | 1.05 | 1.13 | 1.11 | 1.14 | 1.11 | 1.02 | 1.00 | 0.93 | 0.94 |
| 25     | 0.93 | 0.89 | 1.03 | 1.06 | 1.15 | 1.14 | 1.17 | 1.12 | 1.02 | 0.99 | 0.91 | 0.91 |
| 26     | 0.92 | 0.88 | 1.03 | 1.06 | 1.15 | 1.15 | 1.17 | 1.12 | 1.02 | 0.99 | 0.91 | 0.91 |
| 27     | 0.92 | 0.88 | 1.03 | 1.07 | 1.16 | 1.15 | 1.18 | 1.13 | 1.02 | 0.99 | 0.90 | 0.90 |
| 28     | 0.91 | 0.88 | 1.03 | 1.07 | 1.16 | 1.16 | 1.18 | 1.13 | 1.02 | 0.98 | 0.90 | 0.90 |
| 29     | 0.91 | 0.87 | 1.03 | 1.07 | 1.17 | 1.16 | 1.19 | 1.13 | 1.03 | 0.98 | 0.90 | 0.89 |
| 30     | 0.90 | 0.87 | 1.03 | 1.08 | 1.18 | 1.17 | 1.20 | 1.14 | 1.03 | 0.98 | 0.89 | 0.88 |
| 31     | 0.90 | 0.87 | 1.03 | 1.08 | 1.18 | 1.18 | 1.20 | 1.14 | 1.03 | 0.98 | 0.89 | 0.88 |
| 32     | 0.89 | 0.86 | 1.03 | 1.08 | 1.19 | 1.19 | 1.21 | 1.15 | 1.03 | 0.98 | 0.88 | 0.87 |
| 33     | 0.88 | 0.86 | 1.03 | 1.09 | 1.19 | 1.20 | 1.22 | 1.15 | 1.03 | 0.98 | 0.88 | 0.86 |
| 34     | 0.88 | 0.85 | 1.03 | 1.09 | 1.20 | 1.20 | 1.22 | 1.16 | 1.03 | 0.97 | 0.87 | 0.86 |
| 35     | 0.87 | 0.85 | 1.03 | 1.09 | 1.21 | 1.21 | 1.23 | 1.16 | 1.03 | 0.97 | 0.86 | 0.85 |
| 36     | 0.87 | 0.85 | 1.03 | 1.10 | 1.21 | 1.22 | 1.24 | 1.16 | 1.03 | 0.97 | 0.86 | 0.84 |
| 37     | 0.86 | 0.84 | 1.03 | 1.10 | 1.22 | 1.23 | 1.25 | 1.17 | 1.03 | 0.97 | 0.85 | 0.83 |
| 38     | 0.85 | 0.84 | 1.03 | 1.10 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.17 | 1.04 | 0.96 | 0.84 | 0.83 |
| 39     | 0.85 | 0.84 | 1.03 | 1.11 | 1.23 | 1.24 | 1.26 | 1.18 | 1.04 | 0.96 | 0.84 | 0.82 |
| 40     | 0.84 | 0.83 | 1.03 | 1.11 | 1.24 | 1.25 | 1.27 | 1.18 | 1.04 | 0.96 | 0.83 | 0.81 |
| 41     | 0.83 | 0.83 | 1.03 | 1.11 | 1.25 | 1.26 | 1.27 | 1.19 | 1.04 | 0.96 | 0.82 | 0.80 |
| 42     | 0.82 | 0.83 | 1.03 | 1.12 | 1.26 | 1.27 | 1.28 | 1.19 | 1.04 | 0.95 | 0.82 | 0.79 |
| 43     | 0.81 | 0.82 | 1.02 | 1.12 | 1.26 | 1.28 | 1.29 | 1.20 | 1.04 | 0.95 | 0.81 | 0.77 |
| 44     | 0.81 | 0.82 | 1.02 | 1.13 | 1.27 | 1.29 | 1.30 | 1.20 | 1.04 | 0.95 | 0.80 | 0.76 |
| 45     | 0.80 | 0.81 | 1.02 | 1.13 | 1.28 | 1.29 | 1.31 | 1.21 | 1.04 | 0.94 | 0.79 | 0.75 |
| 46     | 0.79 | 0.81 | 1.02 | 1.13 | 1.29 | 1.31 | 1.32 | 1.22 | 1.04 | 0.94 | 0.79 | 0.74 |
| 47     | 0.77 | 0.80 | 1.02 | 1.14 | 1.30 | 1.32 | 1.33 | 1.22 | 1.04 | 0.93 | 0.78 | 0.73 |
| 48     | 0.76 | 0.80 | 1.02 | 1.14 | 1.31 | 1.33 | 1.34 | 1.23 | 1.05 | 0.93 | 0.77 | 0.72 |
| 49     | 0.75 | 0.79 | 1.02 | 1.14 | 1.32 | 1.34 | 1.35 | 1.24 | 1.05 | 0.93 | 0.76 | 0.71 |
| 50     | 0.74 | 0.78 | 1.02 | 1.15 | 1.33 | 1.36 | 1.37 | 1.25 | 1.06 | 0.92 | 0.76 | 0.70 |
| Lat. S |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 05     | 1.06 | 0.95 | 1.04 | 1.00 | 1.02 | 0.99 | 1.02 | 1.03 | 1.00 | 1.05 | 1.03 | 1.06 |
| 10     | 1.08 | 0.97 | 1.05 | 0.99 | 1.01 | 0.96 | 1.00 | 1.01 | 1.00 | 1.06 | 1.05 | 1.10 |
| 15     | 1.12 | 0.98 | 1.05 | 0.98 | 0.98 | 0.94 | 0.97 | 1.00 | 1.00 | 1.07 | 1.07 | 1.12 |
| 20     | 1.14 | 1.00 | 1.05 | 0.97 | 0.96 | 0.91 | 0.95 | 0.99 | 1.00 | 1.08 | 1.09 | 1.15 |
| 25     | 1.17 | 1.01 | 1.05 | 0.96 | 0.94 | 0.88 | 0.93 | 0.98 | 1.00 | 1.10 | 1.11 | 1.18 |
| 30     | 1.20 | 1.03 | 1.06 | 0.95 | 0.92 | 0.85 | 0.90 | 0.96 | 1.00 | 1.12 | 1.14 | 1.21 |
| 35     | 1.23 | 1.04 | 1.06 | 0.94 | 0.89 | 0.82 | 0.87 | 0.94 | 1.00 | 1.13 | 1.17 | 1.25 |
| 40     | 1.27 | 1.06 | 1.07 | 0.93 | 0.86 | 0.78 | 0.84 | 0.92 | 1.00 | 1.15 | 1.20 | 1.29 |
| 42     | 1.28 | 1.07 | 1.07 | 0.92 | 0.85 | 0.76 | 0.82 | 0.92 | 1.00 | 1.16 | 1.22 | 1.31 |
| 44     | 1.30 | 1.08 | 1.07 | 0.92 | 0.83 | 0.74 | 0.81 | 0.91 | 0.99 | 1.17 | 1.23 | 1.33 |
| 46     | 1.32 | 1.10 | 1.07 | 0.91 | 0.82 | 0.72 | 0.79 | 0.90 | 0.99 | 1.17 | 1.25 | 1.35 |
| 48     | 1.34 | 1.11 | 1.08 | 0.90 | 0.80 | 0.70 | 0.76 | 0.89 | 0.99 | 1.18 | 1.27 | 1.37 |
| 50     | 1.37 | 1.12 | 1.08 | 0.89 | 0.77 | 0.67 | 0.74 | 0.86 | 0.99 | 1.19 | 1.29 | 1.41 |

TABLA 3.2

COEFICIENTES GLOBALES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN ESTACIONAL (Kg) PARA DIVERSOS CULTIVOS EN DONDE LOS VALORES MÁXIMOS CORRESPONDEN A LAS ZONAS DE CLIMA ÁRIDO Y SEMIÁRIDO Y LOS VALORES MÍNIMOS A ZONAS HÚMEDAS Y SEMIHÚMEDAS.

| CULTIVO                                  | PERIODO VEGETATIVO | COEFICIENTE GLOBAL Kg. |
|--|--------------------|------------------------|
| AGUACATE                                 | Perenne            | 0.50 - 0.55            |
| AJONJOLI                                 | 3 a 4 meses        | 0.80                   |
| ALFALFA                                  | Entre heladas      | 0.80 - 0.85            |
|  | En invierno        | 0.60                   |
| ALGODON                                  | 6 a 7 meses        | 0.60 - 0.65            |
| ARROZ                                    | 3 a 5 meses        | 1.00 - 1.20            |
| CACAHUATE                                | 5 meses            | 0.60 - 0.65            |
| CACAO                                    | Perenne            | 0.75 - 0.80            |
| CAFE                                     | Perenne            | 0.75 - 0.80            |
| CANA DE AZUCAR                           | Perenne            | 0.75 - 0.90            |
| CANOTE                                   | 5 a 6 meses        | 0.60                   |
| CEREALES DE GRANO PEQUEÑO:               |                    |                        |
| (alpiste, avena, cebada, centeno, trigo) |                    |                        |
|  | 3 a 6 meses        | 0.50 - 0.65            |
| CITRICOS                                 | 7 a 8 meses        | 0.50 - 0.65            |
| CHILE                                    | 3 a 4 meses        | 0.60                   |
| ESPARRAGO                                | 6 a 7 meses        | 0.60                   |
| FRFSA                                    | Perenne            | 0.45 - 0.60            |
| FRUTALES DE HUESO Y PEPITA               |                    |                        |
| (hoja caduca)                            |                    |                        |
|  | Entre heladas      | 0.60 - 0.70            |
| GARBANZO                                 | 4 a 5 meses        | 0.60 - 0.70            |



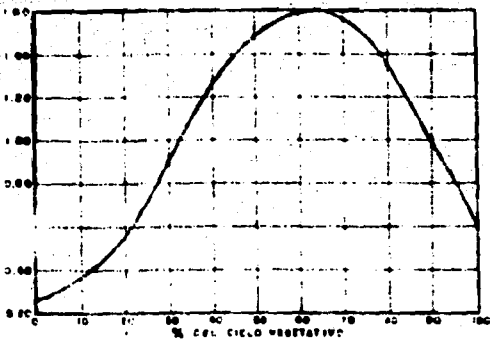
TABLA 3.2 (Continuación)

|   |              |   |
|---|--------------|---|
| GIRASOL   | 4 meses      | 0.50 - 0.65   |
| HAJA  | 4 a 5 meses  | 0.60 - 0.70   |
| HORTALIZAS  | 2 a 4 meses  | 0.60  |
| JITOMATE  | 4 meses      | 0.70  |
| LECHUGA Y COL   | 3 meses      | 0.70  |
| LENTEJA   | 4 meses      | 0.60 - 0.70   |
| LINO  | 7 a 8 meses  | 0.70 - 0.80   |
| MAIZ  | 4 a 7 meses  | 0.75 - 0.85   |
| MANGO   | perenne      | 0.75 - 0.80   |
| MELON   | 3 a 4 meses  | 0.60  |
| NOGAL   | entre eladas | 0.70  |
| PAPA  | 3 a 5 meses  | 0.65 - 0.75   |
| PALMA DATILERA  | perenne      | 0.65 - 0.80   |
| PALMA COCOTERA  | perenne      | 0.80 - 0.90   |
| PAPAYA  | perenne      | 0.60 - 0.80   |
| PLATANO   | perenne      | 0.80 - 1.00   |
| PASTOS DE GRAMINEAS   | perenne      | 0.75  |
| REMOLACHA   | 6 meses      | 0.65 - 0.75   |
| SANDIA  | 3 a 4 meses  | 0.60  |
| SORGO   | 3 a 4 meses  | 0.70  |
| SOYA  | 3 a 5 meses  | 0.60 - 0.70   |
| TABACO  | 4 a 5 meses  | 0.70 - 0.80   |
| TOMATE  | 4 a 5 meses  | 0.70  |
| TREBOL LADINO   | perenne      | 0.80 - 0.85   |
| ZANAHORIA   | 2 a 4 meses  | 0.60  |
| FRUTALES ESTABLECIDOS<br>DE CLIMA TROPICAL Y<br>SUBTROPICAL | perenne      | $\frac{0.75F_t + 0.8F_t}{2 f}$<br>F <sub>t</sub> evaporación<br>en tanque evap.<br>f fac. luminosidad |

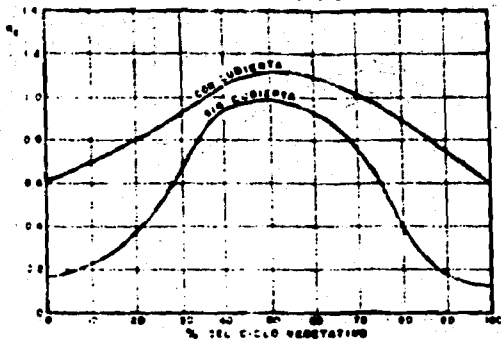
TABLA 3.3  
 PORCENTAJES DE HOPAS-LUZ EN EL DIA PARA  
 CADA MES DEL AÑO EN RELACION AL NUMERO  
 TOTAL EN UN AÑO - (p)

| Lat N |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 15°   | 7.94 | 7.37 | 8.44 | 8.45 | 8.98 | 8.80 | 9.03 | 8.83 | 8.27 | 8.26 | 7.75 | 7.88 |
| 16°   | 7.93 | 7.35 | 8.44 | 8.46 | 9.01 | 8.83 | 9.07 | 8.85 | 8.27 | 8.24 | 7.72 | 7.83 |
| 17°   | 7.86 | 7.32 | 8.43 | 8.48 | 9.04 | 8.87 | 9.11 | 8.87 | 8.27 | 8.22 | 7.69 | 7.80 |
| 18°   | 7.83 | 7.30 | 8.42 | 8.50 | 9.09 | 8.92 | 8.16 | 8.90 | 8.27 | 8.21 | 7.66 | 7.74 |
| 19°   | 7.79 | 7.28 | 8.41 | 8.51 | 9.11 | 8.97 | 9.20 | 8.92 | 8.28 | 8.10 | 7.63 | 7.71 |
| 20°   | 7.74 | 7.26 | 8.41 | 8.53 | 9.14 | 9.00 | 9.23 | 8.95 | 8.29 | 8.17 | 7.59 | 7.66 |
| 21°   | 7.71 | 7.24 | 8.40 | 8.54 | 9.18 | 9.05 | 9.29 | 8.98 | 8.29 | 8.15 | 7.54 | 7.62 |
| 22°   | 7.66 | 7.21 | 8.40 | 8.56 | 9.22 | 9.09 | 9.33 | 9.00 | 8.30 | 8.13 | 7.50 | 7.55 |
| 23°   | 7.62 | 7.10 | 8.40 | 8.57 | 9.24 | 9.12 | 9.35 | 9.02 | 8.30 | 8.11 | 7.47 | 7.50 |
| 24°   | 7.58 | 7.17 | 8.40 | 8.60 | 9.30 | 9.20 | 9.41 | 9.05 | 8.31 | 8.09 | 7.43 | 7.46 |
| 25°   | 7.53 | 7.13 | 8.39 | 8.61 | 9.32 | 9.22 | 9.43 | 9.08 | 8.30 | 8.08 | 7.40 | 7.41 |
| 26°   | 7.49 | 7.12 | 8.40 | 8.64 | 9.38 | 9.30 | 9.49 | 9.10 | 8.31 | 8.06 | 7.36 | 7.35 |
| 27°   | 7.43 | 7.09 | 8.38 | 8.65 | 9.40 | 9.32 | 9.52 | 9.13 | 8.32 | 8.03 | 7.36 | 7.31 |
| 28°   | 7.40 | 7.07 | 8.39 | 8.68 | 9.46 | 9.38 | 9.58 | 9.16 | 8.32 | 8.02 | 7.22 | 7.27 |
| 29°   | 7.35 | 7.04 | 8.37 | 8.70 | 9.49 | 9.43 | 9.61 | 9.19 | 8.32 | 8.00 | 7.24 | 7.20 |
| 30°   | 7.30 | 7.03 | 8.38 | 8.72 | 9.53 | 9.49 | 9.67 | 9.22 | 8.34 | 7.99 | 7.19 | 7.14 |
| 31°   | 7.25 | 7.00 | 8.36 | 8.73 | 9.57 | 9.54 | 9.72 | 9.24 | 8.33 | 7.95 | 7.15 | 7.09 |
| 32°   | 7.20 | 6.97 | 8.37 | 8.75 | 9.63 | 9.60 | 9.77 | 9.28 | 8.34 | 7.95 | 7.11 | 7.05 |

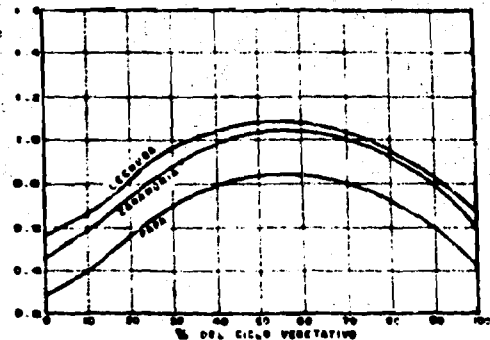
SOYA, CARYANO, AJONJOLÍ



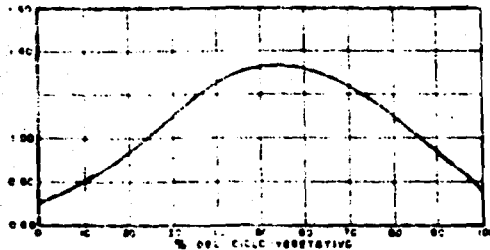
MUERTOS DE PLANTAS CADUCAS



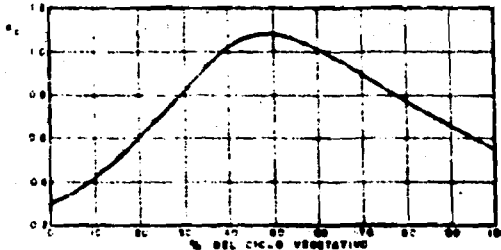
VERDURAS PEQUEÑAS



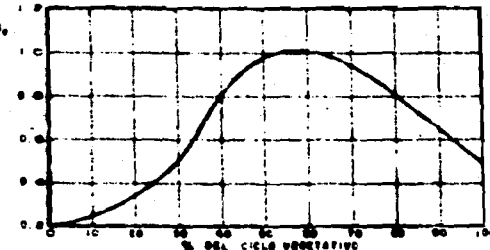
CHILE VERDE, EJOTE, FRUJL



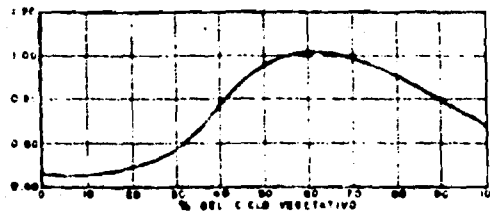
SORGO (Farrero y en grano)



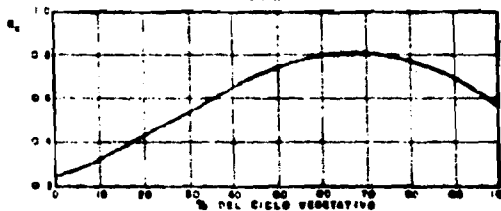
ALGODON



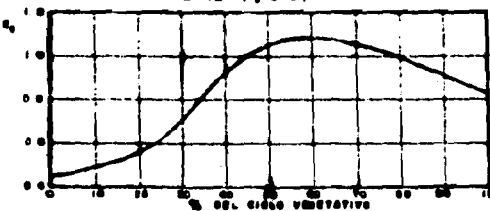
JITIMATE



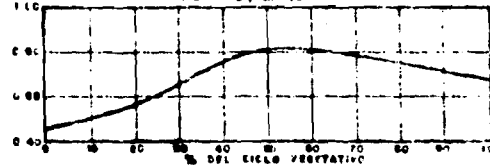
CEBOLLA



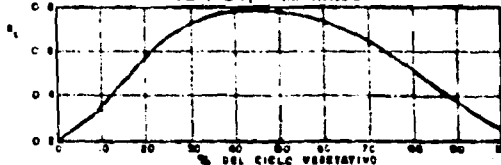
MAIZ (grano)



CALABACITA, MELON,  
PEPINO, SANDIA



AGUACATE, MANGO, GUANAJAMA,  
GUAYABA, TAMARINDO



PASTOS



T A B L A 3.4 CURVAS DE CRECIMIENTO

TABLA 3.5

PROFUNDIDAD DE LAS RAICES DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS .

| Cultivos                  | Profundidad Radicular (m) |
|---------------------------|---------------------------|
| AJONJOLI                  | 0.90                      |
| ALCACUOFA                 | 1.20                      |
| ALFALFA                   | 1.50 - 3.00               |
| ALGODON                   | 1.20 - 1.80               |
| ARTABO                    | 0.60 - 0.90               |
| BROCOLI                   | 0.60                      |
| CACAHUATE                 | 0.60                      |
| CALABACITA                | 0.90                      |
| CALABAZA                  | 1.80                      |
| CANOTE                    | 1.20 - 1.80               |
| CEBOLLA                   | 0.45                      |
| CEREALES DE GRANO PEQUEÑO | 1.20                      |
| CITRICOS                  | 1.20 - 1.80               |
| COL                       | 0.50                      |
| CHICHAROS                 | 0.90 - 1.20               |
| ESPARRAGOS                | 1.80 - 3.00               |
| ESPINACAS                 | 0.60                      |
| FRAMBUESA                 | 1.20 - 1.80               |
| FRISA                     | 0.90 - 1.20               |
| FRIJOL                    | 0.90                      |
| FRUTA DE HOJA CAEDITA     | 1.80 - 2.40               |
| JITOMATE                  | 1.80 - 3.00               |
| LECHUGA                   | 0.30 - 0.45               |
| MAIZ                      | 1.20 - 1.50               |
| MAIZ DULCE                | 0.90                      |

TABLA 3.5 (continuación)

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| MELON CANTALOUPE    | 1.20 - 1.80 |
| MELON ORDINARIO     | 1.20 - 1.50 |
| NABO                | 0.90        |
| NUFCFS Y AUFILANA   | 1.20 - 1.80 |
| NUFZ DE NOGAL       | 3.60        |
| PAPAS               | 1.20 - 1.80 |
| PASTINACA           | 0.90        |
| RABANOS             | 0.30 - 0.35 |
| PEPINOS             | 0.60        |
| REMOLACHA AZUCARERA | 1.20 - 1.80 |
| SANDIA              | 1.80        |
| SORGO               | 1.20        |
| SOYA                | 0.90 - 1.20 |
| TABACO              | 1.20        |
| TREBOL LADINO       | 1.20        |
| VID                 | 1.50 - 3.00 |
| ZACATES FORRAJEROS  | 0.90 - 1.20 |
| ZANAHORIA           | 0.60 - 0.90 |
| ZARZAMORA           | 1.20 - 1.80 |

La realización de este proyecto, involucra definir las condiciones de aprovechamiento agrícola, desde el punto de vista agua-cultivo, dando por sentado que el clima y los factores del suelo son convenientes. Para ello se determinan los escurrimientos medios a derivar en los ciclos de verano-invierno, para adecuar el proyecto de las obras hidráulicas y la amplitud del área servida por riego.

Por otra parte, se hará el estudio hidrológico a fin de obtener la avenida máxima probable para el diseño y revisión de las estructuras necesarias en el distrito de riego.

#### 4.1 Antecedentes

El sitio en estudio se localiza al NW de la ciudad de Apatzingán, Mich., y el acceso a él es mediante un tramo de 17.5 Km de carretera pavimentada que parte de la ciudad mencionada a Buena vista Tomatlán, Mich., y una brecha de tránsito difícil que se inicia unos 100 m después del cruce del puente carretero sobre el arroyo Zirapitiro con rumbo al NF. El tramo de brecha es de unos 5 Km hasta el sitio en estudio.

La localización de dicha zona se muestra en la fig.4.1

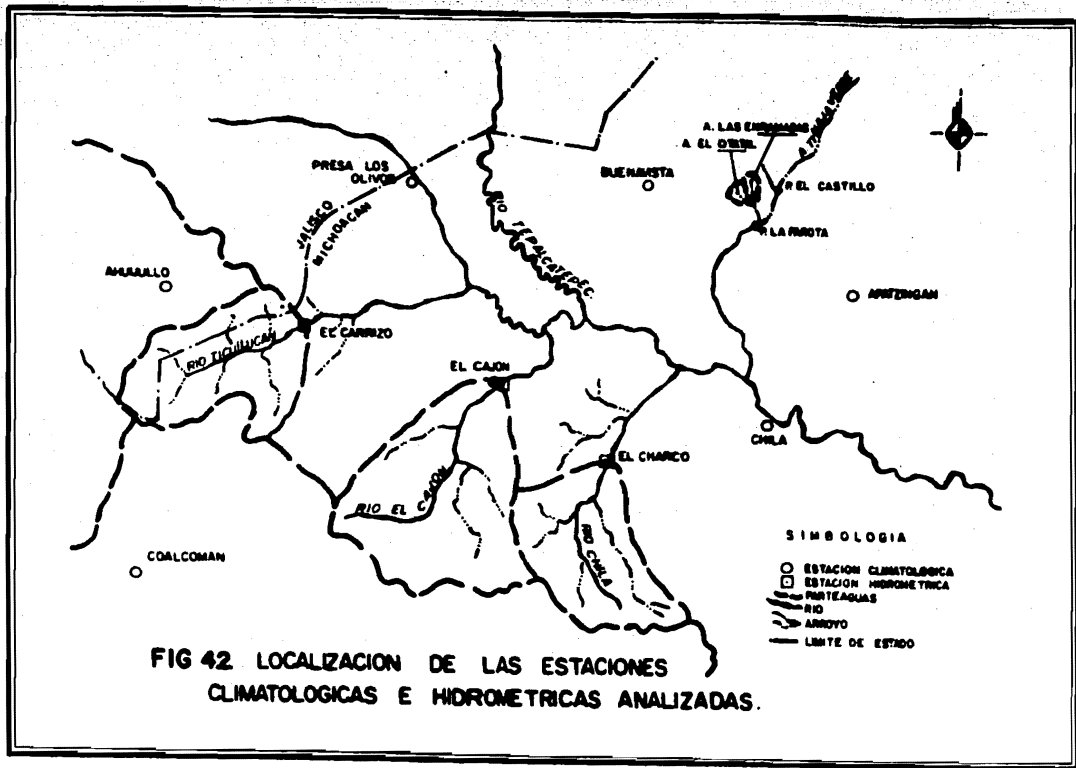
La zona de riego se distribuye en dos ejidos que son el Forvenir, con una extensión aproximada de 500 Ha y el Zirapitiro - con una área estimada de 600 Ha, se encuentra a una elevación de 300 a 500 m.s.n.m. clasificándose el clima como semiseco con invierno y primavera secos y cálidos

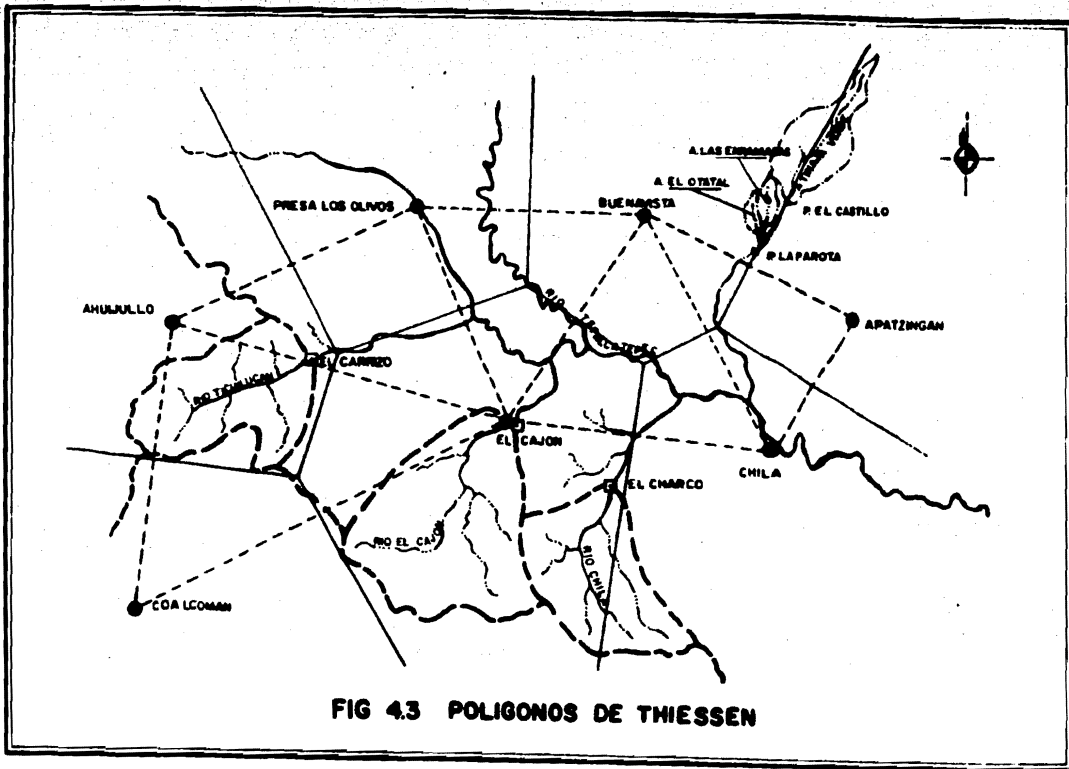
Actualmente se encuentra construida la derivadora El Castillo sobre el arroyo Tinaja Verde (Zirapitiro) en el Km 2+500, del cual se pretende llevar un canal para alimentar, con los excedentes, el cauce del arroyo Las Enramadas. Adicionalmente a lo anterior, está en proceso de construcción una derivadora sobre el arroyo Las Enramadas (presa derivadora No 1), así como una derivadora sobre el arroyo El Otatal (presa derivadora No 2), las cuales se comunican por medio de un canal de aproximadamente 160 m de longitud de sección trapecial, revestido de mampostería, formando un solo sistema. Una vez recolectados los excedentes de la presa El Castillo y los caudales de los arroyos Las Enramadas y El Otatal - se transportará el gasto, por medio de un canal trapecial revestido de mampostería de 7520 m de longitud hasta las hectáreas beneficiadas con riego de auxilio de verano.

-----









**FIG 4.3 POLIGONOS DE THIESEN**

## 4.2 Estudio Hidrológico

### 4.2.1 Análisis de los escurrimientos medios suceptibles de aprovechamiento

Dada la carencia de control hidrométrico en los arroyos en estudio, La Tinaja (Zirapitiro), Las Enramadas y El Otatal, para determinar el régimen de los escurrimientos y valuar los volúmenes medios a derivar, se recurrió al análisis de cuencas cercanas, y a una transposición de causas y efectos. Para ello se estudió la hidrometría y climatología de las cuencas del Río Ticuilucan hasta la estación hidrométrica El Carrizo, el Río El Cajón, hasta la estación del mismo nombre y el Río Chila, hasta la estación El Charco.

En la fig 4.2 se muestra la localización de dichas cuencas, así como de las estaciones hidrométricas y climatológicas utilizadas en el estudio.

Se determinó el área drenada que limitaba el parteaguas de cada corriente a partir de las estaciones de aforos correspondientes hacia aguas arriba.

El área de la cuenca drenada por el Río Ticuilucan hasta el sitio de la estación hidrométrica El Carrizo es de 268.1 Km<sup>2</sup> y tiene registro de datos de 1969 a 1975. Dicha cuenca es controlada totalmente por la estación climatológica de Ahuijullo, la cual tiene datos de 1960 a 1976.

La cuenca del Río El Cajón con una área de 395 Km<sup>2</sup> hasta la estación hidrométrica del mismo nombre (1943-1975), es controlada totalmente por la estación climatológica, El Cajón, la cual tiene datos desde 1953.

La cuenca del Río Chila, hasta la estación El Charco, - tiene una área de 251.1 Km<sup>2</sup>. Esta cuenca se encuentra controlada - por las estaciones climatológicas El Cajón y Chila, con porcentajes de Thiessen de 69.02 y 30.98 respectivamente (fig 4.3).

$$C_e = \frac{V_e}{V_{11}}$$

donde  $V_e$  volumen de escurrimiento, en miles  $m^3$   
 $V_{11}$  volumen de lluvia, en miles de  $m^3$   
 $C_e$  coeficiente de escurrimiento.

dado que el intervalo de tiempo de registros es corto y no permite usar otro método.

Los cálculos indicados para la obtención de los coeficientes de escurrimiento para las cuencas de las estaciones hidrométricas de El Carrizo, El Cajón y El Charco se muestran en las tablas 4.1 a 4.3 respectivamente.

Del análisis de las tablas se deduce que los coeficientes de escurrimiento mínimos en la época de verano son los correspondientes a la cuenca controlada por la estación El Charco por lo que se consideraron como representativos para la zona de estudio, ya que implican trabajar con la condición más desfavorable en la evaluación de los volúmenes de riego, además de ser la estación más cercana a la zona en estudio. En época de estiaje (noviembre a abril), el coeficiente de escurrimiento alcanza valores muy altos debido a la existencia de aportes subterráneos a la corriente, por lo que en esos casos se utilizó la lámina de lluvia en exceso calculada para la cuenca El Charco según la ecuación:

$$h_e = \frac{V_e}{A_c} \quad (4.3)$$

donde  $h_e$  altura de lluvia en exceso, en mm

Los resultados se presentan en la tabla 4.4

Por otro lado, se calculó el área de cada cuenca en estudio (fig 4.4), siendo como sigue:

La estación hidrométrica El Charco cuenta con registros desde el año de 1969 a 1975 y la estación climatológica Chila, desde el año 1969 a 1976.

Para procesar la información se seleccionó el período de 1969 a 1975. En cada cuenca se calculó el volumen de lluvia media mensual como:

$$V_{11} = A_c \cdot hp_m \quad (4.1)$$

donde  $V_{11}$  volumen de lluvia, en miles de  $m^3$   
 $A_c$  área de la cuenca, en  $Km^2$   
 $hp_m$  altura de lluvia media mensual, en mm

En el caso de la cuenca del Río Chila, la altura media mensual se valuó como

$$hp_m = 0.6902hp_C + 0.3098hp_{CH} \quad (4.2)$$

donde  $hp_m$  altura de lluvia media mensual en la cuenca, en mm  
 $hp_C$  altura de lluvia media mensual en la estación El Cajón, en mm  
 $hp_{CH}$  altura de lluvia media mensual en la estación Chila, en mm  
0.6902 y 0.3098 porcentos de Thiessen de las estaciones El Cajón y Chila respectivamente, en decimal.

Con los datos de volumen de escurrimiento medio proporcionados por la Dirección de Hidrología (ref 13) se calcularon los coeficientes de escurrimiento mensual para cada cuenca con la relación expuesta en el capítulo dos, como sigue:

TABLA 4.1

ANALISIS DE LOS COEFFICIENTES DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA DE LA ESTACION EL CARRIZO, MICH.

| MES        | hpm<br>(mm) | Vol llov.<br>(miles m <sup>3</sup> ) | Vol. esc.<br>(miles m <sup>3</sup> ) | Ce   |
|------------|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------|
| ENERO      | 8.79        | 2356.60                              | 1101.67                              | 0.47 |
| FEBRERO    | 1.00        | 268.10                               | 658.14                               | 2.45 |
| MARZO      | 2.79        | 747.99                               | 468.86                               | 0.63 |
| ABRIL      | 7.71        | 2067.05                              | 330.29                               | 0.16 |
| MAYO       | 47.21       | 12657.00                             | 385.14                               | 0.03 |
| JUNIO      | 185.00      | 49598.50                             | 3814.86                              | 0.08 |
| JULIO      | 207.05      | 55510.11                             | 10534.57                             | 0.19 |
| AGOSTO     | 203.62      | 54590.52                             | 17700.00                             | 0.32 |
| SEPTIEMBRE | 136.07      | 36480.37                             | 23250.50                             | 0.64 |
| OCTUBRE    | 96.64       | 25909.18                             | 8910.20                              | 0.34 |
| NOVIEMBRE  | 19.50       | 5227.95                              | 2716.86                              | 0.52 |
| DICIEMBRE  | 6.93        | 1857.93                              | 1600.43                              | 0.86 |

TABLA 4.2

ANALISIS DE LOS COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO PARA LA  
CUECA DE LA ESTACION EL CAJON, MICH.

| MES        | hpm<br>(mm) | Vol lluv.<br>(miles m <sup>3</sup> ) | Vol esc.<br>(miles m <sup>3</sup> ) | Ce   |
|------------|-------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------|
| ENERO      | 0.57        | 225.15                               | 1049.29                             | 4.66 |
| FEBRERO    | 0.00        | 0.00                                 | 428.43                              |      |
| MARZO      | 0.00        | 0.00                                 | 97.29                               |      |
| ABRIL      | 0.64        | 252.80                               | 60.71                               | 0.24 |
| MAYO       | 15.61       | 6165.95                              | 52.29                               | 0.01 |
| JUNIO      | 178.81      | 70629.95                             | 4746.71                             | 0.07 |
| JULIO      | 238.06      | 94033.70                             | 19682.14                            | 0.21 |
| AGOSTO     | 201.04      | 79410.80                             | 30329.57                            | 0.38 |
| SEPTIEMBRE | 219.31      | 86627.45                             | 42179.71                            | 0.49 |
| OCTUBRE    | 94.76       | 37430.20                             | 22666.43                            | 0.61 |
| NOVIEMBRE  | 24.21       | 9562.95                              | 4340.71                             | 0.45 |
| DICIEMBRE  | 5.77        | 2279.15                              | 2173.00                             | 0.95 |

T A B L A 4.3

ANALISIS DE LOS COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA DE LA  
ESTACION HIDROMETRICA EL CHARCO, MICI.

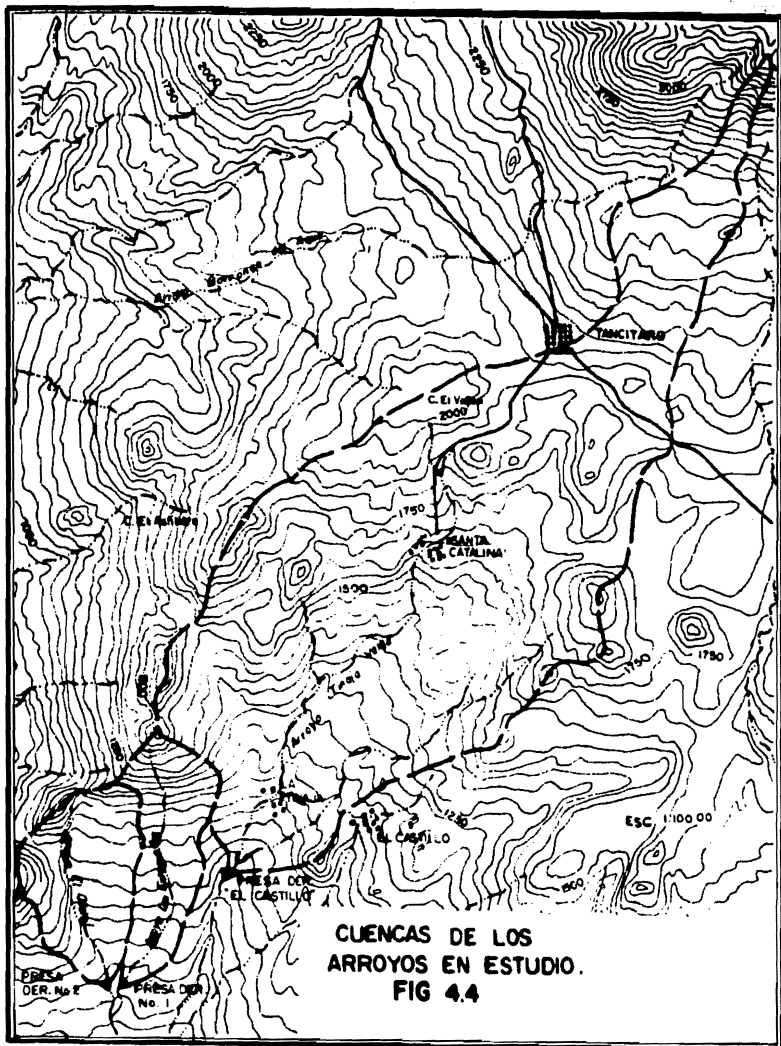
| M E S      | hpc<br>(mm) | hpcch<br>(mm) | hpm<br>(mm) | Vol.lloj.<br>(miles m <sup>3</sup> ) | Vol.esc.<br>(miles m <sup>3</sup> ) | Ce   |
|------------|-------------|---------------|-------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------|
| ENERO      | 0.57        | 1.17          | 0.76        | 189.80                               | 1194.33                             | 6.29 |
| FEBRERO    | 0.00        | 0.00          | 0.00        | 0.00                                 | 777.29                              |      |
| MARZO      | 0.00        | 2.30          | 0.71        | 178.92                               | 666.14                              | 3.72 |
| ABRIL      | 0.64        | 1.43          | 0.88        | 222.16                               | 429.14                              | 1.93 |
| MAYO       | 15.61       | 7.57          | 13.12       | 3294.23                              | 399.00                              | 0.12 |
| JUNIO      | 155.96      | 189.76        | 166.43      | 41790.87                             | 3608.14                             | 0.09 |
| JULIO      | 204.93      | 242.34        | 216.52      | 54368.06                             | 7084.33                             | 0.13 |
| AGOSTO     | 201.04      | 239.37        | 212.91      | 53462.86                             | 10109.40                            | 0.19 |
| SEPTIEMBRE | 203.83      | 235.09        | 199.25      | 50030.73                             | 16856.00                            | 0.31 |
| OCTUBRE    | 67.89       | 79.20         | 66.64       | 16733.69                             | 9016.20                             | 0.50 |
| NOVIEMBRE  | 5.36        | 8.77          | 6.04        | 1516.95                              | 2839.00                             | 1.76 |
| DICIEMBRE  | 5.77        | 3.91          | 5.19        | 1304.16                              | 1730.29                             | 1.33 |



TABLA 4.4

ANALISIS DE LA LAMINA DE LLUVIA EN  
EXCESO EN LA CUENCA DE LA  
ESTACION HIDROMETEPICA EL CUARCO

| MES       | Ve<br>(miles m <sup>3</sup> ) | he<br>(mm) |
|-----------|-------------------------------|------------|
| ENERO     | 1194.33                       | 4.76       |
| FEBRERO   | 777.24                        | 3.10       |
| MARZO     | 666.14                        | 2.65       |
| ABRIL     | 424.14                        | 1.71       |
| NOVIEMBRE | 28.39                         | 11.31      |
| DICIEMBRE | 1730.29                       | 6.89       |
|           |                               |            |



| CORRIENTE                 | PRESA           | AREA (Km <sup>2</sup> ) |
|---------------------------|-----------------|-------------------------|
| Tinaja Verde (Zirapitiro) | El Castillo     | 98.5                    |
| Las Enramadas             | Derivadora No 1 | 9.1                     |
| El Otatal                 | Derivadora No 2 | 11.6                    |

La cuenca de la presa El Castillo está controlada en un 61.54% por la estación climatológica de Apatzingán (que tiene datos desde 1939 a 1953 y de 1969 a 1976), y el 38.46% por la estación - Buenavista, que empezó a funcionar desde 1940 y tiene registros desde éste año hasta 1952 y de 1969 a 1976. Se escogió nuevamente un periodo de 1969 a 1975 para procesar los datos de las estaciones - climatológicas.

Para el cálculo de la altura de precipitación media mensual se tomaron en cuenta los porcentajes de influencia de éstas - dos estaciones climatológicas dados por los Polígonos de Thiessen (fig 4.3) en la forma siguiente.

$$hp_m = 0.3846hp_B + 0.6154hp_A \quad (4.4)$$

donde  $hp_m$  altura de lluvia media mensual, en mm  
 $hp_B$  altura de lluvia media mensual en la estación Buenavista, en mm  
 $hp_A$  altura de lluvia media mensual en la estación Apatzingán, en mm

Para las cuencas de las corrientes de Las Enramadas y El Otatal, el 100% de control climatológico, corresponde a la estación de Buenavista.

Una vez conocido lo anterior, se determinaron los volúmenes de escurrimiento respectivos por medio de las expresiones:

$$V_e = C_e \cdot V_{11} \quad (\text{mayo-octubre})$$

y  $V_e = A_c \cdot h_e$  (noviembre-abril)

donde

|          |   |
|----------|---|
| $V_e$    | volumen de escurrimiento en las cuencas en estudio, en miles de $m^3$ |
| $C_e$    | coeficiente de escurrimiento de la cuenca El Charco                   |
| $V_{11}$ | volumen de lluvia en las cuencas en estudio, en miles de $m^3$        |
| $A_c$    | área de cada cuenca en estudi, en $Km^2$                              |
| $h_e$    | lluvia en exceso en la cuenca F1 Charco, en mm                        |

En las tablas 4.5 a 4.7 se presentan los volúmenes de escurrimientos calculados para cada cuenca en estudio.

#### 4.2.2 Alternativas de solución

Con el objeto de poder satisfacer la demanda de agua de la zona de riego de Zirapitiro, cuyos planes de riego y leyes de demanda fueron proporcionados por la Comisión del Río Balsas (tabla 4.8 y 4.9) y tomando en cuenta que las tres cuencas por separado no satisfacen los requerimientos especificados, se analizó la posibilidad de captar varias cuencas y derivar sus escurrimientos hacia la zona en estudio.

Para lo anterior se propusieron dos alternativas de análisis, las cuales se enuncian a continuación.

##### Alternativa 1

Contempla la derivación de los arroyos Las Enramadas y El Otatal por medio de las presas derivadoras 1 y 2.

En la tabla 4.10 se muestra para el período junio-octubre el volumen necesario para el cultivo de 100 Ha de acuerdo con

TABLA 4.5

VOLUMENES DE ESCURRIMIENTOS MEDIOS MENSUALES EN LA CUENCA DEL ARROYO TIMAJA VERDE  
AL SITIO DE LA PRESA DERIVADORA EL CASTILLO

| MES        | hpm <sub>B</sub><br>(mm) | hpm <sub>A</sub><br>(mm) | hpm<br>(mm) | Vol lloy.<br>(miles m <sup>3</sup> ) | Ce   | he<br>(mm) | V esc.<br>(miles m <sup>3</sup> ) |
|------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------------------|------|------------|-----------------------------------|
| ENERO      | 5.07                     | 0.84                     | 2.47        | 242.99                               |      | 4.76       | 468.86                            |
| FEBRERO    | 0.33                     | 0.99                     | 0.74        | 72.51                                |      | 3.10       | 305.35                            |
| MARZO      | 0.49                     | 6.66                     | 4.29        | 422.27                               |      | 2.65       | 261.03                            |
| ABRIL      | 1.24                     | 0.57                     | 0.83        | 81.53                                |      | 1.71       | 168.44                            |
| MAYO       | 25.70                    | 20.49                    | 22.49       | 2215.64                              | 0.12 |            | 265.88                            |
| JUNIO      | 161.33                   | 186.79                   | 177.00      | 17434.31                             | 0.09 |            | 1569.09                           |
| JULIO      | 109.37                   | 167.27                   | 145.00      | 14282.66                             | 0.13 |            | 1856.75                           |
| AGOSTO     | 115.14                   | 178.57                   | 154.17      | 15186.22                             | 0.19 |            | 2885.38                           |
| SEPTIEMBRE | 109.59                   | 151.14                   | 135.16      | 13313.25                             | 0.31 |            | 4127.11                           |
| OCTUBRE    | 73.29                    | 77.33                    | 75.78       | 7463.96                              | 0.50 |            | 3731.98                           |
| NOVIEMBRE  | 5.40                     | 20.67                    | 14.80       | 1457.52                              |      | 11.31      | 1114.04                           |
| DICIEMBRE  | 3.09                     | 3.84                     | 3.55        | 349.83                               |      | 6.89       | 678.67                            |

TABIA 4.6

VOLUMENES DE ESCURRIMIENTOS MEDIOS MENSUALES EN LA CUENCA DEL APOYO LAS  
ENRRAMADAS HASTA EL SITIO DE LA PRESA DERIVADORA NO. 1

| MES        | $h_{pmB}$<br>(mm) | Vol llov.<br>(miles $m^3$ ) | $C_e$ | he<br>(mm) | V esc.<br>(miles $m^3$ ) |
|------------|-------------------|-----------------------------|-------|------------|--------------------------|
| ENERO      | 5.07              | 46.14                       |       | 4.76       | 43.31                    |
| FEBRERO    | 0.33              | 3.00                        |       | 3.10       | 28.21                    |
| MARZO      | 0.49              | 4.46                        |       | 2.65       | 24.14                    |
| ABRIL      | 1.24              | 11.28                       |       | 1.71       | 15.56                    |
| MAYO       | 25.70             | 233.87                      | 0.12  |            | 28.06                    |
| JUNIO      | 161.33            | 1468.10                     | 0.09  |            | 132.12                   |
| JULIO      | 109.37            | 995.27                      | 0.13  |            | 129.38                   |
| AGOSTO     | 115.14            | 1047.77                     | 0.19  |            | 199.08                   |
| SEPTIEMBRE | 109.59            | 997.27                      | 0.31  |            | 309.15                   |
| OCTUBRE    | 73.29             | 666.94                      | 0.50  |            | 333.47                   |
| NOVIEMBRE  | 5.40              | 49.14                       |       | 11.31      | 102.92                   |
| DICIEMBRE  | 3.09              | 28.12                       |       | 6.89       | 62.69                    |

TARLA 4.7

VOLUMENES DE ESCURPIMIENTOS MEDIOS MENSUALES EN EL  
ARROYO EL OTATAL HASTA EL SITIO DE LA PRESA  
DEFIVADORA NO. 2

| MES        | h <sub>mp</sub><br>(mm) | Vol lloy<br>(miles m <sup>3</sup> ) | Ce   | he<br>(mm) | V esc.<br>(miles m <sup>3</sup> ) |
|------------|-------------------------|-------------------------------------|------|------------|-----------------------------------|
| ENERO      | 5.07                    | 58.81                               |      | 4.76       | 55.22                             |
| FEBRERO    | 0.35                    | 3.82                                |      | 3.10       | 35.96                             |
| MARZO      | 0.40                    | 5.68                                |      | 2.65       | 30.74                             |
| ABRIL      | 1.24                    | 14.38                               |      | 1.71       | 19.84                             |
| MAYO       | 25.70                   | 298.12                              | 0.12 |            | 35.77                             |
| JUNIO      | 161.33                  | 1871.43                             | 0.09 |            | 168.43                            |
| JULIO      | 109.37                  | 1268.60                             | 0.13 |            | 164.93                            |
| AGOSTO     | 115.14                  | 1335.62                             | 0.19 |            | 253.77                            |
| SEPTIEMBRE | 109.59                  | 1271.24                             | 0.31 |            | 394.08                            |
| OCTUBRE    | 73.29                   | 850.16                              | 0.50 |            | 425.08                            |
| NOVIEMBRE  | 5.40                    | 62.64                               |      | 11.31      | 131.19                            |
| DICIEMBRE  | 3.09                    | 35.84                               |      | 6.89       | 79.92                             |

TABLA 4.8

## CALCULO DE LA DEMANDA ANUAL .

NOMBRE DEL PROYECTO ZIRARITIRO

| CULTIVO   | % AREA CULTIVADA |
|-----------|------------------|
|           | Verano Invierno  |
| Ajonjolif | 40               |
| Soya      | 25               |
| Sorgo     | 25               |
| Maiz      | 10               |
|           |                  |
|           |                  |

DEMANDAS NETAS

VOLUMEN DE AGUA POR Ha .

| CULTIVO   | LAMINAS DE RIEGO EN CM. |   |    |   |   |    |    | VOLUMEN TOTAL POR Ha DE CULTIVO (m <sup>3</sup> ) |
|-----------|-------------------------|---|----|---|---|----|----|---|
|           | M                       | J | J  | A | S | O  | N  |   |
| ajonjolif |                         | 8 | 10 | 8 | 0 |    |    | 1400  |
| soya      |                         | 9 | 10 | 8 | 8 |    |    | 875   |
| sorgo     |                         |   | 10 |   | 0 | 0  | 10 | 950   |
| maiz      |                         |   | 9  | 8 | 8 | 10 |    | 430   |
|           |                         |   |    |   |   |    |    |   |
|           |                         |   |    |   |   |    |    | 3655  |

VOLUMENES DE AGUA EN MILES DE M<sup>3</sup>. para 100Ha

| CULTIVO        | M | J    | J    | A    | S    | O    | N  | VOLUMEN TOTAL . |
|----------------|---|------|------|------|------|------|----|-----------------|
| ajonjolif      |   | 32.0 | 40.0 | 32   | 36   |      |    | 140.0           |
| soya           |   | 22.5 | 25.0 | 20   | 20   |      |    | 87.5            |
| sorgo          |   |      | 25.0 |      | 22.5 | 22.5 | 25 | 95.0            |
| maiz           |   |      | 9.0  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 10 | 43.0            |
| <b>TOTALES</b> |   | 88.5 | 73.0 | 82.5 | 86.5 | 35.0 |    | 365.5           |

$$\text{DEMANDA ANUAL POR Ha} = \frac{\text{vol. tot.}}{100} = \frac{365.500}{100} = 3655 \text{ m}^3/\text{Ha} .$$





el plan proporcionado por la Comisión del Río Balsas, el volumen disponible de los arroyos Las Enramadas y El Otatal así como la superficie beneficiada.

Examinando los resultados se deduce que la máxima superficie que se puede regar es de 170 Ha, ya que en el mes de junio se presentan las mínimas precipitaciones.

#### Alternativa 2

Considera la captación de los caudales de los arroyos Las Enramadas, El Otatal, así como los excedentes del arroyo Tinaja Verde.

Para valuar los excedentes del arroyo Tinaja Verde se investigó en campo los volúmenes comprometidos para los ejidos El Castillo y Las Tinajas, determinándose un gasto de 10 lps para cada ejido, o sea:

$$0.02 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \cdot 86400 \frac{\text{seg}}{\text{día}} \cdot 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 51.84 \frac{\text{miles m}^3}{\text{mes}}$$

De acuerdo con lo anterior, en la tabla 4.11 se resumen los cálculos efectuados, presentándose al final la superficie beneficiada. En esta alternativa en el mes de menor lluvia se puede regar una superficie máxima de 1026.5 Ha.

A la vista de lo anterior y teniendo en cuenta que la ley de demandas propuestas por la Comisión del Balsas tiene algunas discrepancias en cuanto a tiempos reales de los cultivos propuestos se optó por valuar las láminas de riego para cada cultivo utilizando el método de Blaney-Criddle (ref 14) empleando coeficientes de crecimiento, ya que es el más apropiado para la zona en estudio.

Para el empleo de este criterio se necesita del conocimiento de la temperatura media mensual, la cual se obtuvo del procesamiento de los registros de la estación climatológica de Buenavista, que es la más cercana al sitio por regar. Además entre ésta

TABLA 4.10

1a. ALTERNATIVA  
ANALISIS DE LA SUPERFICIE BENEFICIADA.

| Mes de Cultivo | Vol. necesario para 100 Ha. ( $10^6 \text{ m}^3$ ) | Las Frrramadas Vol. disponible ( $10^6 \text{ m}^3$ ) | El Otatal Vol. disponible ( $10^6 \text{ m}^3$ ) | Total de Sup. Beneficiada Ha. |
|----------------|--|---|--|-------------------------------|
| JUNIO          | 0.177  | 0.132   | 0.168  | 169.49                        |
| JULIO          | 0.146  | 0.129   | 0.165  | 201.37                        |
| AGOSTO         | 0.165  | 0.199   | 0.254  | 274.55                        |
| SEPTIEMBRE     | 0.173  | 0.309   | 0.394  | 438.15                        |
| OCTUBRE        | 0.070  | 0.333   | 0.425  | 1082.86                       |

TABLA 4.11

24 ALTERNATIVA

CUENCAS TINAJA VERDE, LAS ENRAMADAS Y EL OTATAL.

| MES DE CULTIVO | VOL NECESARIO PARA 100 Ha ( $10^6 \text{ m}^3$ ) | LAS ENRAMADAS VOL DISP. ( $10^6 \text{ m}^3$ ) | EL OTATAL VOL DISP. ( $10^6 \text{ m}^3$ ) | TINAJA VERDE. VOL DISP. ( $10^6 \text{ m}^3$ ) | TOTAL DE SUPERFICIE BENEFICIADA (Ha) |
|----------------|--|--|--|--|--------------------------------------|
| JUNIO          | 0.177  | 0.132  | 0.168                                      | 1.517  | 1026.55                              |
| JULIO          | 0.146  | 0.129  | 0.165                                      | 1.805  | 1437.67                              |
| AGOSTO         | 0.165  | 0.199  | 0.254                                      | 2.833  | 1991.52                              |
| SEPTIEMBRE     | 0.173  | 0.309  | 0.394                                      | 4.075  | 2761.85                              |
| OCTUBRE        | 0.070  | 0.333  | 0.425                                      | 3.680  | 6340.00                              |

y la de Apatzingán no hay mucha variación en los registros.

Se encontró la temperatura media mensual para un período de 1969 al año de 1976.

El factor de fuerza evaporante  $f$  es función de la temperatura media mensual y de dos coeficientes de corrección según se vió en el capítulo anterior.

Posteriormente se calcula la evapotranspiración para cada cultivo, tomando de la tabla 3.4 los coeficientes de crecimiento. Los resultados se presentan en las tablas 4.12 y 4.13 .

A continuación, para cada una de las alternativas anteriormente mencionadas, se calculó para cada cultivo, el volumen bruto demandado y la superficie beneficiada, teniendo para ello que conocer la lámina de lluvia en el lugar, encontrando entonces el volumen de lluvia (para 100Ha) aprovechable.

Aceptando que

$$V_n = V_E - V_{11}$$

donde  $V_n$  volumen neto demandado, en  $m^3$   
 $V_E$  volumen de evapotranspiración, en  $m^3$   
 $V_{11}$  volumen de lluvia aprovechable, en  $m^3$

Considerando un coeficiente por conducción y otro por parcela, el producto de los dos da un nuevo coeficiente, llamado de riego, (que considera las pérdidas), afectando de éste coeficiente al volumen neto se obtiene el volumen bruto, o sea la demanda total.

En las tablas 4.14 a 4.17 se presentan los volúmenes brutos demandados para cada uno de los cuatro cultivos estudiados (ajonjolí, maíz, sorgo y soya) y en las tablas 4.18 a 4.21 se muestra el volumen disponible y la superficie beneficiada para cada cultivo propuesto en las dos alternativas estudiadas.

De la observación de dichas tablas, se deduce en el caso de la alternativa 2 que para el ajonjolí el mes de agosto es el crítico, ya que solo pueden regarse 907 Ha. De igual forma, para el maíz la máxima superficie factible de regar es de 156 Ha. Para el sorgo, noviembre es el mes crítico con 654 Ha posibles de riego y finalmente en el mes de mayo se pueden regar solo 220 Ha de soya

Para la alternativa 1, dado que el volumen disponible es muy bajo no se aceptó factible su realización.

Conocido lo anterior, se analizaron varias posibilidades de combinación de los cultivos, llegándose a la conclusión de que la más adecuada es sembrar 700 Ha de ajonjolí y 400 Ha de sorgo, con lo cual se pueden explotar 1100 Ha (tablas 4.22 a 4.24), quedando un remanente de 14 Ha.

#### 4.2.3 Obtención de láminas de riego para satisfacer la ley de demanda.

Para determinar las láminas de riego, según lo expuesto en el capítulo tres, es necesario obtener del terreno sus características agrológicas que en este caso se muestran en la Tabla 4.25\* y en las tablas 4.26 y 4.27 se dan los resultados obtenidos de la aplicación de las ecuaciones (3.11) a (3.16) .

Como se puede apreciar en ellas, en el mes de julio , - para el ajonjolí se tiene una  $L_p = 15.28$  cm que es la lámina total necesaria, incluyendo pérdidas.

Se tienen 27.03 riegos al mes, entonces se tendrán 0.9 riegos diarios, o sea se dejará correr una lámina de:

$$0.57 \times 0.099 = 0.056, \quad 0.57 - 0.056 = 0.52 \text{ cm una vez al día}$$

en todos los días de ese mes, lo que satisfará los requerimientos

\* proporcionadas por la Comisión del Río Balsas S.A.R.H.

de agua mensual.

$$0.52 \times 1 \times 30 = 15.6 \hat{=} 15.28$$

En el mes de septiembre, para el ajonjolí, se tiene --  
una  $L_p = 36.12$  cm que es la lámina total necesaria, incluyendo --  
pérdidas.

Se tienen 63.83 riegos al mes, entonces se tendrán --  
2.127 riegos diarios, o sea, se dejará correr una lámina de ---  
 $0.57 \times 0.127 = 0.071$  ,  $0.57 + 0.071 = 0.64$  cm dos veces al día -  
en todos los días de este mes, lo que satisfará los requerimientos  
de agua mensual.

$$0.64 \times 2 \times 30 = 38.4 \hat{=} 36.12$$

De esta forma se obtuvieron para los dos cultivos pro-  
puestos las láminas de riego diarias en cada mes.

TABLA 4.12

| OBTENCION DEL FACTOR DE FUERZA EVAPORANTE LATITUD 19°10' |        |       |                                    |       |        |
|--|--------|-------|------------------------------------|-------|--------|
| MES  | t (°C) | Kt    | $\left(\frac{t+17.8}{21.8}\right)$ | P     | f      |
| ENE  | 24.99  | 1.018 | 1.963                              | 7.782 | 15.547 |
| FEB  | 25.81  | 1.043 | 2.000                              | 7.277 | 15.188 |
| MAR  | 27.05  | 1.082 | 2.057                              | 8.410 | 18.720 |
| ABR  | 28.39  | 1.124 | 2.119                              | 8.513 | 20.268 |
| MAY  | 30.04  | 1.175 | 2.194                              | 9.115 | 23.504 |
| JUN  | 28.67  | 1.132 | 2.132                              | 8.975 | 21.664 |
| JUL  | 27.20  | 1.087 | 2.064                              | 9.205 | 20.647 |
| AGS  | 26.93  | 1.078 | 2.052                              | 8.926 | 19.747 |
| SEPT   | 27.10  | 1.083 | 2.060                              | 8.282 | 18.482 |
| OCT  | 27.34  | 1.091 | 2.071                              | 8.110 | 18.321 |
| NOV  | 26.25  | 1.057 | 2.021                              | 7.620 | 16.275 |
| DIC  | 24.89  | 1.015 | 1.958                              | 7.690 | 15.280 |



TABLA 4.13

ORTENCION DE LAMINAS DE EVAPOTRASPIRACION EMPLEANDO COEFICIENTES DE CRECIMIENTO

| MES        | C U L T I V O S |        |      |        |       |        |      |        |
|------------|-----------------|--------|------|--------|-------|--------|------|--------|
|            | Ajonjolí        |        | Maíz |        | Sorgo |        | Soya |        |
|            | Kc              | F (cm) | Kc   | F (cm) | Kc    | F (cm) | Kc   | F (cm) |
| MAYO       |                 |        | 0.49 | 11.52  |       |        | 0.38 | 8.93   |
| JUNIO      | 0.39            | 8.45   | 0.58 | 21.57  | 0.40  | 8.67   | 0.70 | 15.16  |
| JULIO      | 0.90            | 18.58  | 0.80 | 16.52  | 0.70  | 14.45  | 1.26 | 26.01  |
| AGOSTO     | 1.50            | 29.62  | 1.03 | 20.34  | 1.03  | 20.34  | 1.58 | 31.20  |
| SEPTIEMBRE | 1.57            | 29.02  | 1.10 | 20.33  | 1.04  | 19.22  | 1.50 | 25.72  |
| OCTUBRE    | 1.00            | 18.32  | 1.00 | 18.32  | 0.83  | 15.21  | 0.93 | 17.04  |
| NOVIEMBRE  |                 |        | 0.89 | 14.48  | 0.64  | 10.42  |      |        |

TABLA 4.14

CULTIVO : AJONJOLI

| M E S      | VOL DE DEMANDA PARA 100Ha (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | h <sub>pm</sub> (mm) | VOLUMEN DE LLUVIA (EN 100Ha) APROX (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | VOL NETO DEMANDA PARA 100Ha (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | VOL BRUTO* PARA 100Ha (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) |
|------------|---|----------------------|--|---|---|
| MAYO       |   | 25.70                | 0.026  |   |   |
| JUNIO      | 0.0845  | 161.33               | 0.161  | 0.000   | 0.000   |
| JULIO      | 0.1858  | 109.37               | 0.109  | 0.077   | 0.154   |
| AGOSTO     | 0.2962  | 115.14               | 0.115  | 0.181   | 0.362   |
| SEPTIEMBRE | 0.2902  | 109.59               | 0.110  | 0.180   | 0.360   |
| OCTUBRE    | 0.1832  | 73.29                | 0.073  | 0.110   | 0.220   |
| NOVIEMBRE  |   | 5.40                 | 0.005  |   |   |

\* Coeficiente de pérdida por riego = 0.50

TABLA 4.15

CULTIVO : MAIZ

| M E S      | VOL DE DEMANDA PARA 100Ha (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | h <sub>pmB</sub> (mm) | VOLUMEN DE LLUVIA (EN 100Ha) APROX (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | VOL NETO DEMANDA PARA 100Ha (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | VOL BRUTO* PARA 100Ha (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) |
|------------|---|-----------------------|--|---|---|
| MAYO       | 0.1152  | 25.70                 | 0.026  | 0.089   | 0.178   |
| JUNIO      | 0.1257  | 161.33                | 0.161  | 0.000   | 0.000   |
| JULIO      | 0.1652  | 109.37                | 0.109  | 0.056   | 0.112   |
| AGOSTO     | 0.2034  | 115.14                | 0.115  | 0.088   | 0.177   |
| SEPTIEMBRE | 0.2033  | 109.59                | 0.110  | 0.093   | 0.187   |
| OCTUBRE    | 0.1832  | 73.29                 | 0.073  | 0.110   | 0.220   |
| NOVIEMBRE  | 0.1448  | 5.40                  | 0.005  | 0.140   | 0.280   |

\* Coeficiente de pérdida por riego = 0.50

TABLA 4.16

CULTIVO : SORGO

| M F S      | VOL DE DEMANDA PARA 100Ha ( $10^6 m^3$ ) | h <sub>mmB</sub> (mm) | VOLUMEN DE LLUVIA (EN 100Ha) APROX ( $10^6 m^3$ ) | VOL NETO DEMANDA PARA 100Ha ( $10^6 m^3$ ) | VOL BRUTO* PARA 100Ha ( $10^6 m^3$ ) |
|------------|--|-----------------------|---|--|--------------------------------------|
| MAYO       |  | 25.70                 | 0.026   |  |                                      |
| JUNIO      | 0.0867                                   | 161.33                | 0.161   | 0.000                                      | 0.000                                |
| JULIO      | 0.1445                                   | 109.37                | 0.109   | 0.036                                      | 0.072                                |
| AGOSTO     | 0.2034                                   | 115.14                | 0.115   | 0.088                                      | 0.176                                |
| SEPTIEMBRE | 0.1922                                   | 109.59                | 0.110   | 0.082                                      | 0.164                                |
| OCTUBRE    | 0.1521                                   | 73.29                 | 0.073   | 0.079                                      | 0.158                                |
| NOVIEMBRE  | 0.1042                                   | 5.40                  | 0.005   | 0.099                                      | 0.198                                |

\* Coeficiente de pérdida por riego = 0.50

TABLA 4.17

CULTIVO : SOYA

| M E S      | VOL DE DEMANDA PARA 100Ha (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | h <sub>req</sub> (mm) | VOLUMEN DE LLUVIA (EN 100Ha) APROX (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | VOL NETO DEMANDA PARA 100Ha (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | VOL BRUTO* PARA 100Ha (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) |
|------------|---|-----------------------|--|---|---|
| MAYO       | 0.0893  | 25.70                 | 0.026  | 0.063   | 0.1266  |
| JUNIO      | 0.1516  | 161.33                | 0.161  | 0.000   | 0.0000  |
| JULIO      | 0.2601  | 109.37                | 0.109  | 0.151   | 0.3020  |
| AGOSTO     | 0.3120  | 115.14                | 0.115  | 0.197   | 0.3940  |
| SEPTIEMBRE | 0.2572  | 109.59                | 0.110  | 0.147   | 0.2940  |
| OCTUBRE    | 0.1704  | 73.29                 | 0.073  | 0.097   | 0.1940  |
| NOVIEMBRE  |   | 5.40                  | 0.005  |   |   |

\* Coeficiente de pérdida por riego = 0.50

**TABLA 4.18**  
**ALTERNATIVAS DE SOLUCION .**

CULTIVO:           AJONJOLI          

| M E S      | 1ª ALTERNATIVA  |  |                             | 2ª ALTERNATIVA                        |                             |
|------------|---|--|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
|            | VOL BRUTO DEMANDA PARA 100Ha. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | VOL DISP. ENRAMADAS Y OTOTAL (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | SUPERFICIE BENEFICIADA (Ha) | VOL DISP. ENRAMADAS OTOTAL Y T. VERDE | SUPERFICIE BENEFICIADA (Ha) |
| MAYO       |   | 0.064  |                             | 0.278                                 |                             |
| JUNIO      | 0.000   | 0.300  | *                           | 1.817                                 | *                           |
| JULIO      | 0.154   | 0.294  | 190.91                      | 2.099                                 | 1362.98                     |
| AGOSTO     | 0.362   | 0.453  | 125.14                      | 3.286                                 | 907.74                      |
| SEPTIEMBRE | 0.360   | 0.703  | 195.28                      | 4.777                                 | 1326.94                     |
| OCTUBRE    | 0.220   | 0.758  | 344.55                      | 4.438                                 | 2017.27                     |
| NOVIEMBRE  |   | 0.234  |                             | 1.296                                 |                             |

\* No se necesita regar ya que el aporte de lluvia es mayor que la evapotranspiración

**TABLA 4.19**  
**ALTERNATIVAS DE SOLUCION .**

CULTIVO:           MAIZ          

| M E S      | 1ª ALTERNATIVA  |  |                             | 2ª ALTERNATIVA                        |                             |
|------------|---|--|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
|            | VOL BRUTO DEMANDA PARA 100Ha. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | VOL DISP. ENRAMADAS Y OTOTAL (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | SUPERFICIE BENEFICIADA (Ha) | VOL DISP. ENRAMADAS OTOTAL Y T. VERDE | SUPERFICIE BENEFICIADA (Ha) |
| MAYO       | 0.178   | 0.064  | 35.96                       | 0.278                                 | 156.18                      |
| JUNIO      | 0.000   | 0.300  | *                           | 1.817                                 | *                           |
| JULIO      | 0.112   | 0.294  | 262.50                      | 2.099                                 | 1874.11                     |
| AGOSTO     | 0.177   | 0.453  | 255.93                      | 3.286                                 | 1856.50                     |
| SEPTIEMBRE | 0.187   | 0.703  | 375.94                      | 4.777                                 | 2554.54                     |
| OCTUBRE    | 0.220   | 0.758  | 344.55                      | 4.438                                 | 2017.27                     |
| NOVIEMBRE  | 0.280   | 0.234  | 83.57                       | 1.296                                 | 462.85                      |

\* No se necesita regar ya que el aporte de lluvia es mayor que la evapotranspiración

**TABLA 4.20**  
**ALTERNATIVAS DE SOLUCION .**

CULTIVO :           SORGO          

| M E S      | VOL BRUTO DEMANDA PARA 100Ha. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | 1 <sup>a</sup> ALTERNATIVA                                     |                             | 2 <sup>a</sup> ALTERNATIVA            |                             |
|------------|---|--|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
|            |   | VOL DISP. ENRAMADAS Y OTOTAL (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | SUPERFICIE BENEFICIADA (Ha) | VOL DISP. ENRAMADAS OTOTAL Y T. VERDE | SUPERFICIE BENEFICIADA (Ha) |
| MAYO       |   | 0.064  |                             | 0.278                                 |                             |
| JUNIO      | 0.000   | 0.300  | *                           | 1.817                                 | *                           |
| JULIO      | 0.072   | 0.294  | 408.33                      | 2.099                                 | 2915.28                     |
| AGOSTO     | 0.176   | 0.453  | 257.39                      | 3.286                                 | 1867.05                     |
| SEPTIEMBRE | 0.164   | 0.703  | 428.66                      | 4.777                                 | 2912.81                     |
| OCTUBRE    | 0.158   | 0.758  | 479.75                      | 4.438                                 | 2808.86                     |
| NOVIEMBRE  | 0.198   | 0.234  | 118.18                      | 1.296                                 | 654.55                      |

\* No se necesita regar ya que el aporte de lluvia es mayor que la evapotranspiración



TABLA 4.21  
ALTERNATIVAS DE SOLUCION .

CULTIVO:           SOYA          

| M E S      | VOL BRUTO DEMANDA PARA 100Ha. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | 1ª ALTERNATIVA   |                             | 2ª ALTERNATIVA                        |                             |
|------------|---|--|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
|            |   | VOL DISP. ENRAMADAS Y OTATAL (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | SUPERFICIE BENEFICIADA (Ha) | VOL DISP. ENRAMADAS OTATAL Y T. VERDE | SUPERFICIE BENEFICIADA (Ha) |
| MAYO       | 0.126   | 0.064  | 50.79                       | 0.278                                 | 220.63                      |
| JUNIO      | 0.000   | 0.300  | *                           | 1.817                                 | *                           |
| JULIO      | 0.302   | 0.294  | 97.35                       | 2.099                                 | 695.03                      |
| AGOSTO     | 0.394   | 0.453  | 114.97                      | 3.286                                 | 834.01                      |
| SEPTIEMBRE | 0.294   | 0.703  | 239.11                      | 4.777                                 | 1624.83                     |
| OCTUBRE    | 0.194   | 0.758  | 390.72                      | 4.438                                 | 2287.63                     |
| NOVIEMBRE  |   | 0.234  |                             | 1.296                                 |                             |

\* No se necesita regar ya que el aporte de lluvia es mayor que la evapotranspiración

TABLA 4.22

PLAN DE CULTIVO PROPUESTO  
( VERANO - INVIERNO )

| CULTIVO  | M | J | J | A | S | O | N | % AREA CULTIVADA |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|------------------|
| AJONJOLI |   | ■ |   |   |   | ■ |   | 63.6             |
| SORGO    |   | ■ |   |   |   | ■ |   | 36.4             |

|   |                        |
|---|------------------------|
| ■ | PERIODO DE SIEMBRA     |
| □ | PERIODO DE CRECIMIENTO |
| ■ | PERIODO DE COSECHA     |

LEY DE DEMANDAS NETAS  
LAMINAS DE EVAPOTRANSPIRACION EN CM.

| CULTIVO  | A | M | J    | J     | A     | S     | O     | N     | D |
|----------|---|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| AJONJOLI |   |   | 8.45 | 18.58 | 29.62 | 29.02 | 18.32 |       |   |
| SORGO    |   |   | 8.67 | 14.45 | 20.34 | 19.22 | 15.21 | 10.42 |   |

**TABLA 4.23**

**VOLUMEN DE AGUA EN MILES DE M<sup>3</sup> PARA UNA SUPERFICIE DE 100 Ha.**

| CULTIVO  | J | JUL   | AGS    | SEP    | OCT   | NOV   | VOLUMEN TOTAL |
|----------|---|-------|--------|--------|-------|-------|---------------|
| Ajonjolí |   | 48.97 | 115.11 | 114.48 | 69.96 |       | 348.52        |
| Sorgo    |   | 13.10 | 32.03  | 29.85  | 28.76 | 36.04 | 139.78        |
| Totales  |   | 62.07 | 147.14 | 144.33 | 98.72 | 36.04 | 488.30        |

**DEMANDA DE AGUA PARA EL CULTIVO DE 100Ha.**

| M E S      | N F T A | B R U T A |
|------------|---------|-----------|
| JUNIO      |         |           |
| JULIO      | 62.07   | 124.14    |
| AGOSTO     | 147.14  | 294.28    |
| SEPTIEMBRE | 144.33  | 289.66    |
| OCTUBRE    | 98.72   | 197.44    |
| NOVIEMBRE  | 36.04   | 72.08     |

riego = 0.5

**TABLA 4.24**  
**ALTERNATIVAS DE SOLUCION .**

700 Ha de AJONJOLI  
400 Ha de SORGO

**CULTIVO :** \_\_\_\_\_

| M E S      | VOL BRUTO DEMANDA PARA 100Ha. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | 1ª ALTERNATIVA   |                             | 2ª ALTERNATIVA                        |                             |
|------------|---|--|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
|            |   | VOL DISP. ENRAMADAS Y OTOTAL (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | SUPERFICIE BENEFICIADA (Ha) | VOL DISP. ENRAMADAS OTOTAL Y T. VERDE | SUPERFICIE BENEFICIADA (Ha) |
| MAYO       |   |  |                             |                                       |                             |
| JUNIO      |   | 0.300  | *                           | 1.817                                 | *                           |
| JULIO      | 0.124   | 0.294  | 237.09                      | 2.099                                 | 1692.74                     |
| AGOSTO     | 0.295   | 0.453  | 153.56                      | 3.286                                 | 1113.90                     |
| SEPTIEMBRE | 0.290   | 0.703  | 242.41                      | 4.777                                 | 1647.24                     |
| OCTUBRE    | 0.197   | 0.758  | 384.77                      | 4.438                                 | 2252.79                     |
| NOVIEMBRE  | 0.072   | 0.234  | 334.29                      | 1.296                                 | 1800.00                     |

\* No se necesita regar ya que el aporte de lluvia es mayor que la evapotranspiración

TABLA 4.25

CARACTERISTICAS AGROLOGICAS DE LA ZONA  
DE PROYECTO.

| PROFUNDIDAD<br>( cm )   | 0.0 - 30 | 30 - 40 | 40 - 70 | 70 - 100 |
|---|----------|---------|---------|----------|
| DENSIDAD<br>APARENTE<br>$D_a$ ( gr/cm <sup>3</sup> )              | 1.40     | 1.35    | 1.36    | 1.40     |
| CAPACIDAD DE<br>CAMPO<br>$C_c$ ( % )                              | 27.90    | 28.30   | 32.00   | 28.60    |
| COEFICIENTE DE<br>MARCHITAMIENTO<br>PERMANENTE<br>$P_{m_p}$ ( % ) | 15.90    | 15.90   | 17.90   | 14.40    |
| AGUA APROVECHABLE<br>$A_a$ ( % )                                  | 12.00    | 12.40   | 15.30   | 14.20    |

TABLA 4.26

OBTENCION DE LAMINAS TEORICAS DE RIFGO SEGUN  
LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO Y EL CULTIVO

| CULTIVO  | $P_{ra}$ | $C_c$ | $P_{mp}$ | $A_a$ | $D_a$ | $P_r$       | Lam. Teori<br>ca riego<br>(cm) |
|----------|----------|-------|----------|-------|-------|-------------|--------------------------------|
| AJONJOLI | 0.25     | 27.9  | 15.9     | 12.0  | 1.40  | 0.25        | 4.200                          |
|          | 0.35     | 28.3  | 15.9     | 12.4  | 1.35  | 0.10        | 1.674                          |
|          | 0.55     | 32.9  | 17.6     | 15.3  | 1.36  | 0.20        | 4.162                          |
|          | 0.90     | 28.6  | 14.4     | 14.2  | 1.40  | 0.35        | 6.958                          |
|          |          |       |          |       |       | <u>0.90</u> | <u>18.994</u>                  |
| SORGO    | 0.25     | 27.9  | 15.9     | 12.0  | 1.40  | 0.25        | 4.200                          |
|          | 0.35     | 28.3  | 15.9     | 12.4  | 1.35  | 0.10        | 1.674                          |
|          | 0.55     | 32.9  | 17.6     | 15.3  | 1.36  | 0.20        | 4.162                          |
|          | 1.20     | 28.6  | 14.4     | 14.2  | 1.40  | 0.65        | 12.922                         |
|          |          |       |          |       |       | <u>1.20</u> | <u>22.958</u>                  |

$P_{ra}$  profundidad radicular  
acumulada.

TABLA 4.27

OBTENCION DE LAS LAMINAS DE RIEGO REALES DIARIOS  
EN CADA MES PARA CADA CULTIVO.

| Cultivo  |                 | JUN   | JUL   | AGS   | SEP   | OCT   | NOV   | DIC |
|----------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| AJONJOLI | F               | 8.45  | 18.58 | 29.62 | 29.02 | 18.32 |       |     |
|          | L <sub>ll</sub> | 16.13 | 10.94 | 11.51 | 10.96 | 7.33  |       |     |
|          | L <sub>n</sub>  | 0.00  | 7.64  | 18.11 | 18.06 | 10.00 |       |     |
|          | L <sub>B</sub>  | 0.00  | 15.28 | 36.22 | 36.12 | 21.98 |       |     |
|          | I <sub>n</sub>  | 0.00  | 1.11  | 0.47  | 0.47  | 0.77  |       |     |
|          | # <sub>r</sub>  | 0.00  | 27.03 | 63.83 | 63.83 | 38.96 |       |     |
|          | L <sub>r</sub>  | 0.00  | 0.57  | 0.57  | 0.57  | 0.57  |       |     |
|          | L <sub>A</sub>  | 0.00  | 0.52  | 0.64  | 0.64  | 0.74  |       |     |
|          | i               | 0.00  | 1.00  | 2.00  | 2.00  | 1.00  |       |     |
| SORGO    | F               | 8.67  | 14.45 | 20.34 | 19.22 | 15.21 | 10.42 |     |
|          | L <sub>ll</sub> | 16.13 | 10.94 | 11.51 | 10.96 | 7.33  | 00.54 |     |
|          | L <sub>n</sub>  | 0.00  | 3.51  | 8.93  | 8.26  | 7.88  | 9.88  |     |
|          | L <sub>B</sub>  | 0.00  | 7.02  | 17.66 | 16.52 | 15.76 | 19.76 |     |
|          | I <sub>n</sub>  | 0.00  | 3.27  | 1.30  | 1.39  | 1.46  | 1.16  |     |
|          | # <sub>r</sub>  | 0.00  | 9.17  | 23.07 | 21.58 | 20.55 | 25.86 |     |
|          | L <sub>r</sub>  | 0.00  | 0.77  | 0.77  | 0.77  | 0.77  | 0.77  |     |
|          | L <sub>A</sub>  | 0.00  | 0.53  | 0.59  | 0.55  | 0.52  | 0.66  |     |
|          | i               | 0.00  | 0.50  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  |     |

E lámina de evapotranspiración (uso consuntivo), en cm  
L<sub>ll</sub> lámina de lluvia h<sub>mp</sub>, en cm  
L<sub>n</sub> lámina neta de riego en cm  
L<sub>B</sub> lámina bruta de riego, en cm  
I<sub>n</sub> intervalo de riego  
#<sub>r</sub> número de riego al mes  
L<sub>r</sub> lámina real de riego, en cm  
L<sub>A</sub> lámina aplicada en i veces al día, en cm  
i veces al día

#### 4.3 Obtención de la avenida máxima

##### 4.3.1 Análisis de tormentas puntuales

Como dentro de la zona en estudio no se cuenta con pluviógrafo, que permita conocer la distribución de las tormentas en el tiempo, se analizó el pluviógrafo mas cercano que es el de Cuatro Caminos, Mich. localizado aproximadamente a 45 Km al SF de la cuenca en estudio.

La información del pluviógrafo de la estación climatólógica Cuatro Caminos, se procesó para cada tormenta característica para obtener su altura de lluvia y su duración. La información se ordenó en base a una serie de máximos anuales, para lo cual se agrupó las alturas de lluvia a través de duraciones representativas de intervalos de clasificación. Dichas alturas de lluvia se ordenaron de mayor a menor, para duraciones representativas de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 80, 100, y 120 min. Por otra parte, el período de retorno de cada una de ellas se valió como:

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (4.1)$$

de acuerdo a lo expuesto en el capítulo dos.

De la información anterior y teniendo en cuenta además la información pluviométrica disponible se dedujo a través de un análisis de correlación múltiple la ecuación:

$$hp = 4.5753 T^{0.1389} d^{0.3885} \quad (4.2)$$

siendo hp altura de lluvia, en mm  
d duración de lluvia, en min  
T período de retorno, en años.



La ecuación anterior permite obtener las características de una tormenta que con duraciones menores o iguales a 3 horas y que con una cierta frecuencia se puede presentar en la estación, Cuatro Caminos, Mich.

#### 4.3.2 Transposición de tormentas

Para poder transportar a las cuencas de los arroyos en estudio las características de una tormenta puntual deducida de acuerdo con la ecuación 4.2 se requiere del conocimiento de la distribución de tormentas en relación con su área. Para ello se procedió a la elaboración de un plano de isoyetas de altura de lluvia máxima anual con duración de 24 horas y periodo de retorno de 10 años.

Para lo anterior se analizaron las alturas de lluvia máximas anuales con una duración de 24 horas que se han registrado en las estaciones climatológicas del área en estudio, -- así como en la estación Cuatro Caminos.

En este caso la información de cada estación se ordenó en series de máximos anuales, con lo cual para valuar el periodo de retorno se aplicó la ec. 4.1

Las ecuaciones planteadas para relacionar en cada estación las alturas de lluvias máximas anuales para duración de 24 horas con sus periodos de retorno fueron del tipo:

$$h_p = a + b \log T$$

donde  $h_p$  altura de lluvia con duración de 24 hrs en mm  
 $T$  periodo de retorno, en años  
 $a, b$  parámetros de ajuste

Para deducir los parámetros  $a, b$  la información de cada estación climatológica se procesó por mínimos cuadrados (ref. cap. 2).

En la tabla 4.28 se muestran dichos parámetros, así - como los coeficientes de correlación.

#### 4.3.3 Modelo de tormenta

Con esta información se elaboró el plano de isoyetas correspondiente, cuantificando para cada estación analizada su altura de precipitación media con duración de 24 horas y periodo de retorno de 10 años (fig 4.5). Con ello se deduce para la cuenca en estudio su precipitación media  $h_{pm} = 104.00$  mm, y - para la estación Cuatro Caminos una  $h_{pm}$  de 100.49 mm .

Así, el factor de transporte para utilizar la ec. 4.1 en la zona de estudio se valuó como:

$$104.00/100.49 = 1.0349$$

con lo cual la ec. 4.1 se transforma a :

$$h_p = 4.7350 T^{0.1389} d^{0.3885} \quad (4.3)$$

#### 4.3.4 Duración de la tormenta de diseño

Si se acepta que el gasto máximo se presenta cuando la duración de la tormenta es igual al tiempo de concentración, la duración se puede valorar como:

$$d = 0.01 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64} \quad (4.4)$$

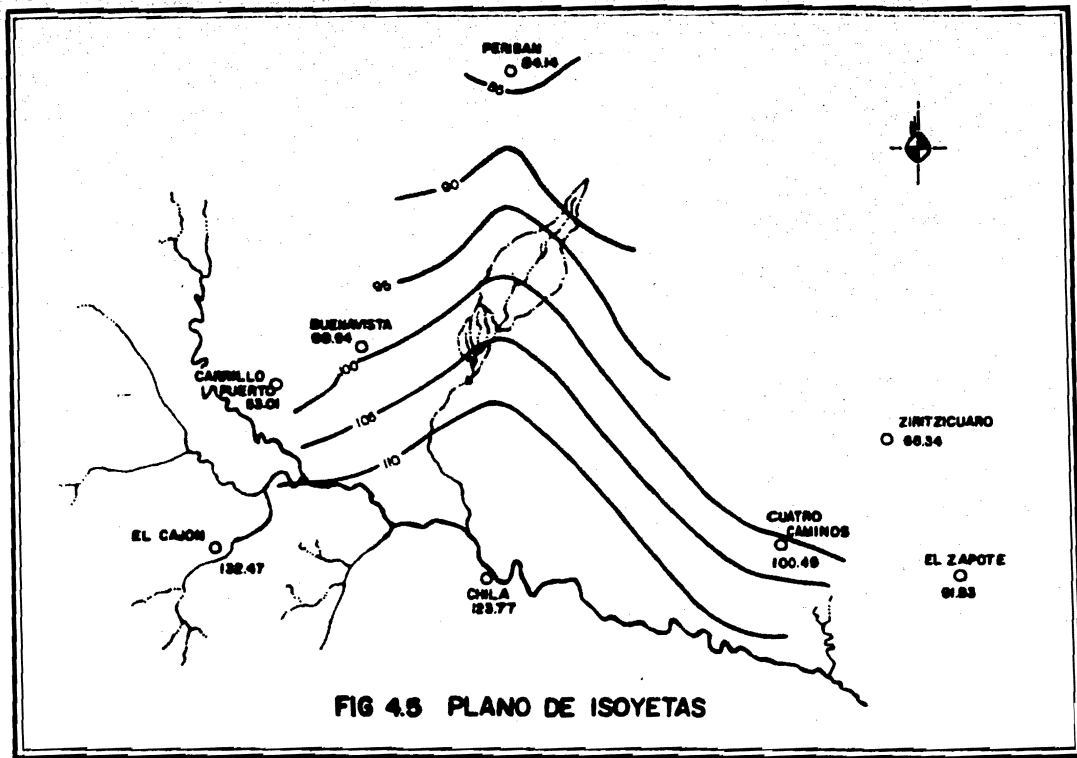
donde L longitud del cauce principal, en m  
S pendiente de la cuenca, en %  
d duración de la tormenta, en hrs.

con lo cual se deduce para el arroyo El Otatal una  $d = 1.06$  hrs

TABLA 4.2a

ANALISIS DE LOS PLUVIOMETROS DE LA ZONA EN ESTUDIO.

| ESTACION<br>CLIMATOLOGICA | PARAMETROS |         | r    | hp (mm)<br>T = 10 años |
|---------------------------|------------|---------|------|------------------------|
|                           | a          | b       |      |                        |
| BUENAVISTA                | 28.3459    | 70.5962 | 0.99 | 98.94                  |
| EL CAJON                  | 48.9963    | 83.4784 | 0.99 | 132.47                 |
| CARRILLO PUERTO           | 31.1339    | 21.8763 | 0.98 | 53.01                  |
| CUATRO CAMINOS            | 32.7700    | 67.7189 | 0.84 | 100.49                 |
| CHILA                     | 58.7464    | 65.0207 | 0.95 | 123.77                 |
| PERIBAN                   | 18.3968    | 65.7577 | 0.92 | 84.14                  |
| EL ZAPOTE                 | 34.3291    | 57.1998 | 0.98 | 91.53                  |
| ZIRITZICUARO              | 37.4603    | 28.8831 | 0.89 | 66.34                  |



**FIG 4.5 PLANO DE ISOYETAS**

6 sea 63.4 min y para el arroyo Las Enramadas  $d = 1.28$  hrs 6. 76.8 min.

#### 4.3.5 Tormenta de diseño

Apoyandose en la ecuación 4.3, con la duración de la tormenta obtenida y un periodo de retorno de 25 años, se cuantifica la distribución de la tormenta obtenida en el inciso anterior y se divide en 4 intervalos de tiempo, siendo el valor del intervalo para el Otatal de 15.9 min y para el arroyo Las-Enramadas de 19.2 min, redondeando los intervalos a 16 min y a 20 min respectivamente. Aplicando la ec 4.3 según la tabla 2.1 se tiene:

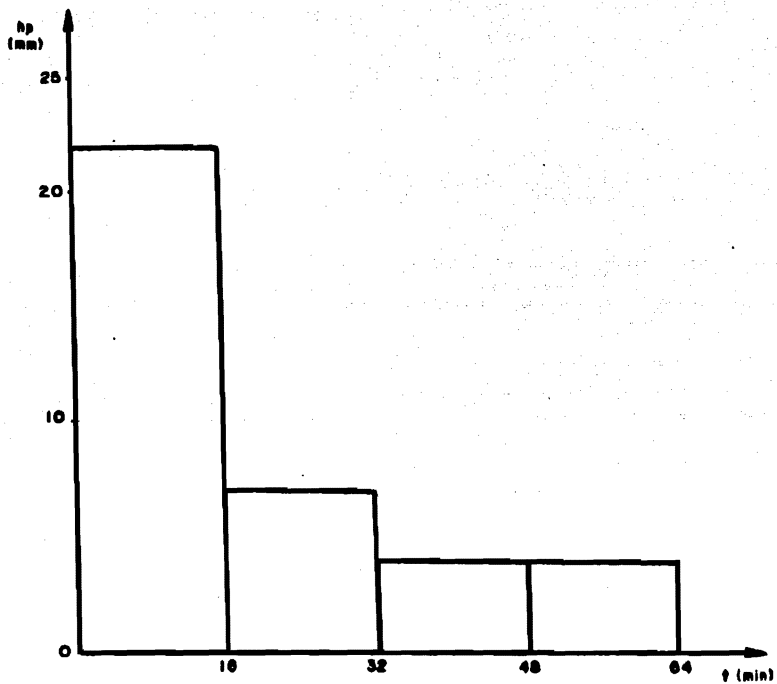
#### CUENCA DEL ARROYO EL OTATAL

| Intervalo | d (min) | hp (mm) | Incremento de altura de lluvia Mayor a Menor (mm) | Hietograma |
|-----------|---------|---------|---|------------|
| 1         | 16      | 22      | 22  | 22         |
| 2         | 32      | 29      | 7   | 7          |
| 3         | 48      | 33      | 4   | 4          |
| 4         | 64      | 37      | 4   | 4          |

#### CUENCA DEL ARROYO LAS ENRAMADAS .

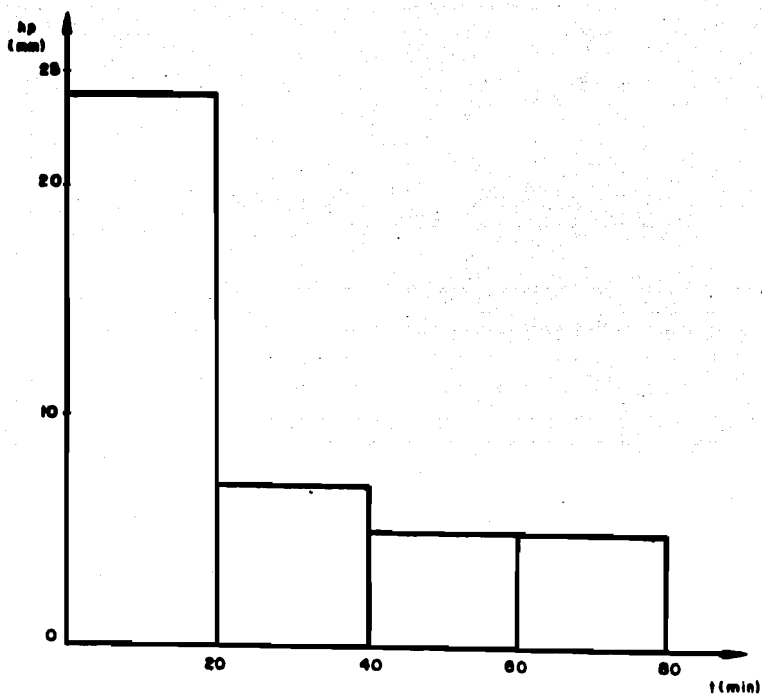
| Intervalo | d (min) | hp (mm) | Incremento de altura de lluvia Mayor a Menor (mm) | Hietograma |
|-----------|---------|---------|---|------------|
| 1         | 20      | 24      | 24  | 24         |
| 2         | 40      | 31      | 7   | 7          |
| 3         | 60      | 36      | 5   | 5          |
| 4         | 80      | 41      | 5   | 5          |

Los hietogramas de las tormentas de diseño obtenidas, se muestran en las figs 4.6 y 4.7 .



HISTOGRAMA DE LA TORMENTA DE DISEÑO  
ARROYO EL OTATAL

FIG 4.6



HIETOGRAMA DE LA TORMENTA DE DISEÑO  
ARROYO LAS PNRAMADAS

FIG 4.7

#### 4.3.6 Lluvia en exceso

Para deducir la parte de la lluvia que contribuye al escurrimiento superficial se utilizó el criterio propuesto por Chow el cual involucra

$$h_e = \frac{(h_{pb} - \frac{508}{N} + 5.08)^2}{h_{pb} + \frac{2032}{N} - 20.32} \quad (2.18)$$

donde  $h_e$  exceso de lluvia, la cual contribuye al escurrimiento superficial, en cm  
 $h_{pb}$  lluvia media en la cuenca producida por las tormentas, en cm  
 $N$  número de escurrimiento, función del uso del suelo y de las características de éste. Tabla 2.2

Si se acepta para las cuencas un suelo tipo C (suelos poco profundos) y los siguientes cultivos se tiene que:

| Cultivo                | Porcentaje |   | N parcial |   |       |
|------------------------|------------|---|-----------|---|-------|
| Bosque Natural Ralo    | 10         | X | 86        | = | 8.60  |
| Descanso               | 20         | X | 91        | = | 18.20 |
| Superficie Impermeable | 20         | X | 100       | = | 20.00 |
| Pastizal Pobre         | 50         | Y | 86        | = | 43.00 |
|                        |            |   |           | N | 89.80 |

De acuerdo con las duraciones de tormentas antes indicadas y si se acepta un período de retorno de diseño de 25 años se deduce de la ec. 4.2 para el arroyo El Otatal:



$$h_{pb} = 4.7350 (25)^{0.1389} (63.39)^{0.3885}$$

$$h_{pb} = 37.12 \text{ mm} = 3.712 \text{ cm}$$

con lo cual

$$h_e = \frac{(3.712 - \frac{508}{89.80} + 5.08)^2}{(3.712 + \frac{2032}{89.80} - 20.32)}$$

$$h_e = 1.63 \text{ cm}$$

Analogamente para el arroyo Las Enramadas.

$$h_{pb} = 4.7350 (25)^{0.1389} (76.80)^{0.3885}$$

$$h_{pb} = 39.99 \text{ mm} = 3.999 \text{ cm}$$

con lo cual

$$h_e = \frac{(3.999 - \frac{508}{89.80} + 5.08)^2}{3.999 + \frac{2032}{89.80} - 20.32}$$

$$h_e = 1.86 \text{ cm}$$

#### 4.3.7 Índice de Infiltración

De los hietogramas de las figs 4.6 y 4.7, para el caso del Otatal si se acepta que  $\phi = 23.8 \text{ mm/hr}$ , se obtiene, para un  $\Delta t = 16 \text{ min}$  que  $\phi \Delta t = 6.35 \text{ mm}$  y de la ec. 2.19 se encuentra que

$$h_e = (22-6.35) + (7-6.35) + (4-6.35) + (4-6.35)$$

$$h_e = ( 15.65 ) + ( 0.65 ) + ( 0 ) + ( 0 )$$

$$h_e = 16.3 \text{ mm}$$

Dado que, el valor supuesto de  $\phi = 23.8 \text{ mm/hr}$  satisface la ec 2.19, dicho valor es el índice de infiltración de la tormenta analizada para la cuenca de El Otatal.

De la misma forma, para el arroyo Las Enramadas, aceptando que  $\phi = 18.6 \text{ mm/hr}$  se obtiene, para un  $\Delta_t = 20 \text{ min}$  que  $\phi \Delta_t = 6.2 \text{ mm}$  y entonces de la ec 2.19 se encuentra que:

$$h_e = (24-6.2) + (7-6.2) + (5-6.2) + (5-6.2)$$

$$h_e = ( 17.8 ) + ( 0.8 ) + ( 0 ) + ( 0 )$$

$$h_e = 18.6 \text{ mm}$$

Siendo el valor de  $\phi = 18.6 \text{ mm/hr}$ , que se supuso y satisface la ec 2.19, dicho valor es el índice de infiltración de la tormenta analizada para la cuenca del arroyo Las Enramadas.

#### 4.3.8 Cálculo de las Avenidas

Si se aceptan hidrogramas triangulares se deduce que

$$Q = \frac{2h_e A}{T_b}$$

donde Q gasto máximo  
 A área de la cuenca  
 $h_e$  lluvia en exceso  
 $T_b$  tiempo base del hidrograma

El tiempo base del hidrograma  $T_b$  se puede expresar --

como una función del tiempo de pico  $t_p$  de la forma:

$$T_b = (1+H)t_p$$

en donde H tiene un valor medio para cuencas pequeñas de 1.67.

De acuerdo con esto, el gasto máximo se puede valorar como

$$Q = \frac{2h_e A}{2.67t_p} = \frac{0.75 h_e A}{t_p} \quad (4.5)$$

Si se acepta que la condición más desfavorable involucra el tiempo de concentración igual al tiempo de pico, y como el primer tiempo mencionado se usó como duración de la tormenta, la ecuación 4.5 se transforma teniendo en cuenta las unidades en

$$Q = 2.085 \frac{h_e A}{d}$$

donde A    área de la cuenca, en  $\text{Km}^2$   
h<sub>e</sub>    lluvia en exceso, en cm  
d    duración de la tormenta, en hrs  
Q    gasto máximo, en  $\text{m}^3/\text{seg}$

En la tabla 4.29 se dan los valores característicos de los hidrogramas resultantes para los diferentes valores del hietograma de la tormenta analizada para cada cuenca en estudio.

La avenida de diseño correspondiente se muestran en las figs 4.8 y 4.9 .

En estas figuras se observa que en la cuenca del arroyo el Otatal el gasto máximo de diseño debido al escurrimiento directo es de  $35.7\text{m}^3/\text{seg}$ , el tiempo de pico del hidrograma es de 1.06 hr y el tiempo de base de 3.9 hr. Así mismo para la cuenca del arroyo las Enramadas el gasto máximo de diseño es de  $26.8\text{m}^3/\text{seg}$  el tiempo de pico de 1.28 hr y el tiempo de base de 4.7 hr.

TABLA 4.29

| ARROYO EL OTATAL          |                     | A = 11.6 Km <sup>2</sup> d = 1.06hr  |                      |
|---------------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------|
| HIETOGRAMA                |                     | HIDROGRAMA                           |                      |
| Intervalo de tiempo (hrs) | h <sub>e</sub> (cm) | Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /seg) | T <sub>b</sub> (hrs) |
| 0.26                      | 1.565               | 35.710                               | 2.83                 |
| 0.26                      | 0.065               | 1.483                                | 2.83                 |
| ARROYO LAS ENRAMADAS      |                     | A = 9.1 Km <sup>2</sup> d = 1.28hr   |                      |
| HIETOGRAMA                |                     | HIDROGRAMA                           |                      |
| Intervalo de tiempo (hrs) | h <sub>e</sub> (cm) | Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /seg) | T <sub>b</sub> (hrs) |
| 0.32                      | 1.780               | 26.835                               | 3.42                 |
| 0.32                      | 0.080               | 1.186                                | 3.42                 |

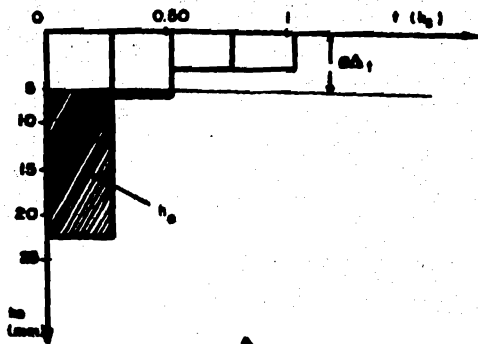
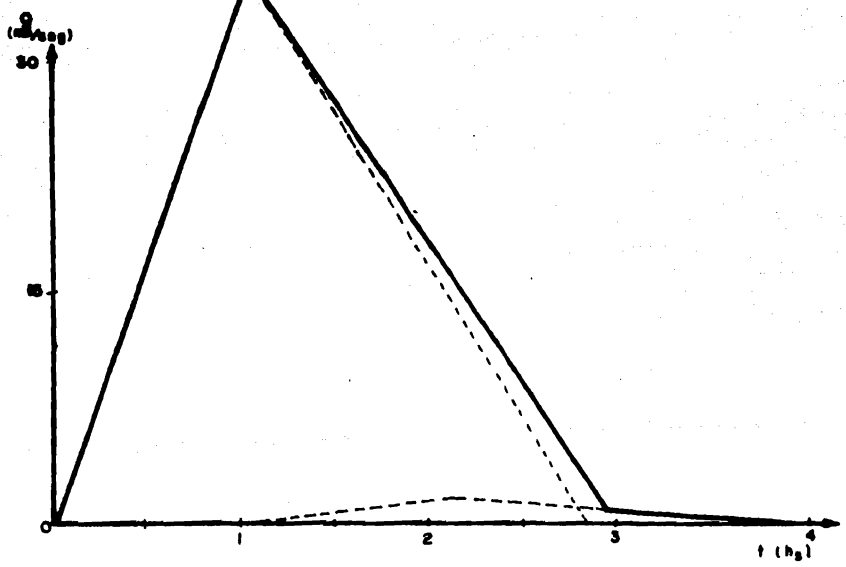


FIG 4.8  
 AVENIDA DE DISEÑO  
 ARROYO EL OTATAL.



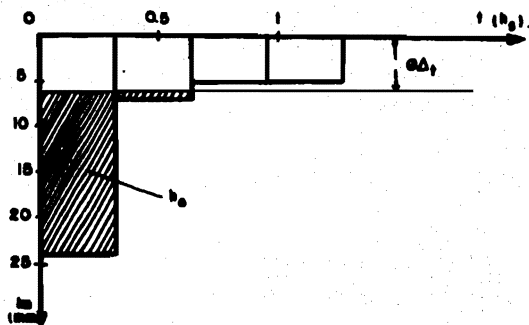
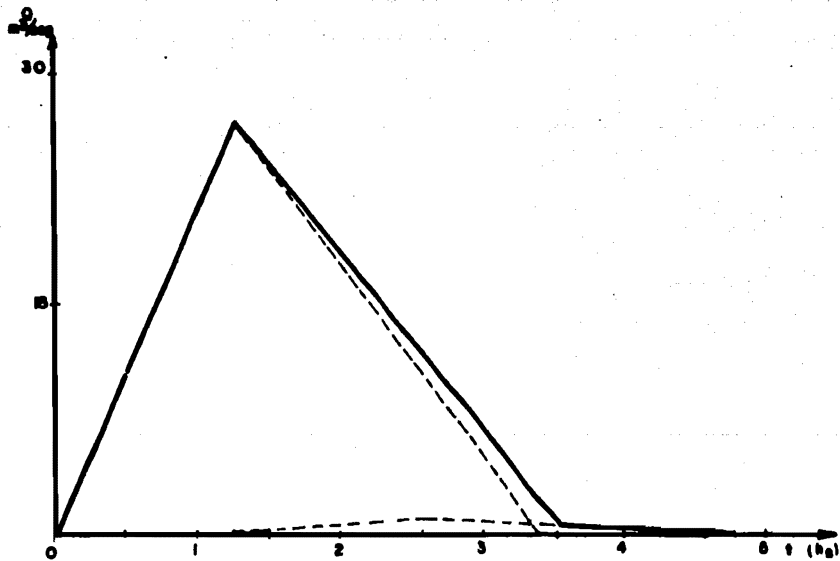


FIG 4.9  
 AVENIDA DE DISEÑO  
 ARROYO LAS ENRAMADAS.



## 5 CONCLUSIONES

La aplicación de los riegos en forma adecuada, en tiempo y volúmen, dan como resultado, que las plantas alcancen un grado óptimo de desarrollo, rindiendo buenas cosechas.

El hecho se explica, porque la raíz del vegetal se conserva siempre en un estado de humedad favorable, contrariamente a lo que ocurre cuando por exceso de agua sobreviene la asfixia de las plantas, a excepción del cultivo de arroz, cuyo riego es necesario darlo por inundación.

Los beneficios logrados mediante un buen control de los riegos se traducen en una economía de agua y tiempo ya que el lapso que transcurre entre un riego y otro es mayor y el volúmen de riego es menor generalmente, que los que se aplican sin base en un estudio.

La inversión que se hace al efectuar un análisis de

tipo hidrológico y agrológico de la zona de cultivo, reditúa grandes beneficios, ya que proponen los cultivos más idóneos en la zona, dando como resultado un aumento de los rendimientos de las cosechas, evitando los tipos de erosión laminar y vertical incluyendo el ensalitramiento del área regada.

Con esto, se logra un tercer beneficio, no menos importante que es el de poder incrementar las áreas de riego por la economía de agua que se tiene al disminuir los volúmenes aplicados en algunos terrenos, como es el caso que se puede apreciar en el ejemplo de aplicación de esta tesis, ya que después de efectuar varias combinaciones de cultivos se llega a la conclusión que el cultivo de 700 Ha de ajonjolí y 400 Ha de sorgo cubre las 1100 Ha y sobra aún, agua para poder cultivar otras 14 Ha que en caso de utilizarse, aumentarían la economía de la región.

Por otra parte, el cálculo cuantitativo del agua disponible así como el estudio de las leyes de Demanda de los cultivos se efectuó considerando que los suelos de las 1100 Ha eran adecuadas; sin embargo el estudio agrológico detallado, llevado a cabo posteriormente por la Comisión del Río Balsas, muestra restricciones en el aprovechamiento del suelo para cultivos ya que parte de la superficie son suelos de quinta y sexta clase, los cuales no son propicios para el desarrollo de los cultivos.

Los suelos identificados son en general de mala calidad para la explotación agrícola bajo riego, factores como la topografía, pedregosidad, texturas y profundidad del suelo demeritan un 70% de la superficie total, el resto corresponde a suelos con deficiencias en cuanto a texturas, pedregosidad, compacidad y relieve principalmente, sin embargo con un manejo adecuado pueden utilizarse en cultivos bajo riego.



Los suelos de segunda y tercera clase suman 308 Ha-  
y podrán ponerse bajo riego, los suelos de cuarta clase que  
corresponde a un 16% pueden usarse como terrenos de pastoreo.

Debido a esto, es obvio que agua hay en cantidad su-  
ficiente para cultivar diferentes especies de plantas y además  
incluir árboles frutales (cultivos perenes) que a la larga da-  
rán buenas utilidades.

Aún cuando tal vez las estructuras hidráulicas no  
resulten de tamaño muy grande, no se deberá despreciar el aná-  
lisis hidrológico encaminado a la determinación de la avenida  
máxima para el correcto diseño de estas estructuras, de lo --  
contrario podrían perderse todos los beneficios que aportara  
la planificación de los cultivos dentro del distrito de riego  
dañándose fuertemente la economía de los habitantes del lugar.

Actualmente la construcción de las presas de deriva-  
ción 1 y 2 está en marcha y las obras de conducción continúan  
por buen camino dado que la inversión tiene como base el pre-  
sente estudio.

Finalmente, y como conclusión principal, se deduce,  
que el 30 % de la superficie será dedicada a labores agríco-  
las, el 16% deberá usarse para pastoreo de ganado bobino y el  
54% restante no deberá utilizarse para fines agrícolas o gana-  
deros.

## B I B L I O G R A F I A

1. LINSLEY Kohler y Paulhus, Hidrología para Ingenieros, Mc. Graw-Hill Book Company, Ediciones Castilla S.A. Madrid, España 1967.
2. SPRINGALL G. Rolando, Análisis Estadístico y Probabilístico de Datos Hidrológicos, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. México, D.F. 1975.
3. SPRINGALL G. Rolando, HIDROLOGIA Primera parte, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. México, D.F. 1970.
4. SPRINGALL G. Rolando, Drenaje en Cuencas Pequeñas, Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. México, D.F. 1969.
5. MILLER Irwin y Freund John, Probabilidad y Estadística para Ingenieros, Editorial Reverté Mexicana S.A. México, D.F. 1973 (Prentice Hall, Inc. New Jersey)
6. UNITED STATES Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Design of Small Dams, A Water Resources Technical Publication, Washington D.C. 1974.
7. SPRINGALL G. Rolando, Estudio hidrológico de la Cuenca del Río Cerro Gordo, Oro. Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. México, D.F.
8. SECRETARIA de Agricultura y Ganadería, Conservación del Suelo y del Agua, Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, México, D.F. 1975.
9. S.A.R.H., Boletín Informativo, volumen IX Nums. 1 y 12 México, D.F. 1969.
10. FERNANDEZ Peña Damaso F. Tesis: Determinación del Uso consuntivo en Zonas de Riego, México, D.F. 1976.
11. SANCHEZ Reyes David J. Tesis: Criterio para Generar y Predecir escurrimientos en las Diversas Corrientes que Componen la Cuenca del Río Tuxpan, Ver. México, D.F. 1975.

12. CASTILLA P. D. Determinación práctica del uso consuntivo. Rev. Ingeniería Hidráulica de México, Vol. No. 4 México, D.F. 1965
13. SARH, Boletín Hidrológico No. 49. Región Hidrológica - No. 18 (parcial) Cuenca del Medio y Bajo Balsas. México D.F.
14. ISPAFLSEN y Hanzen, Principios y aplicaciones del Fiego Editorial Reverté, Barcelona, España, 1965.
15. SARH, Recomendaciones para el Diseño y Revisión de Estructuras para el Control de Avenidas, Comisión del Plan Nacional Hidráulico, México D.F. 1978.