

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**CARACTERIZACION FISIOGRAFICA PARA LA  
UBICACION DE BOQUILLAS PARA BORDOS  
DE ABREVADEROS EN EL EJIDO TANQUE COLORADO  
MUNICIPIO DE VILLA DE GUADALUPE, S. L. P.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA**

**PRESENTA**

**CAYETANO GONZALEZ GARCIA**

**MARIN, N. L.**

**DICIEMBRE 1992.**

T

GB568

.16

G6

c.1

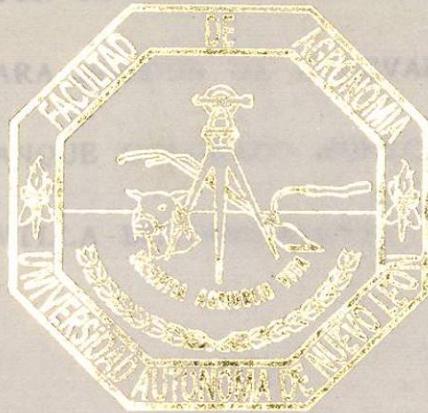


1080061353

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

CARACTERIZACION FISIOGRAFICA PARA LA UBICACION DE  
BOQUILLAS PARA ABREVADEROS EN EL EJIDO



TESIS CARACTERIZACION FISIOGRAFICA PARA LA UBICACION DE BOQUILLAS PARA BORDOS DE ABREVADEROS EN EL EJIDO TANQUE COLORADO MUNICIPIO DE VILLA DE GUADALUPE, S. L. P.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

CAYETANO GONZALEZ GARCIA

MARIN, N. L.

DICIEMBRE 1992.



0112876  
Mestrado de Agronomía

2107 F



Biblioteca Central  
Magister Superior



FONDO  
TESIS LICENCIATURA

Tesis

CARACTERIZACION FISIOGRAFICA PARA LA UBICACION DE  
BOQUILLAS PARA BORDOS DE ABREVADERO EN EL EJIDO  
TANQUE COLORADO MUNICIPIO DE  
VILLA DE GUADALUPE, S.L.P.

TESIS QUE PRESENTA CAYETANO GONZALEZ GARCIA COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

COMISION REVISORA

ING. M.C. FRANCISCO RODRIGUEZ ESQUIVEL

Ph. D. RIGOBERTO E. VAZQUEZ ALVARADO

ING. VICENTE JAVIER ANGELES GARZA

## AGRADECIMIENTOS

AL ING. AGR. M.C. FRANCISCO RODRIGUEZ EZQUIVEL

Por su valiosa ayuda en la realización de este escrito, ya que sin él no lo hubiera terminado.

AL Ph. D. RIGOBERTO E. VAZAEZ ALVARADO

Por sus atenciones brindadas en la revisión de este escrito.

AL ING. VICENTE JAVIER ANGELES GARZA

Por sus atenciones durante mi estancia en esta Facultad, así como en la revisión de este escrito.

A LA FAMILIA GONZALEZ RODRIGUEZ

Quienes me brindaron durante mi estancia en Monterrey, N.L. su casa y confianza.

A MI AMIGO JESUS HECTOR ANDRADE CASTILLO

Con quien compartí, mis tristezas y alegrías de mi vida de estudiante.

A MI ESCUELA Y MAESTROS.

## DEDICATORIAS

A MIS PADRES

,  
TOMAS GONZALEZ ORTIZ  
MARCIANA GARCIA ESCAMILLA

Que con su amor, comprensión y sacrificio, hicieron posible que yo terminara esta Carrera.

A MI TIA

FELICITAS GONZALEZ ORTIZ

Por su apoyo, cariño que siempre me brindó, no solamente en mi vida Universitaria, sino en toda mi vida estudiantil, por lo que ella siempre será para mí como mi segunda Madre.

A MIS HERMANOS

ELISA  
CIPRIANO  
EUSEBIO  
EMILIANO  
MARCIANA  
ESTANISLAO  
MARIO  
VICTOR

Con cariño fraternal.

A MI ESPOSA

ARACELI LOERA PORRAS

Con cariño y amor.

# I N D I C E

PAGINA

I.-	INTRODUCCION .....	1
1.1.	Hipótesis .....	
1.2.	Objetivos .....	
II.-	REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1.	La Cuenca Hidrológica como Unidad de Manejo.....	3
2.1.1.	Definición de cuenca.....	3
2.1.2.	Objetivo del estudio de las cuencas	4
2.1.3.	Panóramica general de manejo de cuencas .....	5
2.2.	Escurrimientos superficiales .....	37
2.2.1.	Definiciones .....	37
2.2.2.	Objetivo de los escurrimientos superficiales .....	39
2.2.3.	Factores que afectan el escurrimiento superficial .....	39
2.2.4.	Cálculo de los escurrimientos medios .....	44
2.3.	Lineamientos generales a seguir en las diversas fases de un proyecto de construcción de pequeñas obras hidráulicas de riego y abrevadero .....	62
2.3.1.	Recepción de la solicitud .....	62
2.3.2.	Información de gabinete .....	65
2.3.3.	Trabajos de campos .....	68
2.3.4.	Trabajos de laboratorio .....	71
2.3.5.	Trabajos de gabinete .....	72
2.4.	Propiedades físico químicas, químicas y físicas del suelo .....	75
2.4.1.	Propiedades físico químicas .....	75
2.4.2.	Propiedades químicas .....	76
2.4.3.	Propiedades físicas de los suelos..	79

III.- MATERIALES Y METODOS .....	84
3.1. Descripción del área de estudio .....	84
3.1.1. Localización .....	84
3.1.2. Climas .....	84
3.1.3. Geología .....	86
3.1.4. Hidrología .....	86
3.1.5. Suelos .....	86
3.1.6. Topografía .....	95
3.2. Materiales .....	99
3.3. Metodología .....	99
IV.- RESULTADOS .....	102
4.1. Resultados de la información de gabinete..	102
4.1.1. Subcuenca "El Jaquis".....	102
4.1.2. Subcuenca "La Joya" .....	107
4.1.3. Subcuenca "Palo Blanco" .....	110
4.1.4. Subcuenca "Santa Ursula" .....	114
V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	118
VI.- RESUMEN .....	120
VII.- BIBLIOGRAFIA .....	122

## INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
1	Valores de "C" para el cálculo de escurrimientos. ....	46
2	Grupos hidrológicos de suelos usados por el Servicio de Conservación de Suelos de los E.U.A. ....	53
3	Caracterización hidrológica para varios usos del suelo. ....	54
4	Curva numérica (CN) usada para estimar escurrimientos bajo diferentes complejos suelo-coberturas y manejo (datos para la condición de humedad II, y $I_a = 0.25$ ).....	56
5	Condición de humedad antecedente como función de la precipitación .....	58
6	Curvas numéricas (CN) para condiciones antecedentes de humedad del suelo, humedad (III) y seca (I) a partir de las condiciones de humedad intermedia (II).....	61
7	Tipo de suelo en cada subcuenca. ....	95

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Partes de una cuenca .....	7
2	Planímetro polar .....	15
3	Cuadrícula para obtener la pendiente media de la cuenca por el método de Horton.....	30
4	Cálculo de la pendiente media según Nash..	31
5	Cuenca que representa curvas medias de nivel, anchura media de la paja abcd, la longitud de la curva de nivel y el área de la franja abcd. ....	31
6	Ordenamiento de corrientes de un sistema de drenaje .....	34
7	Hidrogramas típicos para corrientes perennes e intermitentes mostrando el escurrimiento directo, flujo base y los componentes del hidrograma (curva de ascenso, <u>cresta</u> y curva de descenso) .....	48
8	Representación esquemática de la precipitación acumulada (P) y escurrimiento acumulado (Q), considerando la infiltración (F) y las abstracciones iniciales (Ia). ....	50
9	Determinación de las curvas numéricas (CN) para las zonas áridas y semiáridas de acuerdo con el porcentaje de cobertura vegetal para diferentes tipos de vegetación.	57
10	Solución de la ecuación de escurrimiento con P, Q y S en mm con valores de CN que varían de 20 a 100, para precipitaciones	

	menores de 200 mm. ....	59
11	Solución de la ecuación de escurrimiento con P, Q, y S en mm para precipitaciones mayores de 200 mm .....	60
12	Localización de las subcuencas del ejido "Tanque Colorado" municipio de Villa de Guadalupe, S.L. P. ....	85
13	Geología de la subcuenca el Jaquis. Escala 1:50,000.....	87
14	Geología de las subcuencas la Joya, Palo Blanco y Santa Ursula. Escala 1:50,000....	88
15	Hidrología de la subcuenca el Jaquis. Escala 1:50,000.....	89
16	Hidrología de las subcuencas la Joya, Palo Blanco y Santa Ursula. Escala 1:50,000....	90
17	Tipos de suelo de la subcuenca el Jaquis. Escala 1:50,000 .....	91
18	Tipos de suelo de las subcuencas la Joya, Palo Blanco, y Santa Ursula. Escala - - 1:50,000 .....	92
19	Topografía de la subcuenca el Jaquis. Escala 1:50,000 .....	96
20	Topografía de las subcuencas La Joya, Palo Blanco y Santa Ursula. Escala 1:50,000 ...	98

## I. INTRODUCCION

La escasez del agua de lluvia y su mala distribución, provocan en la República Mexicana grandes áreas con temporales deficientes para la producción agrícola. Aunado a esto, cada año aumentan las áreas con problemas de erosión en diferentes grados y que entre otras causas, es debido al mal manejo del agua de lluvia.

En México se considera que las zonas áridas y semiáridas abarcan una superficie de 84 millones de hectáreas, que representan el 42% de la superficie total. Dichas zonas se localizan en la mesa central y del norte hasta los límites con E.U.A. entre las sierras Madre Occidental y Oriental, a la altura del trópico de cáncer. De esta superficie, una franja semiárida de 23.3 millones de hectáreas se extiende desde el norte hacia el centro del país, afectando parte de los Estados de México e Hidalgo (Castillo, 1985).

Ante estos problemas de falta de agua y la constante erosión de los suelos, es conveniente considerar algunos aspectos relacionados con el mejor aprovechamiento de la precipitación pluvial, situación que se obtiene con algunos sistemas de captación in situ del agua de lluvia, mismos que llevan implícitas técnicas que además de aprovechar mejor el agua de lluvia (porque aumenta la cantidad de agua disponible para las plantas), siguen prácticas que ayudan a conservar al suelo, con los consiguientes beneficios.

Con el presente trabajo se atendió la solicitud de los

campesinos del ejido "Tanque Colorado" Municipio de Villa de S.L.P. referente a que se les realizara un estudio para captación de agua con fines de riego, ya que la agricultura siempre ha sido de temporal y debido a las bajas precipitaciones las cosechas son insuficientes y en algunas ocasiones no les alcanzan ni para comer.

Es esta la razón principal por la cual se desarrolló el presente trabajo, el cual lleva como meta fundamental poder ayudar en algo a elevar el nivel de vida de los campesinos.

Con el fin de poder dar más de una sugerencia a los campesinos, el estudio abarcó cuatro cuencas, las cuales fueron las que presentaron mayor cantidad de escurrimientos.

### 1.1. Hipótesis

Los declives naturales del terreno, cuando tienen la capacidad de captar aguas de escurrimiento, son factibles de usarse para almacenar agua.

### 1.2. Objetivos

En base a los estudios de la zona, sugerir a los ejidatarios la mejor ubicación de las boquillas para la posible realización de obras para la captación de agua.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1.- La Cuenca Hidrológica como Unidad de Manejo.

La necesidad de manejar las cuencas ha sido tema reciente en el manejo de los recursos naturales, debido a que dentro de la misma se puede llevar a cabo la cuantificación de los diferentes procesos dados, reuniendo, organizando y analizando la información de cada proceso.

En efecto, las cuencas poseen estructura y organización interna integrales, determinadas y regidas por la red de drenaje, por lo cual presentan estructura y organización ecológica en torno a ese sistema de drenaje y condicionada por el régimen climático (15)<sup>1</sup>.

#### 2.1.1. Definición de Cuenca

Rodríguez, en 1975, señala que las dimensiones y características de las obras hidráulicas para fines de almacenamiento tienen como base la magnitud de los escurrimientos superficiales, los cuales son generados por precipitaciones ocurridas en el área de influencia de la corriente y a esa área de influencia se le conoce como área de captación ó área de drenaje; por lo tanto y a manera de definición concluye que cuenca de drenaje es toda el área drenada por una corriente o por un sistema de corrientes, cuyas aguas concurren a un punto de salida.

<sup>1</sup> Investigador y Catedrático del C.P. de Montesillos, Mex. (Antes Chapin go).

En otras palabras, el autor anterior señala que cuenca de drenaje es el área que contribuye al escurrimiento y que proporciona todo o parte del flujo de la corriente principal y sus corrientes tributarias.

Martínez (1979), citado por Oropeza (1980), define a la cuenca como un área natural definida por un parteaguas<sup>2</sup>, en la cual el agua es desalojada a través de una red de drenaje y una corriente principal. El conjunto del área citada forma una unidad para el desarrollo y conservación de los recursos, tales como el agua, el suelo, los bosques y la fauna.

El área limitada por el parteaguas es en sí, el área de aportación de las corrientes, esa área puede ser diferente a la cuenca de aguas subterráneas, la cuál no necesariamente tiene la misma proyección vertical.

Por su parte, el investigador estadounidense J. H. Stallings en 1972, definió a la cuenca como una unidad natural, la cual muestra las interrelaciones de suelo, geología (como está formado el suelo), agua y plantas; y hace esto dando un producto común: escurrimiento o corriente de agua.

#### 2.1.2. Objetivo del Estudio de las Cuencas

Conocer los mecanismos y comportamiento de las cuencas a través de sus diferentes usos y sistemas de manejo proporciona-

<sup>2</sup> Línea formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que cruza la o las corrientes en los puntos de salida y constituye la división de cuencas adyacentes (Rodríguez, 1975).

dos por las actividades del hombre a fin de considerarlas como unidades de administración ecológicas y para el desarrollo de múltiples estudios. (15).

Las unidades de administración ecológicas se refieren a los sistemas ecológicos o ecosistemas.

En otras palabras la finalidad del manejo de la cuenca es tratar los problemas de terreno y agua en una forma conjunta. Ellos están interrelacionados: Es decir que el uno depende de el otro, y del mismo modo uno es afectado por el otro. Asimismo, necesitamos también conocer en qué forma lo que nosotros hacemos a uno afecta al otro. (20)

### 2.1.3. Panorámica General de Manejo de Cuencas

Numerosos especialistas consideran a la cuenca como una unidad ideal para el desarrollo y aprovechamiento del ecosistema.

El término cuenca indica un dominio dentro de sus límites, los límites pueden ser físicos, tales como parteaguas o definirse por procesos, tales como procesos de escurrimiento. El dominio de la cuenca puede ser dividido además entre pequeñas cuencas denominadas subcuencas o entre subprocesos tales como escurrimientos superficiales. Las cuencas pueden ser controla-

das con estructuras, tales como presas de almacenamiento o series de presas de control de escurrimientos y/o azolves. (15)

Las partes que constituyen una cuenca son: la zona de recepción, la garganta, el lecho de deyección y el canal de desagüe o canal muerto. Figura 1. (15)

La zona de recepción.- Es la parte más alta de la cuenca. De esta parte proviene casi la totalidad del escurrimiento superficial y una gran parte de los materiales de arrastre (sedimentos).

La garganta.- Es la parte más estrecha de la cuenca donde ocurren los volúmenes de agua (escurrimientos superficiales) provenientes de la zona de recepción. La garganta puede tener una longitud variable, es decir, puede quedar comprendida en un punto o alcanzar algunos kilómetros.

El lecho de deyección .- Es la parte de la cuenca donde las aguas desembocan a la llanura. Recibe este nombre debido a que las aguas se desplazan por un lecho formado por el depósito de los sedimentos arrastrados por las crecidas anteriores. Este nombre también es llamado cono de deyección.

El canal de desagüe.- Es la parte de la cuenca donde las aguas de escurrimiento han quedado libre de acarreo (sedimentos), debido a que fueron depositados en el lecho de deyección. En esta parte las aguas fluviales se desplazan tranquilas (sin turbulencia) hasta su total desembocadura al mar, lagos u otro canal interceptor.

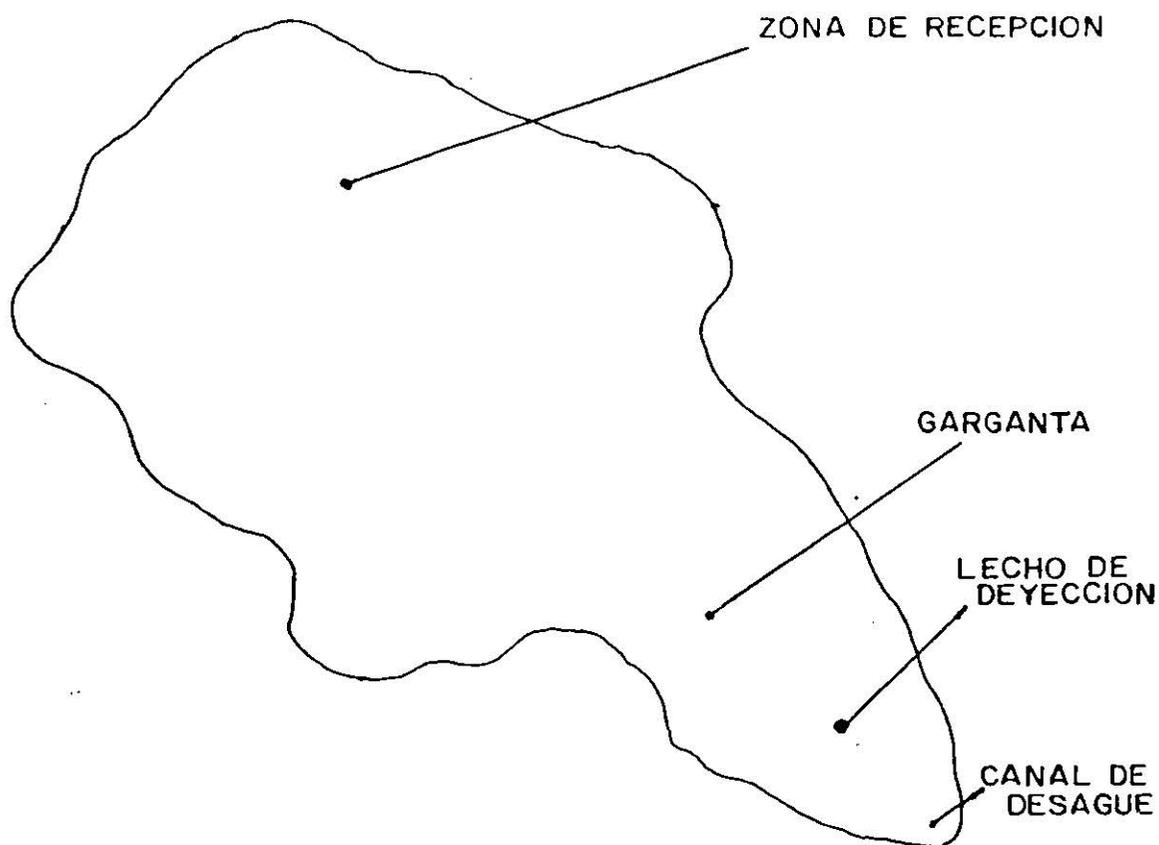


Figura 1. Partes de una cuenca.

La diferenciación de una cuenca grande de una pequeña, desde el punto de vista hidrológico, no se hace considerando el tamaño como una función de extensión territorial, si no según el efecto de ciertas características climatológicas y fisiográficas que tienen influencia en los escurrimientos y así se tiene que una cuenca pequeña es aquella que en presencia de lluvias de alta intensidad y corta duración produce escurrimientos significativos, como resultado de la predominancia de

las características físicas del suelo con respecto a las del cauce. (17).

#### Manejo de Cuencas.

Se define como la planificación del uso y manejo de la tierra, vegetación y agua, tanto a nivel de parcela como a grandes extensiones de terreno, con objetivos previamente establecidos para su conservación y utilización. Recibe el nombre de integral debido a las interrelaciones entre el suelo, el agua y la vegetación. (15)

Para lograr la integración de los recursos debe considerarse lo siguiente:

- A).- Conocer los factores y procesos que gobiernan las relaciones agua, suelo, planta, atmósfera y el hombre. Esto es el ambiente ecológico donde se van a desarrollar los cultivos y/o los diferentes tipos de vegetación.
- B).- Disponer de estudios necesarios para determinar las relaciones entre cuencas, clima y el comportamiento hidrológico. Los estudios pueden ser:
  - a) Reconocimiento de suelos
  - b) Vegetación
  - c) Geológicos
  - d) Topográficos
  - e) Aspectos hidrológicos
- C).- Seleccionar los mejores sistemas y tipos de explotación

que aseguren un buen almacenamiento de agua en el suelo, el movimiento dentro del mismo y un escurrimiento superficial controlado.

- D).- Conocer los cambios climáticos existentes a fin de diseñar correctamente las obras hidráulicas que regulen los caudales máximos.
- E).- Considerar a la cuenca como una unidad productiva de acuerdo con las necesidades regionales. Por lo tanto la implementación de un plan o programa de trabajo debe integrarse como un grupo interdisciplinario que trate de resolver los diferentes problemas. Entre ellos pueden considerarse los edafológicos, climatológicos, construcciones, agronómicos, legales, institucionales y humanos, etc. (15)

Los objetivos que se persiguen al manejar una cuenca pueden ser:

- a) Incrementar la producción de agua.
- b) Mantener un estándar específico de calidad del agua.
- c) Reducir la erosión de los suelos.
- d) Incrementar la fauna y recreación.
- e) Embellecer el paisaje.
- f) Manejo de la vegetación.
- g) Control de avenidas
- h) Instrumentación de cuencas experimentales.

### Delimitación de cuencas de captación.

Es muy importante la información que se obtiene del levantamiento de una cuenca de captación, ya que tiene aplicación en la elaboración de los estudios hidrológicos del proyecto, como son la obtención del volumen aprovechable y de la avenida máxima para diseñar la obra de excedencias. Por lo tanto, es indispensable conocer su tamaño, forma, cobertura vegetal, longitud del arroyo principal y desnivel del mismo, desde el parteaguas hasta el sitio de la boquilla. (2)

### Métodos para delimitar cuencas de captación.

El C.P. de Chapingo (hoy Montesillos) en 1980, señala que el levantamiento de las cuencas de captación se puede realizar en el gabinete utilizando cartas topográficas ó fotografías aéreas o en el campo mediante un levantamiento topográfico.

### Delimitación en carta topográfica.

Las cartas topográficas se utilizan cuando el área y la forma de la cuenca se pueden definir a la escala de la carta.

El procedimiento para delimitar una cuenca en la carta es el siguiente:

- a).- Identificación en la carta de la localización de la boquilla.
- b).- Identificación de la hidrografía que integra la cuenca.
- c) Identificación del parteaguas siguiendo las partes más

altas iniciando y terminando su trazo en la boquilla.

- d).- Determinación del área de la cuenca con planímetro
- e).- Determinación de la cobertura vegetal que se obtiene de la correspondiente carta de uso del suelo.
- f).- Determinación de la longitud del arroyo principal por medio del curvímetro.
- g) Determinación del desnivel del arroyo principal, con apoyo en las curvas de nivel de la carta topográfica.

Invariablemente se debe hacer, un reconocimiento de campo para verificar la información obtenida en la carta.

Delimitación en fotografías aéreas.

Cuando no se dispone de cartas topográficas, se pueden utilizar las fotografías aéreas para definir la cuenca en forma aproximada.

El procedimiento para delimitar la cuenca de captación es el siguiente:

- a).- Identificar en las fotografías la localización de la boquilla.
- b).- Identificar la hidrografía que integra la cuenca; para la identificación, se debe partir de la boquilla, siguiendo el recorrido de los arroyos y sus afluentes hacia aguas arriba, hasta su origen.
- c).- Identificar el parteaguas siguiendo las partes mas altas,

iniciando y terminando su trazo en la boquilla.

- d).- Calcar el perímetro de la cuenca.
- e).- Determinar el área de la cuenca con planímetro.
- f).- Ejecutar la clasificación estimativa de la cubierta vegetal en porcentajes; la clasificación se efectúa agrupando la vegetación en: terrenos cultivados con pastos (cultivos y pastos), terrenos cubiertos con bosque y terrenos sin cultivar.
- g).- Determinar la longitud del arroyo principal por medio del curvímetro.
- h).- Determinar el desnivel del arroyo principal con auxilio del altímetro.

Invariablemente se debe hacer un reconocimiento de campo para verificar la cuenca estimada en el mosaico.

La cuenca así determinada puede servir asimismo, para proyectar el levantamiento topográfico, en caso de que se considere necesario.

#### Levantamiento topográfico.

En aquellos casos en que no se cuenta con cartas topográficas o fotografías aéreas, es necesario ejecutar el levantamiento topográfico de la cuenca.

Existen varios métodos de levantamiento topográfico de cuencas de captación como son intersecciones con tránsito, estaciones alternas y lecturas angulares. Estos métodos se emplean en función básicamente del tamaño de la cuenca.

#### Clasificación de cuencas.

H. Quiñones, citado por Oropeza (1980), clasifica a las cuencas en exorréicas, endorréicas, arréicas y criptorréicas.

- a) Cuenca exorréica.- Cuenca cuyo río principal; desemboca al mar, también se le conoce como cuenca abierta.
- b) Cuenca endorréica.- Cuenca que puede tener más de un río principal con desembocadura(s) en un lago. También se le conoce como cuenca cerrada.
- c) Cuenca arréica.- No es una cuenca hidrológica en el sentido de las presentes definiciones sino una región continental interior, sin salida al mar y sin red de drenaje permanente y organizada.
- d) Cuenca criptorréica.- Tampoco es una cuenca hidrológica apegada a estas definiciones, sino una región continental de drenaje subterráneo carente de una red pluvial permanente y organizada superficial.

### Características físicas de la cuenca.

Las características físicas de las cuencas constituyen elementos que tienen gran importancia en el comportamiento hidrológico de la misma. De hecho existe una estrecha correspondencia entre régimen hidrológico y dichos elementos, de ahí que el conocimiento de éstos sea de gran utilidad práctica. (15)

Para la determinación de las características físicas se precisa especialmente de fotografías aéreas, cartas topográficas e hidrológicas, aunque también son de gran utilidad las climatológicas, geológicas y de uso del suelo.

Es conveniente considerar que la determinación de las características físicas de la cuenca constituyen un medio para llegar al conocimiento del régimen hidrológico mediante comparaciones y relaciones.

Las características físicas de las cuencas deben obtenerse a una misma escala y un mismo tipo de unidades, a fin de no deformar los resultados o causar confusiones. (15)

### Area de la cuenca.

El área de la cuenca es un factor importante a medir, debido a que sirve de base para el cálculo de los escurrimientos, y de otros parámetros físicos de la misma.

A continuación se describen tres métodos utilizados para determinar el área de una cuenca:

### A) Métodos del planímetro (14)

Es útil, especialmente cuando la superficie que se necesita determinar está limitada por un perímetro irregular, con curvas y rectas, y a veces sin forma muy precisa.

Hay dos clases de planímetros: Polar y rodante. El polar es el que más se emplea por ser sencilla su operación, y a él se hará referencia únicamente.

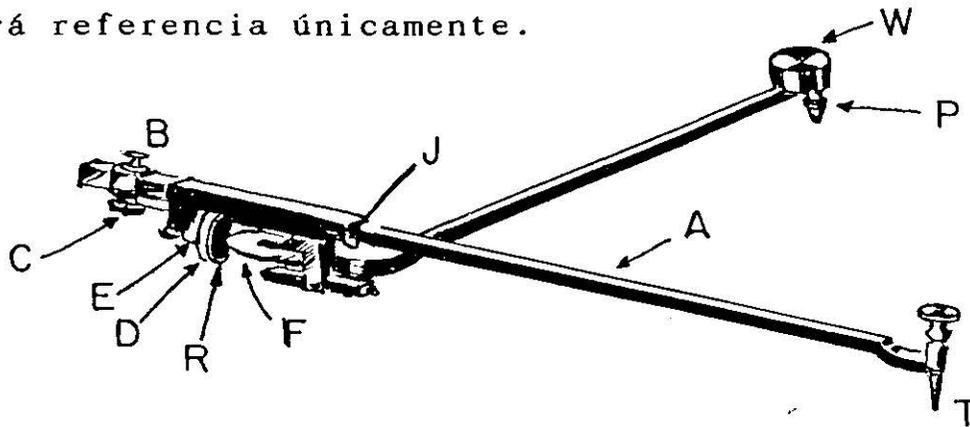


Figura 2. Planímetro polar.

El Planímetro polar, como se ve en la Figura 2, se apoya en tres puntos: el polo fijo (P), la rueda integradora (R), y la punta trazadora (T). El brazo polar se engancha al armazón del planímetro. El brazo trazador (A) tiene marcada una graduación para ajustar su longitud, marcándola con el índice (J) según la escala del dibujo que se tenga. Este brazo (A) se fija en la posición deseada con el tornillo (B) y el tornillo de aproximación.

El tambor graduado (D) de la rueda (R) tiene 100 divisiones, y se lee en ellas mediante un vernier (E). El disco (F) está acoplado al tambor para registrar vueltas completas del

éste; el disco da una vuelta por diez del tambor. Sobre el disco se lee con un índice, después el tambor marca centésimos de vuelta de la rueda, y con el vernier se obtienen milésimas.

Para determinar una superficie, se coloca la punta del polo en el lugar que convenga, y el peso ( $W$ ) la mantiene en su posición. La punta trazadora se coloca en un punto determinado del perímetro, y en esa posición se hace que el tambor marque cero, o mejor se toma la lectura que esté marcando, la cual es la lectura inicial. Después se sigue el contorno con la punta trazadora hasta volver al punto de origen con toda precisión, y se toma la lectura final. El movimiento de la punta trazadora al seguir el perímetro deberá ser siempre en el sentido del reloj. Si el polo queda fuera de la figura, la lectura final será mayor que la inicial, y la diferencia de lecturas es proporcional a la superficie descrita. El factor de proporcionalidad, que es la constante del aparato, es el producto de la longitud del brazo trazador por la circunferencia de la rueda integrante.

Al mover el planímetro para obtener una superficie, la rueda a veces gira y a veces sólo desliza en ciertas posiciones. Hay una cierta distancia fija, del polo a la punta trazadora, a la que si se describe una circunferencia, el tambor no gira, o sea que no registra ésta superficie. Por ésta razón, si el polo del aparato se coloca dentro de la figura cuya superficie se va a determinar, la diferencia de lecturas que se obtiene corresponderá únicamente a la superficie que quede fuera del círculo de "área cero" y a veces resultan lecturas positivas y a veces negativas.

Debido a lo anterior, lo más conveniente es colocar el polo fuera de la figura, y si ésta es grande, se puede dividir en varias fracciones y determinar sus superficies por separado.

Para cada planímetro debe determinarse la constante por la que hay que multiplicar la diferencia de lecturas para obtener la superficie. La mejor forma de hacerlo, es dibujar una figura regular de superficie conocida, y tomar las lecturas inicial y final al recorrer su perímetro. La operación se puede repetir varias veces para promediar los valores de la constante. Si se desea modificar la constante se puede hacer por tanteos, modificando la longitud del brazo trazador.

La precisión en la determinación de superficies con planímetro depende en gran parte de la habilidad del operador para seguir el contorno con la punta trazadora. Si la figura es grande el error relativo en la superficie será pequeño, y viceversa. Ordinariamente, en pequeñas figuras, el error que puede tenerse en la superficie es del orden del 1%, y en figuras muy grandes el error puede ser quizás 0.1% a 0.2%.

#### B) Método de la cuadrícula

Este método es muy útil cuando no se cuenta con el planímetro, ni con los instrumentos necesarios para realizar un levantamiento topográfico.

El método consiste en lo siguiente:

Habiendo delimitado previamente el área de la cuenca en un

plano a escala (carta topográfica, fotografías aéreas), se traza una cuadrícula que cubra toda el área de la cuenca; cada cuadro puede ser de 1 cm<sup>2</sup> o cm<sup>2</sup> según el criterio del que analiza, y el número de cuadros depende del tamaño de la cuenca. Posteriormente se cuentan todos los cuadros que aparecen dentro del área de la cuenca, los cuadros que aparezcan incompletos se compensan con otros cuadros que también estén incompletos, para de esta forma completar un cuadro. Cuando se haya terminado de contar los cuadros se procede a calcular el área de la siguiente forma:

a).- Se calcula el área de un cuadro de acuerdo a la escala del plano Si los cuadros son de 1 cm<sup>2</sup> y la escala del plano es 1:50,000 entonces el área de cada cuadro es de 250,000 m<sup>2</sup>.

Este dato se obtiene de la siguiente manera:

Si la escala del plano es 1:50,000 quiere decir, que 1 cm en el plano equivale a 50,000 cm en la realidad; o sea 500 mts., por lo tanto si se multiplica 500 m x 500 m nos resultan los 250,000 m<sup>2</sup>.

b).- El área de cada cuadro se multiplica por el número, total de cuadros de la cuenca y se obtiene el área en m<sup>2</sup> de la cuenca.

C).- Método gravimétrico

Para determinar el área por éste método, también es necesario un plano a escala en el cual se delimita el área de la

cuenca.

Posteriormente la figura obtenida se pasa a un papel de preferencia que sea papel cascarón (por su peso); se recomienda usar papel pasante para que la figura sea exactamente igual a la delimitada en el plano. En seguida se recorta la figura de la cuenca procurando que el corte sea exactamente sobre la línea del parte aguas.

Posteriormente, de la figura ya recortada se corta un trozo de volumen conocido ( $1 \text{ cm}^2$ ), y se pesa en una balanza analítica y se anota el peso obtenido; en seguida se pesa el resto de la figura, y de acuerdo a la escala y mediante una regla de tres simple se obtiene el área de la cuenca.

#### Relaciones de forma de la cuenca

Las relaciones de forma superficial de las cuencas afectan a las avenidas máximas y el tiempo de concentración del escurrimiento superficial.

Se han realizado numerosos esfuerzos para tratar de determinar la relación de forma por medio de un solo valor numérico, pero la mayoría de las cuencas presentan diferentes tipos de formas, aunque casi todas tienden a la forma de pera. En la actualidad existen varios índices para determinar la forma de las cuencas, entre los mas conocidos están el índice de compacidad, la relación de forma, el índice de forma y el de proporción de elongación. (15)

Índice de compacidad.

El índice de compacidad o índice de Gravelius, es el primero que intenta explicar la forma de la cuenca a partir de un valor numérico, relaciona el perímetro de las cuencas con el perímetro de un círculo de igual área, Oropeza (1980), citado por Castillo (1985).

Su expresión analítica es:

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots \text{ec.1}$$

Donde:

K = Índice de compacidad, adimensional

P = Perímetro de la cuenca

A = Área de la cuenca.

Cuanto más próximo a 1.0 se encuentre el índice, la forma de la cuenca tenderá a un círculo, en cambio en las alargadas tomará un valor de 2.0.

La causa por la que se compara la forma de la cuenca con la de un círculo, es porque las cuencas de forma circular o similar a ella, tienen mayor posibilidad de producir avenidas máximas o de mayor punta (15)

b).- Relación de forma o relación de circularidad.

Es la relación entre el área de la cuenca y el área de un círculo que tiene el mismo perímetro de la cuenca.

Su expresión analítica es:

$$RC = 12.57 \frac{A}{P^2} \dots \dots \dots ec.2.$$

Donde:

RC = Relación de forma, adimensional

A = Area de la cuenca en Km<sup>2</sup>

P = Perímetro de la cuenca en Km.

Si el valor de Rc es mayor ó menor que la unidad, la cuenca tendrá forma alargada. Asimismo, si el valor Rc tiende a ser igual que la unidad, la cuenca tenderá a ser de forma circular.  
(15)

#### Indice de forma

Se define como la relación que existe entre el área de la cuenca y la longitud de la cuenca, medida desde la salida hasta el límite de la misma, por medio de una línea recta. (13)

La relación se escribe como sigue:

$$RF = \frac{A}{L^2} \dots \dots \dots cc.3.$$

Donde:

RF = Es el índice de forma, adimensional

A = Area de la cuenca en Km<sup>2</sup>

L = Longitud del cauce principal.

El valor recíproco del índice de forma se utiliza con mucha frecuencia para definir el hidrograma unitario de la cuenca. Cuando el valor recíproco del índice unitario sea menos de 5, la forma de la cuenca tenderá a un círculo y cuando sea mayor de 6, la forma será alargada. (15)

La forma de la cuenca afecta a la sedimentación por su influencia en el escurrimiento superficial. Así por ejemplo, en una cuenca de forma redondeada ocurre una concentración de volúmenes escurridos y de sedimentos más rápidos, que en aquellas que tengan un mismo tamaño pero de forma alargada. (16)

#### Relación de elongación

Es la relación entre el diámetro de un círculo de igual área que la cuenca y la máxima longitud de la cuenca. Esta característica define al relieve de la cuenca en función de un círculo.

La relación se escribe como sigue:

$$Re = \frac{0.318P}{L^c} \dots \dots \dots \text{ec. 4}$$

Donde:

Re = Relación de elongación, adimensional.

P = Perímetro de la cuenca en Km.

Lc = Longitud máxima de la cuenca en Km.

## Relaciones hipsométricas o de relieve

J. I. Clarke, citado por Oropeza (1980), define a las relaciones hipsométricas como la medida de las interrelaciones entre el área de la cuenca y la altitud de la misma. Señala también, que estas relaciones se han aplicado en todos los niveles, desde cuencas hasta la superficie total del terreno. Las relaciones hipsométricas se obtienen a partir de planos topográficos y se representan en forma gráfica, como frecuencias de distribución, representando las altitudes en el eje de las ordenadas y las áreas en el eje de las abscisas.

### Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica propiamente es una ojiva. Esta ojiva representa gráficamente el relieve medio de la cuenca, es decir las áreas terrestres absolutas o relativas entre curvas de nivel. La curva hipsométrica se puede interpretar como un perfil transversal de la cuenca.

La curva hipsométrica se construye llevando en el eje de las abscisas las longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en  $\text{km}^2$  o en porcentaje, comprendidas entre las cuencas de nivel consecutivas, hasta sumar la superficie total; y en el eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas. Esta curva también es conocida como curva de área-elevación. (15)

Histograma de frecuencia altimétricas.

Es la representación de la superficies de la cuenca y porcentaje de superficie, comprendidas entre curvas de nivel (altitud).'

Altitud media de la cuenca

Oropeza (1980), señala que la altitud o elevación media de una cuenca tiene gran interés principalmente cuando la parte alta de la cuenca presenta zonas montañosas, pues influye en el escurrimiento y en otros elementos que a su vez afectan el régimen hidrológico.

La altitud media viene definida por la relación entre el volumen total del relieve de la cuenca y la superficie de esta en proyección horizontal.

La relación se escribe como sigue:

$$H_m = \frac{\sum e \cdot a}{A} \dots \dots \dots \text{ec.5.}$$

Donde:

- Hm = Es la altitud media de la cuenca en m
- e = Elevación media entre curva y curva en km
- a = Area entre curvas de nivel en km<sup>2</sup>
- A = Area de la cuenca en Km<sup>2</sup>

Altura media de la cuenca.

Se obtiene de dividir el área comprendida bajo la curva hipsométrica entre la longitud que representa la superficie de la cuenca.

Su expresión analítica es:

$$hm = \frac{Ac}{Lc} \dots \dots \dots ec.6.$$

Donde:

hm = Altura media de la cuenca en Km.

Ac = Area comprendida bajo la curva hipsométrica en km<sup>2</sup>

Lc = Longitud máxima de la cuenca en Km.

Coeficiente de masividad

Este coeficiente resulta de dividir la altura media de la cuenca entre su superficie proyectada.

Su expresión es:

$$Cm = \frac{hm}{A} \dots \dots \dots ec.7.$$

Donde: Cm = Coeficiente e masividad en km<sup>-1</sup>

hm = Altura media de la cuenca en km.

A = Area de la cuenca en km<sup>2</sup>

Este valor aumenta con la altura media de la cuenca, o bien cuando la superficie en proyección horizontal disminuye; alcanza valores grandes para cuencas pequeñas que presentan

desniveles y, por el contrario, valores muy pequeños para grandes cuencas de relieve poco acentuado.

De acuerdo con las relaciones anteriores, se obtuvieron las siguientes conclusiones. La altura media de la cuenca define la elevación de su relieve. El coeficiente de masividad es una medida de la pendiente de la cuenca, además, este coeficiente diferencia netamente cuencas que tengan la misma altura media; e inversamente, que la altura media diferencia cuencas teniendo el mismo coeficiente de masividad. (15)

Bajo las condiciones dadas y dado que el coeficiente de masividad tiene dimensiones ( $\text{km}^{-1}$ ), se vió la conveniencia de cambiar a este y a la altura media, y definir un coeficiente orográfico adimensional. (15).

#### Coeficiente orográfico

Su expresión analítica es la siguiente:

$$Co = \frac{hm}{A} \times hm \dots \dots \dots \text{ec.8.}$$

Donde:

Co = Coeficiente orográfico adimensional

hm = Altura media en km

A = Area de la cuenca en  $\text{km}^2$

El coeficiente orográfico establece un valor límite de 6, a partir del cual el relieve puede considerarse como acentuado.

Pendiente del canal principal.

La pendiente del cauce principal se considera como el desnivel entre extremos del cauce y la longitud horizontal de dicho cauce. (15)

Su expresión analítica es la siguiente:

$$S = \frac{H}{L} \times 100 \dots \dots \dots \text{ec.9.}$$

Donde:

- S = Pendiente del canal principal en %
- H = Desnivel entre los extremos del cauce, en m.
- L = Longitud horizontal del cauce, en m.

Pendiente media de la cuenca

La pendiente media de una cuenca constituye una característica importante, debido a que condiciona a la velocidad del escurrimiento superficial y en un momento dado a la erosión que éste produce.

Según Meyer et al (1975), citado por Rodríguez (1980), la longitud de la pendiente afecta a la erosión, porque la escorrentía se incrementa con la distancia de la cresta a la pendiente.

Existen diferentes métodos para determinar la pendiente media de la cuenca, entre los principales se citan los métodos de Horton, Alvor, Nash, y el método directo.

A).- Método de Horton. (17)

Consiste esencialmente en determinar la peniente de la cuenca en dos direcciones, para posteriormente determinar la pendiente general de la cuenca, tomando en consideración las curvas de nivel (su inclinación); el procedimiento es el siguiente. (17):

- a).- Trazar una cuadrícula sobre el plano del área de la cuenca en estudio, habiendo orientado previamente a ésta. Figura 3. El número de cuadros dependerá del tamaño de la cuenca y del criterio del que analiza.
- b).- Se enumeran las líneas de la cuadrícula, ubicando el cero en la parte inferior izquierda, para después medir la longitud de cada línea de la cuadrícula que queda comprendida dentro de la cuenca; igualmente se cuentan las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel.

Una tabla de cálculo de las intersecciones y longitudes de las líneas comprendidas dentro de la cuenca, puede tener el siguiente encabezado.

Número de la línea	<u>Intersecciones</u>		<u>Longitudes en Km</u>	
	NX	NY	LX	LY

c). Se calcula la pendiente en dos direcciones (X y Y) de la siguiente forma:

$$S_x = \frac{N_x \cdot D}{L_x} \dots\dots\dots \text{ec.10.} \quad S_y = \frac{N_y \cdot D}{L_y} \dots\dots\dots \text{ec.11.}$$

Siendo:

- Sx = Pendiente d la cuenca en la dirección X
- Sy = Pendiente de la cuenca en la dirección Y
- D = Desnivel constante entre curvas de nivel
- Nx = Número total de intersecciones y tangencias de las curvas de nivel, con las líneas de la cuadrícula en la dirección x.
- Ny = Número total de intersecciones y tangencias de las curvas de nivel, con las líneas de la cuadrícula en la dirección y.
- Lx = Longitud total de las líneas de la cuadrícula comprendidas dentro de la cuenca. en la dirección x.
- Ly = Longitud total de las líneas de la cuadrícula comprendidas dentro de la cuenca, en la dirección y.

d).- Conociendo los diferentes valores mencionados en el punto anterior, Horton considera que la pendiente media de la cuenca puede calcularse como:

$$S_c = \frac{N \cdot D \cdot \text{Sec } \theta}{L} \times 100 \dots\dots\dots \text{ec.12.}$$

Donde:

- Sc = Pendiente media de la cuenca en %
- L = Lx + Ly

$$N = N_x + N_y$$

$\theta$  = Angulo formado entre las líneas de la cuadrícula y las curvas de nivel.

e).- Horton considera que resulta demasiado laborioso calcular la  $\text{Sec } \theta$  de cada intersección por lo que considera usar como valor promedio 1.57.

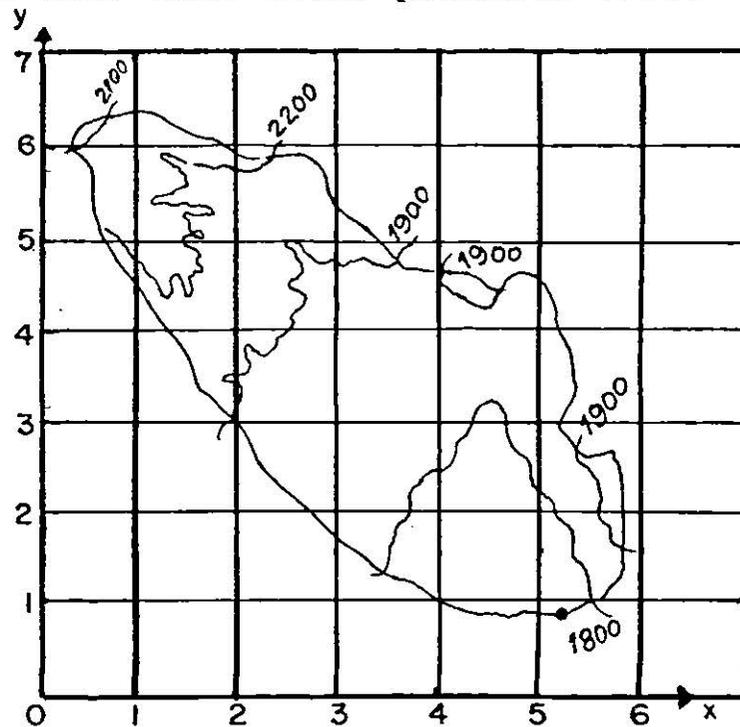


Figura 3. Cuadrícula para obtener la pendiente media de la cuenca por el método de Horton.

B) Método de Nash. (17).

Este procedimiento es análogo al empleado por Horton, ya que también se requiere trazar una cuadrícula sobre el plano topográfico de la cuenca, de manera tal que se obtengan aproximadamente 100 intersecciones. Figura 4, en cada una de las cuales se mide la distancia mínima entre las curvas de nivel y la pendiente en ese punto se considera como la relación entre la

diferencia al nivel entre curvas y la mínima distancia media, la pendiente así obtenida es la correspondiente a cada intersección y la media aritmética de ellas se considera como la pendiente de la cuenca.

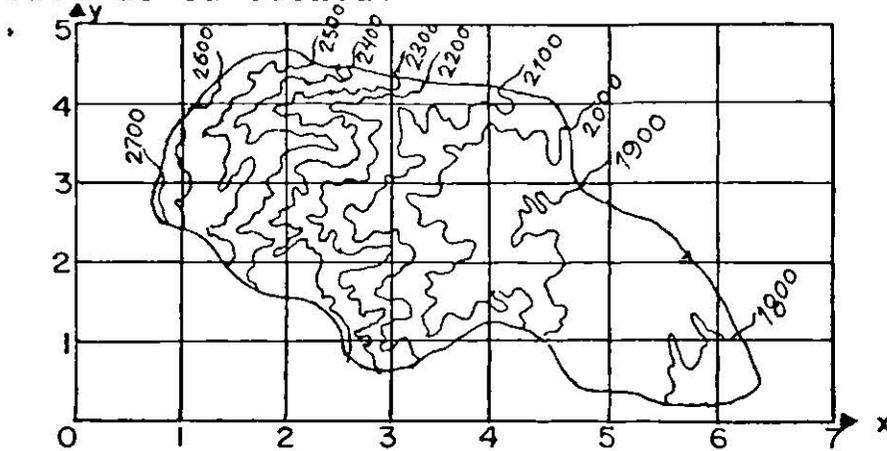


Figura 4. Cálculo de la pendiente media según Nash. (17)

### C) Método de Alvord (17)

La pendiente media se obtiene analizando primeramente la pendiente existente entre curvas de nivel, como se aprecia en la Figura 5. Esta figura representa una cuenca con curvas de nivel; ab y cd son líneas trazadas a la mitad entre las curvas de nivel de 150 y 200 m, y 200 y 250 m respectivamente.

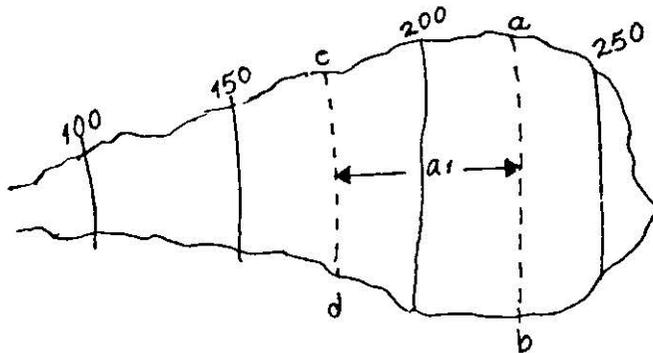


Figura 5. Cuenca que representa curvas medias de nivel, anchura media de la faja abcd, la longitud de la curva de nivel y el área de la franja abcd.

De la Figura 5 se definen los siguientes parámetros:

- $a_1$  = Anchura media de la franja abcd en km<sup>2</sup>  
 $l_1$  = Longitud de la curva de nivel 200 en km  
 $S_1$  = Area de la franja abcd en km<sup>2</sup>  
 $P_1$  = Pendiente media de la franja abcd km a km  
 $P$  = Pendiente media de la cuenca en %  
 $A$  = Area de la cuenca en km<sup>2</sup>  
 $L$  = Longitud total de las curvas de nivel en km  
 $D$  = Desnivel entre curvas de nivel en km

Considerando que:

$$S_1 = a_1 l_1 \text{ y } a_1 = \frac{S_1}{l_1} \dots \dots \dots \text{ec.13.}$$

$$P_1 = \frac{D}{a_1} = \frac{D}{S_1 / l_1} = \frac{D l_1}{S_1} \dots \dots \dots \text{ec.14.}$$

Al ponderar la pendiente de cada franja de acuerdo a un área, se tiene que:

$$P = \frac{D l_1}{S_1} \times \frac{S_1}{A} + \frac{D l_2}{S_2} \times \frac{S_2}{A} + \dots \dots \dots + \frac{D l_n}{S_n} \times \frac{S_n}{A} \dots \dots \text{ec.15}$$

Simplificando:

$$P = \frac{D}{A} (l_1 + l_2 + \dots \dots \dots l_n) \dots \dots \dots \text{ec.16.}$$

$$P = \frac{L_2}{A} \times 100 \dots \dots \dots \text{22.17.}$$

#### D) Método directo.

Este es el método más sencillo. Se basa en la siguiente ecuación:

$$S_m = \frac{H}{L} \times 100 \dots \dots \dots \text{ec.18.}$$

Donde:

$S_m$  = Pendiente media (%)

$H$  = Diferencia de nivel del lugar donde se construye la obra de conservación al sitio más alejado del área de drenaje (m).

$L$  = Longitud máxima de la cuenca o área de drenaje (m).

#### Red de drenaje

Oropeza (1980), señala que la jerarquización de los afluentes de un sistema de drenaje de una cuenca y las relaciones de estas con otros parámetros físicos constituyen indicadores de eficiencia del sistema de drenaje para desalojar los escurrimientos superficiales y al mismo tiempo proporcionan parámetros de las condiciones del suelo y de los efectos erosivos que se generan en la cuenca.

La red de drenaje interviene enormemente en la magnitud de los escurrimientos y que ésta consiste en el número y trayectoria de los escurrimientos, además éste mismo autor señala que la importancia de la red de drenaje radica en la eficiencia del drenaje de la cuenca, y además asegura que la forma de drenaje es un indicador de las condiciones del suelo y de la superficie

de la cuenca. (17).

Entre los aspectos más interesantes de la red de drenaje se cuentan los siguientes:

#### Orden de corrientes

El orden de corrientes es necesario para contar y clasificar las corrientes que forman la red de drenaje de una cuenca. El ordenamiento de las corrientes se definen como de primero, segundo, tercero y cuarto orden. (15)

Las corrientes de primer orden son aquellas que no son interceptadas por otras corrientes, es decir, que no presentan afluentes.

Las corrientes de segundo orden son aquellas en las que desembocan o se les unen las del primer orden.

Las de tercer orden se forman cuando se unen dos corrientes de segundo orden. (Figura 6) (15)

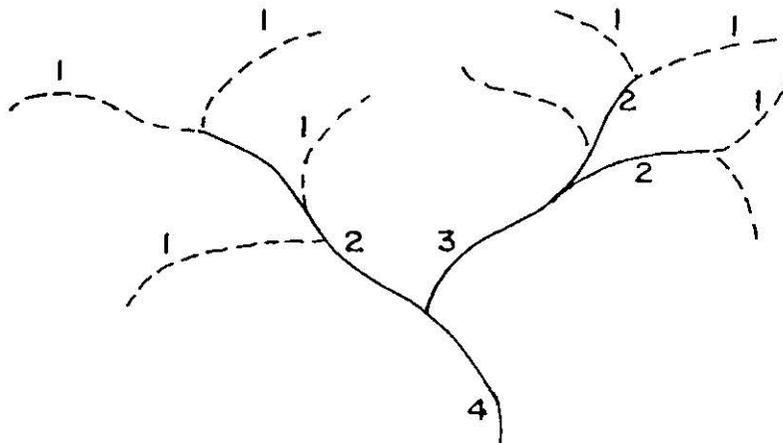


Figura 6. Ordenamiento de corrientes de un sistema de drenaje.

### Longitud de tributarios

Consiste en medir la longitud de cada corriente a fin de obtener la longitud total de los canales de corriente.

La topografía de una cuenca define en sí la longitud de los tributarios, ya que estos son indicadores de la pendiente. Generalmente las áreas escarpadas y con buen drenaje tienen numerosas corrientes pequeñas y efímeras, por el contrario las áreas planas con suelos profundos y permeables tienen corrientes largas generalmente perennes. (17)

### Densidad de corrientes

Resulta de dividir la longitud total de los canales o corrientes de agua entre la superficie total de la cuenca. (17)

Se expresa de la manera siguiente:

$$DC = \frac{L}{A} \dots \dots \dots \text{ec.19.}$$

Donde:

DC = Densidad de corrientes en km/km<sup>2</sup>

L = Longitud

NC = Número de corrientes

A = Area total de la cuenca en km<sup>2</sup>

### Densidad de drenaje

Es la relación de la cantidad de corrientes existentes en la cuenca entre la superficie total de ésta. (17)

Su expresión analítica es:

$$Dd = \frac{Nc}{A} \dots \dots \dots ec.20.$$

Donde:

Dc = Densidad de drenaje en número de corrientes/km<sup>2</sup>

Nc = Número de corrientes

A = Area de la cuenca en km<sup>2</sup>

#### Relación de bifurcación

Resulta de dividir el número de canales de un orden determinado entre el número de corrientes de orden inmediato superior.

Se expresa:  $Rb = \frac{Nc}{Nc+1} \dots \dots \dots ec.21.$

Donde:

Rb = Relación de bifurcación

Nc = Número de canales de un orden determinado

Nc+1 = Número de canales de orden inmediato superior.

## 2.2.- Esgurrimientos Superficiales

### 2.2.1.- Definiciones

En 1977 el Colegio de Postgraduados de Chapingo (hoy Montesillos), define el escurrimiento superficial como la porción de la precipitación que fluye hacia los arroyos, canales, lagos u oceanos como corriente superficial.

En la definición anterior se considera que solo una parte de la precipitación forma el escurrimiento superficial, ya que la restante puede ser interceptada por la vegetación, almacenada en pequeñas depresiones, infiltrada y retenida en el suelo, o bien evaporarse.

El escurrimiento superficial se presenta sólo si la intensidad de la lluvia es mayor que la velocidad de infiltración del agua en el suelo durante la tormenta. Este mismo autor distingue otros tres tipos de escurrimiento que son los siguientes: (12)

**Esgurrimientos subsuperficiales:** Es la porción de la precipitación que se infiltra en el suelo y que se mueve en los horizontes superiores del suelo y aparece en manantiales o directamente en los canales.

**Esgurrimiento subterráneo:** Ocurre como resultado del movimiento de las aguas subterráneas hacia las corrientes o cuerpos de agua como resultado de la precipitación.

**Esgurrimiento en canales:** Es la porción de la precipita-

ción que cae directamente sobre las corrientes de agua o cuerpos de agua.

Rodríguez (1975), indica que el escurrimiento total de una corriente está formado por un escurrimiento directo y un escurrimiento base llamado también caudal de estiaje y los define de la manera siguiente:

**Escurrecimiento directo:** Es el que se agrega a la corriente después de ocurrida la lluvia o tormenta y está formado por la suma del escurrimiento superficial y el escurrimiento subsuperficial inmediato mas la precipitación en el cauce o canal; por ser ésta una pequeña cantidad el autor la considera como parte integrante del escurrimiento superficial.

**Escurrecimiento base.-** Es el escurrimiento lento y temporal que se compone del escurrimiento subterráneo y del escurrimiento superficial retrazado.

Durante una tormenta productora del escurrimiento se considera que la precipitación total consta de una parte abstracta y de una parte llamada "exceso de precipitación" siendo esta parte la que contribuye directamente al escurrimiento superficial.

La parte que se considera abstracta, está compuesta de las partes remanentes de la precipitación que eventualmente ocurren por la superficie, tales como la intercepción, la evaporación, la transpiración, el almacenamiento en depresiones y la infiltración (Rodríguez, 1975).

Linsley, (1977) señala que la escorrentía superficial puede ser pequeña cuando el suelo es permeable y la intensidad de la precipitación es mayor que la velocidad de infiltración. (13)

#### 2.2.2. Objetivo de los escurrimientos superficiales.

Antes de diseñar cualquier estructura utilizada en la conservación del agua, es conveniente tener información de la cantidad probable del agua proveniente de la lluvia, así como de la medición del escurrimiento máximo que pueda presentarse para un cierto período de retorno. (2)

Debido a que el objetivo de este estudio es almacenar agua es necesario conocer el volumen esperado, en base a los datos de precipitación media y el área drenada.

Para almacenar volúmenes de agua basta conocer el escurrimiento medio de la cuenca, pero para la mayor parte de las obras de conservación es necesario estimar los escurrimientos máximos. (2)

#### 2.2.3. Factores que afectan el escurrimiento superficial.

Los factores que afectan el escurrimiento pueden dividirse en dos grandes grupos: aquellos asociados con la precipitación y los asociados con la característica de la cuenca o área de drenaje. (2)

## Factores asociados con la precipitación

Dentro de estos factores se consideran la intensidad duración y frecuencia de la lluvia; la precipitación media y la distribución de la lluvia en el área de drenaje. (2)

### Intensidad y duración

En general las lluvias con alta intensidad se presentan frecuentemente en períodos cortos; consecuentemente, desarrollan una mayor actividad erosiva en los suelos, ya que se incrementa el tamaño, la velocidad de caída y la energía cinética de las gotas de agua. Las lluvias de baja intensidad, se presentan generalmente en períodos más largos; por lo tanto su acción erosiva disminuye.

### Frecuencia de las lluvias

Frecuencia o período de retorno de las lluvias es la periodicidad media estadística en años con que se presentan las tormentas de características semejantes en intensidad y duración.

### Precipitación media.

Este valor se utiliza para calcular el volumen de agua por almacenar o retener y para resolver problemas especiales de conservación de suelos.

## Distribución de las lluvias

Si la mayor cantidad de precipitación ocurre en invierno y poca en verano, serán menores las pérdidas por evaporación. Lluvias de poca duración y muy intensas, solo para almacenamiento son efectivas debido a grandes escurrimientos superficiales.

## Factores asociados con la cuenca

Entre las características propias de las cuencas que afectan los escurrimientos superficiales se pueden señalar, el tamaño, forma, pendiente, tiempo de concentración y el suelo. (2)

### Tamaño de la cuenca

Este factor influye en el escurrimiento superficial, ya que al incrementarse el tamaño de la cuenca se aumenta el volumen escurrido y los escurrimientos máximos.

### Forma de la cuenca.

También influye en el escurrimiento ya que las cuencas compactas (redondeadas), presentan un escurrimiento superficial mayor que aquellas de igual tamaño, pero de forma estrecha y alargada, ya que en éste último escurrimiento se concentran más lentamente.

### Pendiente media de la cuenca

Al considerar la pendiente media de una cuenca, es necesario tomar en cuenta la pendiente de las partes altas, el relieve, la pendiente de los cauces, la extensión y el número de depresiones, ya que estos aspectos influyen en el escurrimiento superficial.

### Tiempo de concentración.

Este es un valor utilizado para calcular el escurrimiento máximo superficial, y es una aproximación del tiempo que tardaría una gota para recorrer una distancia existente entre el sitio más alejado de la cuenca ó área de drenaje y el lugar donde se pretende ubicar la obra de conservación.

Kirpich, citado por (2) desarrolló una fórmula empírica para calcular el tiempo de concentración y se representa de la siguiente manera:

$$TC = 0.02 \frac{L^{1.15}}{H^{0.385}} \dots \dots \dots \text{ec.22.}$$

Donde:

TC = Tiempo de concentración en minutos.

L = Longitud máxima de la cuenca

H = Diferencia de elevación entre el sitio de la obra y el más alejado (Mts).

### Suelo

De las características físicas del suelo (textura, permeabilidad, y grado de retención de humedad), dependen en gran parte la magnitud de los escurrimientos.

En base a su potencial de escurrimiento, el suelo se divide en cuatro grupos. (2)

Suelos de bajo potencial de escurrimiento.

Son aquellos que presentan altas velocidades de infiltración aún en condiciones de saturación. Son suelos de textura gruesa con drenaje bueno a muy bueno y permeabilidad alta a muy alta.

Suelos de medio potencial de escurrimiento.

Presentan velocidades medias de infiltración en condiciones de saturación y su drenaje varía de medio a alto. Son suelos de profundidad media a profundos, de textura media fina a media gruesa y de permeabilidad media.

Suelos de regular potencial de escurrimiento.

Velocidades bajas de infiltración poco profundos, textura media a fina y su permeabilidad varía de media a baja.

Suelos de alto potencial de escurrimiento.

Textura fina, drenaje superficial lento y velocidad de infiltración muy baja, algunas veces los niveles freáticos son muy someros.

Cubierta vegetal.

Es importante porque disminuye el impacto de las gotas de

lluvia e intercepta parte del volumen llovido. En cultivos tupidos de cobertura completa el escurrimiento será menor que en cultivos en hilera. En pastizales y bosques el potencial de escurrimiento baja a medida que mejora el manejo del cultivo y se evita el sobrepastoreo y el desmonte irracional.

#### 2.2.4. Cálculo de los escurrimientos medios.

El cálculo de los escurrimientos superficiales se considera para dos objetivos: el escurrimiento medio, que sirve para estimar el volumen de agua por almacenar o retener, y los escurrimientos máximos necesarios para el diseño de obras de conservación.

Debido a que el objetivo del presente trabajo consiste en estimar el volumen de agua por almacenar, sólo se describirán los métodos para calcular escurrimientos medios.

Para calcular el escurrimiento medio o volumen medio en cuencas pequeñas o áreas de drenaje reducidas, es necesario conocer el volumen o valor de la precipitación media, el área de drenaje y su coeficiente de escurrimiento, de tal manera que la fórmula a utilizar sería la siguiente:

$$VM = A C P M \dots \dots \dots \text{ec.23.}$$

Donde:

VM = Volumen medio que puede escurrir (M<sup>3</sup>)

A = Area de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

C = Coeficiente de escurrimiento que generalmente varía de

0.1 a 1.0.

PM = Precipitación media (mm).

Para aplicar ésta fórmula es indispensable determinar cada uno de los factores que en ella intervienen y para lograrlo deben seguirse los pasos siguientes:

- a).- Se obtiene el valor del coeficiente de escurrimiento (c) por medio del Cuadro 1, de acuerdo a las características de la cuenca y uso del suelo.

Cuando la cuenca o área de drenaje presenta diferentes tipos de suelo, vegetación y pendiente media, el coeficiente de escurrimiento se obtendrá para cada área parcial y posteriormente se calculará el promedio ponderado para aplicarlo en la fórmula 23.

Cuadro 1. Valores de C para el cálculo de escurrimiento.

TOPOGRAFIA	TEXTURA DEL SUELO		
VEGETACION	GRUESA	MEDIA	FINA
BOSQUE			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11-30% pendiente)	0.30	0.50	0.60
PASTIZALES			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (11-30% pendiente)	0.22	0.42	0.60
TERRENOS CULTIVADOS			
Plano (0-5% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6-10% pendiente)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11-30% pendiente)	0.52	0.71	0.82

A continuación se da un ejemplo de cálculo del coeficiente de escurrimiento.

Se tiene una cuenca de 100 ha donde 50 ha son de terrenos planos, con cultivo y de textura media (franco-arenosa); las otras 50 ha son de terreno ondulados (5-10% de pendiente), con bosque y de textura fina.

Calcular el coeficiente de escurrimiento ponderado.

Por medio del Cuadro 1 se tiene lo siguiente:

$$C = \frac{50(0.50) + 50(0.50)}{100} = 0.5$$

- b).- Se obtiene el área de la cuenca o drenaje por medio de cartas topográficas, fotografías aéreas o por un levantamiento topográfico en el campo.
- c).- Se localiza el área en estudio en los mapas de isoyetas medias anuales de la República Mexicana y se determina la precipitación media anual que se presenta.
- d).- Con esta información se calculan los volúmenes medios escurridos.

Método del Servicio de Conservación del suelo de los Estados Unidos de América.

Otro método empleado para estimar los escurrimientos en una cuenca es el propuesto por el Servicio de conservación del suelo (SCS) de los E.U.A. el cual presenta la ventaja de poder predecir el escurrimiento basado en datos de precipitación y característica de los suelos donde no existen aforos de corriente o datos hidrométricos. (12)

Este método estima el escurrimiento medio de una cuenca, el escurrimiento máximo instantáneo, y da una idea acerca de las características del hidrograma especialmente en el tiempo para alcanzar el máximo ( $T_p$ ) y el tiempo de recesión ( $T_R$ ) que son necesarios para obtener el volumen total escurrido por evento. (12)

De acuerdo con la cantidad de precipitación y las condiciones de la cuenca es posible tener hidrogramas de dos tipos. (12)

a).- Hidrograma que incluya el flujo base, los cuales son representativos de corrientes perennes, (Figura 7a).

b).- Hidrogramas aislados que indican solo el escurrimiento directo y son características de corrientes de tipo intermitentes, (Figura 7b).

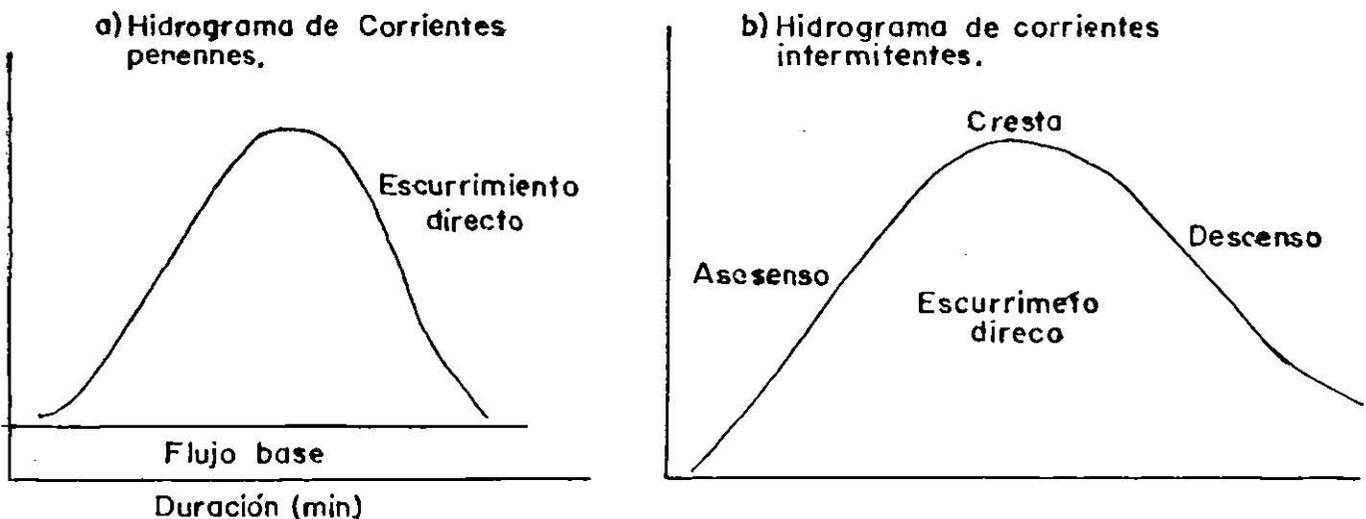


Figura 7. Hidrogramas típicos para corrientes perennes e intermitentes mostrando el escurrimiento directo, flujo base y las componentes del hidrograma (curva de ascenso, cresta y curva de descenso).

Este método propuesto por el SCS estima el escurrimiento superficial y subsuperficial e ignorando el escurrimiento en canales. Para ello, se utilizan las curvas numéricas (CN), las cuales son indicadoras de la proporción de escurrimiento, y valores de CN cercanas a 100 sugieren que el escurrimiento sea producto del flujo superficial reduciéndose al máximo la infiltración del agua en el suelo. (12)

#### Relación precipitación-escurrimiento.

En México no existe información suficiente sobre intensidad duración de la precipitación, por lo tanto el método del SCS es importante porque a partir de precipitación se pueden estimar los escurrimientos. La información utilizada es precipitación por evento (minutos, horas o días) y no se considera la distribución en el tiempo (intensidad de la lluvia). (12)

Si se registra el escurrimiento y la precipitación de un área pequeña y se grafica la precipitación acumulada (P) contra el escurrimiento acumulado (Q) (Figura 8), se observa que el escurrimiento se presenta después de cierto tiempo, cuando la lluvia se acumula (esto es considerado como abstracciones iniciales o  $I_a$ ). Después de esto, la línea de escurrimiento se vuelve asintótica a la línea de precipitación acumulada. A cualquier tiempo existe una infiltración acumulada (F), la cual al tiempo  $t_1$  es igual a  $P - Q - I_a$  y cuando el tiempo tiende a infinito la infiltración total mas las abstracciones iniciales, alcanza el valor del máximo potencial de retención del suelo (S). Es importante señalar que la precipitación efectiva ( $P_e$ ) será igual a la precipitación total (P) menos las abstracciones iniciales ( $I_a$ ). (12)

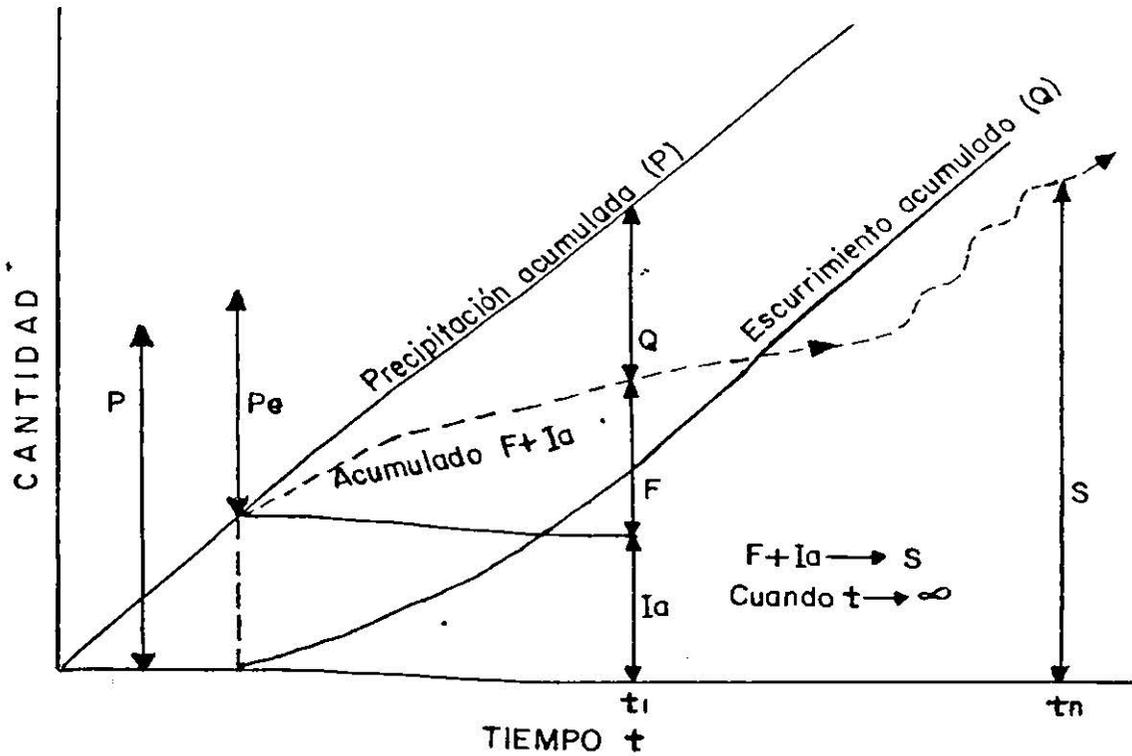


Figura 8. Representación esquemática de la precipitación acumulada (P) y escurrimiento acumulado (Q), considerando la infiltración (F) y las abstracciones iniciales (Ia).

Para una simple tormenta, la relación entre precipitación, escurrimiento y retención (la lluvia que no se convierte en escurrimiento) en cualquier punto de la Figura 8 puede ser expresada como:

$$F = \frac{Q}{P_e} \dots \dots \dots \text{ec.24.}$$

Donde:

F = Retención o infiltración actual

S = Retención o infiltración máxima potencial ( $S \geq F$ )

$Q =$  Escurrimiento actual

$Pe =$  Precipitación efectiva o escurrimiento máximo potencial ( $Pe \geq Q$ ).

Esta ecuación es funcionable únicamente a partir del inicio del escurrimiento, es decir, para que esta ecuación sea válida debe considerarse que de la precipitación total, una parte no contribuye al escurrimiento directo, sino que es considerada como abstracciones iniciales y el remanente es la precipitación efectiva. Por otra parte la retención actual es igual a la diferencia entre la precipitación efectiva para escurrimiento y el escurrimiento actual. En base a esto se obtienen las siguientes relaciones.

$$Pe = P - I_a \dots \dots \dots \text{ec.25}$$

$$F = PE - Q \dots \dots \dots \text{ec.26}$$

Donde:

$I_a =$  Abstracciones iniciales

$PE =$  Precipitación efectiva para escurrimiento

$P, F, Q =$  Variables previamente definidas.

Usando estas relaciones en la ecuación 24 se obtiene lo siguiente:

$$\frac{PE - Q}{s} = \frac{Q}{P - I_a} \dots \dots \dots \text{ec.27}$$

Como  $PE = P - I_a$  entonces tenemos que:

$$\frac{(P - I_a) - Q}{s} = \frac{Q}{P - I_a}$$

Resolviendo para Q tenemos que:

$$(P-Ia)^2 - Q(Q-Ia) = Qs$$

$$QS + Q(P-Ia) = (P - Ia)^2$$

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{s + (P-Ia)} \dots \dots \dots \text{ec.29}$$

Esta ecuación (29) daría una estimación de las relaciones precipitación-escorrimento por evento cuando las abstracciones iniciales son consideradas. Dichas abstracciones iniciales consideran los procesos de intercepción de agua por la vegetación, almacenamiento en pequeñas depresiones e infiltración antes de que empiece el escurrimiento. Sus valores son variables por condiciones climáticas, precipitación, vegetación, área de drenaje, sistemas de drenaje, presentación de la lluvia a través del tiempo, etc. Dada esta problemática, usando correlación entre varias tormentas para diferentes cuencas se encontró que las abstracciones iniciales podrían ser estimadas en función de la retención máxima potencial como sigue: (12).

$$Ia = 0.25 \dots \dots \dots \text{ec.30}$$

Sustituyendo la ecuación (30) en la (29) se tiene:

$$Q = \frac{(P-0.2 S)^2}{P + 0.8 S} \dots \dots \dots \text{ec.31}$$

Donde:

Q = Escorrimento medio en m<sup>3</sup>

P = Precipitación por evento en mm

S = Potencial máximo de retención mm

Cuadro 2. Grupos hidrológicos de suelos usados por el SCS de los Estados Unidos de América.

GRUPO DE SUELOS	DESCRIPCION DE LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO
A	Suelo con bajo potencial de escurrimiento, incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla; también, suelo permeable con grava en el perfil.
B	Suelos con moderadamente bajo potencial de escurrimiento. Son suelos arenosos menos profundos y agregados que el grupo A. Este grupo tiene una infiltración mayor que el promedio cuando húmedo. Ejemplos: suelo migajones, arenosos ligeros y migajones limosos.
C	Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene una infiltración menor que la promedio después de saturación. Ejemplo: suelos migajones arcillosos.
D	Suelos con alto potencial de escurrimiento. Por ejemplo, suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados.

#### Condición hidrológica:

Buena = Cobertura > del 75%

Regular = Cobertura entre 50 y 75%

Mala = < del 50%

Como la vegetación es clasificada de acuerdo con su porte, el tipo de vegetación influye en la condición hidrológica y ella varía con el uso del terreno como se muestra en el Cuadro 3.

#### c) Uso del suelo

El uso del suelo tiene influencia en el escurrimiento y es más notorio cuando además de la cubierta vegetal, se desarrollan tratamientos al suelo o se realizan sistemas de siembra en hile-

## Cuadro 3. Caracterización hidrológica para varios usos del suelo.

(12)

USO DEL SUELO	CONDICION HIDROLOGICA
Pastos Naturales	Pastos en condiciones malas son dispersos, fuertemente pastoreados con menos de la mitad del área total con cobertura vegetal. Pastos en condiciones regulares están moderadamente pastoreados con la mitad o las tres cuartas partes del área total con cubierta vegetal. Pastos en buenas condiciones están ligeramente pastoreados y con más de las tres cuartas partes del área total con cubierta vegetal.
Areas Boscosas	Areas en condiciones malas tienen árboles dispersos y fuertemente pastorados sin crecimiento rastrero. Areas de condiciones regulares son moderadamente pastoreadas, y con algo de crecimiento. Areas buenas están densamente pobladas y sin pastorear.
Pastizales Mejorados	Pastizales mezclados con leguminosas sujetas a un cuidadoso sistema de manejo de pastoreo son considerados como buenas condiciones hidrológicas.
Rotación de Praderas	Praderas densas, moderadamente pastoreadas, usadas en una bien planeada rotación de cultivos y praderas, son considerados con buenas condiciones hidrológicas. Areas con material disperso, sobrepastoreando son considerados como malas condiciones hidrológicas.
Cultivos	Condiciones hidrológicas buenas se refiere a cultivos los cuales forman parte de una buena rotación de cultivos (cultivos de escarda, praderas, cultivos tupidos). Condiciones hidrológicas malas se refiere a cultivos manejados en base a monocultivos.

ra, tupidos o en surcos rectos o al contorno. Por esta razón, con los usos del suelo de las zonas húmedas y subhúmedas de los E.U. y las prácticas de cultivo y tratamiento al suelo, se obtuvieron los valores CN para las diferentes condiciones hidrológicas y tipos de suelo como aparecen en el Cuadro 4.

Como estos datos fueron obtenidos para las zonas húmedas de USA, en las zonas áridas y semiáridas se propone que las curvas numéricas se obtengan de la Figura 9, considerando los grupos de suelos y los porcentajes de cobertura vegetal para los matorrales desérticos, áreas herbáceas, matorrales de montaña, pastizales y áreas boscosas. (12)

#### d) Condición de humedad antecedente

En este método la condición de humedad del suelo, producto de los cinco días previos a la tormenta son considerados y agrupados en tres grupos. Cuadro 5.

Cuadro 4. Curva numérica (CN) usada para estimar escurrimientos bajo diferentes complejos suelo-cobertura y manejo (el datos para la condición de humedad II, y Ia=0.25).

USO DEL SUELO	TRATAMIENTO O PRACTICA	CONDICION HIDROLOGICA	GRUPO DE SUELOS			
			A	B	C	D
			CURVA NUMERICA			
Suelo en descanso	Surcos rectos		77	86	91	94
Cultivo de escarda	Surcos rectos	Mala	71	81	88	91
	Surcos rectos	Buena	67	78	85	89
	Curva a nivel	Mala	70	79	84	88
	Curva a nivel	Buena	65	75	82	86
	Terraza y curva a nivel	Mala	65	74	80	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	62	71	78	81
Cultivos tupidos	Surcos rectos	Mala	65	76	84	88
	Surcos rectos	Buena	63	75	83	87
	Curva a nivel	Mala	63	74	82	85
	Curva a nivel	Buena	61	73	81	84
	Terraza y curva a nivel	Mala	61	72	79	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hileras o forraje en rotación	Surcos rectos	Mala	66	77	85	85
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curva a nivel	Mala	64	75	83	85
	Curva a nivel	Buena	55	69	78	83
	Terraza y curva a nivel	Mala	63	73	80	83
	Terraza y curva a nivel	Buena	51	67	76	80
Pastizales	Sin tratamiento mecánico	Mala	68	79	86	89
	Sin tratamiento mecánico	Regular	49	69	79	84
	Sin tratamiento mecánico	Buena	39	61	74	80
	Curvas a nivel	Mala	47	67	81	88
	Curvas a nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas a nivel	Buena	6	35	70	79
Pasto de corte		Buena	30	58	71	78
Bosque		Mala	45	65	77	83
Camino de tierra		Buena	72	82	87	89
Camino pavimentados		Buena	74	84	90	92

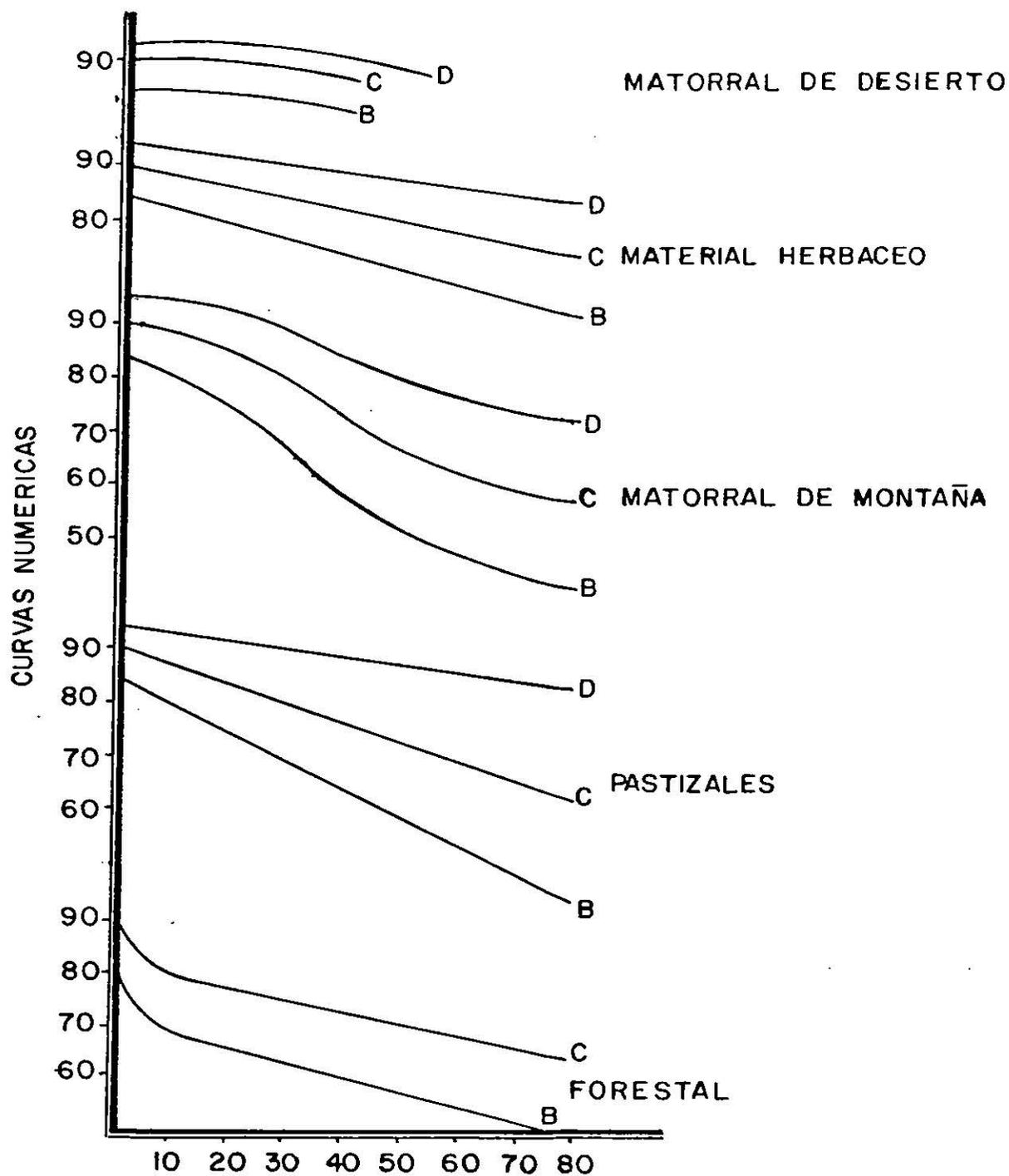


Figura 9. Determinación de las curvas numéricas (CN) para las zonas áridas y semiáridas, de acuerdo con el porcentaje de cobertura vegetal para diferentes tipos de vegetación.

Cuadro 5. Condición de humedad antecedente como función de la precipitación.

CONDICION DE HUMEDAD ANTECEDENTE	PRECIPITACION ACUMULADA DE LOS CINCO DIAS PREVIOS AL EVENTO EN CONSIDERACION
I	0 - 12.7 mm
II	12.7 - 38.1 mm
III	> 38.1 mm

Cuando se haya seleccionado el valor de CN del Cuadro 4 se obtiene un valor que está dado por la condición de humedad antecedente intermedia (II), por tal razón, se deben considerar los datos de precipitación de los cinco días previos al evento, que se desea utilizar para la predicción del escurrimiento. Si este valor es menor de 12.7 mm, la condición de humedad antecedente es seca (I). En el Cuadro 6 se busca el nuevo valor de CN correspondiente a esta condición. Lo mismo se realiza cuando la precipitación es mayor de 38.1 mm, pero ahora la condición de humedad antecedente es (III).

Cuando se cuenta con los datos de precipitación y el valor del CN, el escurrimiento medio de la cuenca por unidad de superficie puede ser obtenido directamente usando las Figuras 10 y 11. La Figura 10 permite calcular el escurrimiento directo en mm, a partir de conocer la precipitación en mm y de escoger el valor de CN que varía de 20 a 100. La Figura 11 muestra la misma relación, pero para precipitaciones mayores de 200 mm y los mismos CN. (12).

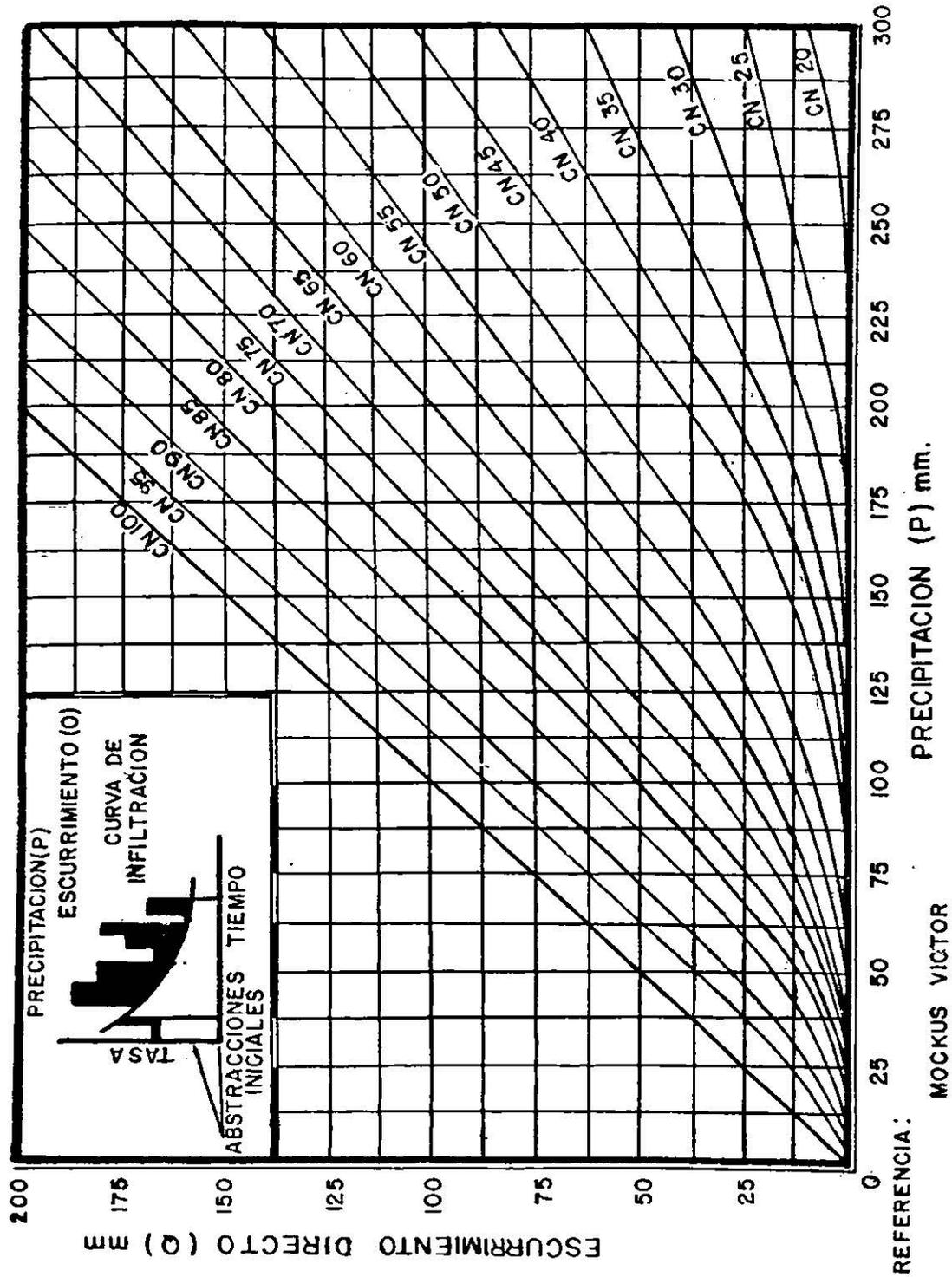


Figura 10. Solución de la ecuación de escurrimiento con P, Q y S en mm con valores de CN que varían de 20 a 100, para precipitaciones menores de 200 mm. (12)

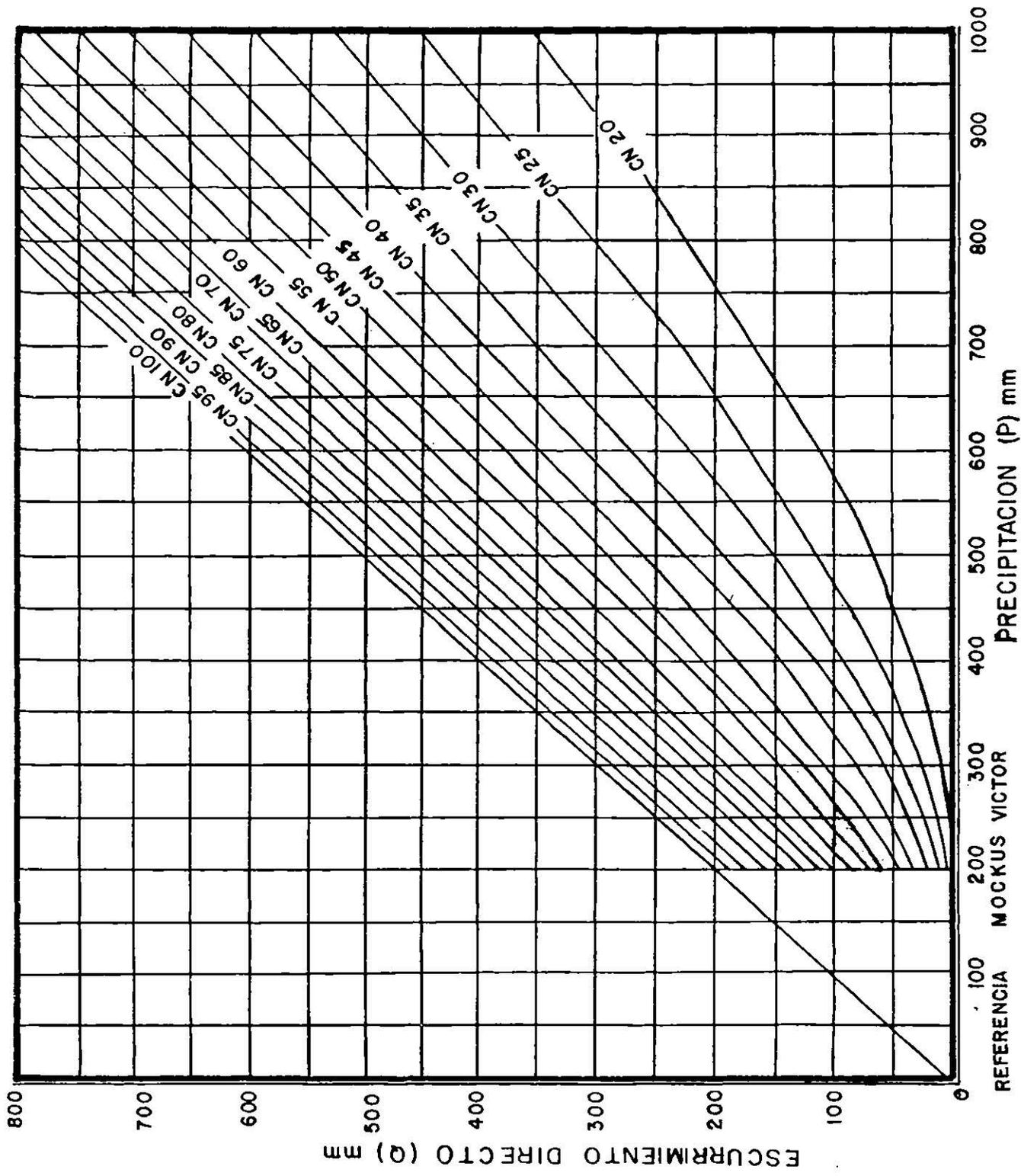


Figura 11. Solución de la ecuación de escurrimiento con P, Q, y S en mm para precipitaciones mayores de 200 mm. (12).

Cuadro 6. Curvas numéricas (CN) para condiciones antecedentes de humedad del suelo húmeda (III) y seca (I) a partir de las condiciones de humedad intermedia (II). (12)

CN C O R R E S P O N D I E N T E		
CN PARA CONDICION II	CONDICION I	CONDICION III
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

2.3.- Lineamientos generales a seguir en las diversas fases de un proyecto de construcción de pequeñas obras hidráulicas de riego y abrevadero.

En la realización de proyectos de pequeñas obras hidráulicas ya sea para riego o abrevadero, se requiere establecer un proceso que defina el orden para efectuar las diversas fases de trabajo y que permita tomar decisiones para rechazar o continuar el proyecto. El proceso que se describe a continuación es una forma de indicar los lineamientos generales aconsejables a seguir en las diversas fases del proyecto, desde que se recibe la solicitud de una obra, hasta su diseño definitivo y aprobación.

El proceso comprende: la recepción de la solicitud, la recabación de información en el gabinete, los trabajos de campo, los trabajos de laboratorio y los trabajos de gabinete, los cuales se describen a continuación

#### 2.3.1. Recepción de la solicitud.

En general los estudios, diseño, construcción y operación de una obra, tienen como origen la solicitud que un núcleo campesino u organización formula ante la dependencia oficial encargada de la ejecución de la obra.

La solicitud debe contener algunos datos de cuyo análisis puede resultar: que se acepte para iniciar los estudios de la obra; que se espere, o que se rechace. Los datos principales son los que se refieren a:

### Solicitantes

Se deben especificar: el nombre de la comunidad; el tipo de tenencia de la tierra: ejidal, asociación de pequeños propietarios, colonia agrícola, etc. así como el número de ejidatarios, pequeños propietarios o colonos. La solicitud debe ser firmada y sellada por las autoridades campesinas correspondientes y contener las firmas o huellas digitales de los solicitantes, manifestándose que la solicitud es resultado de una determinación democrática de la comunidad.

### Beneficios

Se deben especificar: número de habitantes por beneficiar, número de cabezas de ganado mayor o menor, superficie de temporal que se pretende transformar a riego o superficie que se desea destinar al riego.

### Localización

Se deben definir aproximadamente los accesos al sitio probable de la obra.

### Tipo de obra.

Se debe especificar el tipo de obra solicitada, ya sea almacenamiento, derivación, pozo profundo, etc.

### Tenencia de la tierra

Especificar que los terrenos a beneficiar son propiedad o están en usufructo del núcleo solicitante.

### Dotación de aguas.

Cuando la comunidad o propiedad solicitante tenga dotación de aguas, se debe anexar la documentación relativa, indicando además la existencia de otros aprovechamientos aguas arriba y abajo en la fuente que se pretende utilizar, sean o no de la comunidad solicitante, ya que dichos aprovechamientos pueden limitar la capacidad de la futura obra o bien impedir que se realice ésta.

### Afectaciones

En las plantaciones y superficies que resulten afectadas durante la ejecución de caminos, brechas para estudio y por la construcción misma, se procede con apego a lo dispuesto en la Ley Federal de Reforma Agraria y en la Ley Federal de Aguas.

### Materiales de construcción

Se debe indicar si se ponen a disposición todos los materiales necesarios existentes en la comunidad o propiedad para la ejecución económica de la obra.

## Aportaciones

Se debe indicar si se contribuye a la ejecución del estudio y construcción con mano de obra en general y/o aportación en efectivo.

### 2.3.2. Información de Gabinete

La entidad ejecutora local debe estar provista de toda la información regional existente, contenida en los documentos que se citan de las siguientes fuentes.

#### a) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática

(I.N.E.G.I.)

- Cartas topográficas
- Cartas geológicas
- Cartas de uso del suelo
- Cartas edafológicas
- Cartas de Uso Potencial
- Cartas de climas
- Fotografías aéreas

#### b) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

- Plano de Isoyectas
- Boletines hidrológicos

#### c) Varios

- Curvas de Isoevaporación
- Información climatológica local
- Fotografía aérea

Con este material se pueden definir en el gabinete algunos de los aspectos que se citan a continuación:

#### Aprovechamientos existentes

En las cartas topográficas se determinan, de ser posible, otros aprovechamientos aguas arriba o aguas abajo del sitio donde se solicita la construcción de la obra.

#### Area de la cuenca

Siempre que sea posible, se determina el área de la cuenca mediante el empleo de las cartas topográficas.

#### Vegetación de la cuenca

En las cartas de uso del suelo se determinan, de ser posible, superficies de cada tipo de cubierta vegetal, que se utilizan para definir el coeficiente de escurrimiento.

#### Precipitaciones medias

En la parte anterior de las cartas de climas para la estación termopluviométrica más cercana, se obtiene la precipitación media anual y en su parte posterior se indican gráficamente las precipitaciones medias mensuales.

La precipitación media anual se puede obtener asimismo del plano de isoyetas.

### Volúmenes medios aprovechables

Con la información del área de la cuenca, coeficiente de escurrimiento y precipitaciones medias anual o mensuales, se determinan los volúmenes medios aprovechables respectivos, según que la capacidad de almacenamiento se determine anual o mensualmente. Estos cálculos tienen los siguientes objetivos:

- a) Definir de acuerdo con los volúmenes medios aprovechables anual o mensuales, si éstos son insuficientes y se debe rechazar el proyecto, o bien, que siendo suficientes, la obra se debe diseñar solamente para uso doméstico o abrevadero o que, además, se puede proyectar para riego de alguna superficie.
- b) Definir en forma aproximada, la magnitud con que se requiere efectuar el levantamiento topográfico de la boquilla y del vaso.

### Beneficios

Con auxilio de las cartas de uso del suelo, edafológicos y de uso potencial, se tiene una idea de las características ecológicas y potencialidad del área y con base en ellas proyectar la obra para uso doméstico y abrevadero o también para riego.

### Geología del área

Mediante las cartas geológicas se puede tener una idea de la geología de la cuenca, del vaso y de la boquilla y determinar la

conveniencia de continuar o rechazar el proyecto.

#### Mecánica de suelos

Las cartas edafológicas proporcionan información general de los tipos de suelos.

#### Evaporación en el vaso

Mediante la utilización de las curvas de isoevaporación se determina la evaporación en el vaso.

#### Avenida de diseño

Con auxilio de los boletines hidrológicos que contienen a las envolventes de gastos máximos instantáneas, se determina la avenida de diseño.

#### Varios

Con las fotografías aéreas, se puede complementar o confirmar alguna de la información citada en los incisos anteriores.

#### 2.3.3. Trabajos de campo

El personal comisionado para efectuar los estudios de campo, frecuentemente cubre una serie de actividades de varios tipos, dedibo a que no se cuenta con brigadas especializadas para desarrollar cada uno de los aspectos que se describen a continuación:

### Elección de la boquilla

Se inspecciona el área para definir desde el punto de vista topográfico, geológico y de materiales superficiales, la mejor alternativa para la localización de la boquilla y de las estructuras complementarias del bordo.

### Aprovechamientos existentes

En el campo se debe recabar información respecto a otros aprovechamientos aguas arriba o abajo del sitio en estudio, los que deben verificarse recorriendo la zona.

### Levantamiento de la cuenca.

En caso de que no sea posible determinar en el gabinete el área de la cuenca con el uso de cartas topográficas o que se requiera comprobarla, se procede a efectuar su levantamiento topográfico, observando y delimitando los distintos tipos de cubierta vegetal, para determinar en el gabinete los volúmenes medios aprovechables anual o mensualmente y decidir si se continua el estudio.

### Zona de riego

Se determina la distancia de la probable zona de riego al sitio de la boquilla, la magnitud aproximada de los terrenos que se pretenden regar y la margen del río o arroyo en que se encuentran localizados. Se debe analizar también la posibilidad de abrir mediante desmonte la zona de riego cercana a la obra.

### Levantamiento de la boquilla.

Se efectúa el levantamiento topográfico de la boquilla hasta una cota conveniente, que es función de la capacidad de almacenamiento necesario en el vaso. Este levantamiento sirve de apoyo para los sondeos en la propia boquilla y con base en el se efectúan los estudios topográficos geológicos y de mecánica de suelos del vaso y de los bancos de préstamo.

### Pozos a cielo abierto y sondeos en la boquilla.

Se excavan pozos a cielo abierto a lo largo del eje de la boquilla para determinar si el perfil está constituido por formaciones geológicas o suelos permeables que obliguen a desechar el sitio o que motiven un tratamiento especial pero económico.

Si se considera necesario, se toman muestras alteradas o inalteradas para enviarlas al laboratorio.

Con el objeto de detallar el perfil, se efectúan sondeos con pala posteadora, los que contribuyen a definir el espesor de los materiales de arrastre y determinar las profundidades de excavación de la trinchera.

### Inspección del vaso

Se inspecciona el área del vaso para determinar la posible presencia de formaciones permeables, grietas y oquedades, que den lugar a fuertes pérdidas de agua por filtración, que obliguen a desechar el sitio o a prever tratamientos especiales.

### Bancos de Préstamo

Se localizan los posibles bancos de materiales estables e impermeables, realizando clasificaciones y pruebas rápidas de campo de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos, para identificar si se trata de combinaciones adecuadas de suelos gruesos y finos, determinándose si son aceptables para la construcción del bordo; así mismo se cuantifica su potencialidad.

De acuerdo con la magnitud del proyecto, puede ser necesario conocer las propiedades mecánicas de los materiales para la construcción del bordo, en cuyo caso se toman muestras alteradas que se envían al laboratorio.

### Bancos de Agua y Piedra

Se localizan los bancos de agua y de piedra para terrazas, estructuras y enrocamientos, estimando su potencialidad y su distancia al eje de la boquilla.

### Levantamiento del vaso

Se efectúa el levantamiento topográfico del vaso hasta una cota conveniente.

### 2.3.4. Trabajos de laboratorio.

En el laboratorio se realizan las pruebas necesarias para conocer las características mecánicas de los materiales, que son principalmente: granulometría, clasificación, consistencia, com-

pactación, resistencia al esfuerzo cortante y permeabilidad.

### 2.3.5. Trabajos de Gabinete.

#### a) Gráfica de elevaciones-areas-capacidades

A partir del levantamiento topográfico del vaso, se determinan las áreas de embalse, se cubican los volúmenes de almacenamiento y se dibuja la gráfica de elevaciones-áreas-capacidades.

#### b) Estudios hidrológico

##### Capacidad de almacenamiento necesario

Se determina en función de los volúmenes medios aprovechables y las demandas según el uso para el que se proyecta la obra, considerando las pérdidas por evaporación y filtración en el vaso y considerando así mismo el volumen para azolves. Con la capacidad de almacenamiento necesario se determina el nivel de aguas normales de embalse (NANE) en la gráfica de elevaciones áreas-capacidades.

##### Avenida del diseño

Se determina la avenida de diseño, tomando en cuenta los daños que se pueden causar aguas abajo por la falla de la obra, ocasionada por insuficiencia en la obra de excedencias.

##### Diseño

Una vez obtenida la información de gabinete y realizados los

trabajos de campo y laboratorio, así como los estudios hidrológicos descritos, se procede al diseño de la obra en el orden que se indica a continuación:

#### Obra de excedencias

Se define el tipo de obra de excedencias, así como las características hidráulicas y estructurales de canal de acceso, sección de control y canal de descarga.

#### Altura máxima de diseño.

Se determina tomando en cuenta la elevación del cauce, el nivel de aguas normales de embalse, la carga de diseño de la obra de excedencias, la altura máxima de las olas y el libre bordo.

#### Bordo

Con la altura máxima de diseño y los resultados de la clasificación de campo de los materiales, se eligen la corona y taludes, o bien con los resultados de las pruebas de laboratorio, se proponen la corona y taludes y se efectúa el análisis de estabilidad.

#### Obra de toma

Se definen el tipo de obra de toma y sus características hidráulicas y estructurales, de acuerdo al gasto de la demanda mensual máxima y a la carga mínima de operación.

## Planos

Con auxilio de planos tipo, se elaboran el plano general de la obra y los planos de detalle de la obra de excedencias y de la obra de toma; indicando en ellos todas las dimensiones, elevaciones, cadenamientos, materiales, cantidades de obra y especificaciones necesarias, que permitan su clara interpretación durante la construcción.

## Costo de la obra.

La determinación del costo de la obra se integra por dos fases:

### Estimación de cantidades de obra.

Se cubica el volúmen del terraplén, así como las cantidades de obra de todos los conceptos que intervienen.

## Presupuesto

De acuerdo con las estimaciones de cantidades de obra y los precios unitarios vigentes, se elabora el presupuesto de la obra.

## Indices.

Se determinan algunos índices para tener una idea de la economía y justificación de la obra. Estos índices son:

Relación de volúmen de almacenamiento o volumen de terrace-

ría.

Costo por metro cúbico almacenado  
 Costo por metro cúbico de terraplén  
 Costo por hectárea beneficiada  
 Relación beneficio-costos.

#### Expediente unitario

Finalmente se elabora el expediente unitario de la obra que debe contener toda la información extractada, desde la solicitud, estudios de campo y gabinete, memorias de cálculo, planos generales y de detalle, presupuesto y justificación técnica y social con relación a sus beneficios. (3).

### 2.4.- Propiedades Físico químicas, químicas y físicas del suelo.

#### 2.4.1.- Propiedades físicoquímicas

Las moléculas de los dos principales constituyentes del suelo que tienen propiedades coloidales, la arcilla y el humus, presenta valencias ácidas, y cuando se hallan en forma de gránulos en estado disperso, estos van rodeados de un enjambre periférico de cationes que los acompañan en sus desplazamientos que han llegado a ser constantes debido a la agitación térmica.

La acidez específica de estos coloides tiende a dar al suelo una ración ácida, que se neutraliza más o menos por los cationes metálicos suministrados por otros constituyentes del suelo, principalmente la caliza. De este modo el suelo ofrece una reacción ácida, neutra o alcalina, según el equilibrio que se establece entre sus constituyentes ácidos y alcalinos. (9)

Debido a que los iones de la capa perigranular quedan retenidos, como fijados por los gránulos coloidales se les atribuye a estos coloides un poder absorbente; pero en realidad estos iones están sometidos a cambios; regidos ellos mismos por las variaciones de las condiciones físicoquímicas del medio ambiente, y estos fenómenos constituyen los cambios de iones que llevan especialmente sobre los cationes pero también sobre algunos iones, en particular el anión fosfórico  $PO_4$ .

Finalmente, relacionado con el equilibrio ácidos-bases, se instaaura un equilibrio oxidantes-reductores, que corresponde al poder óxido - reductor del suelo.

Todas estas propiedades del suelo - reacción, poder absorbente, cambio de iones, poder óxido - reductor- están sometidas a contingencias de naturaleza física y química a la vez y por ello se conocen con el nombre de propiedades físico químicas ó electroiónicas. (9)

#### 2.4.2. Propiedades químicas

##### Capacidad de intercambio catiónico

El intercambio catiónico es una de las propiedades más importantes del suelo y tiene influencia sobre una gran cantidad de sus características. Los cationes cambiables influyen en la estructura, la actividad biológica, el régimen hídrico y gaseoso, la reacción, los dos procesos genéticos del suelo y en su formación. (6)

Las dos propiedades principales de la capacidad de intercambio catiónico consisten en su capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de saturación de bases. (7)

Se entiende por intercambio catiónico, los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo absorben iones de la fase acuosa, desabsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre ambas fases.

Estos fenómenos se deben a las propiedades específicas del complejo coloidal del suelo que tienen cargas electrostáticas y una gran superficie. La materia orgánica, las arcillas y los hidróxidos funcionan como "cambiadores". (4, 6).

Otra definición de la capacidad de intercambio catiónica es la siguiente: La capacidad de intercambio catiónico de la fracción del suelo, es la capacidad de intercambio de la arcilla y el humus expresada en me/100 gr. de suelo.

Como cationes cambiables en el suelo se presentan principalmente  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , e  $\text{H}^+$ . Ellos forman el "enjambre" de iones que cubre el complejo coloidal. La suma de los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , y  $\text{Na}^+$  cambiables se denomina bases cambiables (valor S) y su porcentaje dentro de la capacidad de intercambio se llama porcentaje de saturación (valor V). Si el valor V es por ejemplo 75% indica que la cubierta de iones está compuesta en un 75% por  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  y en un 25% por  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  y otros elementos cambiables. El  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$  cambiables se agrupan bajo la acidez cambiable. La suma de la acidez y de

las bases cambiables es la capacidad de intercambio catiónico. (6).

En otras palabras, el porcentaje de saturación de bases indica el grado de saturación del complejo de intercambio con los cationes básicos. La tendencia general es que las bases intercambiables aumentan en relación inversa a la precipitación predominando el catión Calcio, aunque en ciertas regiones áridas suele predominar el sodio. (7)

#### Intercambio aniónico

Los coloides del complejo de cambio presentan algunas veces cargas externas positivas que originan procesos de intercambio aniónico. Otra posibilidad de origen del proceso de intercambio aniónico es el reemplazo de grupos hidróxido OH por iones del mismo tamaño como  $F^-$  y  $Cl^-$ .

La reacción del suelo tiene una gran importancia dentro de los procesos de intercambio aniónico. Al aumentar la acidez aumentan bastante las cargas positivas y la adsorción de iones.

#### pH

El pH es una de las propiedades químicas del suelo determinante en la elección de cultivos, y su influencia directa en la solución del suelo es debido a la actividad del ión hidrógeno que proporciona diferentes concentraciones de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) e hidróxilo (OH), cuyas características vuelven ácido o alcalino un suelo si no se encuentran de una manera balanceada.

El pH se expresa en base a la concentración de los iones de hidrógeno. Estos se miden en una escala de 0 -14. El valor 7 se considera neutro, menos de 7 ácido y por encima de 7 alcalino. (24)

### Humus

Se conoce como materia orgánica o humus, a los restos de hojas, tallos, flores, frutos, y cadáveres (helminthos, insectos, etc.) parcialmente humificados; es decir, en descomposición. (24)

Gaucher, 1971, señala que el humus aumenta la estabilidad y disminuye la capacidad de humedecimiento ya que las arcillas que los constituyen son un coloide hidrófilo de hinchamiento muy elevado. (24)

Algunas de las principales funciones del humus que influyen en las propiedades químicas y físicas del suelo son. (24):

- a) Amortigua del pH
- b) Mejora la estructura facilitando la reacción y aereación.
- c) Es un depósito de elementos químicos (azufre, fósforo).
- d) Es fuente de energía
- e) Ayuda a reducir los cambios de temperatura

#### 2.4.3. Propiedades físicas de los suelos

Las propiedades físicas de los suelos, como son, la textura, estructura, densidad, porosidad, consistencia, temperatura y color son factores dominantes que afectan su uso. Estas propied-

ades determinan la disponibilidad de oxígeno y la movilidad del agua a través del suelo. (5)

#### Textura del suelo

Los suelos naturales están constituidos por partículas de varios tamaños. Los tamaños de las partículas, llamadas separados del suelo, son arenas (las mas grandes), limos y arcillas (las mas pequeñas). Las proporciones relativas de los separados del suelo, en un suelo en particular determinan su textura. (5)

La textura es importante ya que determina la capacidad de absorción y de almacenamiento del agua, la facilidad de cultivarlo, la cantidad de aire, e influenciará la fertilidad. (5)

#### Estructura del suelo.

La textura es la proporción realtiva de arenas, limo y arcilla en el suelo; la forma como éstas partículas están agrupadas en un conjunto estable o agregado es la estructura. Los agregados son unidades secundarias o gránulos de muchas partículas de suelo enlazadas o cementadas por sustancias orgánicas, óxidos de hierro, carbonatos, arcillas o sílice. Los agregados naturales se denominan peds (granos) y varían en su estabilidad en el agua; la palabra terrón es usada para masas coherentes de suelo de cualquier forma que se han quebrado por un medio artificial como la labranza. (5)

## Densidad

### a) Densidad real.

Es la densidad media aparente de las partículas del suelo, generalmente se expresa en gr/cc y algunas veces se menciona como densidad de partículas o densidad de grano.

La densidad real no incluye el peso del agua o el espacio (aire) poroso. Los minerales dominantes que son, feldespatos, micas y minerales arcillosos promedian aproximadamente 2.65 gr/cc el valor utilizado para cálculos si no se conoce su valor.

### b) Densidad aparente.

Es la relación entre la masa de suelo seco y su volumen. Se expresa en libras por pie cúbico ó gramos por  $\text{cm}^3$ . Cuando se expresa en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ , la densidad por volumen es numéricamente igual a la gravedad específica aparente o peso volumétrico. Se utiliza para calcular la capacidad de almacenamiento de agua por volumen de suelo y para evaluar las capas de suelo si están muy compactadas a fin de permitir la penetración de la raíz o los problemas de aireación. (5)

## Porosidad del suelo.

Es la fracción del volumen del suelo no ocupada por las partículas del mismo. Bajo condiciones de campo, los espacios porosos están ocupados todo el tiempo por aire y agua.

Las arenas tienen poros grandes y continuos. En contraste,

las arcillas, aunque tienen un mayor espacio poroso total por el tamaño de las partículas de arcilla, tienen poros muy pequeños, que transmiten el agua lentamente. (5)

### Consistencia del suelo

La habilidad del suelo a permanecer coherente (pegado) se denomina consistencia. Es medida a tres condiciones de humedad: seco al aire, húmedo y saturado. En el estado seco al aire, la consistencia se mide por la resistencia del suelo a romperse o fragmentarse cuando se frota. A una humedad intermedia se observa la resistencia del suelo a las fuerzas cortantes producidas por el dedo pulgar y el índice. En condiciones de saturación, son medidas su plasticidad (habilidad a ser moldeado) y su adhesividad.

La consistencia del suelo es útil para estimar el flujo o resistencia bajo fuerzas aplicadas (peso de edificios, vibraciones de vías). (6)

### Temperatura del suelo.

Las temperaturas del suelo varían desde la congelación permanente o poca profundidad (Alaska), hasta temperaturas de 38.8°C en la superficie del suelo, en días con sol (Hawai). (5)

### Color del suelo.

Los suelos oscuros absorben mas calor que los claros. El color del suelo indica muchos de sus rasgos. Un cambio de color en suelos adyacentes indica una diferencia en los minerales ori-

ginarios o en el desarrollo del suelo. Colores blancos son comunes cuando existen depósitos de sales o carbonatos del suelo. Puntos de diferente color, generalmente color óxido, indica un suelo con períodos de aireación inadecuada cada año. El color también puede servir como indicador del contenido de materia orgánica. (5)

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Descripción del Area de Estudio.

##### 3.1.1. Localización

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de los terrenos del ejido "Tanque Colorado" perteneciente al municipio de Villa de Guadalupe, en el Estado de San Luis Potosí; se encuentra localizada entre los meridianos 100°51' 100°43' de longitud, al oeste del meridiano de Greenwich, y los paralelos 23°32' 23°39' de latitud norte.

En el área de estudio se delimitaron cuatro subcuencas a las cuales se les denominó de la siguiente manera el Jaquis, la Joya, Palo Blanco y Sta. Ursula. Mas adelante, se explicará el criterio que se siguió para delimitar las subcuencas.

En la Figura 12 se observa la localización de cada una de las subcuencas.

##### 3.1.2. Clima.

La clasificación del clima según Köppen modificado por, Enriqueta E. García (1973), es del tipo BSoHW"(e), el cual es un clima seco o árido, con precipitación media anual de 400 mm. y con régimen de lluvias en verano a partir del mes de abril hasta agosto o septiembre. La temperatura media anual es de 19°C, con una oscilación térmica entre 7 y 14°C, la frecuencia de heladas es desde el inicio del mes de diciembre hasta fines de marzo. Las granizadas cuando ocurren se presentan en el mes de mayo y algu-



Figura 12. Localización de las subcuencas del ejido "Tanque Colorado" Municipio de Villa de Guadalupe, S.L.P.

nas ocasiones en agosto.

### 3.1.3. Geología

Geológicamente toda el área de estudio está constituida por conglomerados principalmente en las partes bajas, y son de origen mecánico. En las partes altas existen afloramientos de roca caliza y caliza-lutita. La caliza y lutita son rocas sedimentarias. En las Figuras 13 y 14 se puede ver la distribución que presentan estas rocas en cada una de las subcuencas.

### 3.1.4. Hidrología

En el área de estudio se presentan corrientes torrenciales con drenaje dendrítico. Estas corrientes se clasifican como efímeras, debido a que sólo conducen agua cuando llueve lo suficiente para producir escurrimientos superficiales, permaneciendo secas la mayor parte del año. Figuras 15 y 16.

### 3.1.5. Suelos.

Los diferentes tipos de suelo que se presentan en el área de estudio son los siguientes: Litoisol eutrítico, Fluvisol calcárico, Xerosol cálcico y Rendzina. En las Figuras 17 y 18 se observa el lugar en que está ubicado cada tipo de suelo en cada una de las diferentes subcuencas, y el Cuadro 7 contiene la superficie en hectáreas, así como el porcentaje correspondiente a cada tipo de suelo en cada subcuenca.

A continuación se hace una breve descripción de cada uno de



Figura 13. Geología de la subcuenca el Jaquis. Escala 1:50,000.

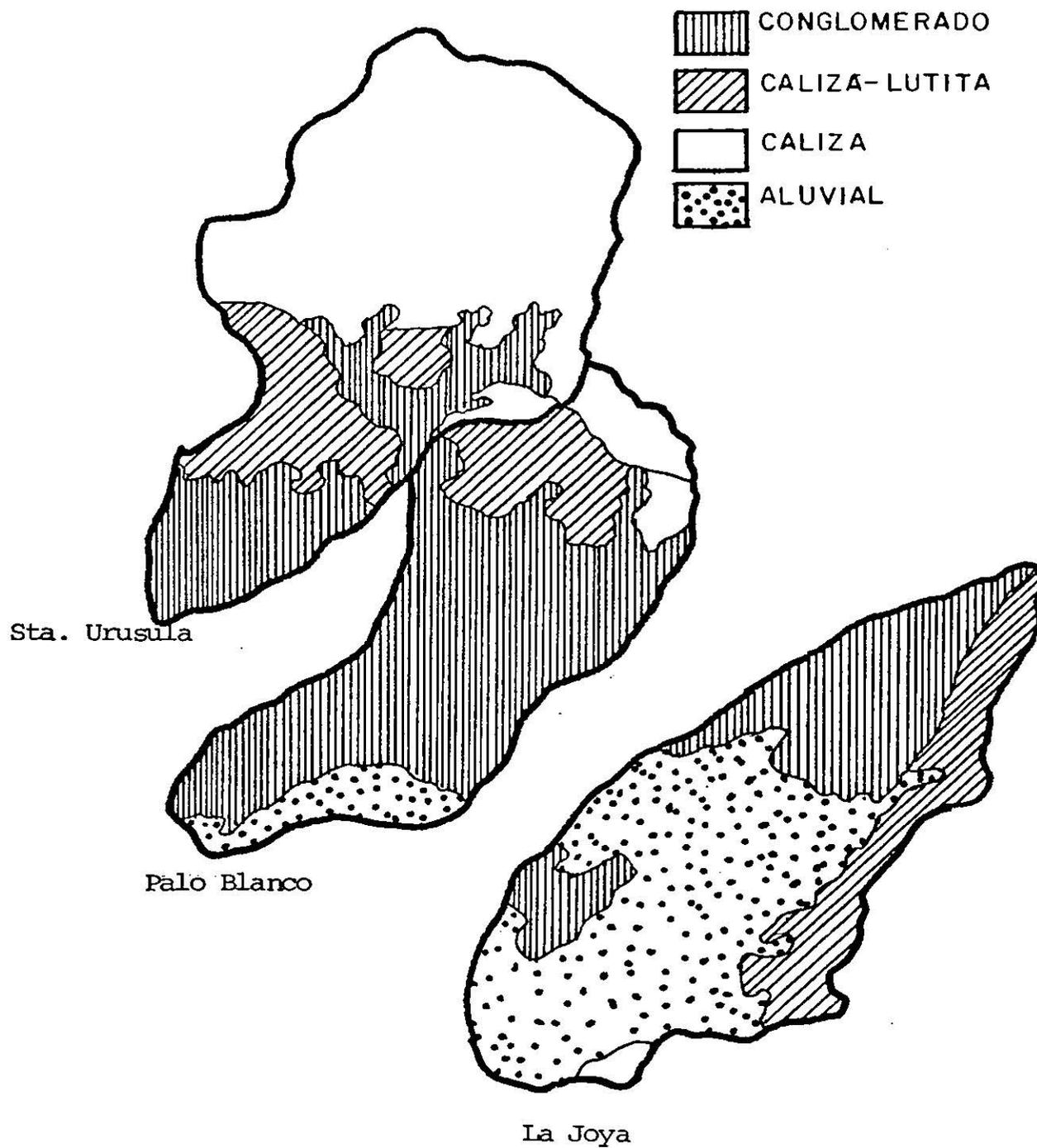


Figura 14. Geología de las subcuencas la Joya, Palo Blanco y Santa Ursula.  
Escala 1:50,000

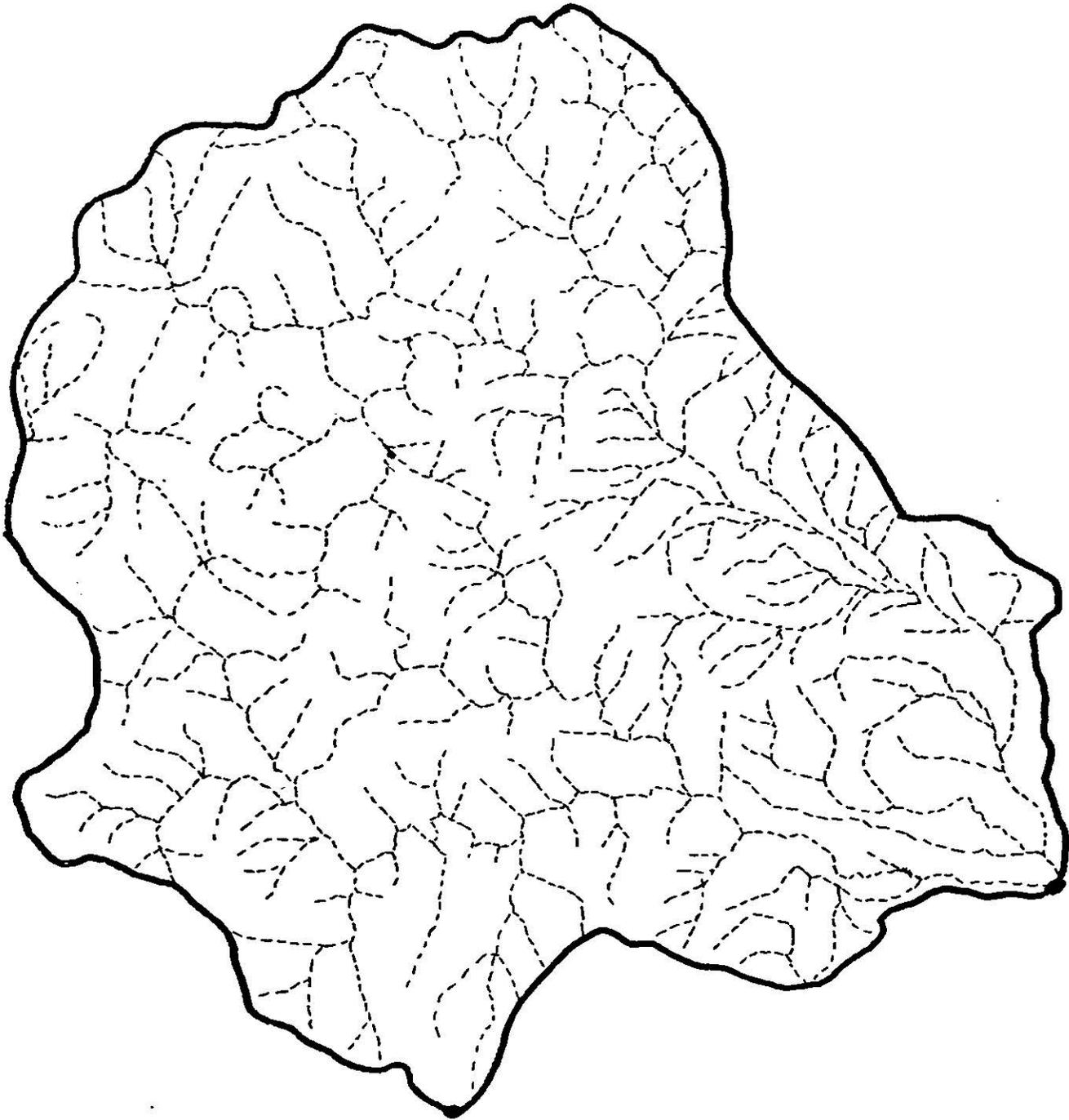


Figura 15. Hidrología de la subcuenca el Jaquis. Escala 1:50,000

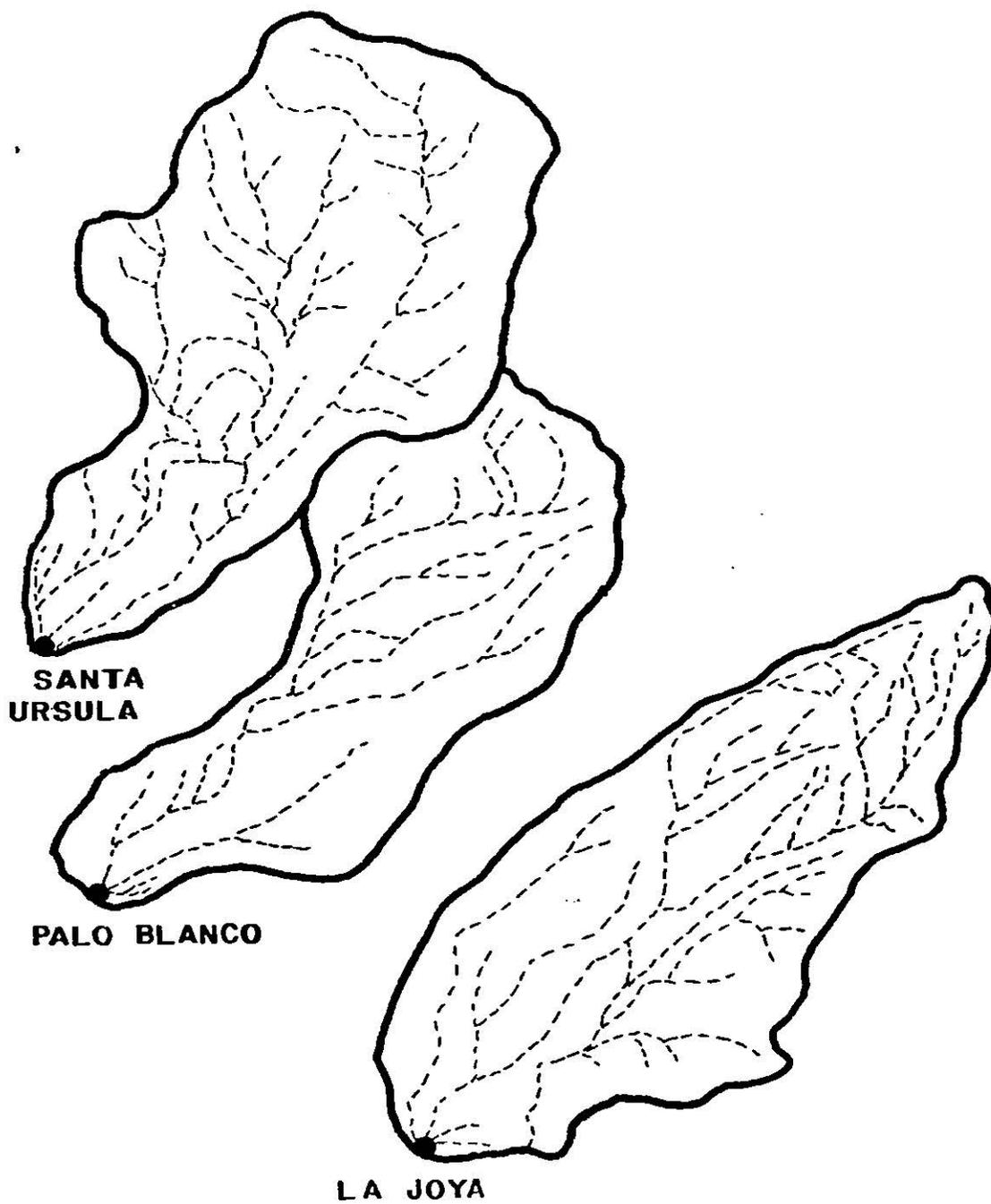


Figura 16. Hidrología de las subcuencas la Joya, Palo Blanco y Santa Ursula. Escala 1:50,000



Figura 17. Tipos de suelo de la subcuenca el Jaquis. Escala 1:50,000

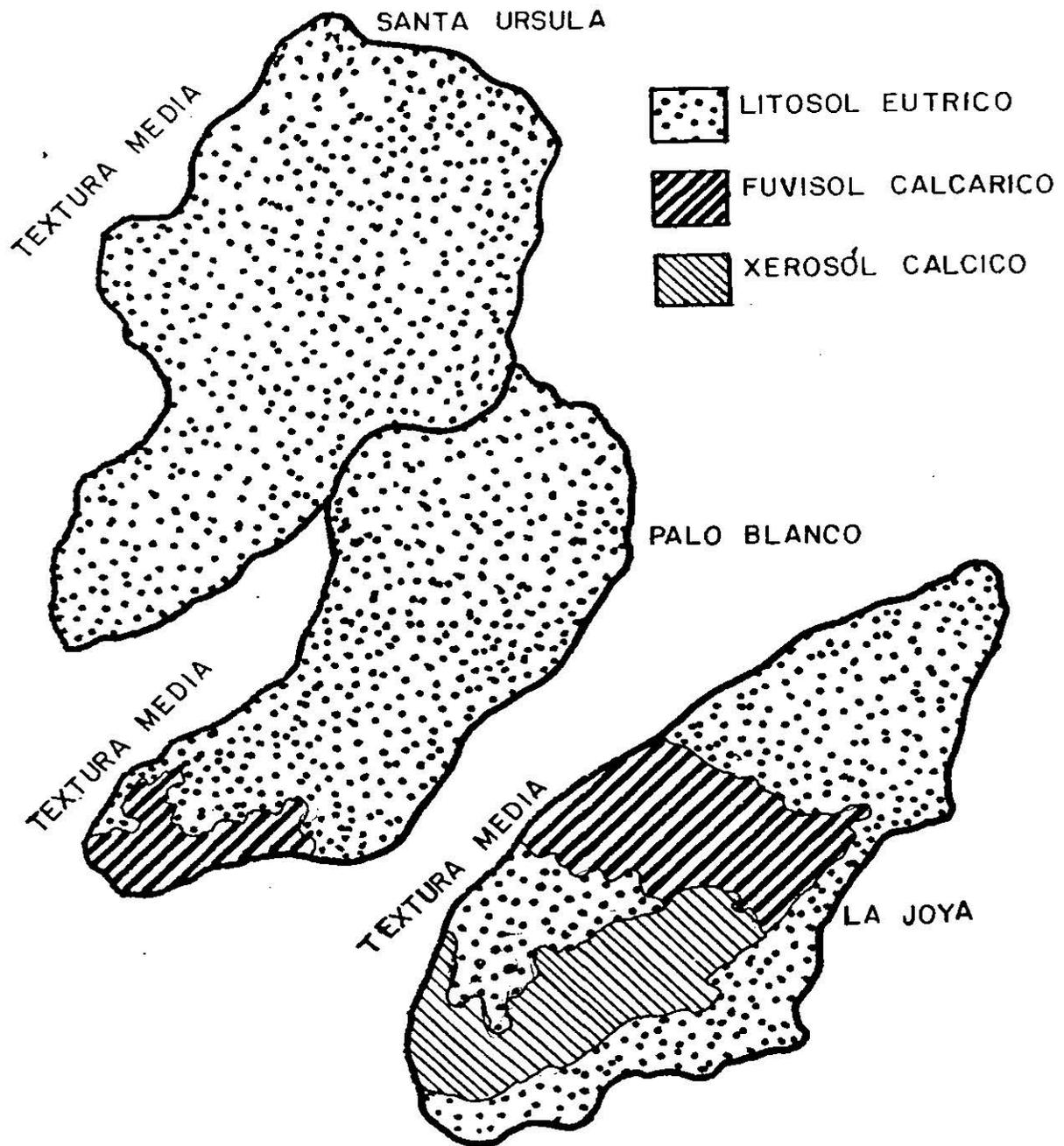


Figura 18. Tipos de suelo de las subcuencas la Joya, Palo Blanco y Santa Ursula. Escala 1:50,000

los tipos de suelo.

#### Litosol eutríco

Se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cm hasta la roca, tepetate o caliche duro. Se localizan en las sierras, laderas, barrancas, así como en lomeríos y algunos terrenos planos. Tienen características muy variables, en función del material que las forma, pueden ser fértiles o infértiles, arenosos o arcillosos. Su susceptibilidad a erosionarse depende de la zona en donde se encuentran de la topografía y del mismo suelo y puede ser moderada hasta muy alta.

#### Fluvisol calcárico.

Son suelos que se caracterizan por estar formados por materiales acarreados por agua. Están constituidos por materiales disgregados que no presentan estructura en terrones, es decir son suelos muy poco desarrollados, se encuentran siempre cercanos a lagos o sierras, desde donde escurre el agua a los llanos, así como en los lechos de ríos. Estos suelos presentan muchas veces capas alternas de arena, arcilla o grava, que son producto del acarreo de dichos materiales por inundaciones o crecidas no muy antiguas. Pueden ser someros o profundos, arenosos o arcillosos, fértiles o infértiles, en función del tipo de materiales que los forma.

#### Xerosol calcárico.

Tienen un horizonte calcárico dentro de los primeros 125 cm de

profundidad desde la superficie. A menudo el horizonte superior es un horizonte A calcáreo limoso, ócrico débil, cuyo color varía de rojo amarillento a pardo grisáceo y tiene de 15 a 20 cm de espesor, pero puede ser mucho más delgado. Presenta en la superficie una costra delgada de color claro y debajo de ella puede haber un subsuelo rico en arcillas. El contenido de materia orgánica varía del 1 al 2%. Debido a que estos suelos ocurren en condiciones semiáridas, solo penetra en ellos una cantidad pequeña de agua y hay una lixiviación reducida.

#### Rendzinas

Son suelos con un horizonte A mólico que contiene o que está de inmediato sobre material calcáreo con cantidades variables de Carbonato Calcio libre. Generalmente son de color oscuro e incluso gris. Son de escasa profundidad, textura media a fina y la estructura de granular a bloques pequeños subangulares, bien desarrollada. Unidas estas características permiten la infiltración rápida de la humedad.

Cuadro 7. Tipos de suelo en cada subcuenca

SUB CUENCA	AREA (Has)	TIPO DE SUELO (HAS)						
		Litosol Eutríco %	Fluvisol Calcárico %	Xerosol Cálcico %	Rendzina %			
El Jaquis	7346.0	7283.5	99.1	12.5	0.17		50.0	0.7
La Joya	1500.0	975.0	65	300.0	20	225.0	15	
Palo Blanco	1150.0	1062.5	92.4	87.5	7.6			
Sta. Ursula	1350.0	1350	100					

### 3.1.6. Topografía

La topografía del área de estudio, está comprendida entre los 1800 y 2900 msnm. La cuenca el Jaquis es la que presenta mayor altura, ya que se encuentra comprendida entre los 2000 y 2400 msnm.

En esta subcuenca el 80% de su superficie es de terreno cerriil y el 20% es de terreno plano. Figura 19.

Por otra parte las subcuencas la Joya y Palo Blanco son las que presentan menor altitud ya que ambas se encuentran comprendidas entre los 1800 y 2000 msnm. En ambas el terreno es plano. Figura 20.

La topografía de la subcuenca Sta. Ursula, está comprendida entre los 1800 y 2500 msnm y determinada por dos zonas de relieve bien definidas.

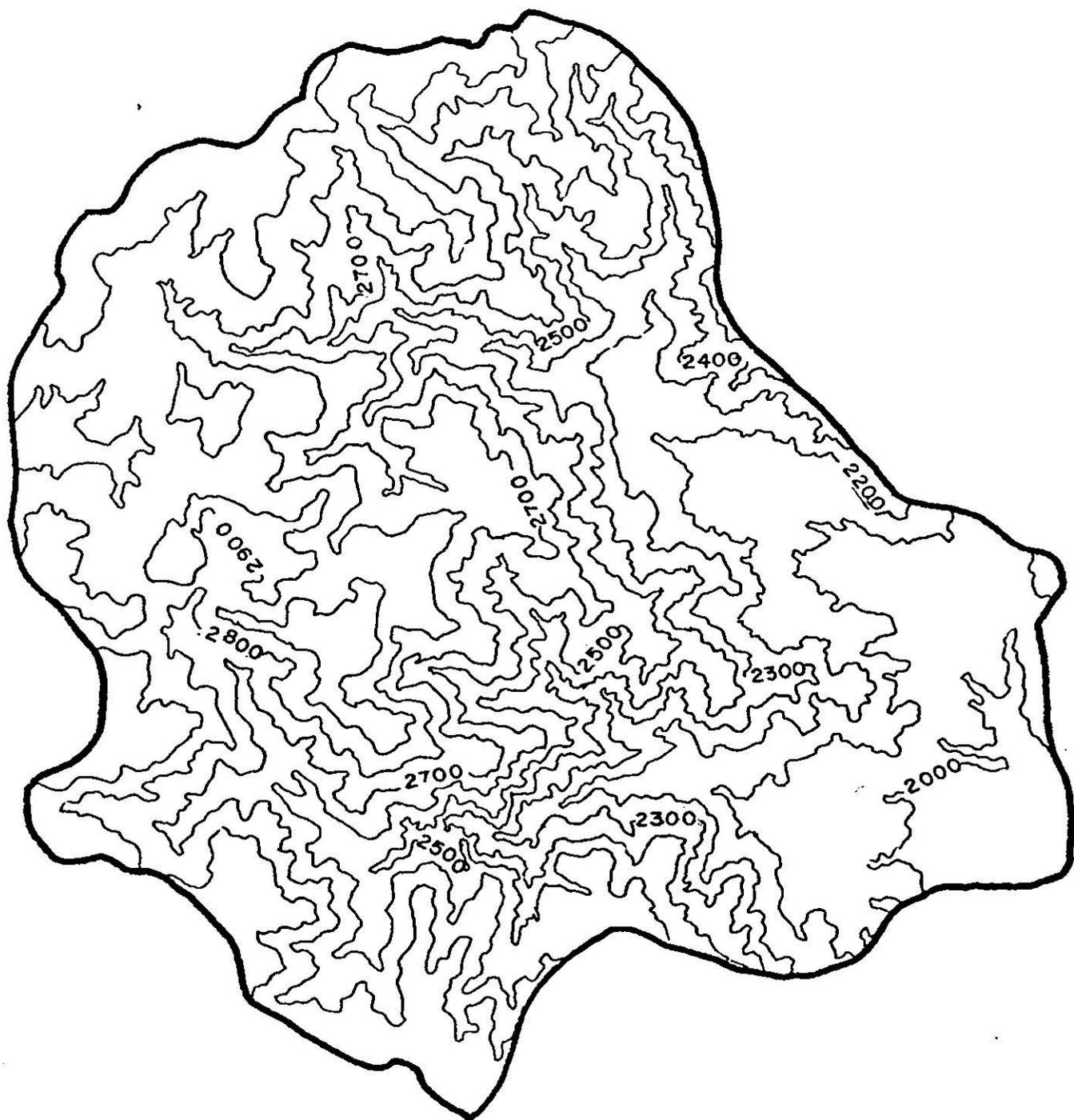


Figura 19. Topografía de la subcuenca el Jaquis. Escala 1:50,000

- a) Zona baja.- Esta parte está comprendida entre los 1800 y 2000 msnm y cubre aproximadamente el 50% de la superficie total de la cuenca.
- b) Zona de lomeríos.- Comprendida entre las curvas de nivel 2000 y 2500 msnm y cubre el otro 50% de la superficie total de la cuenca. Figura 20.

### Vegetación

En las cuatro subcuencas la vegetación nativa está representada por crasirosulifolios espinosos asociados con matorral inerme y subinerme, también abunda el chaparral. En algunas partes hay bosque caducifolio, las principales especies existentes son:

Nombre científico	Nombre común
<u>Prosopis laevigata</u>	Mezquite
<u>Acacia farnesiana</u>	Huizache
<u>Pinus cembroides</u>	Pino piñonero
<u>Miossa bioncifer</u>	Uña de gato
<u>Karwinskia humboldtiana</u>	Tullidora
<u>Yucca filifera</u>	Palma china
<u>Larrea tridentata</u>	Gobernadora
<u>Euphorbia antisypilitica</u>	Candelilla
<u>Hechtia glomerata</u>	Guapilla
<u>Agave atrovirens</u>	Maguey
<u>Agave lecheguilla</u>	Lechuguilla
<u>Opuntia sastrera</u>	Nopal rastrero
<u>Opuntia cantabrigiensis</u>	Nopal cuija
<u>Celtis pallida</u>	Granjeno
<u>Acacia rigidula</u>	Chaparro prieto

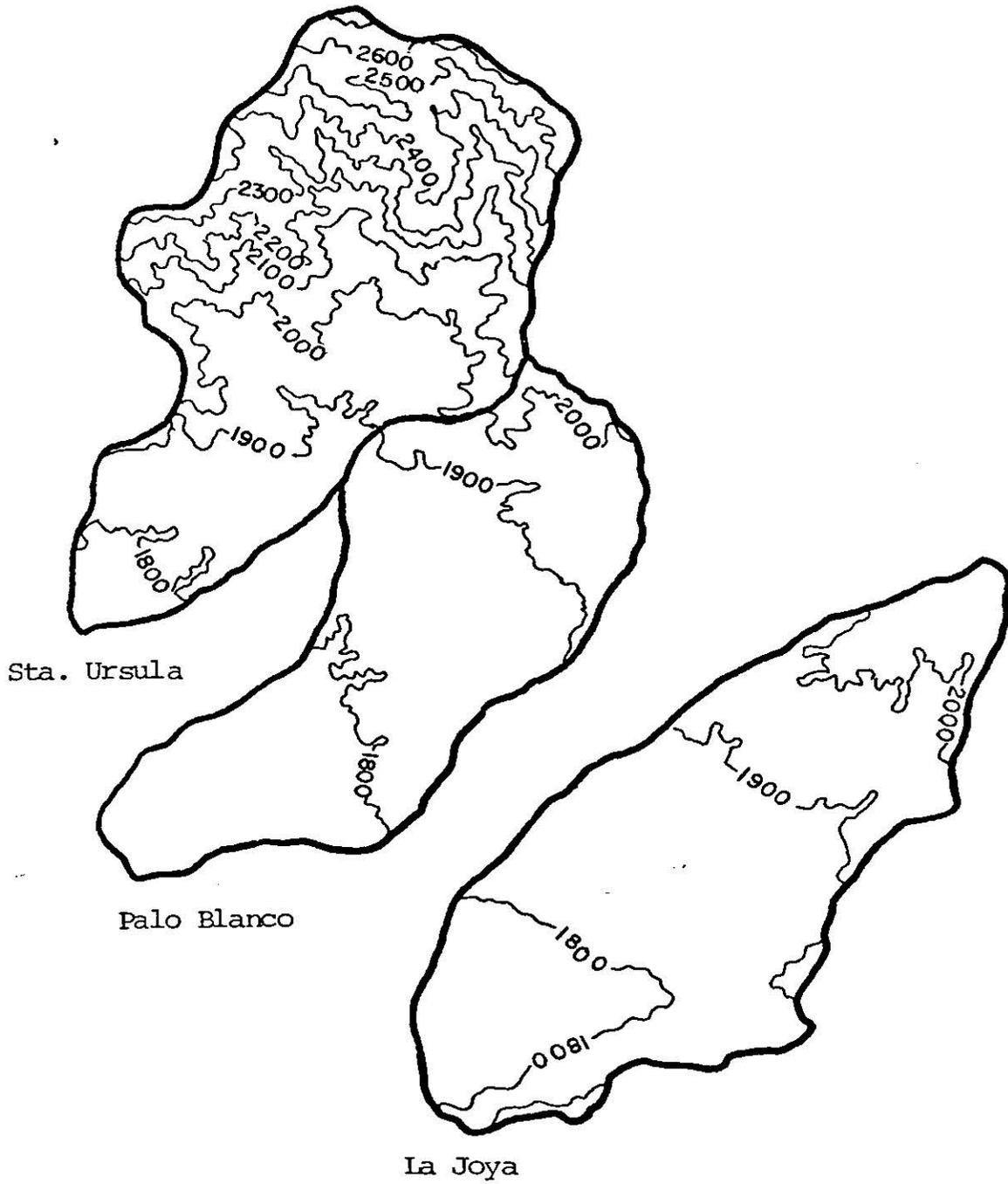


Figura 20. Topografía de las subcuencas la Joya, Palo Blanco y Santa Ursula. Escala 1:50,000

La vegetación cultivada es anual y generalmente en asociación.

<u>Zea mays</u>	Maíz
<u>Phaseolus vulgaris</u>	Frijol

### 3.2. Materiales

Para la realización del presente trabajo se utilizaron los siguientes materiales:

- a).- Planímetro
- b).- Cartas del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (I.N.E.G.I.), esc. 1:50,000  
Las cartas utilizadas fueron las siguientes: topográfica, edafológica, climatológica, geológica y uso actual del suelo.
- c).- Plano del ejido
- d).- Papel albanene
- e).- Curvímetro
- f).- Colores

### 3.3. Metodología

Debido a que el objetivo principal de este estudio fué el de determinar la mejor ubicación de bordos para captación de agua de lluvia ya sea para abrevadero ó para uso agrícola, según las capacidades de almacenamiento, se procedió a localizar las cuencas que estuvieran dentro de ésta área, encontrándose un total de cuatro subcuencas, a las cuales se les denominó de la siguiente manera: "el jaquis", "La joya", "palo blanco" y "Sta. Ursula", estos nombres fueron escogidos debido a que así se conoce el

lugar donde están ubicadas.

La metodología que se siguió en el presente estudio fue la misma para las cuatro subcuencas, y consistió en tres pasos generales que son los siguientes:

- a) Trabajo de gabinete
- b) Verificación del trabajo de gabinete en campo
- c) Rectificación de la información obtenida en el trabajo de gabinete con la recopilada en la verificación de campo.

Trabajo de gabinete.

- a).- Basándose en el plano del ejido, se delimitó el área de éste en la carta topográfica.
- b).- De la carta topográfica se realizó un mapa de todos los escurrimientos superficiales que existen dentro del área del ejido, auxiliándose con el papel albanene. Figura 19.
- c).- En base al mapa de los escurrimientos superficiales se delimitaron un total de cuatro subcuencas que presentaron mayor cantidad de escurrimientos, así mismo, se determinó el lugar en el que va a estar ubicada la boquilla.
- d).- Se calculó el área de cada subcuenca empleando el planímetro.
- e).- Con la carta edafológica se obtuvieron los diferentes tipos de suelo que predominan en cada subcuenca, así como en el vaso de almacenamiento.
- f).- Se realizó un mapa geológico con la finalidad de conocer la permeabilidad del material parental en el lugar donde se ubicaron las boquillas.
- g).- Se realizó una caracterización fisiográfica de las subcuen-

cas y cálculos de volúmenes medios a almacenar.

Verificación del trabajo de gabinete.

Se realizó un recorrido en el área de estudio con el fin de verificar los puntos en los que fueron ubicadas las boquillas según el trabajo de gabinete, resultando que en las subcuencas "el jaquis" y la "joya", los puntos donde se habían ubicado las boquillas podían cambiarse aguas abajo.

Rectificación de la información obtenida en el trabajo de gabinete con la recopilada en la verificación.

Se rectificó la ubicación de las boquillas de las subcuencas "el jaquis" y la "joya", ya que en la verificación de campo del trabajo de gabinete, se observó que en ambas boquillas podría ubicarse aguas abajo ya que captarían más escurrimientos superficiales, y además quedarían más cerca del potrero, además de que la pendiente era mas pronunciada.

#### IV. RESULTADOS

4.1.- Resultados de la información de gabinete

4.1.1. Subcuenca "el jaquis"

$$\text{Area} = 7346.0 \text{ has} = 73.46 \text{ km}^2$$

$$\text{Longitud del cauce principal} = 15 \text{ km}$$

$$\text{Perímetro de la cuenca} = 37.77 \text{ km}$$

$$\text{Índice de forma} = \frac{A}{L^2} = \frac{73.46 \text{ km}^2}{(15 \text{ km})^2} = 0.326$$

$$\text{Pendiente media (Sm)} = \frac{H}{L} \times 100$$

$$Sm = \frac{900 \text{ mts}}{1500 \text{ mts}} \times 100 = 6\%$$

$$\text{Tiempo de Concentración (Tc)} = \frac{0.02 L^{1.15}}{H^{0.385}}$$

$$Tc = \frac{0.02(15000)^{1.15}}{(900)^{0.385}} = 92.5 \text{ min} = 1.5 \text{ hrs.}$$

$$\text{Índice de Compacidad (K)} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$K = 0.28 \frac{37.55 \text{ km}}{\sqrt{73.46 \text{ km}^2}} = 1.2$$

$$\text{Relación de Circularidad (Rc)} = 12.57 \frac{A}{P^2}$$

$$R_c = 12.57 \frac{73.46 \text{ km}^2}{(37.55 \text{ km})^2} = 0.65$$

$$\text{Relación de elongación } (R_e) = \frac{0.318(P)}{L_c} = \frac{0.318(37.55 \text{ km})}{15 \text{ km}} = 0.79$$

Estimación de los escurrimientos medios de la subcuenca "el jaquis"

Antes de estimar los escurrimientos medios a almacenar se determinó el valor del coeficiente de escurrimiento "C" basándose en el Cuadro 1 y de acuerdo a los siguientes datos obtenidos de la subcuenca:

Vegetación	Superficie	Textura	Topografía
Bosque	6621.0 has	media	escarpado
Bosque	550.0 HAS	media	ondulado
Pastizal	175.0	media	escarpado

El valor del coeficiente "c" se obtuvo mediante la siguiente expresión.

$$c = \frac{6621.0(0.5) + 550(0.35) + 175.0(0.42)}{7,346} = 0.48$$

Una vez obtenido el valor del coeficiente de escurrimiento se calculó el volúmen medio a almacenar mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$VM = A C P M$$

Donde:

$$VM = \text{Volúmen medio } M^3$$

A = Area de la cuenca M<sup>2</sup>

C = Coeficiente de escurrimiento

PM = Precipitación media

Los datos de la subcuenca son los siguientes:

A = 7,346.0 has = 73,460,000 m<sup>2</sup>

C = 0.48

PM = 400 mm - 0.4 m

Estos datos se sustituyen en la fórmula y se obtiene el volumen medio a almacenar.

VM = A C PM

VM = 73,460,000 m<sup>2</sup> x 0.48 x 0.4m

VM = 14,104,320 m<sup>3</sup>

Volumen aprovechable (Va).- Se considera como volumen aprovechable el 50% del volumen medio.

Volumen aprovechable (Va) = 0.50 x VM

Va = 0.50 x 14,104,320 m<sup>3</sup>

Va = 7,052,160 m<sup>3</sup>

Almacenamiento total del vaso (Vta)

Tomando en cuenta hasta la cota arbitraria de 100 (base del bordo), la obra almacena 4,231,296 m<sup>3</sup> ó sea el 60% del volumen aprovechable.

Almacenamiento para azolves (Vca).

Se toma el 10% del volumen total almacenado para fijar la capacidad de azolves.

$$\text{Capacidad de azolves (Vca)} = 0.10 \times \text{Vta}$$

$$\text{Vca} = 0.10 \times 4,231,296 \text{ m}^3$$

$$\text{Vca} = 423,129.6 \text{ m}^3$$

Pérdidas varias de almacenamiento (Vp).

Del volúmen total almacenado (vta) se toma el 10% para considerar las pérdidas por evaporación, filtración, etc. que sufre el volúmen aprovechable (Va).

$$\text{Pérdidas varias (Vp)} = 0.10 \times \text{Vta}$$

$$\text{Vp} = 0.10 \times 4,231,296 \text{ m}^3$$

$$\text{Vp} = 423,129.6 \text{ m}^3$$

Volúmen útil (Vu)

$$\text{Vu} = \text{Vta} - (\text{Vca} + \text{Vp})$$

$$\text{Vu} = 4,231,291 - (423,129.6 \text{ m}^3 + 423,129.6 \text{ m}^3)$$

$$\underline{\text{Vu} = 3,385,036.8 \text{ M}^3}$$

Para obtener el número total de hectáreas que se pueden regar con este volúmen es necesario conocer la cantidad de agua requerida por hectárea, la cual se obtiene de acuerdo al cultivo que se va a establecer, en este caso el cultivo es el maíz. Por lo tanto, si al maíz se le aplica una lámina de riego de 120 cm/año, dividida en ocho riegos para dos ciclos, el volúmen de agua requerido por hectárea se obtiene de la siguiente manera:

Lámina de riego por año	X	Superficie de una hectárea	=	Volúmen de agua requerido por ha.
-------------------------	---	----------------------------	---	-----------------------------------

1.20 m	X	10,000 m <sup>2</sup>	=	12,000 m <sup>3</sup>
				requeridos por ha.

Una vez obtenido el volúmen de agua requerido por hectárea, se puede calcular el número de hectáreas posibles a regarse mediante la siguiente expresión.

$$\frac{3,385,036.8 \text{ m}^3}{12,000 \text{ M}^3/\text{ha.}} = 282 \text{ has posibles de regarse}$$

Si el volumen útil almacenado se empleara para uso doméstico y pecuario, habría que estimar el volúmen anual en función de la población humana y pecuaria del ejido, y los factores de consumo anual. Esta estimación puede realizarse mediante el uso de la siguiente ecuación.

$$Vu = (NH \times GH) + (NCG \times FG) + (Ncq \times Fq)$$

Donde:

Vu = Volúmen anual para usos domésticos y pecuarios  $\text{mm}^3$

NH = Número de habitantes

FH = Factor de consumo anual por habitante,  $\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}$ .

NCG = Número de cabezas de ganado mayor

FG = Factor de consumo anual por cabeza de ganado mayor,  
 $\text{m}^3/\text{cab}/\text{año}$ .

Ncq = Número de cabezas de ganado menor

Fq = Factor de consumo anual por cabeza de ganado menor,  
 $\text{m}^3/\text{cab}/\text{año}$ .

Para la aplicación de la ecuación se cuenta con los siguientes datos:

$$NH = 220$$

$$FH = 0.365 \text{ m}^3/\text{hab.}/\text{año. (Considerando que un habitante consume 1 lto/día)}$$

$$NCG = 2200$$

$$FG = 15 \text{ m}^3/\text{cab}/\text{año. (Una cabeza consume 41 lts/día)}$$

$$Ncq = 11000$$

$$Fq = 3.65 \text{ m}^3/\text{cab}/\text{año} \text{ (Una cabeza consume 10 lts/día)}$$

Sustituyendo se obtiene lo siguiente:

$$Vu' = (220 \times 0.365) + (2200 \times 15) + (11000 \times 3.65)$$

$$Vu = 80.3 + 33000 + 40150$$

$$Vu = 73,230.3 \text{ mm}^3$$

#### 4.1.2. Subcuenca "La Joya"

$$\text{Area} = 1500.0 \text{ has} = 15 \text{ km}^2$$

$$\text{Longitud del cauce principal} = 7.5 \text{ km.}$$

$$\text{Perímetro de la cuenca} = 17.1 \text{ km.}$$

$$\text{Indice de forma} = \frac{A}{L^2} = \frac{15 \text{ km}^2}{(7.5 \text{ Km})^2} = 0.26$$

Pendiente media

$$s_m = \frac{H}{L} \times 100$$

$$s_m = \frac{300}{7500} \times 100 = 4\%$$

Tiempo de concentración

$$\tau_c = \frac{0.02L^{1.15}}{H^{0.385}}$$

$$\tau_c = \frac{0.02 (7500)^{1.15}}{(300)^{0.385}} = 63.6 \text{ Min} = 1.06 \text{ hrs.}$$

Indice de compacidad

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$K = 0.28 \frac{17.1 \text{ km}}{\sqrt{15 \text{ km}^2}} = 1.2$$

Relación de circularidad

$$RC = 12.57 \frac{A}{P^2}$$

$$RC = 12.57 \frac{15 \text{ km}^2}{(17.1 \text{ Km})^2} = 0.64$$

Relación de elongación

$$RC = \frac{0.318 (P)}{LC}$$

$$RC = \frac{0.318 (17.1 \text{ km})}{7.5 \text{ km}} = 0.7$$

Estimación de los escurrimientos medios de la subcuenca "La Joya"

Antes de estimar los escurrimientos medios, se determina el valor del coeficiente de escurrimiento "C" basándose en el Cuadro 1 y de acuerdo a los siguientes datos obtenidos de la subcuenca:

Vegetación	Superficie	Textura	Topografía
Bosque	1350.0 has	media	ondulado
Cultivo	150.0 has	media	plano

El valor del coeficiente "C" se determina mediante la expresión siguiente:

$$\frac{1350.0 (0.35) + 150.0 (0.5)}{1500} = 0.36$$

Una vez obtenido "C" se calcula el volúmen medio a almacenar o captar. Los datos con los que se cuenta son los siguientes:

$$A = 1500.0 \text{ has} = 15,000,000 \text{ m}^2$$

$$C = 0.36$$

$$PM = 400 \text{ mm} = 0.4 \text{ m}$$

Estos datos se sustituyen en la fórmula siguiente:

$$VM = A C PM$$

$$VM = 15\,000,000 \times 0.36 \times 0.4$$

$$VM = 2,160,000 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen aprovechable (Va)} = 0.5 \times VM$$

$$Va = 0.5 \times 2,160,000 \text{ m}^3$$

$$Va = 1,080,000 \text{ m}^3$$

Voúmen total del vaso (Vta)

Hasta la cota arbitraria de 100 la obra almacena 648,000 m<sup>3</sup> o sea el 60% del volúmen aprovechable.

Almacenamiento para azolves

Se toma el 10% del volúmen total para fijar la capacidad de azolves.

$$\text{Capacidad de azolves (VCa)} = 0.10 \times Vta$$

$$VCa = 0.10 \times 648,000 \text{ m}^3$$

$$VCa = 64,800 \text{ m}^3$$

Pérdidas varias de almacenamiento (Vp)

Del volúmen total almacenado se toma el 10% para considerar

las pérdidas por evaporación, filtración, etc. que sufre el volúmen total almacenado. ( $V_{ta}$ ).

$$\text{Pérdidas varias } (V_p) = 0.10 \times V_{ta}$$

$$V_p = 0.10 \times 648,000 \text{ m}^3$$

$$V_p = 64,800 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen útil } (V_u) = V_{ta} - (V_{Ca} + V_p)$$

$$V_u = 648,000 \text{ m}^3 - (648,800 \text{ m}^3 + 64,800 \text{ m}^3)$$

$$V_u = 518,400 \text{ m}^3$$

Posteriormente se calcula el volúmen requerido por hectárea el cual ya fué estimado con anterioridad, siendo de  $12,000 \text{ m}^3$ . Por lo tanto, para obtener el número de hectáreas posibles a regar, se procede de la misma manera que la subcuenca anterior.

$$\frac{518,400 \text{ m}^3}{12,000 \text{ m}^3/\text{ha.}} = 43.2 \text{ has. /ciclo posibles de regar}$$

o bien:

$$\frac{518,400}{14.9} = 34,791 \text{ cabezas de ganado mayor /año}$$

$$\frac{518,400}{3.65} = 142,027 \text{ cabezas de ganado menor/año}$$

#### 4.1.3. Subcuenca Palo Blanco

$$\text{Area} = 1150.0 \text{ has} = 11.5 \text{ km}^2$$

$$\text{Longitud del cauce principal} = 5.25 \text{ km}$$

$$\text{Perímetro de la cuenca} = 15.06 \text{ km}$$

$$\text{Índice de forma} = \frac{A}{L^2} = \frac{11.5 \text{ km}^2}{(5.25 \text{ km})^2} = 0.4$$

Pendiente media

$$S_m = \frac{H}{L} \times 100$$

$$S_m = \frac{200 \text{ m}}{5250 \text{ m}} \times 100 = 3.8$$

Tiempo de concentración

$$TC = \frac{0.02L^{1.15}}{H^{0.385}}$$

$$TC = \frac{0.02(5250\text{m})^{1.15}}{(200\text{m})^{0.385}} = 49.35 \text{ Min.} = 0.8 \text{ hrs.}$$

Indice de compacidad

$$K = 0.028 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$K = 0.28 \frac{15.06 \text{ b km}}{\sqrt{11.5 \text{ km}^2}} = 1.2$$

Relación de circularidad

$$RC = 12.57 \frac{A}{P^2}$$

$$RC = 12.57 \frac{11.5 \text{ km}^2}{(15.06 \text{ km})^2} = 0.63$$

Relación de elongación

$$Re = \frac{0.318 (P)}{Lc}$$

$$Re = \frac{0.318 (15.06 \text{ km})}{5.25 \text{ km}} = 0.9$$

Estimación de los escurrimientos medios de la subcuenca Palo Blanco.

Determinación del coeficiente de escurrimiento "C"

Vegetación	Superficie	Textura	Topografía
Bosque	1112.5 has	media	ondulado
Cultivo	37.5 has	media	plano

Por lo tanto:

$$C = \frac{1112.5(0.35) + 37.5(0.5)}{1150} = 0.35$$

Posteriormente se calculan los escurrimientos medios, partiendo de los datos siguientes:

$$A = 1150.0 \text{ has} = 11,500,000 \text{ m}^2$$

$$C = 0.35$$

$$PM = 400 \text{ mm} = 0.4 \text{ m}$$

Estos datos se sustituyen en la siguiente fórmula

$$VM = AC PM$$

$$VM = 11,500,000 \text{ m}^2 \times 0.35 \times 0.4 \text{ m}$$

$$VM = 1,610,000 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen aprovechable (Va)} = 0.50 \times VM$$

$$Va = 0.50 \times 1,610,000 \text{ m}^3$$

$$Va = 805,000 \text{ m}^3$$

## Almacenamiento total del vaso (Vta)

Hasta la cota arbitraria de 100 la obra almacena 483,000 m<sup>3</sup>, o sea el 60% del volumen aprovechable.

## Almacenamiento para azolves (VCa)

Se toma el 10% del Vta para fijar la capacidad de azolves.

$$VCa = 0.10 \times Vta$$

$$VCa = 0.10 \times 483,000 \text{ m}^3$$

$$VCa = 48\,300 \text{ m}^3$$

## Pérdidas varias de almacenamiento (Vp).

Del Vta se toma el 10% para considerar las pérdidas por evaporación, filtración, etc. que sufre el Vta.

$$\text{Pérdidas varias (Vp)} = 0.10 \times Vta$$

$$Vp = 0.10 \times 483,000 \text{ m}^3$$

$$Vp = 48,300 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen útil (Vu)} = Vta - (VCa + Vp)$$

$$Vu = 483,000 \text{ m}^3 - (48300 \text{ m}^3 + 48300 \text{ m}^3)$$

$$Vu = 386,400 \text{ m}^3$$

$$\frac{386,400 \text{ m}^3}{12,000 \text{ m}^3/\text{ha}} = 32.2 \text{ ha posibles de regar/ciclo}$$

$$12,000 \text{ m}^3/\text{ha}$$

o bien:

$$\frac{386,400}{14.9} = 25,932 \text{ cabezas de ganado mayor/año}$$

$$14.9$$

$$\frac{386,400}{3.65} = 105,863 \text{ cabezas de ganado menor/año}$$

$$3.65$$

## 4.1.4. Subcuenca Sta. Ursula

$$\text{Area} = 1350.0 \text{ has} = 13.5 \text{ km}^2$$

$$\text{Longitud del cauce principal} = 7.5 \text{ km}$$

$$\text{Perímetro de la cuenca} = 16.5 \text{ km}$$

$$\text{Índice de forma} = \frac{A}{L^2} = \frac{13.5 \text{ km}^2}{(7.5 \text{ km})^2} = 0.24$$

Pendiente media

$$SM = \frac{H}{L} \times 100$$

$$SM = \frac{700 \text{ M}}{7500 \text{ m}} \times 100 = 9.3\%$$

Tiempo de concentración

$$TC = \frac{0.02 L^{1.15}}{H^{0.385}}$$

$$TC = \frac{0.02(7500 \text{ m})^{1.15}}{(700 \text{ M})^{0.385}} = 45.9 \text{ min.} = 0.76 \text{ horas}$$

Índice de compacidad

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$K = 0.28 \frac{16.5 \text{ km}}{\sqrt{13.5 \text{ km}^2}} = 1.2$$

Relación de circularidad

$$Rc = 12.57 \frac{A}{P^2}$$

$$Rc = 12.57 \frac{13.5 \text{ km}^2}{(16.5 \text{ km})^2} = 0.6$$

Relación de elongación

$$Re = \frac{0.318 P}{Lc}$$

$$Re = \frac{0.318(16.5 \text{ km})}{7.5 \text{ km}} = 0.7$$

Estimación de los escurrimientos medios de la subcuenca Santa Ursula.

Determinación del coeficiente de escurrimiento "C"

Vegetación	Superficie	Textura	Topografía
Bosque	775.0 has	media	escarpado
Pastizal	575.0 has	media	ondulado

Por lo tanto:

$$C = \frac{775.0 (0.5) + 575(0.36)}{1350} = 0.4$$

Posteriormente se calculan los escurrimientos medios partiendo de los siguientes datos.

$$A = 1350.0 \text{ has} = 13,500,000 \text{ m}^2$$

$$C = 0.4$$

$$PM = 400 \text{ mm} = 0.4 \text{ m}$$

Estos datos se sustituyen en la siguiente fórmula y se ob-

tiene el volumen medio.

$$VM = A C PM$$

$$VM = 13,500,000 \text{ m}^2 \times 0.4 \times 0.4 \text{ m.}$$

$$VM = 2,160,000 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen aprovechable (Va)} = 0.50 \times Vm$$

$$Va = 0.50 \times 2,160,000 \text{ m}^3$$

$$Va = 1,080,000 \text{ m}^3$$

Almacenamiento total del vaso (Vta)

Hasta la cota arbitraria de 100 la obra almacena 648,000 m<sup>3</sup>, o sea el 60% del volumen aprovechable.

Almacenamiento para azolves (VCa).

Se toma el 10% del Vta para fijar la capacidad de azolves.

$$\text{Capacidad de azolves (VCa)} = 0.10 \times Vta$$

$$VCa = 0.10 \times 648,000 \text{ m}^3$$

$$VCa = 64,800 \text{ m}^3$$

Pérdidas varias de almacenamiento (VP)

Del Vta se toma el 10% para considerar las pérdidas por evaporación, filtración, etc. que sufre el Vta.

$$\text{Pérdidas varias (Vp)} = 0.10 \times Vta$$

$$Vp = 0.10 \times 648,000 \text{ m}^3$$

$$Vp = 64,800 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen útil (Vu)} = V_{ta} - (V_{Ca} + V_p)$$

$$Vu = 648,000 \text{ m}^3 - (64,800 \text{ m}^3 + 64,800 \text{ m}^3)$$

$$Vu = 518,400 \text{ m}^3$$

$$\frac{518,000}{12,000} = 43.1 \text{ ha posibles de regar/ciclo}$$

o bien:

$$\frac{518,400}{14.9} = 25,932 \text{ cabezas de ganado mayor/año}$$

$$\frac{518,400}{3.65} = 142,027 \text{ cabezas de ganado menor/año}$$

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- 1.- La subcuenca el Jaquis presentó mayor captación de agua, con 3'385,036 m<sup>3</sup> debido a que tiene mayor área de escurrimiento. Pero el tipo de suelo que se encuentra en el piso del vaso de almacenamiento es fluvisol calcárico y este suelo presenta problemas de permeabilidad. Por lo tanto la construcción del bordo solamente sería conveniente si se realizara alguna modificación en dicho suelo. Pudiendo con inyecciones de material impermeable al dentellón podría llegar a regar hasta 282 has/ciclo agrícola ó mantener 2200 cabezas de ganado mayor u 11,000 cabezas de ganado menor quedando en el vaso un volumen útil de 73,230.3 m<sup>3</sup> de agua almacenada.
- 2.- Las subcuencas "la joya" y "Santa Ursula" son idénticas en sus volúmenes útiles a almacenar, por lo tanto las posibles has a regar y cabezas de ganado mayor y menor a mantener son iguales con 34,791 y 142,027 respectivamente.
- 3.- Las subcuencas el Jaquis y la Joya en la verificación de campo se tuvieron que recorrer aguas abajo debido a lo pronunciado de la pendiente y también debido a que las boquillas estaban muy anchas, en esta reubicación trajo como ventaja que la ubicación de las nuevas boquillas quedaran cerca de las tierras de cultivo.
- 4.- La subcuenca Palo Blanco fué la mas pequeña con un volumen útil de 386,400 m<sup>3</sup> pudiendo teóricamente regar 32 has/ciclo agrícola ó mantener 25.932 cabezas de ganado mayor/año ó

105,863 cabezas de ganado menor/año.

- 5.- Cabe mencionar que los cálculos teóricos esperados son a nivel puntual no considerando las pérdidas diarias por evaporación e infiltración durante todo el año.

Recomendaciones:

- 1.- Se recomienda que estos estudios no queden archivados en bibliotecas puesto que serviría de información básica para realizar los posibles bordos o presas para almacenamiento de agua, tanto para consumo humano y animal y de ser posible para regar áreas que actualmente son de temporal además que la escasez del agua es el problema principal de esta población puesto que el agua que utilizan para consumo humano la traen entubada de la sierra.
- 2.- En la subcuenca "el Jaquis" que es la que mayor capacidad de captación presenta se recomienda deflocular el suelo ya que el punto donde fué ubicada la boquilla, el suelo es de tipo fluvisol por lo que es muy permeable.
- 3.- También se recomienda que en la subcuenca el Jaquis se construya algún otro tipo de almacenamiento de aguas broncas, aunque este sea exclusivo para riego agrícola.

## VI. RESUMEN

En este trabajo se reportan los resultados de un estudio de cuatro cuencas que se encuentran ubicadas dentro de los terrenos del ejido "Tanque Colorado" perteneciente al municipio de Matehuala en el Estado de San Luis Potosí.

El objetivo de este trabajo, fue, en base a los estudios de la zona, sugerir a los ejidatarios la mejor ubicación de las boquillas para la posible realización de obras para la captación de agua.

Para cumplir con este objetivo, se seleccionaron cuatro cuencas, que fueron las que presentaron mayor cantidad de escurrimiento y a las cuales se les denominó de la siguiente manera: "El Jaquiz", "La Joya", "Palo Blanco" y "Sta. Ursula". Estos nombres fueron escogidos debido a que así se conoce el lugar en el que fué ubicada cada cuenca.

Para la obtención de los resultados la fórmula que se empleó fué la siguiente:

$$VM = A C PM$$

Donde:

VM = Volumen medio

A = Area de la cuenca

C = Coeficiente de escurrimiento

PM = Precipitación media

El área de cada cuenca se obtuvo por medio de las cartas de

la CETENAL usando el planímetro.

El área que se obtuvo para cada cuenca fué la siguiente:

Subcuenca	Hectáreas
El Jaquis .....	7346-00
La Joya .....	1500-00
Sta. Ursula .....	1350-00
Palo Blanco .....	1150-00

Del resultado obtenido de la fórmula anterior se sacó el volumen aprovechable (50% del volumen medio), del volumen aprovechable se sacó el almacenamiento para azolves y las pérdidas de almacenamiento (ambas son el 10% del  $V_a$ ) y finalmente se obtuvo el volumen útil ( $V_u$ ).

Con el volumen útil se calculó la cantidad de hectáreas que se pueden regar, teniendo sembrado maíz y aplicando una lámina de riego de 120 cm/año.

En base a los resultados se concluyó que la cuenca el jaquiz es la que presenta mayor captación de agua, pero en el sitio de la boquilla el suelo es muy permeable, sin embargo se puede realizar alguna estructura de mampostería, o bien construir un canal revestido que capte los escurrimientos superficiales y los transporte a algún otro tipo de almacenamiento de agua.

Por otra parte la cuenca "Sta. Ursula" no presenta restricciones de suelo por lo que la factibilidad de su construcción es más fácil.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Castillo, D.A. 1985. El Recurso Hídrico en el Manejo Integral de una Cuenca Semiárida en el Estado de Hidalgo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 67-72. Tesis de M.C.
- 2.- Colegio de Postgraduados, 1977. Manual de Conservación del Suelo y del Agua. Edit.. C.P., Chapingo, Méx.
- 3.- Colegio de Postgraduados, 1980. Manual para proyectos de pequeñas obras hidráulicas para riego y abrevadero. Edit. C.P. Chapingo, Méx.
- 4.- Dep. de Agr. de E.U.A. 1977. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. LIMUSA. México, D.F. pag. 107-108.
- 5.- Donahue, L.R. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. Prentice - Hall International. Madrid, Esp. 49-67, 101-122.
- 6.- Fassbender, H.W. 1975. Química de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. pag. 119, 157.
- 7.- Fitzpatrick, E.A. 1978. Introducción a la Ciencia del Suelo. Publicaciones Cultural, S.A. 1a. Ed. México, D.F. (147, 289, 262-267, 319, 339-343) 59-80.

- 8.- García, de M.E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen para la República. Instituto de Geografía de la U.N.A.M.
- 9.- Gaucher, G. 1971. El suelo y sus características agronómicas. Ed. Omega, Barcelona, Esp. (305-306).
- 10.- Kazmann, G.R. 1974. Hidrología Moderna. Ed. C.E.C.S.A. 2a. Imp. México, D.F.
- 11.- Linsley, R.K. y J. B. Francini, 1978. Ingeniería de los Recursos Hidráulicos. 9a. Ed. C.E.C.S.A., México, D.F.
- 12.- Martínez, M. M. 1981. Notas de clase, manejo de cuencas hidrográficas. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montesillos, México.
- 13.- Moncada, M.E.D. 1983. Aplicación de un modelo de simulación para predecir las escorrentías mensuales en una cuenca. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- 14.- Montes de M.O. 1970. Topografía. Representaciones y servicios de Ingeniería, S.A. U.N.A.M. Méx. D.F.
- 15.- Oropeza, M.J.L. 1980. Notas del curso de conservación del Suelo y Agua. Colegio de Postgraduados. Montesillos, México.
- 16.- Rodríguez, CH. N. 1980. Predicción de sedimentos en cinco micro cuencas del río San Bernardino. Tesis de M.C. C.P. Chapingo, México. 14-16.

- 17.- Rodríguez, T.F. 1975. Elementos del escurrimiento superficial. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 20-35, 72-92.
- 18.- Rzedowski, J. 1981. Vegetación de México. 1a. Edición. Ed. LIMUSA, México, D.F. 151, 302, 205.
- 19.- S.A.R.I. Expediente técnico Unitario. 1984.
- 20.- Stallings, J.H. 1972. El suelo, su uso y mejoramiento. Ed. C.E.C.S.A. México, D.F. pag. 454.
- 21.- Torres, R.E. 1981. Manual de conservación de suelos agrícolas. Ed. Diana, México.
- 22.- Velasco, M.H.A. 1974. Cosecha de agua de lluvia en regiones áridas. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Comisión Nacional de las Zonas Áridas.
- 23.- Wooding, R.G. 1960. Los suelos, su origen, constitución y clasificación. Introducción a la Edafología. Ed. Omega, S.A. Barcelona.

