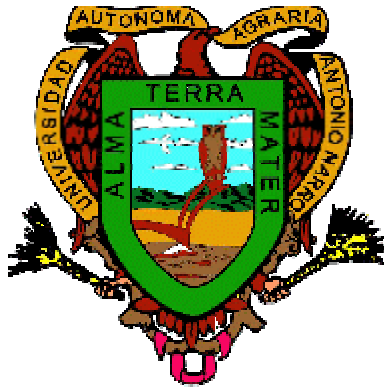


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



**DRENAJE SUPERFICIAL EN TIERRAS AGRÍCOLAS**

**Por:**

**OBDULIO MARCOS RODRÍGUEZ ESCOBAR**

*MONOGRAFÍA*

Presentada como requisito parcial para obtener el título  
de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Noviembre del 2004**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**División de Ingeniería**

**Departamento de Riego y Drenaje**

**DRENAJE SUPERFICIAL EN TIERRAS AGRÍCOLAS**

**POR:**

**Obdulio Marcos Rodríguez Escobar**

**MONOGRAFÍA**

**Que somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Irrigación.**

**APROBADA**

**EL PRESIDENTE DEL JURADO**

**Dr. JUAN FRANCISCO PISSANI ZUÑIGA**

**Dr. JAVIER DE J. CORTES BRACHO**

**Sinodal**

**M.C. LUIS SAMANIEGO MORENO**

**Sinodal**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN**

---

**M.C. LUIS EDMUNDO RAMÍREZ RAMOS**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila; México a Noviembre del 2004.**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS**

Te agradezco tanto padre por ayudarme a salir adelante, por apoyarme en aquellas ocasiones que me sentía derrotado y cuando me sentía solo, por que nunca me dejaste solo a mí y a mi familia en las buenas y en las malas te agradezco padre y cuida a mi familia y hazlos comprender y que siempre haya armonía entre nosotros.

Gracias por darme unos padres y hermanos tan maravillosos y de todo corazón te pido que los bendigas Dios. Gracias.

### **A mi “alma mater”**

Por darme la oportunidad de ser alguien en la vida, de seguir preparándome y por abrir sus puertas para superarme como profesionista.

### **Al Doctor Juan Francisco Pissani Zúñiga**

Por la paciencia, esfuerzo y el tiempo invertido en la revisión de esta monografía y por haberme apoyado y comprendido en el transcurso del tiempo, desde que fue mi maestro hasta asesor de mi trabajo final gracias doctor. Y le deseo con todo el corazón que Dios lo mantenga con salud y con esas ganas inmensas que siempre usted refleja al ayudar a sus alumnos.

Al M.C. Luís Samaniego Moreno y al Dr. Javier de J. Cortes Bracho por su ayuda incondicional en la en la terminación de este trabajo ya que sin su ayuda no podría haber concluido satisfactoriamente.

## DEDICATORIA

### A mis Padres

**Obdulio Rodríguez Velásquez y Victaliana Escobar Herrera** por darme la oportunidad de vivir en este mundo y por darme la mejor herencia, la herencia que cualquier hijo desea de sus padres, por apoyarme económica y moralmente. " **Madre** te amo con toda mi alma te entrego todo lo que soy por dejarme ver la luz de nuevo y no dejarme morir, perdóname por hacer que descuidaras a mis hermanos en aquellos momentos tan difíciles para los dos porque se que me amas tanto, nunca madre, nunca te olvidare y no seré egoísta con tigo, este donde este tu estarás siempre con migo te amo y tu ocupas el primer lugar en mi corazón, para ti con todo el amor que un hijo puede dar. **Victaliana Escobar Herrera**, que Dios te de siempre salud y sigas siendo la misma persona generosa, amable y dedicada en todas tus cosas que hagas “.

### A MIS HERMANOS

**Irene, Elsira, Rosi, Magali, Francisco, Eugenia** por su apoyo en el transcurso de mi carrera, los quiero a todos y que Dios los ilumine siempre para que cumplan sus metas no importando lo difíciles que estas sean, a ti hermana por que fuiste y seguirás siendo especial para mi, te dije desde muy pequeño que quería algo en la vida y tu me comprendías siempre gracias por apoyarme y dejar ser lo que ahora soy te amo **Elsira**.

### A MIS SOBRINOS

**Adriana, Maria Guadalupe y Gerardo** por sentir la necesidad de volver a casa cuando cada uno de ustedes nació.

## **A MI ABUELO**

**MARIO RODRÍGUEZ ROBRERO** por ser la raíz principal de la familia **Rodríguez** por confiar en mí cuando apenas comenzaba mi carrera, por enseñarme el significado de lo que es el suelo donde un día viví y que ahora como Ingeniero Agrónomo en Irrigación valoro tanto.

Dedico también este trabajo y principalmente mi título con gran honor al lugar donde un día me acobijo con su calor al:

"Rancho el Triangulo"

Municipio de Chicomuselo Chiapas.

## **A MI NOVIA**

Maria Guadalupe Martínez Sánchez, que siempre me insistías en terminar lo que un día había comenzado, darme ánimos y comprenderme en aquellos malos ratos y compartir conmigo aquellos momentos tristes que gracias a ti siempre supere, te amo.

## **A MIS AMIGOS**

Principalmente a Joel Hipólito Ozuna Ruiz y Neider Gonzales Roblero por acompañarme siempre, al darnos ánimos unos con otros y por la familia que siempre nos consideramos al estar solos sin nuestros parientes.

INDICE DE TEMAS .....	I
INDICE DE FIGURAS .....	IV
INDICE DE CUADROS .....	VI

## INDICE

1 INTRODUCCION .....	1
1.1 El drenaje superficial .....	2
1.2 El drenaje superficial en zonas húmedas y subhúmedas .....	3
1.3 Perspectivas del drenaje superficial .....	4
2 FACTORES QUE ORIGINAN UN DRENAJE DEFICIENTE .....	5
2.1 Precipitación .....	5
2.2 Inundaciones .....	6
2.3 Suelos y topografía .....	6
3 CONSECUENCIAS DEL PROBLEMA .....	7
3.1 Daños a los cultivos .....	7
3.2 Mecanización .....	10
3.3 Problemas sanitarios .....	10

3.3.1 Problemas fitosanitarios .....	10
3.3.2 Sanidad animal .....	11
3.3.3 Sanidad humana.....	11
3.4 Daños a las infraestructuras.....	12
3.5 Otros daños.....	12
4 ESTUDIO Y DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA .....	13
4.1 Clase de estudio .....	15
4.2 Información existente .....	16
4.2.1 Fotografías aéreas.....	16
4.2.2 Mapas.....	16
4.2.3 Estudios.....	17
4.2.4 Informes .....	17
4.3 Reconocimiento de campo .....	18
4.4 Información básica para el estudio del problema de drenaje .....	20
4.4.1 Suelos.....	20
4.4.2 Hidrología .....	21
4.4.3 Topografía y fotografías aéreas .....	21
4.4.4 Agroeconomía .....	21
4.5 Diagnostico del problema y soluciones posibles .....	23
4.5.1 Fuentes de exceso de agua .....	23
4.5.2 Mapas de zonas mal drenadas.....	24
4.5.3 Mapas de cotas de inundación .....	24
5 PRINCIPIOS DE DRENAJE SUPERFICIAL.....	26
5.1 Relación precipitación-escorrentía .....	26
5.2 Precipitación de diseño .....	28
5.3 Infiltración .....	28
5.4 Coeficiente de drenaje y ecuación de diseño .....	32
5.5 Método para calcular la escorrentía total .....	34
5.6 Método del balance hídrico .....	35
5.7 Método del servicio de suelos de Estados Unidos (SCS).....	36
5.8 Clasificación hidrológica de los suelos .....	42
5.9 Ejemplo del cálculo de la escorrentía y el coeficiente de drenaje ..	45

6 MÉTODO DE DRENAJE SUPERFICIAL .....	47
6.1 El control de las inundaciones .....	48
6.2 El control de las aguas de escorrentías y de áreas adyacentes.....	48
6.3 El drenaje superficial local.....	48
6.4 Métodos de conformación del terreno .....	49
6.4.1 Conformación ( land grading) .....	51
6.4.2 Emparejamiento (land smoothing).....	52
6.4.3 Camellones anchos o bancales .....	52
6.4.4 Camellones angostos .....	55
7 DISEÑO DE LA RED COLECTORA.....	59
7.1 Cálculo del coeficiente de drenaje o ecuación de diseño .....	59
7.2 Trazado de la red de drenaje .....	65
7.3 Dimensionamiento de la red .....	66
7.3.1 Cálculo de la capacidad de los canales colectores .....	66
7.3.1.1 Cálculo de la capacidad de los colectores en las Intersecciones, regla de 20-40.....	66
7.3.1.2 Computo de áreas equivalentes .....	69
7.4 Diseño definitivo .....	74
7.5 Algunas consideraciones sobre el diseño de canales abiertos .....	75
7.6 Caudales máximos de diseño .....	76
7.7 Estimación de costos .....	76
8 CONSIDERACIONES ECÓNOMICAS .....	88
CONCLUSIÓN .....	89
BIBLIOGRAFÍA .....	90



## FIGURAS

3.1 Supervivencia de 4 pastos después de haber sido sumergidos temperaturas de 10, 20 y 30 °C, por un tiempo de hasta 60 días .....	14
4.1 Esquema del ciclo hidrológico en un perfil de Sabana Caimán .....	25
5.1 Sistema hidrológico del drenaje superficial .....	27
5.2 Representación gráfica de la ecuación $C = 1573 + 162E$ para utilizar en la ecuación $Q = CHa^{5-2}$ .....	37
5.3 Representación esquemática de las variables de la ecuación 5.9 .....	37
5.4 Gráfico para el cálculo de la escorrentía .....	42
6.1 Factores topográficos modificables mediante obras de	

conformación del terreno .....	50
6.2 Conformación ( land grading) para aumentar la pendiente del terreno .....	53
6.3 Conformación .....	53
6.4 Emparejamiento (land smooting) con drenes al azar .....	54
6.5 Camellones anchos .....	54
6.6 Secuencia a seguir para la construcción de un camellón ancho ....	56
6.7 Algunos detalles bancal .....	57
6.8 Sistema de siembra en camellón más zanjillos .....	58
7.1 Lluvias para un periodo de retorno de 5 años, de duración de 5 horas .....	60
7.2 Lluvias para un periodo de retorno de 10 años duración de 12 horas.....	61
7.3 Precipitaciones máxima para 1,2,3,4 y 5 días .....	64
7.4 Curvas de profundidad – duración – frecuencia .....	65
7.5 Curvas de esorrentía para diseño de drenaje superficial .....	72
7.6 Demostración gráfica de la regla 20 – 40 .....	73
7.7 Estimación del tiempo de retardo por el método de número de curva .....	77
7.8 Costos de drenes superficiales .....	78

7.9 Esquema de una red de drenaje .....	86
---	----

## CUADROS

3.1 Tolerancia de la inundación de los diferentes pastos .....	8
5.1 Capacidades hidrológicas de las clases texturales .....	30
5.2 Clasificación hidrológica (potencial de esorrentía) .....	40
5.3 Valores de CN para diferentes prácticas agrícolas y condiciones hidrológicas .....	45

7.1 Selección de lluvia máximas ocurridas para 1,2,3,4 y 5 días de lluvias consecutivas durante el ciclo de maíz, estación agua Blanca .....	62
7.2 Costos por hectárea para operaciones de sistematización de tierras en proyectos de investigación en Virginia .....	79
7.3 Cálculo del volumen de escorrentía del coeficiente de drenaje para drenaje superficial .....	81
7.4 Resumen de cálculos efectuados .....	83
7.5 cálculo de la regla 20 – 40 para ejemplo en el punto $Q_8$ del colector L – 1 .....	85
7.6 Cálculos hidráulicos .....	87

APENDICE .....	92
----------------	----

Figura A-1 Monograma para solución de la formula de Manning .....	93
---	----

Figura A-2 secciones más comunes y sus características .....	94
Figura A-3 Elementos hidráulicos de un canal trapecial con Taludes 3 : 1 .....	95
Figura A -4 Elementos hidráulicos de un canal trapecial con Taludes 4 : 1 .....	95
Figura A-5 Elementos hidráulicos de un canal trapecial con Taludes 5 : 1 .....	96
Figura A -6 Elementos hidráulicos de un canal trapecial con Taludes 6:1 .....	96
Figura A- 7 Elementos hidráulicos de canales triangulares.....	97
Figura A – 8 Elementos hidráulicos de canales parabólicos .....	97
Figura A – 9 Monograma, tiempo de concentración .....	98
Figura A – 10 Monograma, régimen uniforme para canales Trapeciales .....	99

## 1. INTRODUCCIÓN

El drenaje tiene como objetivo la eliminación de los excesos de agua de los suelos a fin de proporcionar a los cultivos un medio adecuado para su desarrollo.

El drenaje de tierras agrícolas puede definirse como el manejo de suelo y agua, con la finalidad de mantener la humedad y aire del suelo, dentro de un rango requerido para el desarrollo normal de las plantas.

Las condiciones de suelo, clima y topografía, ocasionan una situación típica de drenaje superficial deficiente, el cual requiere de técnicas y políticas difíciles de aplicar dada la reducida experiencia que al respecto se tiene. En el diseño de un sistema de drenaje superficial, una de las interrogantes que se plantean, es acerca del volumen de agua por evacuar, existe una gran diversidad de métodos que estiman escurrimiento superficial directo; Sin embargo, la mayoría de ellos utilizan información de intensidad de la precipitación, la cual es difícil de obtener en pequeñas y poco pobladas cuencas agrícolas.

El efecto directo del drenaje de tierras es la reducción de la humedad del suelo y la modificación de las propiedades mecánicas, químicas y biológicas del mismo. Todas estas propiedades dependen, en última instancia, de la estructura de los constituyentes del propio suelo.

### **1.1 El Drenaje Superficial.**

Se entiende por drenaje superficial a la remoción de los excesos de agua que se acumulan sobre la superficie del terreno a causa de las lluvias muy intensas y frecuentes, topografía muy plana e irregular y suelos poco permeables.

Los problemas del drenaje superficial se producen por la incapacidad del exceso de agua para moverse libremente sobre la superficie del terreno hasta un punto de salida en la misma superficie o para moverse hacia dentro, a través del perfil del suelo hasta una salida subterránea satisfactoria. Estas condiciones generalmente se encuentran en: a).-zonas de topografía extremadamente plana y donde los suelos son poco profundos o están en un estrato de suelos impermeables. b).-zonas que tienen depresiones de agua, c).-zonas de terrenos de hondonadas y llanuras de los ríos relativamente planas y de terrazas que reciben los escurrimientos de terrenos altos, d).-regiones que quedan cubiertas ya sea por acción directa de las mareas o por efecto de las mareas sobre el escurrimiento de los ríos las prácticas de drenaje superficial han evolucionado principalmente y se han perfeccionado por medio de la experiencia y la observación mas que sobre una base de investigación controlada.

El desbordamiento de los ríos es causa de algunos problemas de drenaje superficial, pero debido a su carácter típicamente hidrológico-topográfico, se considera como un problema de control de inundaciones. El drenaje superficial en tierras húmedas al igual que el drenaje interno, ha sido muy descuidado y hasta el presente, la mayoría de los agricultores se limitan a evadir sus consecuencias mediante la programación de cultivos de ciclo corto que son plantados en épocas libres del problema, o sencillamente dejan las áreas afectadas como zonas marginales para algunos pastos y para el arroz.

En la época actual cuando la presión sobre la tierra es mayor y la producción de alimentos es un reto para la agricultura, la necesidad de incorporar nuevas tierras a la producción e intensificar el uso de otras a forzado a los productores más progresistas a buscar algunas soluciones para los problemas de drenaje superficial. (James 1983).

## **1.2. El Drenaje Superficial en Zonas Húmedas y Sub-húmedas**

La zona húmeda es un área sumamente variable en cuanto a topografía, suelo, cosecha y clima. Cada una de estas variables contribuye a los problemas del buen manejo de agua. Por ejemplo, las variaciones en la cantidad y distribución de la precipitación pluvial crean una serie de problemas de drenaje diferentes, en las diversas regiones fisiográficas.

La agricultura a través de los tiempos ha tratado de seleccionar las tierras con menos problemas para la producción y como consecuencia de ello, las grandes civilizaciones siempre estuvieron ubicadas en áreas donde la producción de alimentos era relativamente fácil. En todas las expansiones subsiguientes, la colonización se a realizado a áreas áridas y semiáridas, produciéndose un mayor desarrollo del riego y quedando latente el problema de drenaje en las tierras húmedas y sub-húmedas. En estas ultimas debido al problema de drenaje, la agricultura se ha estado desarrollando en forma extensiva con altos riesgos y de baja productividad.

El los trópicos, especialmente en América latina, la poca densidad poblacional ha limitado la colonización de las áreas húmedas y sub-húmedas con problemas de drenaje. (James 1979)

### **1.3. Perspectivas del Drenaje Superficial**

Según (Rojas 1980). en México existen mas de cinco millones de hectáreas de suelos pesados que individualmente tienen problemas de drenaje.



En los tiempos actuales, las deficiencias alimenticias mundiales y la presión sobre la tierra, ha forzado a muchos países a la confección de programas de aumento de la productividad y de reforma agraria, los cuales inevitablemente tendrán que tomar en consideración los problemas de drenaje superficial, por ejemplo, en Venezuela la mayoría de los asentamientos campesinos de la reforma agraria tienen problemas de drenaje superficial; en la actualidad los sistemas de riego de los llanos occidentales tienen mas limitaciones por problemas de drenaje que por el propio riego.

Probablemente la práctica del drenaje es tan antigua como la agricultura. Los primeros hechos registrados al respecto ocurrieron durante los tiempos del imperio romano, aunque muchos pueblos usaron el drenaje antes de esa época, los romanos reconocieron la importancia de la información relativa a los suelos, como base para el diseño de drenes; y la superioridad de drenes profundos y cubiertos, bajo ciertas circunstancias. Los métodos usados por ellos, recibieron pocas mejoras en el transcurso del tiempo. El actual drenaje entubado se originó en Inglaterra en 1810. El anterior uso del tubo de barro, en Francia 1920, mientras que, como se ha visto, el uso del drenaje data de la antigüedad, que puede considerarse que el desarrollo teórico de esta ciencia se inicio en Francia hace apenas 100 años, con los experimentos llevados a cabo por Henry Darcy

El interés por el drenaje varía ampliamente según la tendencia económica de los tiempos, durante los periodos de bajos precios agrícolas. Los métodos y practicas que se habían venido usando durante los tiempos prósperos anteriores, quedan en desuso y se olvidan. (James 1979)

## **2. FACTORES QUE ORIGINAN UN DRENAJE DEFICIENTE**

El exceso de agua sobre los terrenos puede ser ocasionado por cuatro causas principales: precipitación, inundaciones, limitaciones topográficas y limitaciones edáficas. La precipitación es la principal fuente de exceso de agua; las

inundaciones son causas de la precipitación y las limitaciones topográficas y edáficas contribuyen a agravar la acción de las causas anteriores.

En cualquier problema de drenaje se interesa descubrir la presión de la humedad del suelo y el contenido de humedad de los puntos importantes del mismo, debido a la aplicación de la ley de Darcy en un sistema en el cual van implícitas ciertas condiciones. Estas son conocidas como condiciones de frontera y constituye una especificación completa del problema en particular.

Por lo tanto, se debe considerar las diversas situaciones a que se enfrenta en los problemas de drenaje y aclarar la naturaleza de las situaciones. (Rojas 1980)

## **2.1 Precipitación**

En zonas húmedas, durante los periodos de lluvias, la precipitación es mayor a la evaporación y como resultante existe un periodo de exceso de humedad. Durante este periodo, los suelos generalmente se encuentran bastante saturados de humedad y al ocurrir lluvias de altas intensidades, se produce una gran escorrentía superficial que fluye hacia las zonas mas bajas de los terrenos, provocando los problemas de drenaje. La precipitación sobre las zonas montañosas aumenta los caudales de los cauces naturales lo cual ocasiona una disminución de la capacidad de estos para drenar las zonas bajas y puede llegar hasta provocar el desbordamiento de los ríos. (Vega 1979)

## **2.2 Inundaciones**

Las inundaciones son causas del exceso de agua. Por efecto de grandes precipitaciones sobre las cuencas altas, los ríos aumentan su caudal y se desbordan en zona bajas provocando los problemas de drenaje.

Las inundaciones en ocasiones no ocurren directamente por desbordamiento de los ríos, si no por incapacidad de estos para recibir la aguas de los caños y de las quebradas, estos últimos, al no tener salida, se remansan e inundan las áreas adyacentes a la desembocadura.

Las causas principales de las inundaciones pueden ser:

- Poca capacidad de los cauces debido a limitaciones de pendiente o por sedimentación y obstáculos en los mismos.
- Ocurrencia de las lluvias de magnitudes extraordinarias.
- Intervención no controlada de las cabeceras de los ríos (deforestación).
- Obstrucción de los drenajes naturales por obras mal concebidas, especialmente vías.

### **2.3 Suelos y Topografía**

Las características físicas de los suelos (textura y estructura) están íntimamente ligadas a la topografía. En la formación de los suelos y sujetos a problemas de drenaje, la topografía a tenido una influencia determinante en la característica de los mismos. Los problemas de exceso de agua generalmente se presentan en terrenos que forman planicies aluviales.

En las zonas más bajas, en donde han ocurrido las deposiciones de material mas fino, es donde el problema reviste mucha gravedad.

Para que exista un problema de drenaje superficial, tienen que conjugarse una topografía plana, suelos poco permeables y altas precipitaciones. (Pizarro, 1978)

## **3. CONSECUENCIAS DEL PROBLEMA.**

El efecto directo del drenaje de tierras es la reducción de la humedad del suelo y la modificación de las propiedades físicas que trae consigo esta reducción. El efecto secundario y el propósito principal es el consiguiente mejoramiento de las propiedades mecánicas, químicas y biológicas del mismo. Todas estas propiedades dependen, en última instancia, de la estructura de los constituyentes del propio suelo.

El encharcamiento de los terrenos por problemas del drenaje superficial, trae como consecuencia una serie de limitaciones para la utilización de los mismos. Los daños pueden variar según sea la magnitud del área afectada, cuando mayor sea el área a considerar, mucho más complicado será la determinación de los daños. (James, 1983)

### **3.1 Daños a los Cultivos**

La principal consecuencia para los cultivos del mal drenaje superficial, es la limitación del intercambio gaseoso entre las raíces de las plantas y la atmósfera, de esta forma se produce una deficiencia de oxígeno y una concentración de CO<sub>2</sub> que perjudica a las plantas y puede llegar a causarles la muerte si el efecto se prolonga.

El daño por inundación es ocasionado por el impacto de los torrentes cargados de basura, por la pérdida de suelo por erosión y por encharcamiento de la tierra. Cualquiera de estos tres factores, afecta los cultivos en pie y almacenados, a las cercas, a los caminos.

Mucho del daño inmediato ocasionado, se acentúa por la concentración de las aguas de inundación en las cuencas aluviales de los ríos y de los valles tributarios fértiles, con frecuencia poblados.

Los árboles frutales son considerados generalmente como susceptibles al daño por condiciones de encharcamiento, mas otros cultivos.

Aunque parece que hay disponible para los horticultores mucha información sobre este aspecto, poca de esta información ha sido reportada en la literatura científica. La resistencia de los cultivos a las inundaciones es un carácter específico propio de cada planta. De esta manera, los cultivos hortícolas no resisten el mal drenaje sino por pocas horas; los cereales y otros cultivos de ciclo corto pueden permitir inundaciones de veinticuatro horas; los pastos permiten una condición de inundación de tres o más días y el arroz permite la permanencia de una lamina de agua constante.

La magnitud de los daños por inundaciones sobre el rendimiento de los cultivos, esta directamente relacionado con la duración de la inundación. Cada cultivo tiene un límite de tolerancia sin disminuir la producción; a partir de ese límite, los daños dependerán de la duración del efecto. El efecto nocivo del exceso de agua tiene mayor importancia cuando este ocurre en un periodo crítico del crecimiento de la planta que cuando el cultivo esta en una fase menos crítica. Así por ejemplo, en el maíz, un exceso de agua en el primer periodo de crecimiento puede producir una clorosis y retardar e impedir el crecimiento; luego de este primer periodo, el cultivo es más resistente, sin embargo, un exceso de agua en el periodo de formación de fruto, puede no perjudicar tan gravemente a la planta, pero si afectar a la formación del grano y consecuentemente reducir la producción. (Rojas, 1980)

Cuadro 3.1 Tolerancia a la inundación de diferentes pastos

TOLERANCIA	ESPECIES	NOMBRE COMUN
Muy Grande (mas de 20 días)	Cynodon dactylon Buchloe dactyloides Panicum obtusum Paspalum distichum	Bermuda Buffalograss Vine mesquite Gramma de nudo

Grande(hasta 20 días)	Panicum virgatum var.  Phalaris arundinacea Spartina pectinata Paspalum floridanum	Lowland Switchgrass. Cabezona.  Reed canarygrass Prairie cordgrass Paspalum de Florida
Moderadamente grande (hasta 15 días)	Panicum virgatum var.  Agropyron smithii Leersia oryzoides Paspalum publiflorum	Upland switchgrass, paja cabezona. Western wheatgrass. Arrocillo Smooth seed paspalum
moderado (hasta 10 días)	Andropogon gerardi Andropogon hallii Elymus virginicus Panicum anceps	Big bluestem Sand bluestem Virginia
Baja	Tripsacum dactyloides Sporobolus airoides Andropogon ischaemum var. Eragrostis curvula	Eastern gamagrass Alkali sacaton Paja coneja Weeping lovegrass.

Tomado de: Rhondes 1967

### 3.2 Mecanización

Uno de los grandes problemas de los suelos mal drenados, es la dificultad para la mecanización, cuando esto ocurre se tiene como consecuencia:

- Dificultad para la preparación del suelo
- Deficiente preparación del suelo
- Dificultad para realizar labores culturales
- Dificultad para la cosecha
- Siembra mal programada
- Perdida de tiempo en las labores
- Daño a la maquinaria
- Compactación de los suelos.

Las consecuencias anteriores nos indican que las pérdidas por efecto de la dificultad para la mecanización, pueden ser tan grandes que impidan la programación de ciertos cultivos.

[http://www.sagan\\_gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/8agua.html](http://www.sagan_gea.org/hojared_AGUA/paginas/8agua.html)

### **3.3 Problemas Sanitarios**

Las aguas al permanecer por mucho tiempo sobre el terreno pueden ocasionar problemas sanitarios que afectan a las plantas, animales y al hombre.

#### **3.3.1 Problemas fitosanitarios**

Los problemas fitosanitarios que ocasiona un mal drenaje se pueden clasificar en:

- Enfermedades
- Plagas
- Malas hierbas

Enfermedades.

El exceso de agua crea un ambiente favorable al desarrollo de enfermedades fungosas que atacan a los cultivos, en muchos casos esto es una limitación para el cultivo de cierta especies.

### Plagas

Cuando los suelos están inundados, la dificultad del control de las plagas de los cultivos, permiten una gran incidencia del ataque de estas y, por consiguiente, aumentan los daños a los cultivos.

### Malas hierbas

Un exceso de agua fomenta la invasión de hierbas indeseables que son distribuidas por el agua que en condiciones de muy alta humedad puede desarrollarse mejor que en los cultivos. (Vega, 1979)

### **3.3.2 Sanidad animal**

Algunos animales como el ganado son muy perjudicados por los problemas de humedad, trayendo con sigo consecuencias como las infecciones producidas por hongos y por parásitos y son muy comunes en ambiente húmedo.

### **3.3.3 Sanidad humana**

Al igual que en el caso de los animales los seres humanos son muy perjudicados por las plagas que transmiten enfermedades y que generalmente viven en los charcos y lagunas. Algunas enfermedades como la fiebre amarilla y el paludismo son muy comunes en lugares anegados. (Rafael, 1980)

### **3.4 Daño a las Infraestructuras**



Las construcciones rurales son muy afectadas por los problemas graves de drenaje superficial. Cuando por efecto de mal drenaje, las inundaciones alcanzan grandes magnitudes los daños pueden llegar a sumas muy considerables al ser afectadas las casas, edificios, obras existentes (alcantarilla, canales y estructuras de riego, etc). (James, 1979)

### **3.5 Otros Daños**

Los problemas de drenaje superficial pueden ocasionar otros daños indirectos e intangibles que a veces son muy difíciles de evaluar. Entre estos daños se puede señalar:

- Inseguridad para plantear cultivos valiosos
- Mercado mal programado
- Los cultivos permanentes (frutales, cacao, etc.) no pueden ser implantados
- Dificultad para el transporte en la finca
- Poca diversificación de cultivos
- Competencia de servicios en una misma época y sub-utilización en otras
- Producción estacional
- Mala utilización de la mano de obra
- Problemas para la construcción de obras.

De estas ultimas consecuencias, la estacionalidad de la producción, es quizá la mas importante ya que ella condiciona competencia por insumos lo que se traduce en altos costos de producción y genera precios bajos por concurrir en el mercado al mercado al mismo tiempo. (Soto, 1983)

#### **4. ESTUDIO Y DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA**

La investigación del drenaje tiene como finalidad la realización de una serie de estudios que sirvan para diagnosticar la gravedad y extensión del problema y a la vez proporcionar elementos necesarios para proponer soluciones.

En cualquier problema de drenaje es interesante descubrir la presión de humedad del suelo y el contenido de humedad en los puntos importantes del mismo, debido a la aplicación de la ley de Darcy en un sistema en el cual van implícitas ciertas condiciones.

Estas son conocidas como condiciones de frontera, y constituye una especificación completa del problema en particular, por lo tanto, se debe considerar las diversas situaciones a que se enfrenta en los problemas de drenaje y aclarar la naturaleza de las condiciones consecuentes de frontera.

(Rojas, 1983)

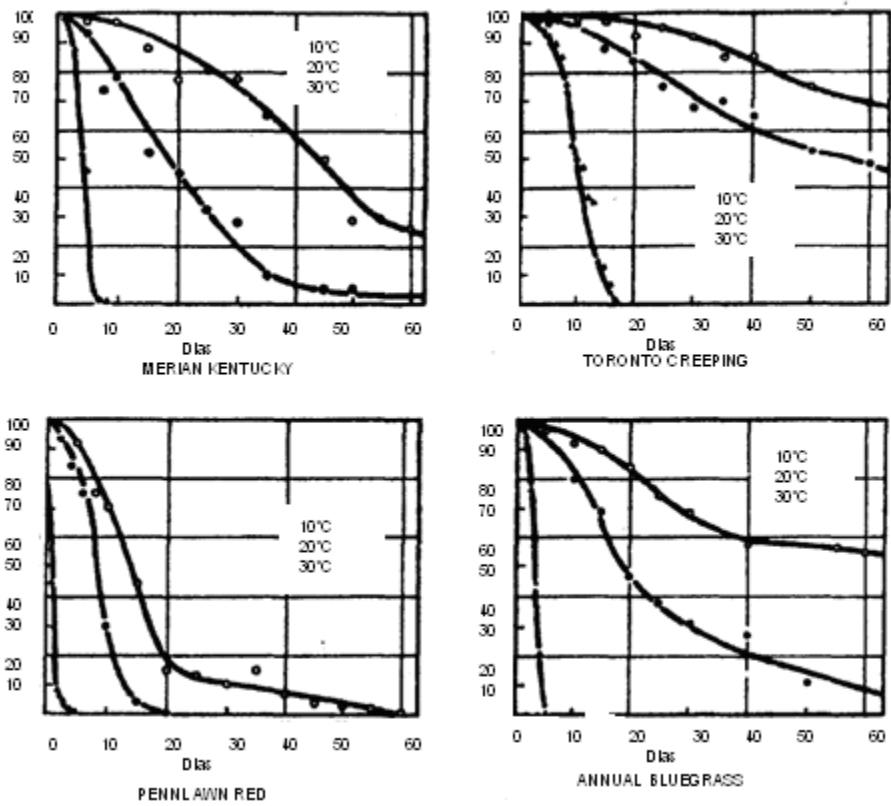


Figura 3.1 Supervivencia de cuatro pastos después de haber sido sumergidos a temperaturas de 10, 20 y 30 °C, por un tiempo de hasta 60 días.

Fuente: (James 1970.)

## 4.1 Clase de Estudio

El estudio a realizar puede ser de diferentes niveles de acuerdo al objetivo del análisis, grado de precisión requerida y detalle de la información disponible. De acuerdo con lo anterior, los estudios pueden ser divididos en tres clases: reconocimiento, factibilidad y diseño.

El estudio de reconocimiento es el primer paso que se realiza para tener un conocimiento del problema, fundamentalmente un estudio de reconocimiento tiene la finalidad de hacer una estimación de la factibilidad técnica y económica del proyecto, el estudio debe contener recomendaciones sobre las investigaciones que deberán realizarse para estudios posteriores.

El estudio de factibilidad o preliminar es la continuación del estudio de reconocimiento. Se efectúa con el suficiente detalle como para determinar la magnitud del problema. Tipo de estudio a adoptar y estimación de costos y beneficios del proyecto. Por lo general este estudio produce una serie de alternativas, al nivel de anteproyecto, que son evaluadas para escoger a más convenientes.

El estudio de diseño se realiza con todos los detalles necesarios para preparar el plan y estimar los costos del proyecto. Este estudio debe de contener toda la información requerida para la inmediata construcción del sistema.

Para el estudio de los problemas de drenaje de una determinada área, no es necesario pasar por las tres etapas de estudio.

En el momento de plantearse la necesidad de resolver un problema, el análisis de los antecedentes y de la información disponible, puede llevar a pasar de reconocimiento a diseño.

En los casos que el problema se presente en un proyecto ya diseñado, puede prescindirse de los primeros estudios concretarse a re-diseñar el sistema, o hacer las correcciones necesarias. (Rojas, 1980)

En cualquiera de los casos, la investigación debe comenzarse por:

- Revisión de la información existente
- Reconocimiento de campo

## **4.2 Información Existente**

Antes de comenzar cualquier estudio es necesario recopilar toda la información existente. Es conveniente ordenar la información de manera que este fácilmente disponible cuando los técnicos encargados del estudio requieran de ella. Esta información se puede separar en cuatro grupos principales: fotografías aéreas, mapas, estudios e informes. (James, 1983)

### **4.2.1 Fotografías aéreas.**

Los pares estereoscópicos de fotografías aéreas a escala 1:20.000 a 1:50.000 son muy necesarios para el estudio. Es conveniente contar con foto mosaicos del área para hacer las estimaciones pertinentes al estudio. (Rojas, 1980)

### **4.2.2 Mapas**

Es necesario contar con una serie y un conjunto de mapas a escalas convenientes que sirvan de base para el estudio que a la vez muestren los detalles que tengan importancia para la concepción del problema. Ejemplo de escalas necesarias para el estudio de mapas (1:20,000 a 1:50,000).

Los mapas más importantes se pueden clasificar en:

- Mapas planimétricos
- Mapas plani-altimétricos

- Mapa de infraestructura existente
- Mapas catastrales
- Mapas de suelos y geología.

#### **4.2.3 Estudios**

(Rojas, 1980) muestra a continuación diferentes tipos de estudio de drenaje:

- Estudio de drenaje existente
- Levantamiento de suelos
- Levantamiento geológico
- Estudio de cuencas
- Estudios agro económicos y económicos
- Levantamiento topográfico
- Estudio hidrológico

#### **4.2.4 Informes**

Según (Rojas, 1980) los informes y registros de datos que es necesario recopilar son los siguientes:

- Informes de los levantamientos
- Programaciones para el área
- Informes sobre otros estudios de suelos
- Informes de los organismos relacionados con los problemas de drenaje del área

- Registros de lluvias, fluvimetria, niveles de los ríos, etc.
- Datos de rendimiento de cultivos
- Informes de daños ocurridos debidos al drenaje.

### **4.3 Reconocimiento de Campo**

El reconocimiento debe de ser realizado al inicio del estudio y los aspectos más relevantes a ser constatados son los siguientes:

1.-Condición actual de las salidas.

Es necesario determinar las capacidades de los desagües de salida, para ello, hay que tomar en cuenta el uso actual y potencial de la tierra.

Un buen desagüe de salida tiene necesariamente que ser capaz de transportar el volumen de agua de drenaje diseñado. En caso de no serlo, se determinará la posibilidad de ampliación de estos.

El calculo de la capacidad de las salidas deben hacerse en función del uso mas intensivo a que se espera someter las tierras.

En la estimación de la conveniencia de los desagües de salida, es importante realizar una determinación de la frecuencia de altos niveles de aguas de los ríos, caños, lagunas, etc. Que pueden tener influencia sobre los desagües.

En el caso de que por razones topográficas no exista una salida satisfactoria que funcione por gravedad, hay que considerar una alternativa de bombeo antes de declarar el problema sin solución.

En este ultimo caso hay que considerar algunas condiciones que afectan la factibilidad económica como:

- Altura del bombeo
- Volumen de agua por Has, que debe de ser bombeada anualmente

- Valor del agua a bombear
- Estimación de los beneficios netos adicionales debidos al drenaje
- Porcentaje del año en que la bomba tiene que operar.

2.- magnitud y frecuencia de las inundaciones en el área.

Mediante observaciones de campo y utilización de información existente, se determinará el área sujeta a problemas de drenaje y la frecuencia con que estos se presentan, estas determinaciones pueden ser un factor limitante para la solución del problema de drenaje superficial.

En las áreas sujetas a inundaciones es necesario efectuar algunas investigaciones como:

- Posibilidades de erosión de los canales de drenaje
- Frecuencia de las inundaciones
- Profundidad y duración de las inundaciones
- Época de ocurrencia de las inundaciones
- Acumulación excesiva de sedimentos
- Uso de la tierra

En el caso de que las inundaciones tengan frecuencias mayores de tres a cinco años, es necesario realizar una evaluación económica de la conveniencia del drenaje.

En los estudios de factibilidad económica hay que considerar:

- Duración
- Profundidad



- Época de las inundaciones

Por otra parte cuando la inundación ocurre en épocas libres de cultivos, el drenaje no puede considerarse un problema.

Si hay peligro de erosión, no es conveniente construir zanjas de drenaje

<http://www.sistema.itesm.mx/va/Planes2000/Sinteticos/sin00-ig.html>

#### **4.4 Información Básica para el Estudio del Problema de Drenaje.**

Los estudios básicos necesarios para diagnosticar los problemas de drenaje son:

- Estudio de suelos (agrológico) edafotécnico.
- Estudios hidrológicos y climatológicos
- Estudios topográficos aerofotográficos
- Estudios agro-económicos.

##### **4.4.1 Suelos**

Según Soto (1987) Los estudios de suelos a realizar deberán tener la siguiente información:

- Textura y estructura
- Uso actual y potencial
- Características físicas relacionadas con la humedad
- Permeabilidad e infiltración
- Características del drenaje
- Reconocimiento sobre manejo

- Limitaciones

#### **4.4.2 Hidrología**

(Según James, 1979) El informe hidrológico deberá contener los siguiente factores.

- Precipitaciones máximas y su frecuencia
- Curvas de profundidad-duración-frecuencia
- Crecientes máximas y su frecuencia
- Capacidad de los cauces naturales
- Balances hídricos
- Otras informaciones climatológica

#### **4.4.3 Topografía y fotografías aéreas**

Según Soto (1987) Pueden ser los siguientes:

- Levantamiento plani-altimétrico
- Perfiles del terreno
- Sección de cauces importantes
- Fotografías aéreas (pares estereoscopios y mosaicos)

#### **4.4.4 Agroeconomía**

En México hay un promedio anual de 780 mm de precipitación pluvial, que corresponde a un volumen de 1532 millones de m<sup>3</sup>; en la zona norte sureste ( 7 por ciento del territorio ), la precipitación alcanza valores superiores a los 2,000 mm anuales.

La precipitación ocurre en dos ciclos anuales, el más importante tiene lugar de mayo a noviembre y concentra el 80 por ciento de las lluvias, debido a que en ésta temporada aparece el mayor número de huracanes y tormentas tropicales; el segundo ciclo ocurre de noviembre a abril y obedece a invasión de masas de aire polar (“nortes”) que afectan gran parte del territorio nacional. La gran diversidad orográfica del país tiene gran influencia en la precipitación, en especial las sierras Madre Occidental y Oriental sobre el altiplano.

En gran medida, la distribución orográfica y climática origina que la mayor parte del territorio sea de zonas semiáridas y tenga una gran variedad de ecosistemas. Se considera que el 50 por ciento del escurrimiento anual total se concentra en los ríos más caudalosos ubicados en el sureste del país, y cuya región hidrológica comprende sólo el 20 por ciento de la superficie total del territorio.

Pueden ser los siguientes estudios:

- El cultivo más importante del área
- Valor actual de la producción
- Beneficios esperados del drenaje
- Costos unitarios de obras de drenaje
- Tolerancia de los cultivos al mal drenaje

El detalle de estos estudios dependerá del nivel del informe a realizar.

Según (Coote y Zwerman, 1970), puede concluirse que los suelos necesitan drenaje superficial cuando.

- 1) El agua se estanca en la superficie del terreno
- 2) El color del subsuelo, comenzando desde los 20 hasta los 40 centímetros, es gris o azul, con moteado marrón y amarillo

- 3) Existe un hardpan o estrato compactado en el suelo superficial
- 4) El suelo a un metro de profundidad se encuentra seco aun después de un largo periodo de lluvias .

#### **4.5 Diagnostico del Problema y Soluciones Posibles**

El análisis de los estudios básicos servirá para diagnosticar el problema y la gravedad del mismo.

Una vez que se conozca bien todas las características de problema. Será cuando se puedan tomar decisiones sobre la manera de solucionarlo. (Coote y Zwerman 1970)

##### **4.5.1 Fuentes de exceso de agua**

Las fuentes de exceso de agua que ocasionan problemas de drenaje superficial en una determinada área pueden ser clasificadas en tres grupos. Precipitación, escorrentía de áreas adyacentes y desbordamiento de ríos.

Precipitación: Las lluvias de altas intensidades pueden causar un problema local de drenaje cuando la capacidad natural de drenaje del área y la velocidad de infiltración de los suelos sea reducida. Una combinación de suelos pesados, topografía plana y precipitaciones del orden de los 100mm/día generalmente crean un problema de drenaje.

Cuando el problema de drenaje es de este tipo, las soluciones que se adoptan son generalmente de drenaje superficial local, o sea, con métodos simples de control y aumento de la capacidad natural de desagüe de los terrenos escorrentía de áreas adyacentes:

Este tipo de problemas se presenta en áreas cercanas al piedemonte o cuando las condiciones topográficas cambian de una área de gran velocidad de escorrentía a otra mas plana y de poca capacidad de drenaje.

Este problema a menudo se encuentra asociado con el anterior, determinando una mayor gravedad del mismo.

Cuando la fuente de exceso de agua es de este tipo, la solución puede encararse utilizando canales interceptores.

Desbordamiento de ríos: Es un caso bastante frecuente que en ciertas áreas, el nivel de los ríos sea igual o superior a las tierras vecinas. Al ocurrir avenidas grandes, el río rebasa sus bancos naturales y se desborda inundando las tierras más bajas. Este problema cuando es muy frecuente, puede determinar grandes pérdidas a la agricultura. Las medidas de control de las inundaciones más utilizadas son los diques marginales y las presas de control de avenidas.

En muchas ocasiones los problemas de drenaje de un área son ocasionados por dos o hasta las tres fuentes de exceso de agua mencionadas. Puede acontecer que en un área existan los tres fuentes de exceso y que estas se presenten aislada o conjuntamente. Cuando ocurren grandes precipitaciones a larga duración es muy probable la presencia de las tres fuentes al mismo tiempo. La figura 4.1 muestra un esquema del ciclo hidrológico de un área. En ella puede notarse las tres fuentes de exceso de agua.

[http://www.sagan\\_gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/8agua.html](http://www.sagan_gea.org/hojared_AGUA/paginas/8agua.html)

#### **4.5.2 Mapa de zonas mal drenadas**

Con la ayuda del mapa de suelos, cartas topográficas y fotografías aéreas, pueden determinarse las áreas con mal drenaje. La topografía indicará el trazado de los principales drenajes para la solución del problema de estas áreas. (Rafael, 1980)

#### **4.5.3 Mapa de cotas de inundación**

Con un estudio topográfico detallado, secciones del río y estudio de la frecuencia y magnitudes de las inundaciones, se puede confeccionar un mapa

con las cotas de inundación y la frecuencia de estas. Este mapa servirá para la programación de los cultivos y obras de infraestructura.

Una vez que el programa ya haya sido diagnosticado, se procederá a formular las alternativas de solución del problema, teniendo en cuenta las siguientes alternativas.

- Uso de la tierra
- Económicos
- Sociales
- Factibilidad técnica.

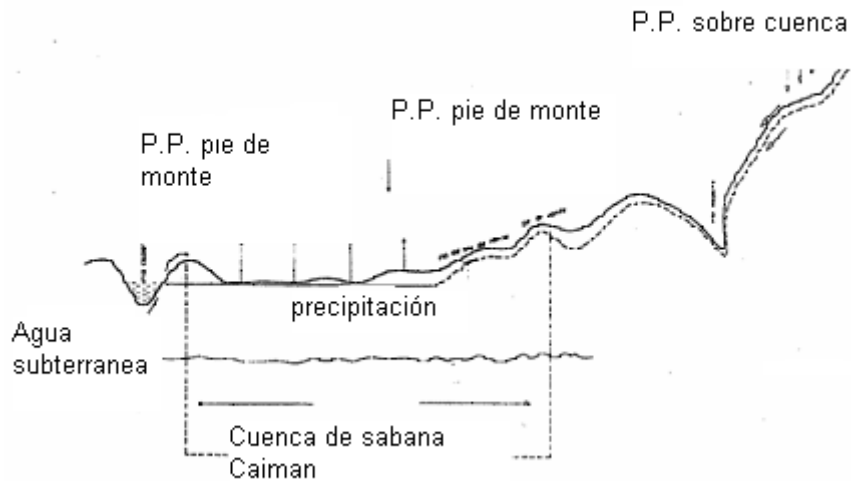


Figura4.1 Esquema del ciclo hidrológico en un perfil de Sabana Caimán  
Fuente: R. E. Williamson. 1970

## **5 PRINCIPIOS DE DRENAJE SUPERFICIAL**

Los diferentes estudios básicos previamente mencionados proporcionan la información necesaria para el diseño de un sistema de drenaje superficial, sin embargo, es necesario el conocimiento de algunos principios básicos antes de intentar el diseño.

En primer lugar es necesario diferenciar dos aspectos del diseño: el primero es el cálculo de la red recolectora principal y el segundo se refiere a la determinación de la capacidad de las tierras para permitir el flujo del exceso de agua hacia esos colectores. El primer aspecto, o sea el diseño de la red colectora, ha sido hasta ahora la más estudiada y en la actualidad existen métodos suficientemente aceptables para realizar el diseño. El segundo aspecto es más complicado pues depende del micro relieve del terreno y hasta el momento no existe un método suficientemente probado para permitir un diseño racional. En la actualidad este último aspecto se resuelve mediante una modificación de la topografía del terreno a fin de proporcionar Pendientes que permitan una rápida evacuación de las aguas. (James, 1979)

### **5.1 Relación Precipitación-Escorrentía**

Sistema hidrológico: En el diseño de drenaje superficial, solo se considera el exceso de agua en la superficie no tomando en consideración el flujo sub.-superficial y subterráneo, ya que el tiempo de retardo es muy largo y por lo tanto no tienen gran influencia en el dimensionamiento de la red. De esta forma el sistema hidrológico se reduce al representado en la Figura. 5.1. en este sistema se considera un área independiente sin aportes externos y el caso de las entradas se reducen solo a la precipitación sobre el área, la cual es afectada por el sistema suelo-cobertura que regula las salidas: evapotranspiración, infiltración y escorrentía.

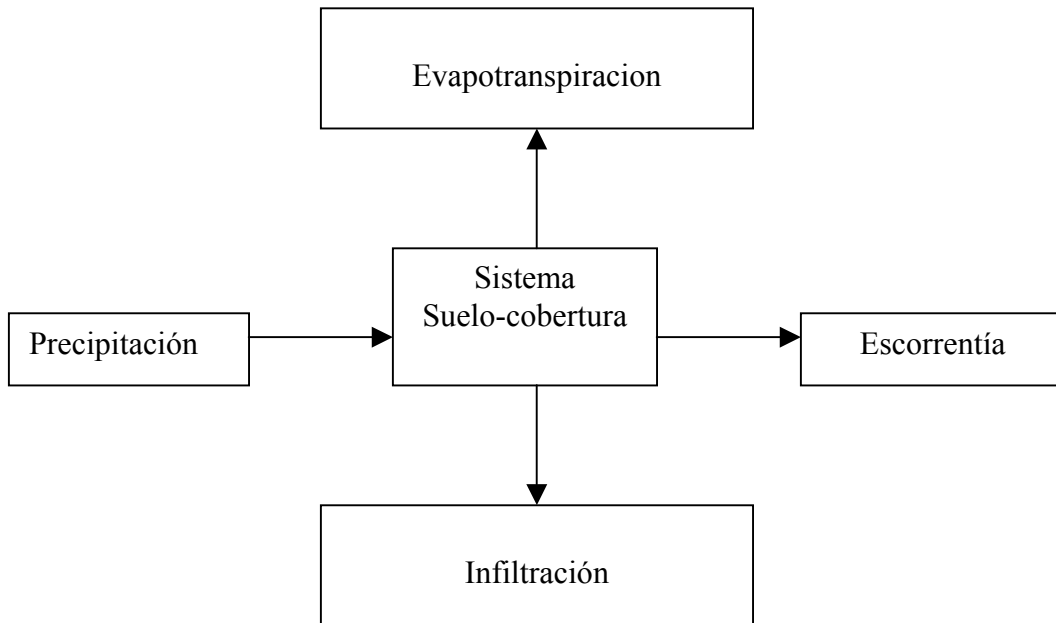


Figura 5.1 Sistema hidrológico del drenaje superficial.

Conociendo el comportamiento de la precipitación, la variación de la evaporación e infiltración y el efecto regulador del sistema suelo-cobertura se puede determinar la escorrentía.

Por lo general existen muchos procedimientos para calcular la escorrentía, pero la mayoría de ellos han sido diseñados para estimar las crecidas máximas para cuencas sin datos; entre ellos se puede estimar la fórmula racional, el método de Cook, el hidrógrama unitario y la fórmula de Max Math. Como en el drenaje superficial a nivel parcelario o de pequeñas fincas, lo importante es evacuar el exceso de agua en un tiempo razonable de acuerdo a la sensibilidad del cultivo, lo que más interesa no es precisamente la crecida máxima, sino la escorrentía total. De esa manera parte de la cuenca puede estar inundada durante algunas horas. Solo en el caso del diseño de algunas estructuras como las alcantarillas y pontones, sería necesario el conocimiento de las crecidas máximas. Rojas. M. R (1980)



## 5.2 Precipitación de Diseño.

Dos aspectos importantes son considerados en la obtención de la lluvia de diseño: el periodo de retorno o frecuencia de la misma y su duración. Es recomendada a una frecuencia de 5-10 años. La duración de la lluvia se escoge de acuerdo a la sensibilidad del cultivo y se denomina tiempo de drenaje.

tiempo de drenaje (td) se considera el tiempo en horas que el cultivo puede soportar bajo condiciones de inundación sin disminuir significativamente sus rendimientos. Para esto se adopta el siguiente criterio:

Hortalizas y cultivos delicados	6-8 horas
Cultivos anuales	12-24 horas
Pastos	48-72 horas

## 5.3 Infiltración

Un buen diseño requiere del conocimiento de la capacidad absorción de agua por los suelos y para ello es necesario la determinación o estimación de su capacidad de infiltración.

En el caso específico de drenaje superficial, se considera que al momento de ocurrir la lluvia de diseño, el suelo se considera a capacidad campo, en cuyo caso la infiltración ha alcanzado un valor muy cercano a la infiltración básica, como regla práctica se puede utilizar los valores de permeabilidad los cuales son en general numéricamente iguales a la infiltración básica.

En general el método de los anillos infiltrometros utilizados en un tiempo de unas 3 – 4 horas proporciona valores cercanos a la infiltración básica. Otro método el de simuladores de lluvia, es aceptable, pero requiere de un equipo

costoso y su empleo es más difícil. El cuadro 5.1 presenta algunos valores característicos de infiltración básica que pudieran ser utilizados para efecto de estudios preliminares; teniendo en cuenta todas las reservas del caso.

Cuadro 5.1 Capacidades Hidrológicas de las Clases Texturales

Clase Textural	Capacidad de Almacenamiento(S)%	Poros Grandes (G)%	Porosidad Disponible AWC %
Arena gruesa	24.4	17.7	6.7
Franco arena gruesa	24.5	15.8	8.7
Arena	32.3	19.0	13.3
Arena franca	37.0	26.9	10.1
Arena franca fina	32.6	27.2	5.4
Franco arenoso	30.9	18.6	12.3
Franca arenosa fina	36.6	23.5	13.1
Franco arenosa	32.7	21.0	11.7
Muy fina	Capacidad de Almacenamiento(S)%	Poros Grandes (G)%	Porosidad Disponible AWC %

Continuación del cuadro 5.1

Clase Textural	Capacidad de Almacenamiento(S)%	Poros Grandes (G)%	Porosidad Disponible AWC %
Clase Textural			
Franca	30.0	14.4	15.6
Franco limosa	31.3	11.4	19.9
Franco arcillo arenosa	25.3	13.4	11.9
Franco arcilloso	25.7	13.0	12.7
Franco arcilloso limoso	23.3	8.4	14.9
Arcillo arenoso	19.4	11.6	7.8
Arcillo limoso	21.4	9.1	12.3
Arcilla.	18.8	7.3	11.5

S = CAPACIDAD TOTAL DE ALMACENAMIENTO (POROSIDAD TOTAL – HUMEDAD A 15 ATMÓSFERAS).

G = AGUA GRAVITACIONAL = POROSIDAD TOTAL - CAPACIDAD DE CAMPO.

AWC = AGUA DISPONIBLE ( S – G ).

Tomado de C.B. England: Land Capability: An Hidrologic, 1979

#### 5.4 Coeficiente de Drenaje y Ecuación de Diseño

El coeficiente de drenaje ( $cd$ ), puede definirse como el exceso de agua puede ser removido por unidad de tiempo, el cual generalmente se considera como 24 horas. Comúnmente se expresa como una lamina por unidad de tiempo:

$$Cd = E/ td \dots\dots\dots(5.1)$$

en donde:

$Cd$ = coeficiente de drenaje (L/T)

$E$ = Escorrentía total (L)

$td$ = tiempo de drenaje

si se considera el tiempo de drenaje ( $td$ ) en horas y de acuerdo a la definición, para 24 horas,  $cd$  seria:

$$cd = \frac{E * 24}{td} \dots\dots\dots(5.2)$$

En la cual,  $cd$  tendría unidades de lamina en 24 horas.

Es norma muy generalizada la de expresar el coeficiente de drenaje como un gasto por unidad de tiempo y área, tradicionalmente litros por segundo por hectárea (l ps/ha), en cuyo caso  $cd$ , podría presentarse mediante una ecuación de la forma:

$$cd = \frac{kE}{td} \dots\dots\dots(5.3)$$

en donde  $cd$  tiene unidades de litros por segundo por hectárea,  $E$  y  $td$  pueden tener cualquier unidad y  $k$  depende de las unidades de  $E$  y  $td$ , para  $E$  en mm y  $td$  en horas,  $k=2.78$ .

Sí el área a drenar fuese muy pequeña, el caudal de diseño del colector, para drenar esa superficie, se calcularía multiplicando el coeficiente de drenaje, obteniendo en la ecuación (5.3), por el área (ha): en esa forma se obtiene una ecuación como:

$$Q = cd A \dots\dots\dots(5.4)$$

Y en la cual

$Q$ =caudal de diseño(lps)

$cd$ =coeficiente de drenaje (lps/ha)

$A$ =Area (ha).

La ecuación (5.4) es una ecuación de diseño para los drenes colectores.

Como se aclara anteriormente. La ecuación (5.4) funciona bien para pequeñas áreas, pero es sabido que a medida que el área de la cuenca de drenaje aumenta, el caudal producido por unidad de área, disminuye por efecto del almacenamiento y pérdidas en la red colectora y el tiempo de concentración. Desgraciadamente en nuestro medio no tenemos estudios que permitan determinar ese decrecimiento, sin embargo, las experiencias del U.S. Soil conservation service (1973) han demostrado que esa disminución puede ser obtenida, si en la ecuación de diseño se eleva el área de una potencia 5/6. según los mismos autores, el caudal de diseño puede ser obtenido mediante una ecuación de la forma:

$$cd = CA^{5/6} \dots\dots\dots(5.5)$$

en donde

Q= Caudal de diseño ( $L^3/T$ )

A= Área ( $L^2$ )

C= Coeficiente que depende del cultivo, precipitación y características de la cuenca (L).

La ecuación (5.5) fue originalmente obtenida por Mc Crory (1915) para Ciprés Creek. El coeficiente c para esa primera ecuación tenía un valor de  $c = 35$ , el área era expresada en millas cuadradas y Q tenía unidades de pies cúbicos por segundo.

Posteriormente, (Stephen y Mill, 1965) adoptan la formula del Ciprés Creek de manera que esta pudiera ser utilizada en otras localidades. Como resultado propusieron una ecuación para calcular el coeficiente c de la formula original. La ecuación, adopta al sistema métrico, es:

$$C = 4.573 + 1.62 E \dots\dots\dots(5.6)$$

En el cual c es el coeficiente a utilizar en la ecuación (5.5) y E es la escorrentía total en centímetros, calculada por los métodos que se describen a continuación.

La escorrentía E en la ecuación (5.6) es dada para un tiempo de 24 horas; para otros tiempos  $E = (E * 24) / t_d$ . La figura 5.2 es la representación grafica de la ecuación (5.6) (Mc Crory y Stephen 1965)

### 5.5 Método para Calcular la Escorrentía Total (E)

Dos de los métodos más sencillos para determinar la escorrentía total son:

- a) El balance hídrico diario, y

b) El método del Soil Conservation Service.

En ambos métodos se requiere el conocimiento de:

Lluvia de diseño

Capacidad de infiltración de los suelos.

La lluvia de diseño se obtiene de acuerdo a: periodo de retorno el cual obedece a factores económicos y como dijimos anteriormente se considera como de 5-10 años –y (b) duración de la lluvia, determinada de acuerdo y la cual se considera igual al tiempo de drenaje (td).

La infiltración puede ser medida o estimada. En ambos casos hay que proceder con mucha cautela debido a los muchos factores que influyen sobre esta variable.

### 5.6 Método del Balance Hídrico

Según (Stephen y Milli 1965). Este método no es mas que la aplicación de una ecuación sencilla de balance hídrico.

$$E=P - I - Et.....(5.7)$$

En la cual E es la escorrentía total, p es la lluvia de diseño, I es la infiltración total durante el tiempo de drenaje (td) y Et, es la evapotranspiracion durante el mismo tiempo, todos los términos de la ecuación deben presentarse en las mismas unidades, es común no tomar en cuenta la evapotranspiracion ya que esta se reduce a unos cuantos milímetros; en tal caso la ecuación se reduciría a:

$$E = P - I.....(5.8)$$



## 5.7 Método del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS).

Este método es utilizado para calcular la escorrentía total a partir de datos de precipitación y otros parámetros de la cuenca de drenaje.

Este método se basa en la siguiente relación:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{pe} \dots\dots\dots(5.9)$$

en donde:

F= infiltración real acumulada (L)

S= infiltración potencial (L)

Q= escorrentía total acumulada (L)

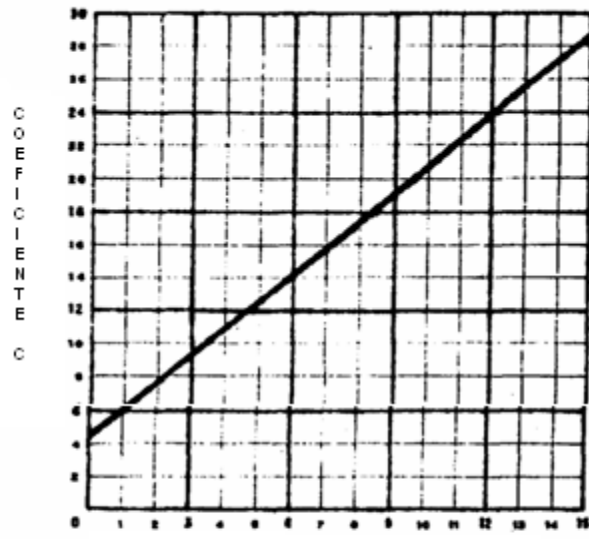
Pe= escorrentía potencial o exceso de precipitación (L)

La ecuación (5.9) se considera valida después del inicio de la escorrentía. Pe se define como:

$$Pe = p - la \dots\dots\dots(5.10)$$

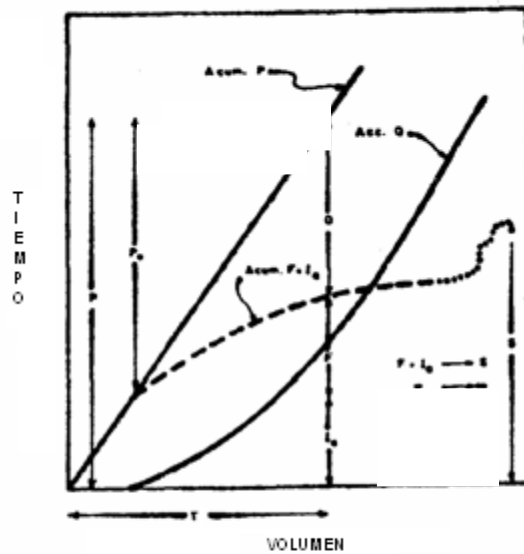
y F es definida como:

$$F = Pe - Q \dots\dots\dots(5.11)$$



Escorrentía en cm.

Figura 5.2 Representación gráfica de la ecuación  $C = 1573 + 162E$  para utilizar en la ecuación  $Q = CHa^{5-2}$  Fuente: R. E. Williamson and George j. Kriz . 1970.



Volumen

Figura 5.3 Representación esquemática de las variables de la ecuación 5.9 Fuente: R. E. Williamson and George j. Kriz . 1970

El término la (abstracciones iniciales) es definida como la precipitación, almacenamiento en depresiones e infiltración antes del comienzo de la escorrentía. La figura 5.3 presenta todas las variables de la ecuación (5.9).

Cambiando las ecuaciones (5.9), (5.10), (5.11) obtenemos:

$$Q = \frac{(Pe)^2}{Pe + s} \dots\dots\dots(5.12)$$

Los autores del método obtuvieron una relación entre la y S igual a 0.2 o sea la =0.25. Esta relación es bastante aceptable para situaciones promedio. Si se reemplaza esa relación en la ecuación (5.12) obtenemos:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \dots\dots\dots(5.13)$$

La cual es la ecuación principal del método. La ecuación (5.13) se resuelve gráficamente utilizando la (figura 5.4)

Hay que observar que la ecuación (5.13), P y S deben tener las mismas unidades y el Q obtenido, también tendrá las mismas unidades.

Para aplicar la ecuación (5.13), es necesario conocer el valor de S (infiltración potencial) la cual es una función del suelo, de las condiciones de la superficie del terreno y la humedad inicial. El valor de S para una determinada condición puede ser obtenido mediante el análisis de hidrógramas de cuencas homogéneas.

Si se despeja S en la ecuación (5.12) se obtiene.

$$S = \frac{(Pe)^2}{Q} - Pe \dots\dots\dots(5.14)$$

Todos los valores en la ecuación (5.14) pueden ser obtenidos de un hidrógrama y su correspondiente hietograma.

El Servicio de Conservación de Suelos después de estudiar un gran numero de pequeñas cuencas confeccionó un cuadro para estimar S a partir de un cierto valor CN (Curve Number).

S esta relacionado con CN mediante la siguiente ecuación.

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \dots\dots\dots(5.15)$$

Cuadro 5.2 Clasificación hidrológica (Potencial de escorrentía)

TEXTURA	I	II	III	IV	V	VI	VII
	SUELOS BIEN DRENADOS			Mod. Bien Drenados	Imperfecta Ment. drenados	Pobremente drenados	Muy Pobremente drenados
	PROFUNDIDAD A LA ROCA MADRE						
	Poco Profundo (<0.45 m)	Mod. Prof. (0.45 0.90 m)	Profundo (>0.90 m)				
1.- <u>texturas medias:</u> o mezclas de texturas gruesas a finas	C-(+D) <sup>***</sup>	+C	B-(+B) <sup>**</sup>	+C	C	+D	D
	+C-(+D) <sup>***</sup>	B	+B-(A) <sup>**</sup> (B) <sup>**</sup>	B	+C	+D	D
2.- <u>Textura gruesa</u>							

Según: Sie ling chiang, Journ of hidrol. 13 (1971, 54-62)

Continuación cuadro 5.2

TEXTURA	I	II	III	IV	V	VI	VII
	SUELOS BIEN DRENADOS			Mod. Bien Drenados	Imperfecta Mente. drenados	Pobrementemente drenados	Muy Pobrementemente drenados
	PROFUNDIDAD A LA ROCA MADRE						
	Poco Profundo (<0.45 m)	Mod. Prof. (0.45 0.90 m)	Profundo (>0.90 m)				
3.- <u>Textura fina</u>	C-(D)***	C	+C-(-B)**	C	C	D	D
4.- <u>Textura media</u> sobre roca fracturada verticalmente	+C	B	+B	+C	C	+D	D
5.- <u>Textura gruesa</u> sobre roca fracturada verticalmente	B	+B	A	B	+C	+D	D

Cambios en clasificación para suelos bien drenados

- \* Existencia de fragipan o (clay pan) en suelos profundos
- \*\* suelo de profundidad mayor de 3 m y excesivamente bien drenados
- \*\*\* Profundidad menor de 22cm.

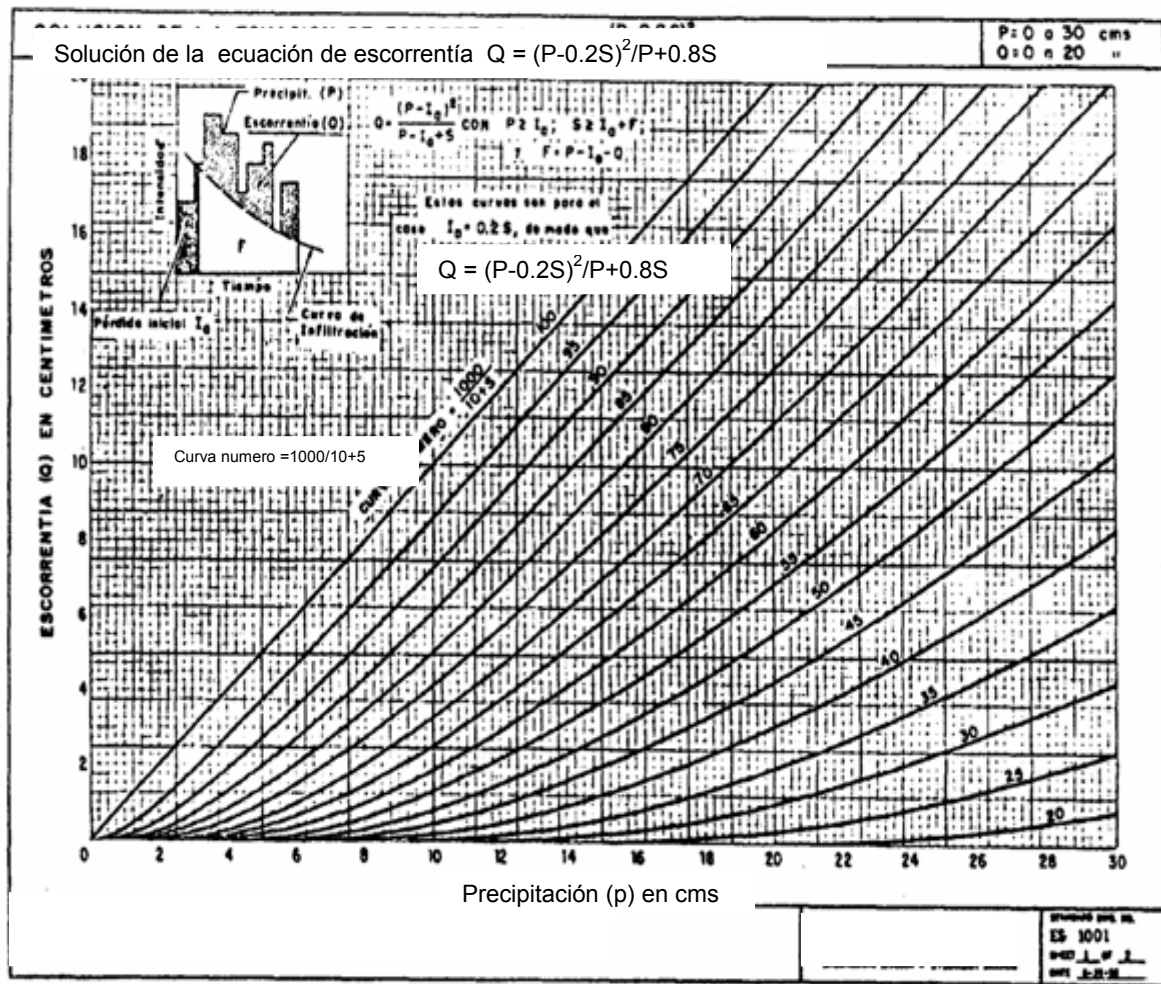


Figura 5.4 Gráfico para el cálculo de la escorrentía

## 5.8 CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS (Soil Conservation Service)

Los grupos hidrológicos en que se pueden dividir los suelos son utilizados en planeamiento de cuencas para la estimación de la escorrentía a partir de la precipitación. Las propiedades de los suelos que son considerados para estimar la tasa mínima de infiltración para suelos desnudos luego de un humedecimiento prolongado son: profundidad del nivel freático de invierno, infiltración y permeabilidad del suelo luego de humedecimiento prolongado y profundidad hasta un estrato de permeabilidad muy lenta. La influencia de la cobertura vegetal es tratada independientemente.

Los suelos son clasificados en cuatro grupos A, B, C y D de acuerdo al potencial de escorrentía.

A.-(bajo potencial de escorrentía). Suelos que tienen alta capacidad de infiltración aun cuando estén muy húmedos. Consisten de arenas y gravas profundas bien excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta capacidad de transmisión de agua. Incluyen: psamments excepto en los subgrupos líticos, Aquicos o aquodicos; suelos que no estén en los grupos C y D y que permanezcan en las familias: fragmentarias, esqueleto-arenosas o arenosas; suelos grosarenicos de Udults y Udalfs excepto por aquellas en familias arcillosas o finas.

B.- (moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con capacidad de infiltración moderadas cuando muy húmedas.

Suelos moderadamente profundos o profundos, moderadamente drenados o bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas o moderadamente gruesas y permeabilidad moderadamente lenta o moderadamente rápida, son suelos con capacidad de trasmisión de agua moderadas (suelos que no estén en los grupos A, C o D.)

C.-(moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando muy húmedas. Consiste de suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de textura moderadamente finas a finas, suelos con infiltración lenta debido a sales.

Estos suelos pueden ser pobremente drenados o bien moderadamente bien drenados con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta (fragipan, hardpan, obre roca dura) a poca profundidad (50-100 cm) comprende suelos en subgrupos albicos o aquicos: suelos en subgrupos arenicos de aquents, aquents, aquellas, aqualfs y aquults en familias francas; muy finas o arcillosas excepto aquellas con



mineralogía caolinitica, oxidica o aloisitica; humods y orthods; suelos con fragipanes de horizontes petrocalcicos; suelos de familias poco profundas que tienen substratos permeables; suelos en subgrupos líticos con roca permeable o fragmentada que permite la penetración del agua.

D.- (alto potencial de escorrentía) suelo con infiltración muy lenta cuando muy húmedos. Consiste de suelos arcillosos con alto potencial de expansión, suelo con nivel freático alto permanente, suelos con claypan o estrato arcillosos superficial, suelos con infiltración muy lenta debido a sales o alkali y suelos poco profundos sobre material caso impermeable.

Estos suelos tienen una gran capacidad de agua muy lenta (incluye: todos los Vertisoles y Aquods; Suelos en Aquents y con substratos impermeables; y suelos en familias poco profundas que tienen un substrato impermeable).

Esta ecuación fue desarrollada para trabajar con pulgadas para utilizar centímetros la ecuación quedaría:

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4 \dots\dots\dots (5.16)$$

El cuadro 5.3 se utiliza para obtener los valores de CN para diferentes prácticas agrícolas y condiciones hidrológicas. Este cuadro fue confeccionado con base a una relación  $la = 0.25$  y para una condición de humedad antecedente promedio (AMC II). Para definir las condiciones de humedad se utilizan los siguientes valores.

El cuadro 5.3 Valores de CN para diferentes prácticas agrícolas y condiciones hidrológicas

condición de humedad antecedente (amc)	precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración
I	0 – 3.50 cm
II	3.50 – 2.25 cm
III	mas de 5.25 cm

### 5.9 Ejemplo del Cálculo de la Escorrentía y el Coeficiente de Drenaje.

Se desea determinar la escorrentía y el coeficiente de drenaje para un área con las siguientes características:

- a) Topografía plana
- b) Suelo arcilloso - limoso
- c) Cobertura: maíz en hileras
- d) Buena condición hidrológica
- e) Lluvia para 5 años y 24 horas = 120 mm.
- f) Evaporación = 5 mm/día
- g) Infiltración = 0.10 cm/hora.

Solución:

- a) método del balance hídrico

$$E = P - E_t - I$$

$$E = 120 - 5 - (1 \cdot 24) = 91 \text{ mm}$$

b) método SCS

(b.1) cuadro 5.2, suelo = D

(b.2) con suelo D, cultivo en hileras y buena condición hidrológica en el cuadro 5.4,  
CN = 89

(b.3) utilizando la figura 5.4 o con las ecuaciones (5.16) y (5.13) resulta:

E = 89 mm (figura 5.4)

$$E = \frac{(120 - 0.2 S)^2}{120 + 0.8 S} \dots\dots\dots(5.17)$$

$$E = \frac{2540}{89} - 25.4 = 3.14 \text{ cm} = 31.4 \text{ mm} \dots\dots\dots(5.18)$$

En este caso las diferencias entre el método del balance hídrico y el SCS se deben a la estimación de la infiltración y la falta de inclusión de la evaporación. Para la generalidad de los casos el método del SCS proporciona valores más realísticos.

Si se adopta 90 mm como el valor de la escorrentía, el coeficiente de drenaje a emplear en la ecuación 5.5 sería:

$$C = 4.573 + 1.62 (9.0) = 19.15 \dots\dots\dots(5.6)$$

El cual también puede obtenerse directamente de la (figura 5.2.)

La ecuación de diseño resultaría:

$$Q = 19.15 \text{ Has}^{5/6} \dots\dots\dots(5.5)$$

Si se hubiera utilizado la ecuación 5.2 el resultado hubiese sido:

$$Cd = \frac{2.78 * 90}{24} = 10.43$$

Y la ecuación de diseño resultaría:

$$Q = Cd * Ha = 10.43 * Ha \dots \dots \dots (5.4)$$

Esta última ecuación (5.2) proporciona valores menores para áreas menores de 50 Has. Para superficies mayores, la ecuación (5.3) resulta en menores valores de Q y por consiguiente el diseño será más económico. Rojas. M. R (1980)

## 6. MÉTODO DE DRENAJE SUPERFICIAL

Los métodos de drenaje a emplear en una determinada área, dependerán de varios factores de los cuales los más importantes son los siguientes:

- 1) fuente de exceso de agua
- 2) características topográficas del área
- 3) suelos
- 4) cultivos a utilizar
- 5) Consideraciones sociales.

En general se pueden encontrar tres tipos de soluciones, dependiendo de la fuente de exceso de agua:

- 1) Control de inundaciones
- 2) Control de aguas de escorrentía de zonas adyacentes
- 3) Drenaje superficial local.

## **6.1 El Control de Inundaciones**

Según (Linsley, 1977) Este control consiste en la construcción de obras de ingeniería, que impidan el desbordamiento de los ríos causantes del problema. Estas obras requieren de grandes inversiones y ameritan de un estudio hidrológico bastante profundo.

## **6.2 El Control de las Aguas de Escorrentía de Áreas Adyacentes.**

Se logra mediante la construcción de canales interceptores o mediante la protección del área por medio de diques perimetrales que impidan la entrada del agua al área de consideración. (Linsley , 1977)

## **6.3 El Drenaje Superficial Local.**

Es aquel que se realiza dentro del área problema y consiste del conjunto de canales de desagüe y de las obras de sistematización o conformación del terreno.

- 1) Canales principales
- 2) Canales secundarios
- 3) Canales colectores

Los canales principales generalmente son los mismos drenajes naturales ampliados y rectificadas. Los canales secundarios están formados por parte de la red natural y canales nuevos que son construidos para ampliar la red.

Los colectores o terciarios, son los drenajes que recogen al agua directamente de los campos de producción o de las parcelas del sistema. (James, 1983)

## 6.4 Métodos de Conformación del Terreno

La red principal de drenaje se diseña bajo el supuesto que el escurrimiento superficial sobre las parcelas, pueda ser logrado en los tiempos previstos. En el caso de la red colectora, esta se diseña siendo normas hidráulicas perfectamente conocidas y se supone que su funcionamiento estará de acuerdo a lo diseñado, por el contrario, el escurrimiento de las parcelas a la red colectora no puede ser determinada con tanta facilidad ya que estas se encuentran por lo general en condiciones naturales y con todas las irregularidades propias de un terreno agrícola. El flujo del exceso de agua hacia los drenes dependerá principalmente de:

- a. Pendiente del terreno
- b. Micro-relieve
- c. Cobertura
- d. Condiciones de humedad
- e. Longitud de recorrido del flujo

Cada uno de esos factores es responsable por una mayor o menor velocidad del flujo. De todos estos factores, la pendiente, el micro-relieve, la longitud de recorrido, pueden ser planificados en las obras de conformación del terreno.

En el caso de que en las condiciones actuales, no ocurra un flujo suficientemente rápido para garantizar la evacuación de los excesos de agua, en el tiempo requerido por los cultivos, habrá que modificar la superficie del terreno.

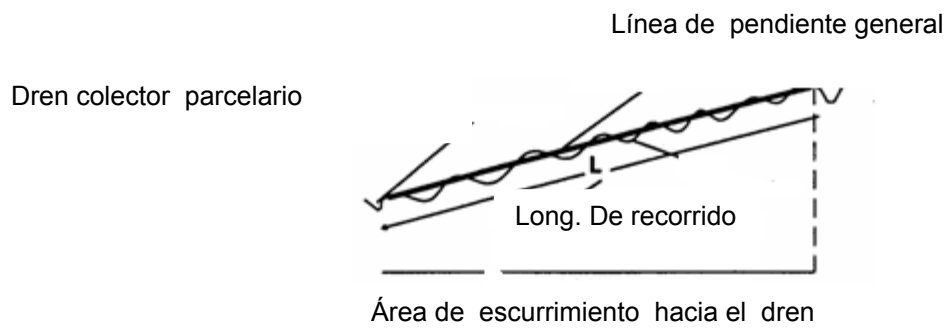
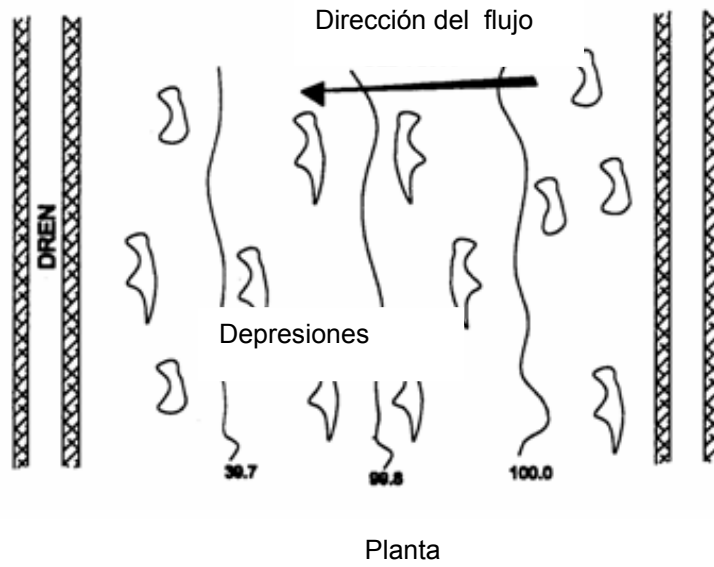


Figura 6.1 Factores topográficos modificables mediante obras de Conformación del terreno.

Según( Rojas. 1980). La cobertura puede modificarse cambiando el cultivo o uso de la tierra; las condiciones de humedad o pueden cambiarse pues son dependientes del clima. De esta manera para garantizar el escurrimiento habrá que modificar cualquiera o una combinación de los siguientes factores: pendiente, micro-relieve, o longitud del terreno. La figura 6.1 muestra estos tres factores esquemáticamente. La modificación de estos factores se logra mediante la sistematización y conformación del terreno. El micro-relieve se puede modificar mediante un alisamiento de la superficie; la pendiente puede combinarse mediante obras de conformación del terreno y la longitud de recorrido se modifica mediante el espaciamiento de los drenes colectores parcelarios.

Los métodos de mejoramiento del drenaje superficial as conocidos son:

- 1) Conformación
- 2) Emparejamiento o alisamiento
- 3) Camellones anchos o Bancales
- 4) Camellones angostos.

#### **6.4.1 Conformación (Land Grading)**

Este método se utiliza generalmente cuando se contempla el riego complementario por superficie. La conformación puede hacerse para aumentar las pendientes en tierras muy planas o para alterar topografías muy irregulares y conformarla en varios planos, que permitan el libre escurrimiento de las aguas tanto para drenaje como riego por superficie.

Por lo general en un trabajo de conformación se modifican todos los factores principales como: pendiente, micro-relieve y longitud de recorrido. Esta es una practica bastante reciente y su utilización esta comenzando a extenderse rápidamente en los Estados Unidos.



Este tiene la gran desventaja de ser muy costosa y si no se planifican bien los cambios de pendientes, puede resultar muy contraproducente en los años secos por falta de agua para los cultivos o si exagera la pendiente puede ocasionarse erosión de los suelos. Las figuras 6.2 y 6.3 muestran esquemas de la utilización del método, las obras de conformación por lo general requieren del uso de maquinaria pesada las cuales pueden causar gran perturbación de la naturaleza de los suelos. El uso de este método como se dijo anteriormente deberá ser condicionado de tal forma que se produzca una remoción de suelo vegetal, el método no es recomendado para suelos poco profundos. Rojas. (1980)

#### **6.4.2 Emparejamiento (Land Smoothing)**

Este método consiste en la eliminación de pequeñas depresiones y lomas que impiden el movimiento del agua. El emparejamiento se realiza generalmente en terrenos que poseen una pendiente adecuada, por lo tanto no se contempla la modificación de la pendiente, y en consecuencia, el movimiento de tierras es bastante pequeño. (figura. 6.4) los canales colectores se trazan de tal forma que estos comuniquen todas las áreas de menor cota y depresiones.

Una de las desventajas de este método, es la irregularidad en la distribución de los drenes y por ende de las parcelas.

#### **6.4.3 Camellones Anchos o Bancales (Bedding)**

Este método es uno de los más antiguos utilizado en el mejoramiento del drenaje superficial. Consiste en conformar la tierra de manera de crear una superficie cóncavo – convexa que permita el rápido movimiento de las aguas. En la parte convexa se plantan los cultivos y en las partes mas bajas de la concavidad quedan los drenes.

Su construcción puede realizarse con maquinaria de movimiento de tierra o sencillamente utilizando un arado el cual se pasa sencillamente sobre el terreno lanzando la tierra hacia el centro del bancale. Figura (6.6).

El bancale tiene algunas desventajas relacionadas con la mecanización ya que las labores agrícolas deben realizarse siempre en el sentido longitudinal del mismo. Cuando se requiere regar, existe la dificultad de hacerlo con riego superficial.

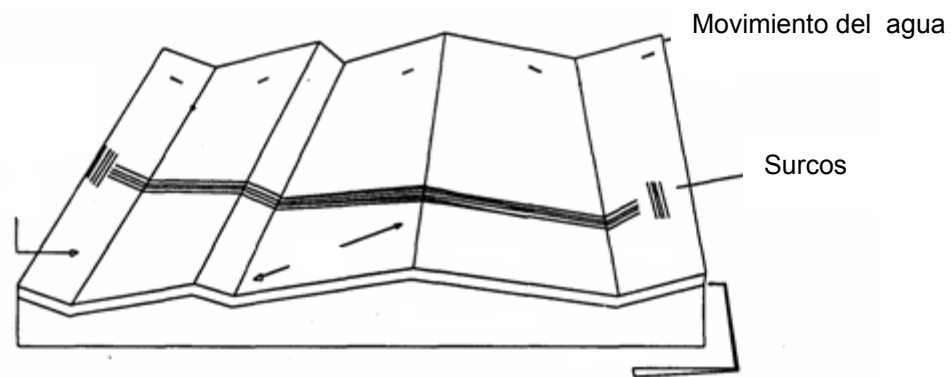


Figura 6.2 Conformación ( land grading) para aumentar la pendiente del terreno.

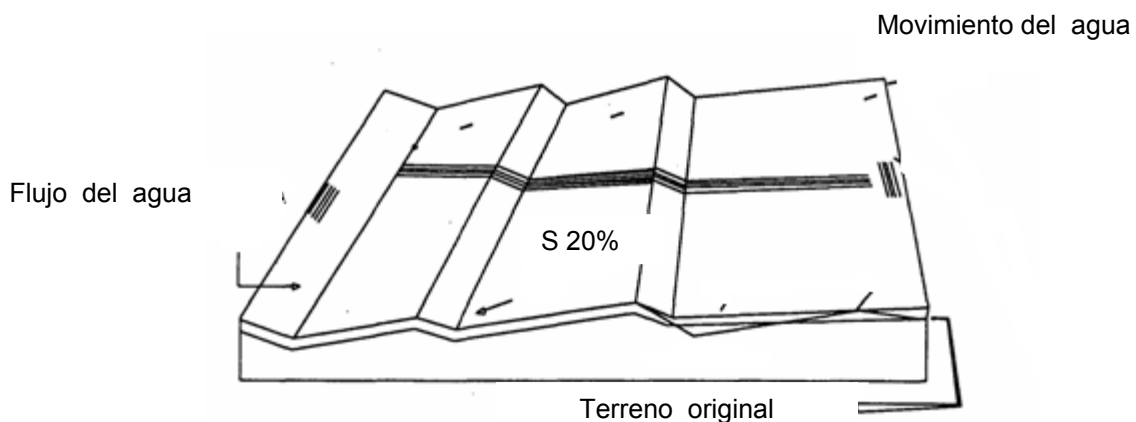


Figura 6.3 Conformación

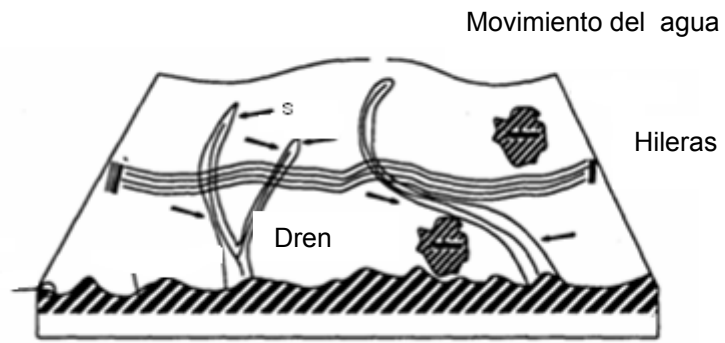


Figura 6.4 Emparejamiento (land smooting) con drenes al azar

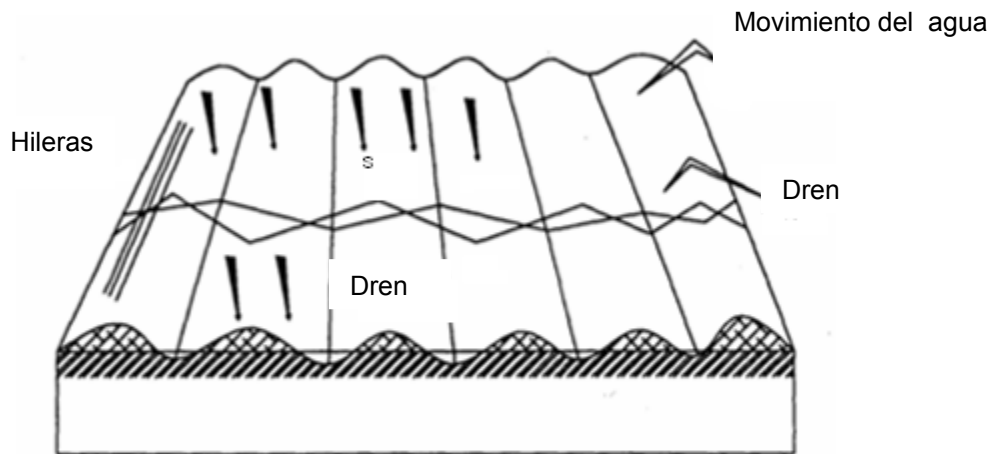


Figura 6.5 Camellones anchos

En ancho y pendiente laterales de los camellones deben ser diseñados de tal manera que este funcione tan eficientemente en periodos secos como húmedos. Las figuras 6.5 y 6.7 muestran algunos detalles de los bancales.

#### **6.4.4 Camellones Angostos (Ridge Planting)**

Este es el método más sencillo y económico de mejorar el drenaje superficial y consiste simplemente en la construcción de surcos que servirán como drenes y en el camellon se planta el cultivo, una modalidad del método consiste en hacer el camellon un poco más ancho y plantar dos hileras sobre él. El surcado puede hacerse para cada siembra o puede ser semipermanente. Una combinación de camellones semipermanentes con labranza mínima seria muy conveniente siempre y cuando las condiciones climáticas y edáficas así lo permitan. La figura 6.8 esquematiza este método al igual que los métodos anteriores, el diseño de las dimensiones y pendientes de los camellones debe de ser tal que permita una rápida evacuación de los excesos de agua, pero al mismo tiempo no tan altos ni con excesiva pendiente que perjudiquen el equilibrio de suelo y formen la erosión. (Pizarro. 1978)

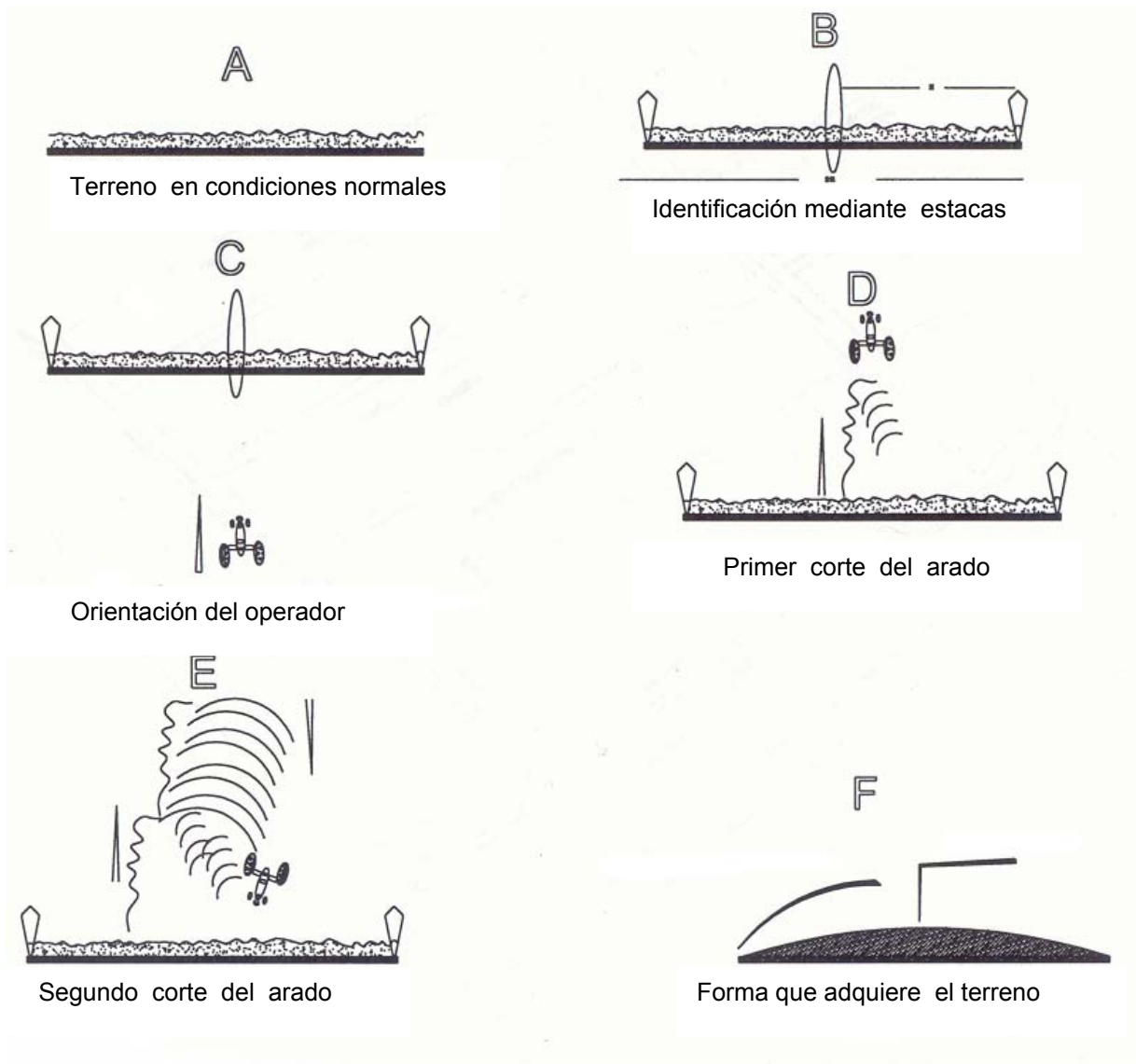


Figura 6.6 Secuencia a seguir para la construcción de un camellón ancho

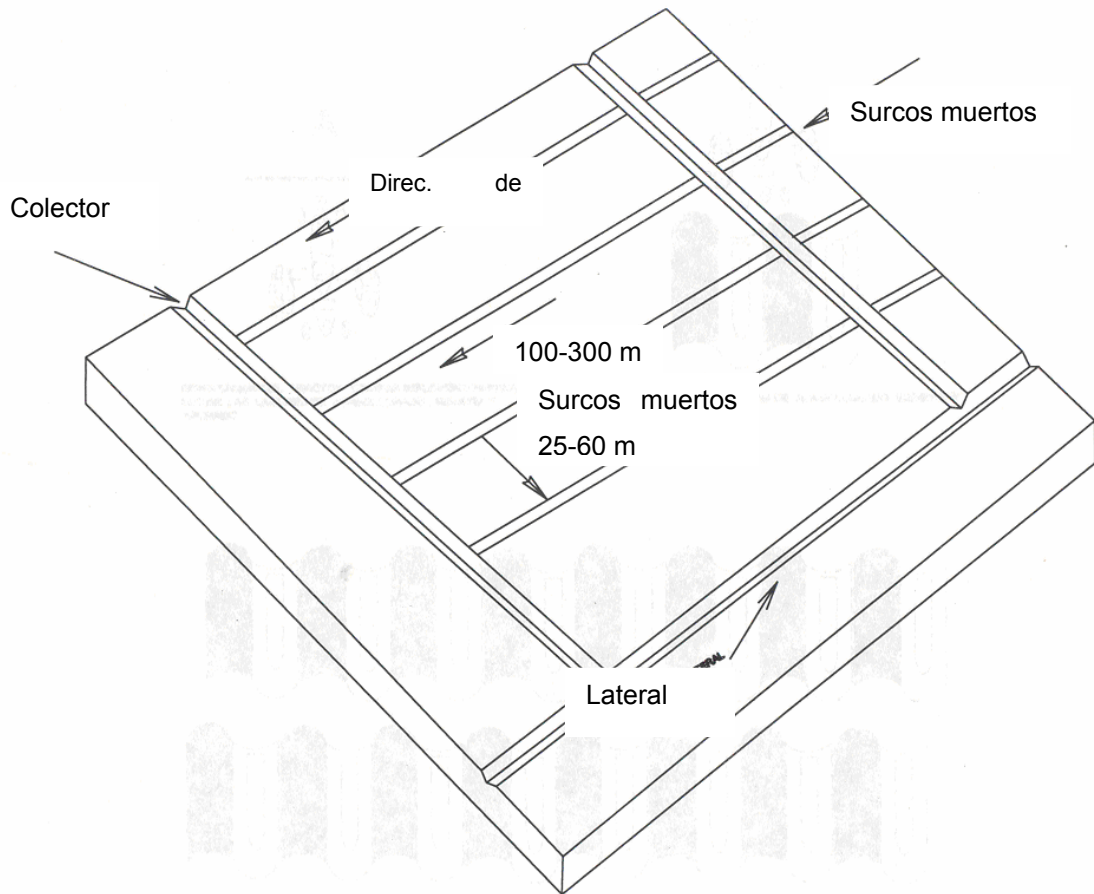
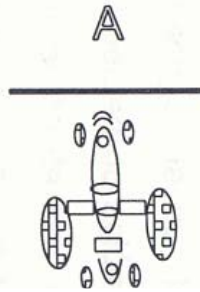
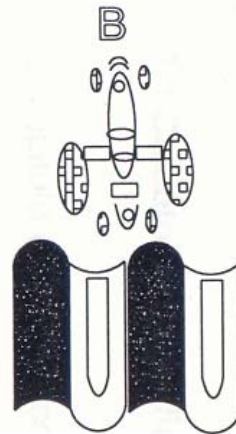


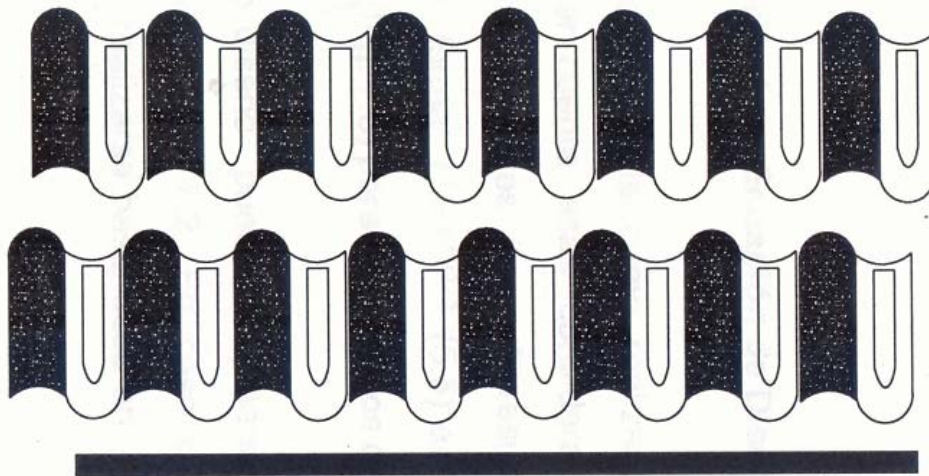
Figura 6.7 Algunos detalles del bancal



Orientación del tractor para iniciar el camellón



Inicio de labores de camellonado



Vista general de los camellones

Figura 6.8 Sistema de siembra en camellón más zanjillos

## 7. DISEÑO DE UNA RED COLECTORA.

Según (James.1983) El diseño de un sistema de colectores de drenaje superficial comprende cuatro fases principales:

- 1) Calculo de coeficiente de drenaje o ecuación de diseño
- 2) Trazo de la red de drenaje
- 3) Dimencionamiento de la red
- 4) Estimación de costos.

### 7.1 Calculo del Coeficiente de Drenaje o Ecuación de Diseño.

El capítulo cinco describe con bastante detalle como realizar el calculo del coeficiente de drenaje. Tomando en cuenta esas consideraciones, pueden obtenerse ecuaciones de diseño para diferentes áreas. El resultado final será un conjunto de ecuaciones de la forma  $Q = CA^{5/5}$  esas ecuaciones pueden presentarse gráficamente (Figura. 7.5) para facilitar los cálculos.

La escogencia de las lluvias de diseño puede empleando estudios de profundidad-duración-frecuencia (Figura. 7.1 y 7.2. En caso de no existir información de esa índole, puede realizarse basándose en datos del área (cuadro 7.1 y Figura. 7.3, 7.4)



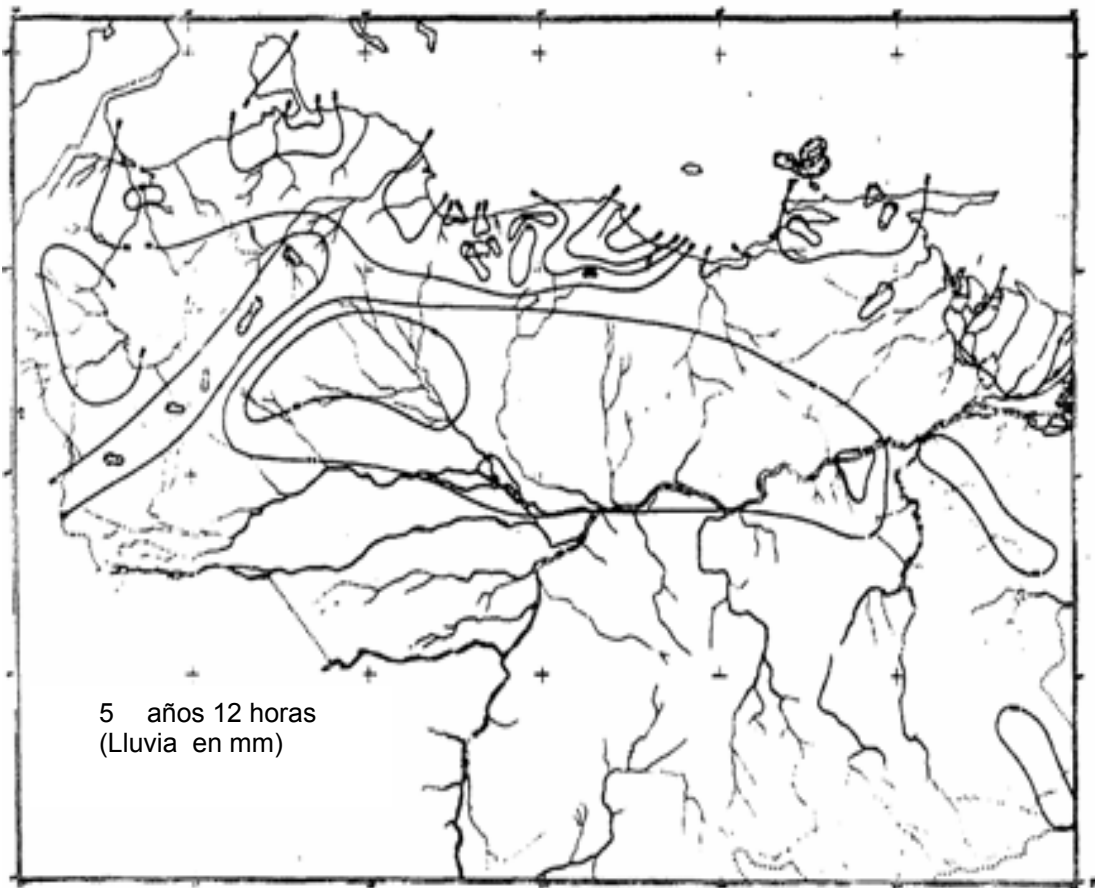


Figura 7.1 Lluvias para un periodo de retorno de 5 años, de duración de 5 horas

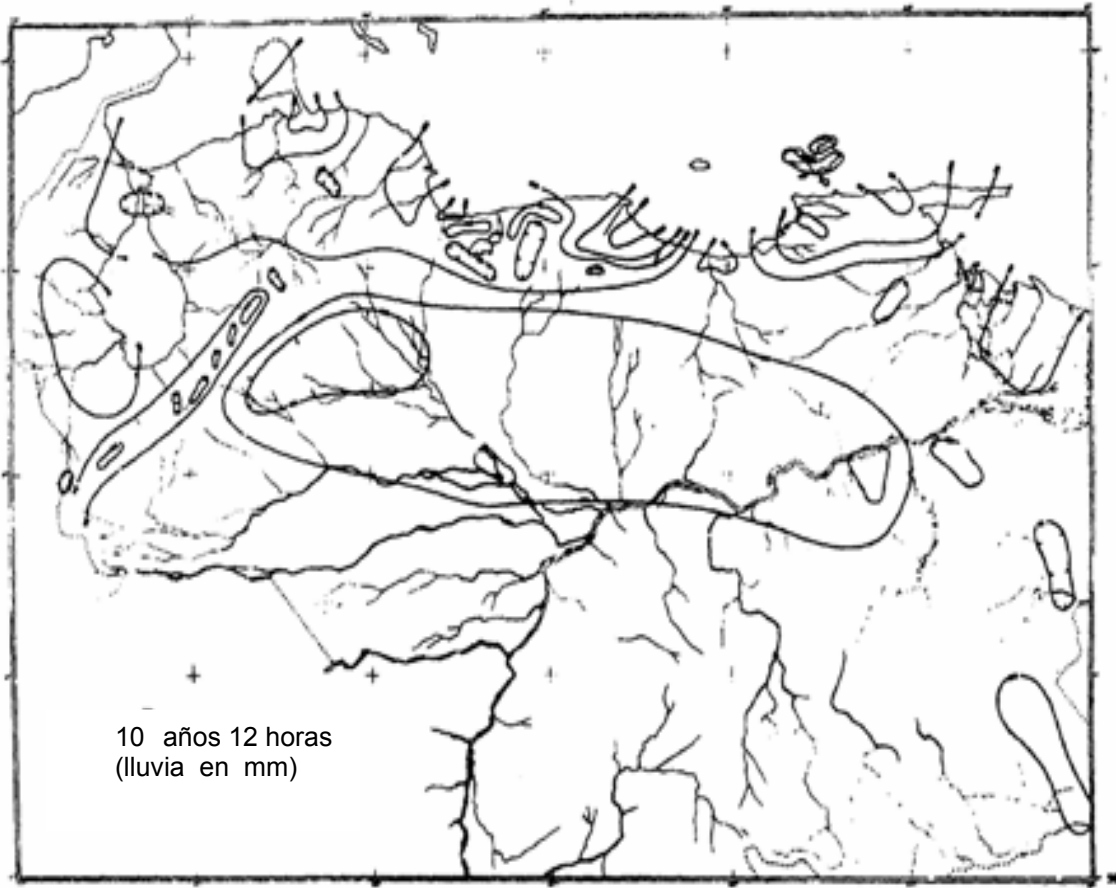


Figura 7.2 Lluvias para un periodo de retorno de 10 años  
duración de 12 horas

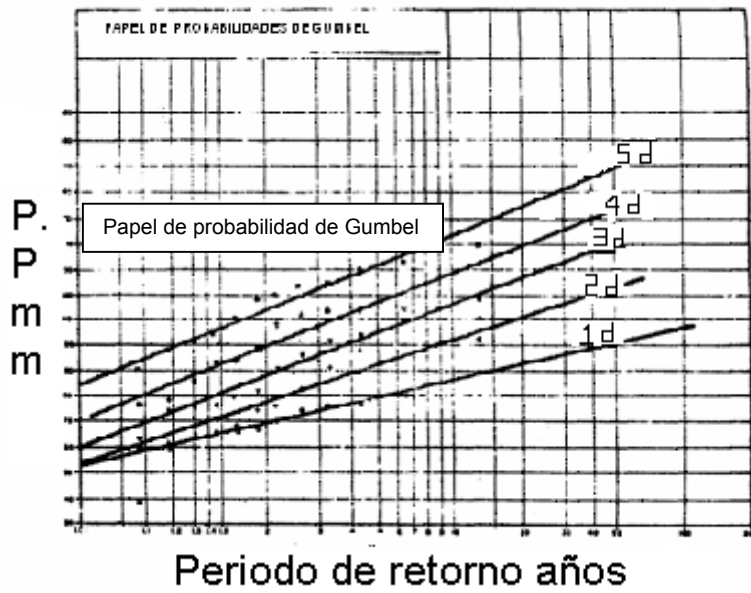
Cuadro 7.1 Selecciones de lluvias máximas ocurridas. Para 1, 2, 3, 4 y 5 días de lluvia consecutivas. Durante el ciclo del maíz (estación agua blanca)

Año	Precipitación en mm				
	1Dia	2 Días	3 Días	4 Días	5 Días
1964	77.0	82.8	104.3	114.3	133.6
1965	60.4	65.7	80.50	93.5	97.5
1966	65.9	65.9	77.20	86.3	124.6
1967	39.1	62.0	81.8	107.8	120.5
1968	70.4	75.7	75.7	77.50	109.7
1969	65.5	75.2	76.9	115.2	118.2
1970	66.9	68.2	96.10	99.2	104.2
1971	59.1	59.8	63.2	78.9	90.4
1972	82.6	97.9	110.3	112.3	123.7
1973(F)	89.0	90.75	90.75	94.32	101.9
1974(F)	75.6	102.2	102.2	117.7	139.6
1975(F)	76.4	100.2	108.7	114.0	130.1

Continuación del cuadro 7.1

Año	1Día	Año	2 Días	Año	3 Días	Año	4 Días	Año	5 Días	$Tr = \frac{n+1}{m}$
73	89.0	74	102.20	72	110.30	74	117.70	74	139.60	13.00
72	82.6	75	100.20	75	108.70	69	115.20	64	133.60	6.50
64	77.0	72	97.90	64	104.30	64	114.30	75	130.10	4.33
75	76.4	73	90.75	74	102.20	75	114.00	66	124.60	3.25
74	75.6	64	82.80	70	96.10	72	112.00	72	123.70	2.60
68	70.4	69	75.70	73	90.75	67	107.80	67	120.50	2.17
70	66.9	70	75.20	67	81.80	70	99.20	69	118.20	1.86
66	65.9	66	68.50	65	80.50	73	94.32	68	109.70	1.63
69	65.5	65	56.90	66	77.20	65	93.50	70	104.20	1.44
65	60.4	67	56.70	99	76.90	66	86.30	73	101.92	1.30
71	59.1	67	62.00	68	75.70	71	78.90	65	97.50	1.18
67	39.1	71	59.80	71	63.20	68	77.50	71	90.40	1.08

Periodos de retorno para las lluvias máximas ocurridas en 1, 2, 3, 4 y 5 días consecutivos. (Rojas, 1980)



Período de retorno en años

Figura 7.3 Precipitaciones máxima para 1,2,3,4 y 5 días

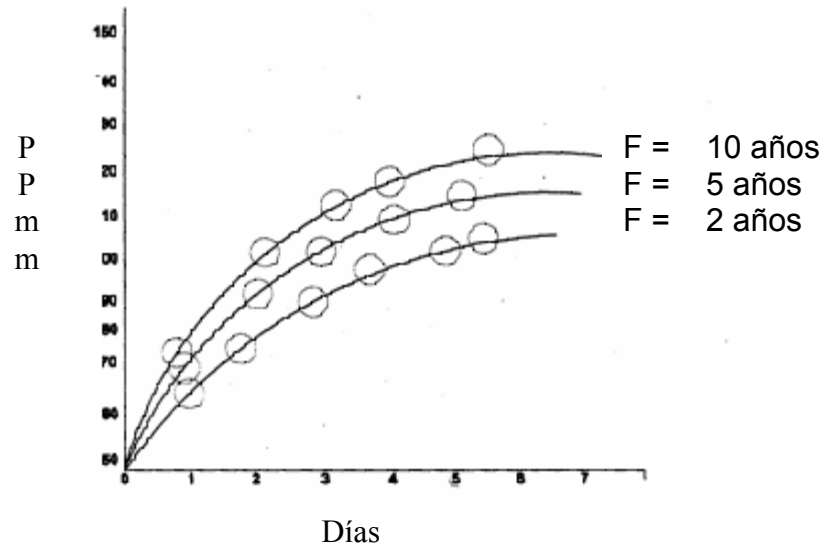


Figura 7.4 Curvas de profundidad – duración – frecuencia

(Rojas. 1980) La determinación de los otros parámetros necesarios para el cálculo del coeficiente de drenaje se hará utilizando la información agrológica y climatológica. En el caso de no poseer esa información, es indispensable realizar un estudio al respecto. El detalle del estudio dependerá del nivel del resultado esperado. Hay que tomar en consideración que el diseño debe realizarse basándose en el estudio intensivo más frecuente y siempre tomando en consideración los factores económicos.

## 7.2 Trazado de la Red de Drenaje

Según (Rojas. M. R 1980) Consiste en la elaboración de un plano con la ubicación de cada uno de los drenes primarios y secundarios. Para el trazado de estos canales se tomarán en cuenta las siguientes especificaciones.

- 1) Procurar utilizar los drenes naturales o canales de drenes existentes.

- 2) El canal debe de ser capaz de recolectar toda el agua del área que sirva.
- 3) Los canales deben de estar localizados en los sitios más bajos del terreno.
- 4) La salida debe de ser conveniente.
- 5) Los canales no deben tener curvas fuertes.
- 6) Las pendientes no deben de ser muy fuertes para evitar erosión.
- 7) El trazado debe de facilitar, en lo posible, un parcelamiento adecuado.

### **7.3 Dimencionamiento de la Red**

Una vez trazada la red se procederá a:

- 1) Calculo de la capacidad de los canales
- 2) Diseño de los canales

#### **7.3.1 Calculo de la Capacidad de los Canales Colectores.**

La capacidad de los canales se calculan utilizando las ecuaciones de diseño obtenidas de acuerdo a los análisis efectuados en el capítulo cinco, para el caso de un solo dren, se utiliza la ecuación directamente; Cuando en el área exista mas de una ecuación, es necesario calcular áreas equivalentes. En las intersecciones se deben utilizar la regla de 20-40. Estos dos últimos procedimientos se describen a continuación. Para facilidad y ordenamiento de los cálculos es conveniente confeccionar un cuadro similar al cuadro 7.4. (James. 1979)

##### **7.3.1.1 Calculo de la Capacidad de los Colectores en las Intersecciones.**

###### **Regla de 20-40.**

El calculo de la capacidad de un colector aguas debajo de una intersección puede realizarse de dos formas:

- 1) Sumando las capacidades de los colectores que se unen, o
- 2) Considerando toda el área de la cuenca aguas arriba de la intersección y utilizar un coeficiente de drenaje ponderando aunque sean diferentes.

El primer método de una capacidad mayor que el segundo debiéndose cuando las áreas drenadas por los colectores son casi iguales. Esto es debido a que los tiempos de concentración serán aproximadamente iguales.

El segundo método debe utilizarse cuando un colector drenando a una pequeña área se une a un colector a un área de influencia mucho mayor en los casos intermedios se puede utilizar una combinación de ambos métodos.

El Soil Conservation Service (1972) ha propuesto una metodología llamada la regla del 20-40, que considera tres casos.

Caso.1 cuando en área tributaria de uno de los colectores que se unen esta entre el 40 y 60 % del área total, la capacidad del dren aguas abajo de la intersección, se determina sumando las capacidades de ambos.

Caso.2 cuando el área tributaria de un colector es menor del 20 % del área total, la capacidad del colector, aguas debajo de la intersección, se obtiene considerando el área total y utilizando la ecuación de drenaje adoptada.

Caso.3 cuando el área drenada por uno de los colectores esta comprendida por entre el 20 y 40 % del área total, el caudal de diseño aguas abajo del colector, estará también comprendido entre los valores obtenidos por los dos casos anteriores. Para obtener el caudal de diseño, se calcula la diferencia de caudal entre los casos 1, 2 y el resultado se prorrataan de acuerdo a la diferencia entre el porcentaje obtenido y e 20 a 40 %.



La figura 7.5 ilustra los tres casos presentados.

Para comprender mejor el caso tres, se presenta el siguiente ejemplo: un colector que drena 1296 Has, se une a otro que a su vez drena un área de 4130 Has, el área total será de 5426 Has.

La ecuación de drenaje utilizada es:  $Q = 12.5Ha^{5/6}$  (litros por segundo). Analizando las áreas se deduce que el área menor es 23.88% del área total y por lo tanto se considera como caso 3. El caudal de diseño se obtiene como sigue. Ver figura 7.5.

a.-Q para 1296 Has.

Q para 4130 Has

Caudal total caso 1

b. - Q Para área total (5426 Has)

Caso 2

c.- diferencia (a-b)

d.- porcentaje del área menor

$$\frac{1296}{5426} * 100 = 23.88\%$$

4906

$$\frac{12888}{17794 \text{ l/seg}}$$
$$16180 \text{ l/seg}$$
$$1614 \text{ l/seg.}$$

e.- diferencia para el 20%(caso 2)

$$23.88 - 20.0 = 3.88 \%$$

f.- porcentaje de diferencia de caudal

$$\frac{3.88}{20} - 100 = 19.4\%$$

g.- caudal adicional =  $0.194 * 1614$  (c por f)= 313 l/seg.

h.- caudal de diseño

$$16180 + 313 = 16493 \text{ l/seg.}$$

Si el cálculo se hace basándose en el 40% (caso 1), el resultado sería:

e.- diferencia para el 40% (caso 1)

$$23.88 - 40.0 = -16.12$$

f.- porcentaje de diferencia de caudal

$$\frac{-16.12}{20} = -0.806 = -80.6\%$$

g.- caudal adicional =  $-0.806 * 1614 = -1300$

h.- caudal de diseño =  $17794 - 1301 = 16493 \text{ l/seg.}$

### 7.3.1.2 Computo de Áreas Equivalentes

Cuando el exceso de agua es removida a diferentes rutas en varias partes de la cuenca, o mejor dicho, cuando el computo del caudal de diseño se efectúa con diferentes ecuaciones de drenaje, hay dificultad para encontrar

el caudal de diseño aguas abajo de una intersección en la cual dos áreas con esas características se unen. Una forma de obviar el problema es la de transformar ambas áreas a una sola ecuación de drenaje y utilizar áreas equivalentes para el área cuya ecuación de drenaje sea diferente a la adoptada. El computo de las áreas equivalentes puede ser realizado gráfica o analíticamente.

El calculo es muy sencillo y solo requiere la determinación del caudal de diseño utilizando la ecuación de drenaje original y luego introduciendo ese caudal en la ecuación adoptada, se despeja el valor del área equivalente. Una expresión que facilita el cálculo es la siguiente:

$$Ae = \left( \frac{Ci}{Cf} \right)^{1.2} Ai$$

En la cual

Ae = Área equivalente

Ci = coeficiente de la ecuación de drenaje original

Cf = coeficiente de la ecuación de drenaje adoptada

Ai = Área original

La forma grafica de determinar las áreas equivalentes, consiste en graficar las diferentes ecuaciones de drenaje en papel doble logarítmico; como la ecuación tiene forma exponencial, estas se grafican con una línea recta con pendiente igual a 5/6 y un intercepto para A = 1 igual C. La figura 7.5 muestra la grafica de algunas ecuaciones de drenaje.

Para ilustrar lo anterior lo anterior, supóngase que un colector drenando un área de 500 Has. Con una ecuación  $Q = 9.4 \text{ Ha}^{5/6}$  se une a otro colector drenando un área de 200Has. Con una ecuación  $Q = 18.3 \text{ Ha}^{5/6}$ . para calcular el caudal aguas abajo de la intersección, se tiene la dificultad en aplicar la

regla del 20-40 ya que ambas tienen coeficientes de drenaje diferentes y por lo tanto no se pueden comparar las áreas directamente.

En ese caso, es necesario convertir ambas áreas a una sola ecuación ya sea  $Q = 9.4 \text{ Ha}^{5/6}$  o  $Q = 18.3 \text{ Ha}^{5/6}$ . dependiendo de las conveniencias de calculo. Si escogemos como ecuación de diseño.

$Q = 9.4 \text{ Ha}^{5/6}$ . hay que transformar las 200 Has, que utiliza la otra ecuación, a un área equivalente en la ecuación adoptada; para ello se calcula el caudal con la ecuación original  $Q = 18.3 \text{ Ha}^{5/6}$  obteniendo.

$Q = 18.3 (200)^{5/6} = 1513.5$  litros por segundo; reemplazando este valor en la ecuación adoptada se despeja el área equivalente como.

$A_c = (1513.5/9.4)^{1.2} = 444.9$  Has o sea que las 200 Has de la ecuación con  $C = 18.3$  equivalente 444.9 Has de la ecuación con  $C = 9.4$  el área total seria de  $444.9 + 500 = 944.9$  Has, siendo que las 444.9 Has, corresponden a un 48% del área total y consecutivamente se considera como caso 1. y por tanto el caudal de diseño seria igual a:

$$Q_D = 1513.5 + 9.4 (500)^{5/6} = 3181.8 \text{ l/seg.}$$

Utilizando la ecuación 7.1 se obtiene:

$$A_e = \left( \frac{C_i}{C_f} \right)^{1.2} \quad A_i = \left( \frac{18.3}{9.4} \right)^{1.2} 200 = 444.9 \text{ Has.}$$

Exactamente igual al anterior; de la misma manera, utilizando el grafico de la figura 7.6 se obtiene un valor igual.

Hay que hacer notar que si se comparan las áreas reales del problema analizando, obtienes un área total de  $A_T = 200 + 500 = 700$  has.

Consecuentemente las 200 Has serian solo un  $200/700 = 0.286$  del área total, o sea, un 28.6 % por lo que se tendría el caso tres de la regla 20-40; Sin

embargo, teniendo el área menor un coeficiente de drenaje mayor, lógicamente la velocidad del flujo tendría que ser mayor y en este caso, el caudal producido es cercano al del área mayor (1668.3 pls). (Luthin , Rafael 1980)

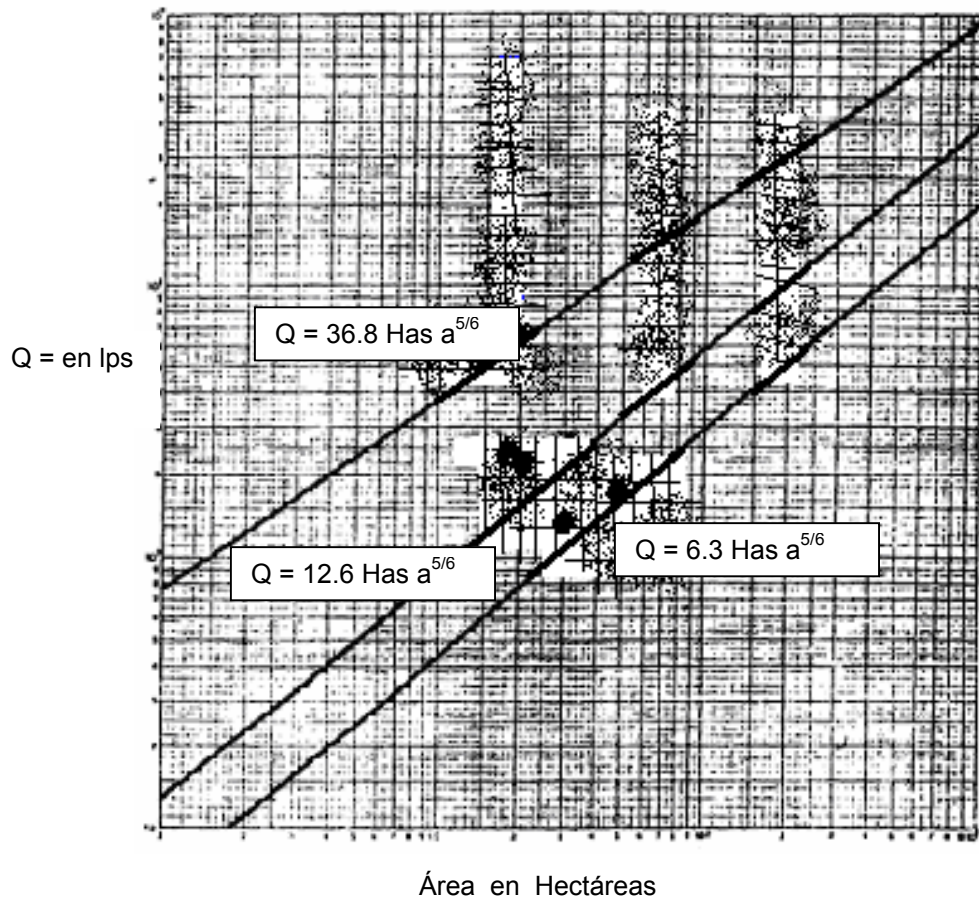


Figura 7.5 Curvas de escorrentía para diseño de drenaje superficial

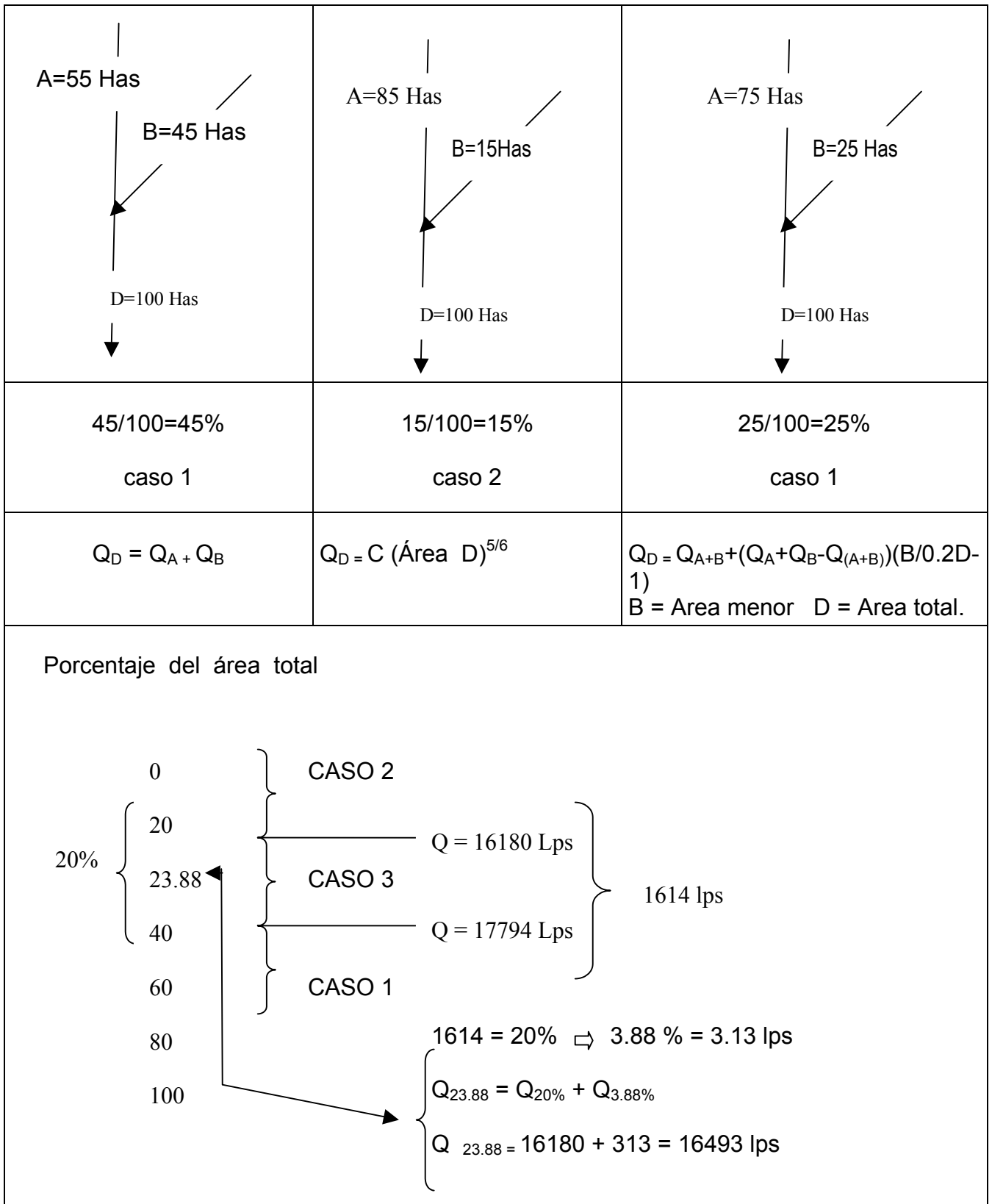


Figura 7.6 Demostración gráfica de la regla 20 – 40

## 7.4 Diseño Definitivo

Los factores de diseño a considerar son:

- 1) Coeficiente de rugosidad  $n$  de Manning
- 2) Velocidades permisibles (pendientes)
- 3) Sección Típica
- 4) Profundidad del canal (tirante del agua)
- 5) Taludes
- 6) Ancho del fondo (base)
- 7) Facilidad de mecanización

Para el diseño de los canales se utiliza la formula de manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots(7.2)$$

Donde:

$V$  = velocidad en m/seg.

$R$  = radio hidráulico = Área/perímetro mojado

$S$  = pendiente del terreno

$N$  = coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de continuidad  $Q = Av$ , donde  $Q = m^3/seg.$  y trabajando con tentativas, puede obtenerse la sección deseada.

El cuadro 7.6 puede ser utilizado para sistematizar el cálculo, en el apéndice A se presentan varios monogramas para el cálculo de secciones. (James. 1979)

## 7.5 Algunas Consideraciones Sobre el Diseño de Canales Abiertos

Según el Soil Conservation Service (1973) los siguientes factores deben considerarse al ajustar el tirante de agua, ancho de la plantilla y las pendientes laterales para obtener la sección requerida:

- 1) Un canal profundo proporciona mayor velocidad que uno superficial.
- 2) Un canal profundo proporciona una mejor oportunidad para el drenaje interno.
- 3) Un canal profundo probablemente dura más debido a que la sedimentación causa menos obstrucción.
- 4) Un canal profundo requiere menos derecho de vía que uno superficial.
- 5) Un canal profundo puede descubrir un estrato inestable que uno superficial no lo haría.
- 6) Un canal llano puede resultar más práctico mantenerlo mediante pastoreo o segado que uno profundo.

También es necesario considerar un incremento en la sección para comparar la sedimentación inicial.

- 1) Aumenta la sección en un 20%
- 2) Proporcione un aumento en profundidad o ancho de la base del canal pero no en la parte superior. En suelos arenosos no es conveniente profundizar el canal.



- 3) Convenga con el constructor para aumentar la excavación (en profundidad) con una practica de construcción en algunas partes este aumento puede ser de 15 a 30 cm.

## **7.6 Caudales Máximos de Diseño**

Cuando se desea diseñar algunas estructuras complementarias como: alcantarillas y pontones, es necesario conocer en caudal máximo de diseño, para cierto riesgo, a fin de que estas no fallen. En este caso, el diseño puede efectuarse utilizando algunas de las ecuaciones conocidas y propuestas anteriormente. ( Rojas. 1980)

## **7.7 Estimación de Costos**

Según (James. 1983) en la estimación de costos se tomaran en cuenta los siguientes rubros:

- a) Estudio topográfico (replanteo)
- b) Deforestación (limpieza del terreno)
- c) Costo del terreno
- d) Excavación
- e) Conformación
- f) Costo de materiales

Cada uno de estos rubros puede ser evaluados por separado debido a su variación, sin embargo, cuando se tiene información suficiente sobre otros proyectos ya ejecutados en el área, puede confeccionarse una curva de costos, la cual por lo general se hace en función al caudal de diseño, la figura 7.7 ilustra una curva de ese tipo.

L = Máxima longitud del cauce

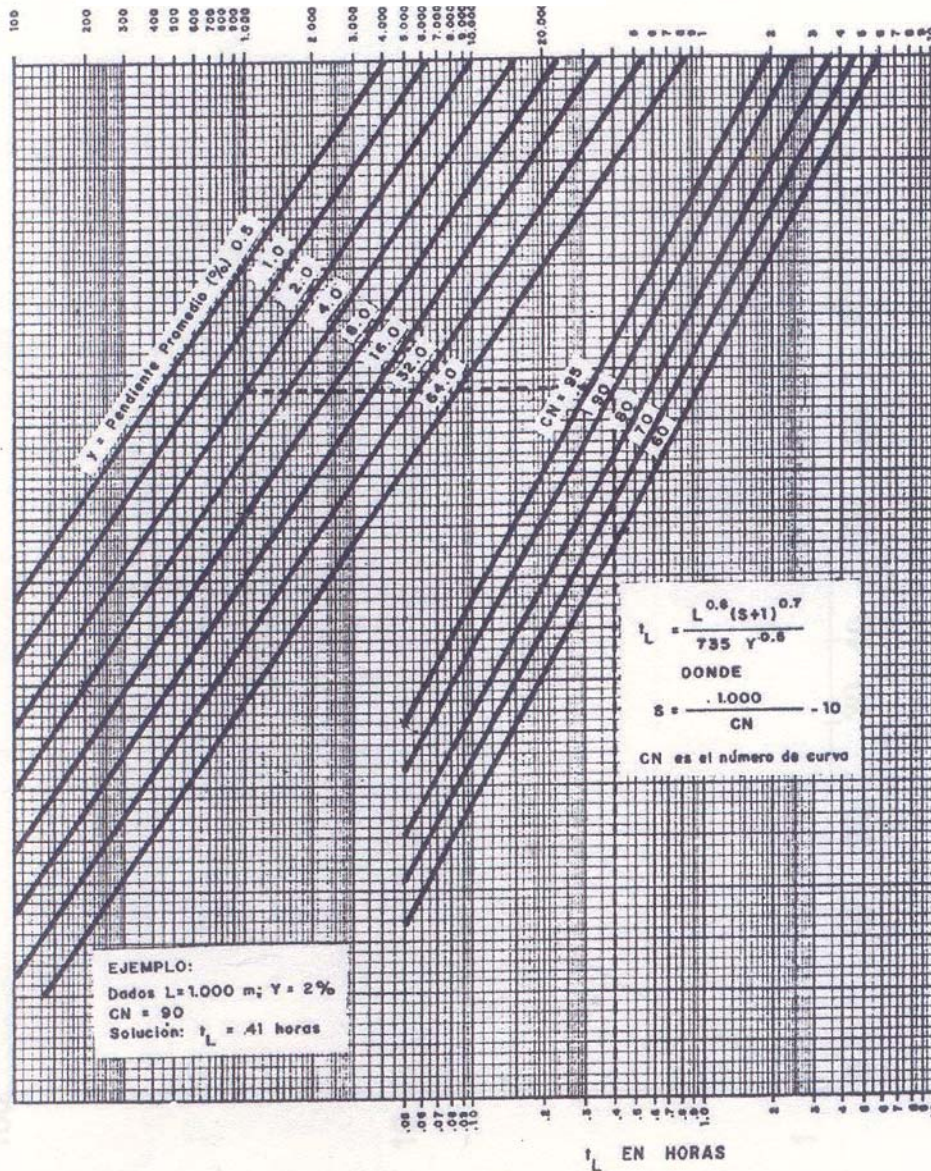


Figura 7.7 Estimación del tiempo de retardo por el método de número de Curva.

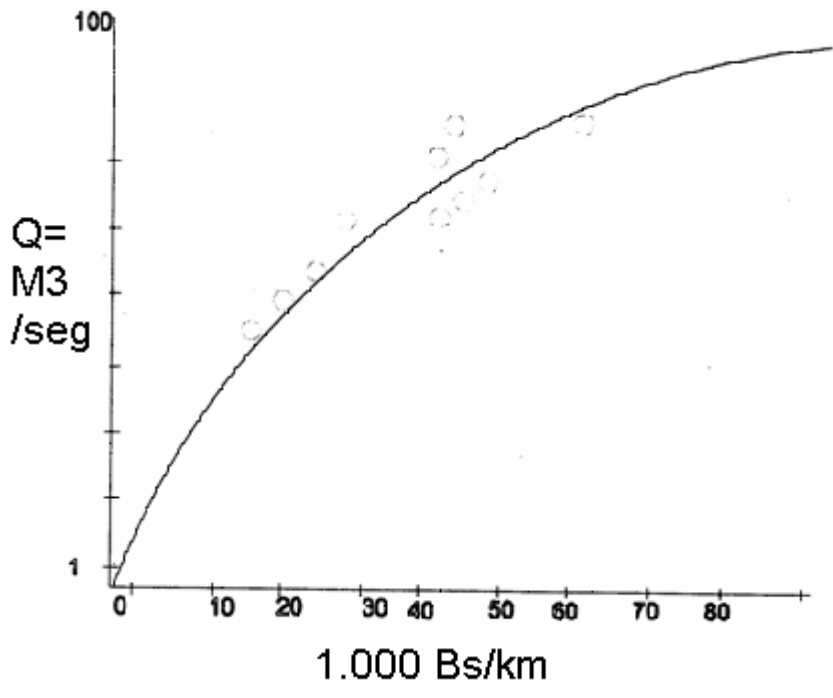


Figura 7.8 Costos de drenes superficiales

Cuadro 7.2 Costo por Hectáreas para Operaciones de Sistematización de Tierras en Proyectos de Investigación en Virginia Usa.

Operaciones	Costos de operación BS/Ha	de hileras niveladas BS/Ha	superficies planas BS/Ha	fondos de ríó BS/Ha
Preparación del terreno.	20	76	76	54
Arado y Rastreo	53	65	65	22
Canales y limpieza.	5	11	11	
Mano de obra				
Conformación inicial.	62	109	435	1033
Conformación final.	20	109	109	130
Costos totales.	160	370	696	1239

- a. Precipitación de diseño
- b. Caudal de entrada  $Q_e = 3000$  litros/seg.
- c. Tiempo de drenaje

Hortalizas	8 has	70 mm
Maíz	24 has	80 mm
Pastos	72 has	104mm

De acuerdo a la metodología presentada se calcula la esorrentía, el coeficiente de drenaje y el coeficiente C de la ecuación (5.5) para cada una de las área

Cuadro 7.3 Cálculo del volumen de escorrentía y el coeficiente de drenaje para drenaje superficial

sector	area has	uso o cobertura	condición hidrológica	suelo clases .hidrológicas	Curva. CN	tiempo drenaje	lluvia diseño cm.	escorrentía	1/para 24 horas	Coeficiente de drenaje. C
A	35	maíz	hileras	buena	C	85	24	4.36	4.36	11.6
B	24	pastos	pastores	buena	D	80	72	5.38	1.79	7.5
C	12	Hort.	hileras	buena	B	78	8	2.42	7.29	16.4
D	15	maíz	hileras	buena	C	85	24	4.35	4.36	11.6
E	11	pastos	pastos	buena	D	80	72	5.38	1.79	7.5
1-1	120	Pastos	pastos	buena	D	80	72	5.33	1.79	7.5

$$1/ E \text{ Para } 24 \text{ horas} = \frac{E * 24}{td}$$

2/ de la ecuación 5.6 y utilizado en la ecuación 5.5.

## 2.-Capacidades de los Drenes

Para el cálculo de las capacidades de los colectores, se confeccionó el gráfico que aparece en la figura 7.9 y el cual presenta las ecuaciones de diseño para el área. De acuerdo con el procedimiento explicado en la sección 7.5, se calculó el caudal de diseño para cada punto indicado. Resultados que aparecen en el cuadro 7.5.

## 3.-cálculo de las Secciones

En este ejemplo, solo se calculó la sección de Qs (río). Se adoptaron los siguientes valores de diseño: sección = trapecial, taludes = 4:1 y

$$h = 0.05$$

$$h = \text{igual o menor que } 1.0 \text{ m}$$

$$b = \text{entre } 2 - 2 \text{ m}$$

$$s = 0.1 \% \text{ v} = \text{igual o menor a } 1.0 \text{ m/seg.}$$

En el cuadro 7.4 se resumen los cálculos efectuados.

Estación lateral	o Area total has	Area adicional has		
		Area has	Coefficiente c	Coefficiente adoptada
1-1 en Q <sub>6</sub>	120	*	7.5	7.5
L-1.1 EN Q7(A)	35	-	11.6	7.5
1-1 EN Q8	155	*	11.6	7.5
1-2 L-2.2 EN	12	-	16.4	7.5
Q5(C)	15	35	11.5	7.5
L2 EN Q2	27	*	7.5	7.5
AREA E	11	-	7.5	7.5
AREA B	24	*	-	7.5
RIO EN QE		-	-	7.5
RIO EN Q1**		-	-	7.5
RIO EN QS**		-	-	7.5



Continuación Resumen de cálculos efectuados

Área equiv.	área total	%área total	caso regla 20-40	caudal diseño	observaciones
120.0	120	100	-	405	
59.1	59.1	100	-	224.5	ver cuadro 7.5
59.1	179.1	33.0	3	607.3	
30.7	30.7	100	-	130.1	
25.3	25.3	100	-	110.8	
25.3	56	45	1	240.9	
11	11	100	-	55.3	drena al río
24	24	100	-	106.0	drena al río
-	-	-	-	3.00	caudal entrada
-	-	-	-	3.296.3	q2 + e qe
-	-	-	-	4.009.5	q1 + q8 + b

\*no hay área adicional \*\* en el río no se considero la regla 20-40

Cuadro 7.5 Cálculo de la regla 20-40 para ejemplo en el punto  $Q_8$  del colector L-1

1. caudal inicial ( $Q = 7.4 \text{ Ha}^{5/6}$ )	120 has 59.1 has	$Q=405.2$ $Q=224.5$	LPS LPS
2. caudal considerando toda el área en $Q_8$	179.1 has	629.7	
3. 1-2	59.1/179.1	$Q=565.8$	LPS
4. porcentaje en el total	33.0-20.0	63.9 = 33%	LPS
5. diferencia en el 20%	13/20	13.0%	
6. a prorratear	63.9(0.65)	0.65	
7. caudal adicional	565.8 + 41.5	41..5	LPS
8. caudal original		607.3	LPS

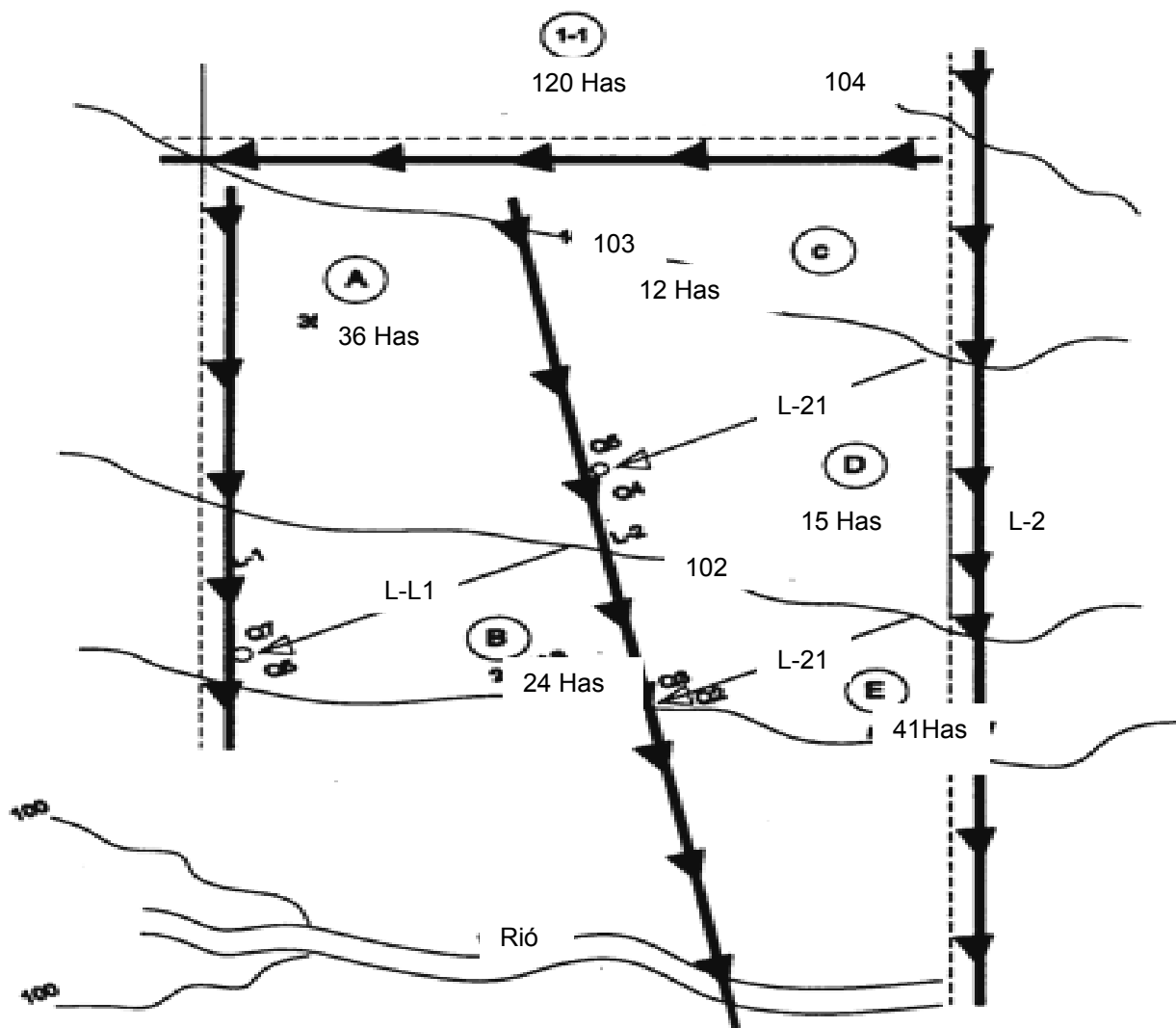


Figura 7.9 esquema de una red de drenaje

Cuadro 7.6 Ejemplo de cálculos hidráulicos

estimación	q de diseño	Z/ taludes	n	s m/m	ancho base m	tirante m	área m <sup>2</sup>	radio hidráulico	velocidad	capacidad	observaciones
LATERAL	Q LPS	Z	n	s	l	D	A	R	V	Q	
1/	4009.5	4	0.05	0.001	2.0	1.0	6.0	0.586	0.443	2.65	pequeño
					5.0	0.9	7.74	0.623	0.465	3.57	pequeño
					5.0	0.95	8.36	0.651	0.475	3.97	CASI
					5.0	1.0	9.0	0.679	0.489	4.49	OK

## **8 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS**

En la literatura existente no se encuentra diferencias sobre análisis económicos detallados de sistemas de drenaje superficial. Los trabajos de investigación y estudios de proyectos realizados solo permiten tener una idea de los costos y beneficios de un determinado proyecto.

El factor riesgo generalmente no se toma en cuenta para estos estudios económicos y por lo tanto es muy probable que en los diseños actuales se cometan errores de sub.-diseño y de sobre-diseño de los drenes de drenaje.

Las fallas enunciadas anteriormente se deben generalmente a la falta de investigación sobre los daños producido por exceso de agua y de los costos de las obras necesarios para evitar o disminuir dichos daños. (James. 1979)

## **CONCLUSIÓN**

El problema del drenaje de tierras agrícolas en algunas zonas ha sido muy descuidado y hasta el presente, la mayoría de los agricultores se limitan a evadir sus consecuencias mediante la programación de cultivos de ciclo corto que son plantados en épocas libres del problema, o sencillamente dejan las áreas afectadas como zonas marginales para algunos cultivos que si son resistentes a inundaciones, ejemplo algunos pastos y el arroz.

Se dice que la mayoría de las plantas son bastante tolerantes a la inundación durante el periodo de inactividad o descanso.

La falta de aireación es un factor que ocasiona mayores daños a las plantas inundadas, pero cierta evidencia disponible indica que los efectos peligrosos, también son producidos por la actividad microbiana en un medio ambiente anaeróbico.

La poca información disponible sobre la profundidad óptima de la capa freática durante la temporada de crecimiento vegetal, indica que una capa freática elevada durante dicho periodo, puede bajar la producción de cosechas en la siguiente temporada, estado esto relacionado quizá con el deterioro de la estructura del suelo bajo condiciones de encharcamiento.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

C.B. England: Land Capability: An Hidrologic Response Unit in agricultural Watersheds.

Edd. D. Rhoades, Grass Survival in Flood pool areas, Journal of soil and Water Conservation. Jan-Feb. 1967.( chickasha, Oklahoma, U. S. A.)

[http://www.sagan.gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/8agua.html](http://www.sagan.gea.org/hojared_AGUA/paginas/8agua.html)

<http://www.sistema.itesm.mx/va/Planes2000/Sinteticos/sin00-iq.html>

James B. Beard and David. April 1970.

Linsley, R. K., Jr, M. A Kohler y J. H Paulihus.1977. Hidrología para Ingenieros. Segunda Edición. Ed. McGraw-Hill. Mexico. P.P.281-309.

James.N. L. 1979. Drenaje de Tierras Agrícolas, Teoría y Aplicaciones, Ed. Limusa. México. P.P. 410-438.

MC Clory, S.H. et al 1965 report upon the Cypress creek Drainage District, Desha and Chicot counties, Arkansas USDA, office of Exp. Sta. Bol. 198

Nava, P., R. 1986. Drenaje Superficial de loa Suelos Vertisoles Gleyicos para la producción de Maiz (Zea mays. L) en Quintana Roo. Tesis de Licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. P. 78.

Pizarro, F. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Ed. Agrícola Española. S. A, Madrid. P.P. 18-33 y 341-378.

R. E. Williamson and George j. Kriz . 1970

Rojas M. R (1980) Drenaje superficial de tierras agrícolas centro internacional de desarrollo integral de agua y tierra.

- Roe, H. B y C.Q Ayres. 1960. Drenaje Agrícola para Ingenieros, traducción de la primera edición de Engineering for Agricultural Drainage por Mateo Sust. Barcelona. P.P 1-20.
- Sampat, A.G. 1986. Física de Suelos. Principios y Aplicaciones. Ed. Limusa. México. P.P. 107-124 y 311-331.
- Schwab, G, O. Manson., J.N. Luthin., R. C . Reeve y T.W. Edminster. 1979. Aspectos de Ingeniería del Drenaje de Tierras. 1979. Ed: Drenaje de Tierras Agrícolas, Teoría y Aplicaciones. Ed. Limusa. Mexico. Pg 317-410.
- Sie ling chiang, *journal of hydrology*. 13 (1971, 54-62)
- Soto, R. J. 1987. Situación Actual y perspectivas de explotación del Cultivo de Arroz en la Zona Sur del Estado de Quintana, Roo. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo, Coahuila, México. P. 165.
- U.S.D.A S.C.S 1973. Drainage of Agricultural Lands, WIC
- Vega, G. J,D. 1979. Curso de Uso y Manejo del Agua. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, N. L México P.P 200-209.

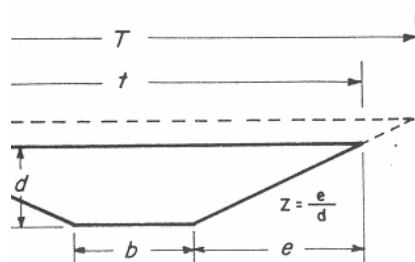


# APENDICE

9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
AULICO, R

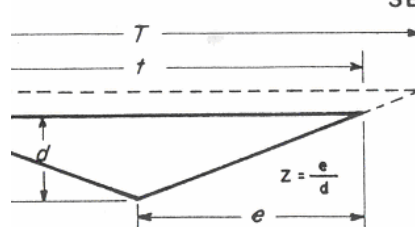
Linea  
Pivote

Figura A-1 Monograma para solución de la fórmula de Manning Rojas, 1980



SECCION TRAPEZOIDAL

AREA (a)	PERIMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO R	ANCHO DEL TOPE (T)
$bd + Zd^2$	$b + 2d\sqrt{Z^2 + 1}$	$\frac{bd + Zd^2}{b + 2d\sqrt{Z^2 + 1}}$	$t = b + 2dZ$ $T = b + 2dZ$



SECCION TRIANGULAR

$Zd^2$	$2d\sqrt{Z^2 + 1}$	$\frac{Zd}{2\sqrt{Z^2 + 1}}$	$t = 2dZ$ $T = \frac{D}{d}t$
--------	--------------------	------------------------------	---------------------------------

Figura A-2 secciones más comunes y sus características Rojas, 1980

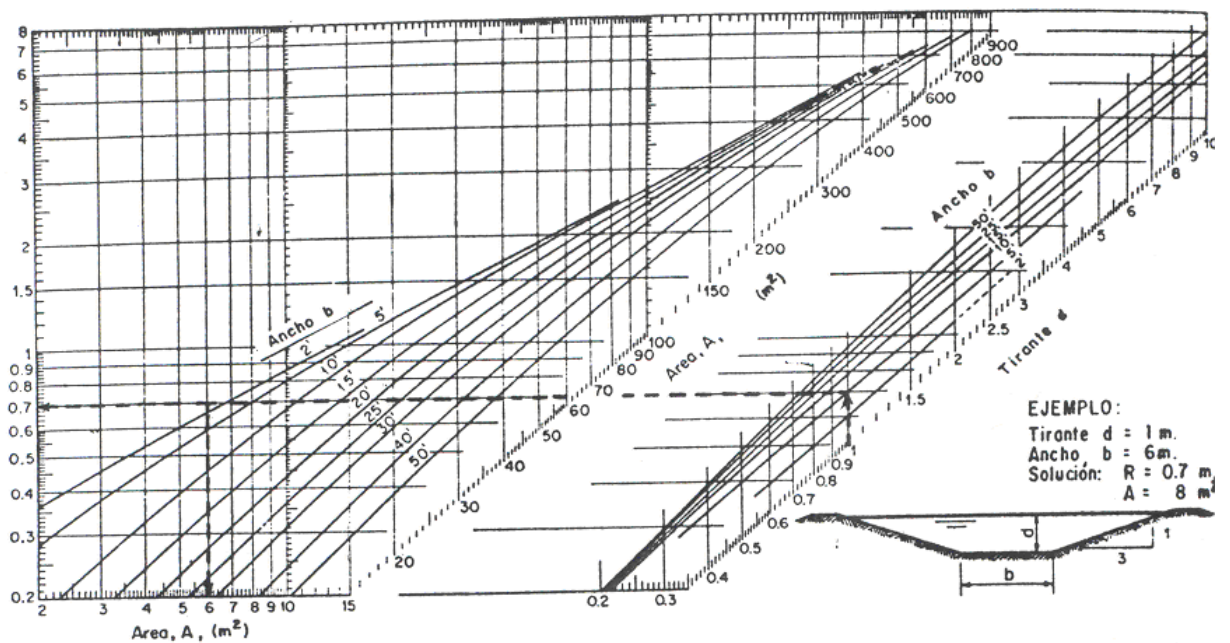


Figura A-3 Elementos hidráulicos de un canal trapecial con Taludes 3 : 1 Rojas, 1980

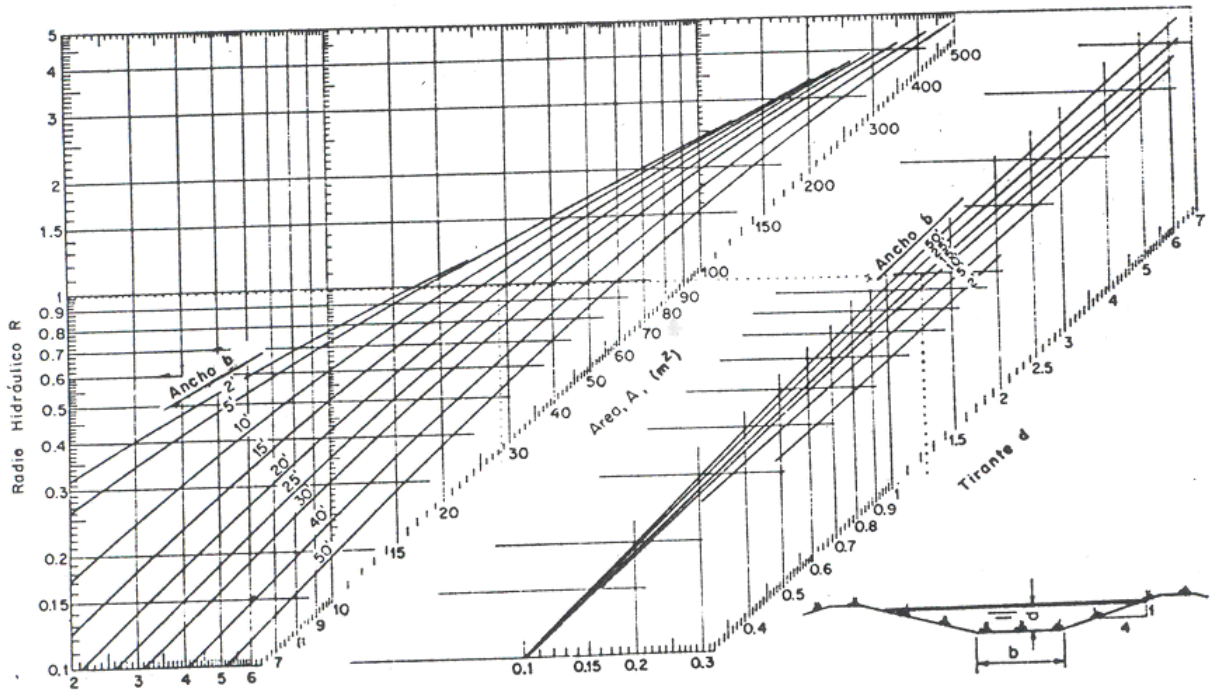


Figura A -4 Elementos hidráulicos de un canal trapecial con Taludes 4 : 1 Rojas, 1980

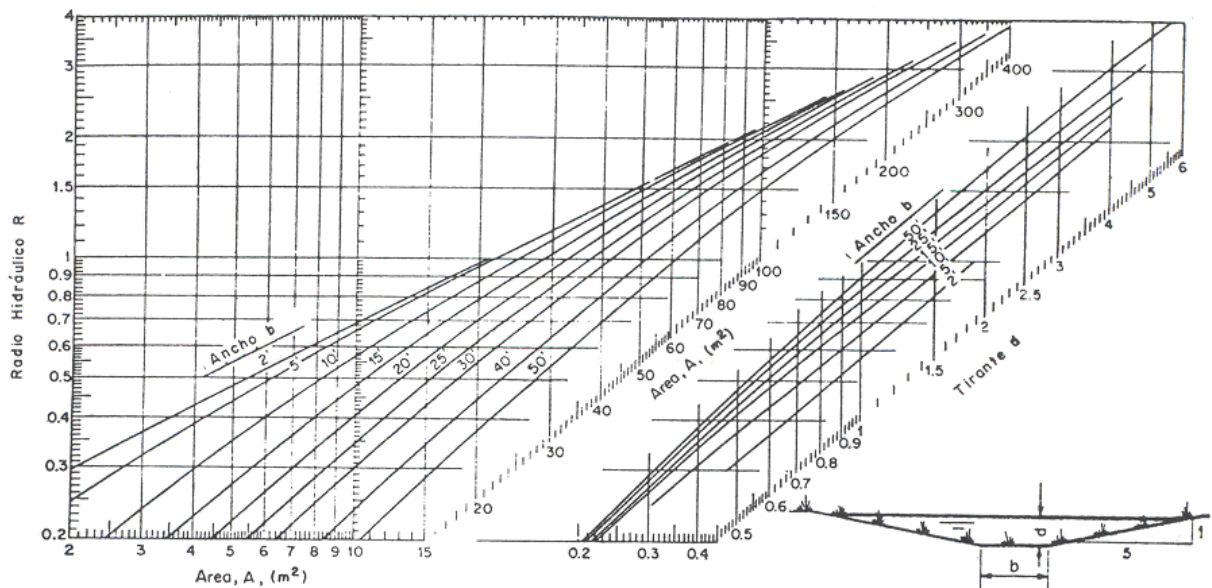


Figura A-5 Elementos hidráulicos de un canal trapecial con Taludes 5 : 1 Rojas, 1980

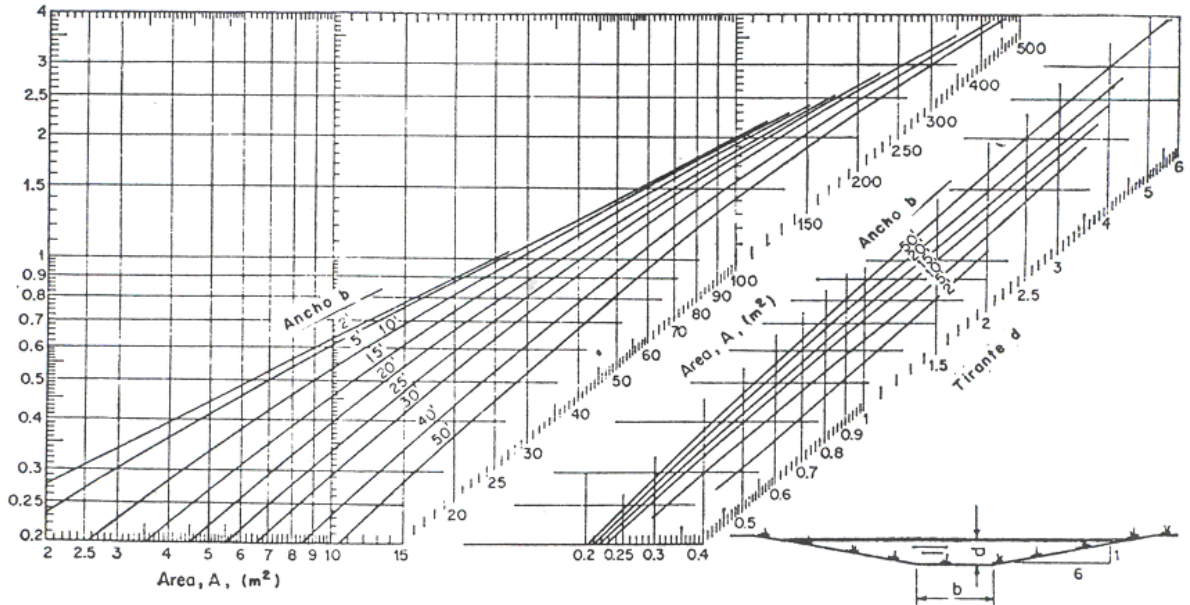


Figura A -6 Elementos hidráulicos de un canal trapecial con Taludes 6:1 Rojas, 1980

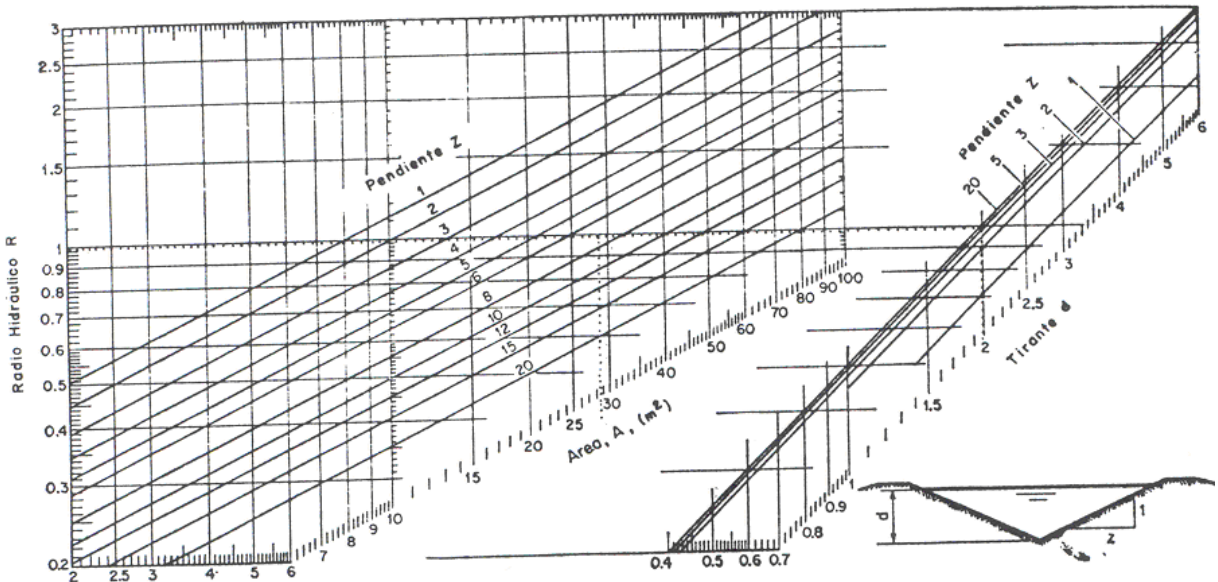


Figura A- 7 Elementos hidráulicos de canales triangulares Rojas, 1980

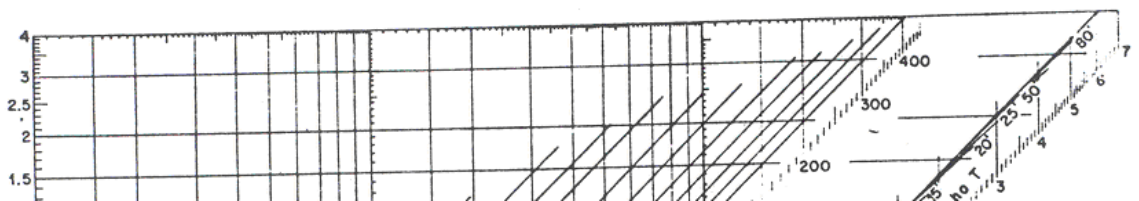
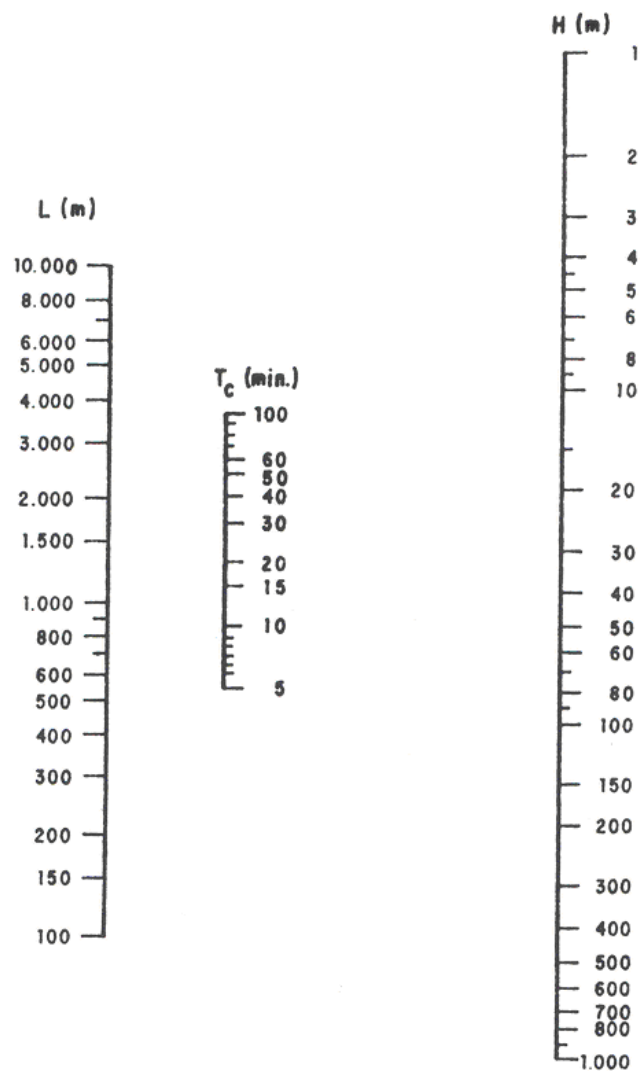


Figura A – 8 Elementos hidráulicos de canales parabólicos Rojas, 1980



$$T_c = \left( \frac{3,6 \times 10^{-5} L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Figura A – 9 Monograma, tiempo de concentración Rojas, 1980

