

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISION DE INGENIERIA**



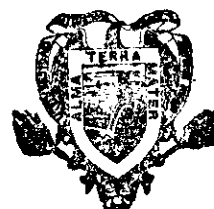
***Efectividad de la Impermeabilización en Seis  
Estanques Construidos para la Captación de  
Escurrimientos Superficiales y Alternativas  
de Uso del Agua***

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

*Por :*

**ANTONIO NARANJO RAMIREZ**

**TESIS**



**BIBLIOTECA**

***Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de :***

***Ingeniero Agrónomo en Irrigación***

***Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.***

***Marzo de 1998***

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISION DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Efectividad de la Impermeabilización en Seis Estanques  
Construidos para la Captación de Escurrimientos  
Superficiales y Alternativas  
de Uso del Agua

Por :

ANTONIO NARANJO RAMIREZ

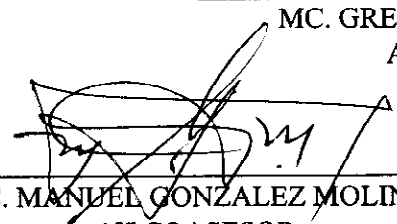
TESIS

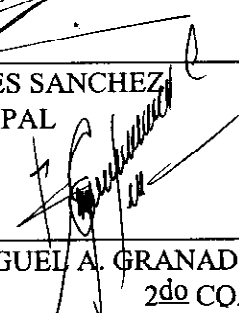
Que somete a consideración del H. Jurado Examinador  
como requisito parcial para obtener el título de :

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

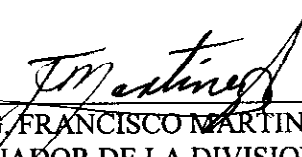
Aprobada :

  
MC. GREGORIO B. SANCHEZ  
ASESOR PRINCIPAL

  
MC. MANUEL GONZALEZ MOLINA  
1er COASESOR

  
ING. MIGUEL A. GRANADOS MONTELONGO  
2do COASESOR

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

  
ING. FRANCISCO MARTINEZ AVALOS  
COORDINADOR DE LA DIVISION DE INGENIERÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Marzo de 1998

Coordinación de  
Ingeniería

**DEDICATORIA**

Con cariño y respeto.

A mis padres:

Rubcn Naranjo Piceno  
Olivia Ramírez García

A mis Hermanos:

María de la Luz  
Enedelia  
Mireya  
Teresa  
Alejandra  
Abel  
Bladimir  
Joaquin  
Elíseo

Que durante mi carrera siempre me brindaron su apoyo.

A mis compañeros de mi grupo

Patty  
Paco  
Chemo  
Romeo  
Morado  
Chago  
Felipe  
Campeche  
Manuel  
Cesar

A mi Alma Terra Mater

## AGRADECIMIENTOS

Al M.C. Gregorio Briones Sánchez, por el gran apoyo que me brindo para terminar este trabajo.

Al M.C. Manuel González Molina, por el apoyo brindado y darme animos para seguir adelante.

Al Ing. Miguel Angel Granados Montelongo, por el apoyo que me brindo en la revisión de este trabajo y sus consejos.

A la familia Rodríguez Salazar, por las muestras de cariño y amistad que me brindaron.

A mis amigos durante toda mi carrera, Patty, Paco, Sergio, Ismael, Maclo, Romeo, Felipe, Luisa, Gaby, y a todos los que de alguna manara colaboraron para la realización de este trabajo.

## INDICE

	pag.
<b>Introducción</b> .....	1
1.1. Justificación .....	3
1.2. Objetivos .....	3
<b>Revisión de Literatura</b> .....	4
2.1. Antecedentes .....	4
2.2. Hidrología .....	4
2.2.1. Clima .....	5
2.2.2. Irregularidades del Régimen hidrológico .....	5
2.2.3. Análisis de la Distribución Plúviométrica .....	6
2.2.4. Distribución Pearson III .....	7
2.2.5. Pruebas de Bondad de Ajuste .....	7
2.3. Intensidades de las Lluvias .....	8
2.4. Determinación del Volumen Escurrido .....	8
2.4.1. Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos .....	9
2.4.2. Lamina Media Equivalente .....	10
2.4.3. Tiempo de Concentración .....	11
2.5. Fórmulas para Cálculos de Volúmenes .....	11
2.6. Estanque .....	12
2.7. Infiltración .....	13
2.7.1. Utilización Practica de la Infiltración .....	13
2.7.2. Proceso de la Infiltración .....	13
2.7.3. Evaluación de la Infiltración en los Bordos de Retención .....	14
2.7.4. Las Infiltraciones .....	15
2.7.5. ¿Cómo evitar las infiltraciones? .....	16
2.7.6. Impermeabilización .....	16
2.7.7. Características de un Material Adecuado Para Reducir la Infiltración ...	18

2.8. Evaporación .....	19
2.8.1 ¿Como ocurre la evaporación en los estanques .....	20
2.9. Planeación del Manejo de la Cuenca y Perspectivas de uso Múltiple .....	21
<b>Materiales y Métodos</b> .....	23
3.1. Localización de la Cuenca Hidrológica Estudiada .....	23
3.2. Clima de la Región .....	24
3.3. Delimitación de la Cuenca .....	25
3.4. Determinación del Volumen Escurrido .....	26
3.4.1. Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos	26
3.4.2. Estimación del Volumen Captado por Estanque .....	33
3.4.2.1. Tiempo de Concentración .....	33
3.4.2.2. Volumen Captado por Estanque .....	34
3.5. Materiales de Impermeabilización .....	36
3.6. Pruebas de infiltración .....	38
<b>Resultados y Discusión</b> .....	40
4.1. Areas de Escurrimiento Contribuyentes por Estanque .....	40
4.2. Volúmenes de Escurrimiento Captados por estanque .....	41
4.3. Análisis de las Dimensiones Actuales .....	41
4.4. Eficiencia de Almacenamiento Esperado .....	42
4.5. Efectividad de los Impermeabilizantes .....	42
4.6. Infiltración .....	43
<b>Conclusiones</b> .....	48
<b>Recomendaciones</b> .....	49
<b>Apéndice de cuadros</b> .....	52
<b>Anexos</b> .....	60
<b>Bibliografía</b> .....	71

## INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 3.1. Dimensiones de los estanques construidos .....	23
Cuadro 3.2. Precipitaciones máximas registradas por año .....	26
Cuadro 3.3. Índice de cuenca .....	28
Cuadro 3.4.1. Resultados del área y vegetación, que influye sobre el estanque A .....	31
Cuadro 3.4.2. Resultados de la subcuenca 1 y B2, del área y vegetación, que influye sobre el estanque B .....	31
Cuadro 3.4.3. Resultados del área y vegetación que influyen sobre el estanque C ....	31
Cuadro 3.4.4. Resultados del área y vegetación, que influyen sobre el estanque D ...	32
Cuadro 3.4.5. Resultados del área y vegetación, que influyen sobre el estanque E ...	32
Cuadro 3.4.6. Resultados del área y vegetación, que influyen sobre el estanque F ...	32
Cuadro 3.5. Pendientes y longitudes de cada uno de los bordos utilizados en la ecuación del tiempo de concentración las cuales se observan en la figura 3.3 .....	33
Cuadro 3.6. Resultados del volumen aportado por cada una de las áreas que influyen sobre cada estanque .....	36
Cuadro 4.1. Relación entre el escurrimiento potencial y la capacidad de embalse ....	41
Cuadro 4.2. Coeficiente de infiltración encontrados dentro y fuera de los estanques al probar cuatro materiales de impermeabilización .....	43
Cuadro A1. Grupo de suelo del método del servicio de conservación de suelos .....	52
Cuadro A2. Caracterización hidrológica para varios usos del suelo .....	52
Cuadro A3. Condición de vegetación .....	52
Cuadro A4. Valores de índice de cuenca para condiciones de humedad antecedente media .....	53
Cuadro A5. Valores de índice de cuenca para condición de humedad antecedente media y diferentes tipos de vegetación .....	54

Cuadro A6. Condición de humedad antecedente en función de la lámina precipitada acumulada.....	55
Cuadro A7. Valores correspondientes del índice de cuenca para diversas condiciones de humedad antecedente .....	55
Cuadro A8. Coeficiente de asimetría .....	56
Cuadro A9. Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada dentro del estanque con Cemento.....	57
Cuadro A10. Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada dentro del estanque con Arcilla. ....	57
Cuadro A11. Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada dentro del estanque con Ceniza. ....	58
Cuadro A12. Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada dentro del estanque para el Testigo.....	58
Cuadro A13. Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada fuera del estanque para el Testigo y la Ceniza.....	59
Cuadro A14. Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada fuera del estanque para el Cemento y la Arcilla.....	59



## INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 2.1. Hidrograma triangular .....	12
Figura 3.1. Localización geográfica de la cuenca y los estanques .....	24
Figura 3.2. Clasificación del tipo de suelo, condición hidrológica, valor de índice de cuenca; de los cinco sitios de vegetación de la cuenca .....	28
Figura 3.3. Areas de influencia sobre cada uno de los estanques, así como sus cotas máximas y mínimas , incluyendo las longitudes de sus cauces .....	34
Figura 3.4 Pruebas de infiltración hechas fuera de uno de los estanques .....	39
Figura 4.1. Areas que influyen sobre los seis vasos de almacenamiento del escurrimiento superficial .....	40
Figura 4.2. Curvas de velocidad de infiltración de la primera prueba dentro del estanque para suelo con cemento, ceniza, arcilla y testigo .....	45
Figura 4.3. Curvas de velocidad de infiltracion de la segunda prueba dentro del estanque para suelo con cemento, ceniza, arcilla y testigo .....	46
Figura 4.4. Curvas de velocidad de infiltracion de la prueba fuera del estanque para suelo con cemento, ceniza, arcilla y testigo .....	47

## INTRODUCCION

La vida del hombre depende de las fuentes de agua dulce, que representan apenas el 0.8 % del agua existente en nuestro planeta bajo diversas formas. Al rededor del 70 % del agua dulce superficial esta contenida en los lagos, estos son cuerpos de agua de enorme importancia para el hombre en tanto son la reserva de un recurso vital, proveen agua para uso humano e industrial, posibilitan el riego y la generación de energía, brindan espacios para recreación y el turismo, etc.

El hombre ha creado además, numerosos lagos artificiales o embalses mediante la construcción de presas sobre los ríos, transformando las condiciones naturales de los escurrimientos a fin de posibilitar un mayor aprovechamiento de ese recurso.

Nuestro país cuenta con 2 millones de km<sup>2</sup> equivalente a 200 millones de hectáreas. De estas, la tercera parte es superficie severamente erosionadas. Unicamente entre el 12 % y el 15 % es superficie cultivable equivalentes 30 millones de hectáreas; de estas, se riegan el 30 % que equivale a 9 millones de hectáreas aproximadamente. De las restantes o de temporal, cerca de la mitad, son tierras marginales empobrecidas y erosionadas cuya producción es a de subsistencia.

Ahora bien, esta cantidad de tierra cultivable, en nuestro país y mundialmente, cada vez se va haciendo menos. entre otras razones debido a:

- Perdidas de suelo debido a: erosión (por el agua, el viento), sequías, y también por inundaciones incidentales.
- El consumo de agua, se incrementa tan rápidamente como el crecimiento de la población, por ejemplo: en 1940 la población mundial era de 2300 millones y un consumo promedio de 400 m<sup>3</sup> hab/año, para el año de 1990 era de 5300 millones, y el consumo promedio aumento a 800 m<sup>3</sup> hab/año, para el 2000, se espera una población de 6200 millones de habitantes, esto es casi mil millones mas en una década (de hecho los estándares sugieren que las reservas de agua de un país sean

mayores de 1000 m<sup>3</sup> hab/año esto incluye el agua utilizada por la agricultura y la industria).

- La falta de personal científico y técnico preparado para participar en una gran variedad de áreas como: clasificación de suelos, control de erosión, sedimentación, química de suelos, fisiología de suelos, edafología, control de avenidas, manejo de cuencas, etc.

En el reporte de la conferencia de la ONU Río de Janeiro (1992) sobre manejo de ecosistemas frágiles y combate a la desertificación, se menciona que 3300 millones de hectáreas en el mundo, están sujetas a la degradación severa por el avance de la desertificación y disminución de la fertilidad del suelo.

La zona desértica del Estado de Coahuila tiene el clima propio de estas áreas y la vegetación correspondiente, siendo su problema la escasez de agua, presentándose las precipitaciones pluviales en forma esporádica y torrencial. Así mismo debe señalarse que en estas condiciones no toda la precipitación se convierte en agua útil para el desarrollo de los cultivos, sino que solo alrededor del 15 % se transforma en escurrimiento superficial, el cual se pierde en las corrientes efímeras formadas en estas regiones. Sin embargo cada cuenca es única y los factores ambientales que inciden además de la precipitación que controlan el escurrimiento, constituyen un enigma por resolverse de tal forma que el agua pueda utilizarse en cantidades apropiadas y cuando se le necesite.

## **1.1. JUSTIFICACION**

Las necesidades para la captación del agua no solo para consumo humano si no para la irrigación, recreación, etc. pero en este caso principalmente para el abastecimiento de agua para ganado es lo que justifica el presente trabajo, ya que el construir pequeños bordos de almacenamiento representa una gran ayuda económica en los agostaderos cuando esta se pueda aprovechar.

## **1.2. OBJETIVOS**

- Promover el desarrollo y productividad de la cuenca, mediante la evaluación de la construcción de los estanques orientados, para ver en cuales de ellos es redituable invertir y el desarrollo es potencialmente factible
- Proyectar métodos de impermeabilización de los estanques.
- Planear los usos potenciales del agua.
- Mostrar las limitaciones en la planeación basada en los datos de la cuenca.

## REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

Los campesinos, así como los pequeños propietarios de los estados del Norte de México, construyen bordos para captar parte de los escurrimientos superficiales producidos por las lluvias, pero existe el inconveniente de que ellos los construyen en lugares donde ellos necesitan el agua, y raramente los ubican, sobre las corrientes o lugares estratégicos para un mejor aprovechamiento de este recurso. Hubo un tiempo en que CONAZA, apoyó un programa para la construcción de estanques para la captación de escurrimientos superficiales, pero desafortunadamente este programa desapareció, ya que ellos construían basándose en información y experiencia de la gente del lugar, lo que llevó al fracaso al no tomar en cuenta varios factores hidrológicos, la vegetación del lugar, área de la cuenca, y factores topográficos, geológicos, climáticos, edafológicos.

También al fraccionar y cercar las propiedades que se deslindan de los ejidos y colonias rurales, el respeto a los derechos de los colonos reduce o alteran los planes hidrológicos y la planeación de las obras. La conciliación de los intereses en conflicto es una responsabilidad primordial para todos los administradores de los recursos en una cuenca.

### 2.2. Hidrología

El aprovechamiento de los escurrimientos superficiales es una tecnología que se ha practicado desde el pasado, por ejemplo, la U. S. National Academy of Sciences (1974), al recopilar la información relacionada con las técnicas para coleccionar el agua de lluvia y para derivar los escurrimientos de las tormentas; detectó que estas practicas han sido desarrolladas desde antaño por los antiguos agricultores de las regiones áridas.

Dutt et al. (1981) citado por García (1989) comenta que, durante este siglo, algunas técnicas de manejo de escurrimiento de este tipo han sido reemplazadas frecuentemente por tecnologías modernas de captación de agua, o en el peor de los casos han sido totalmente abandonadas y olvidadas.

Toledo et al. (1981) citado por García (1989), menciona que algunos investigadores mexicanos, también consideran la tecnología tradicional, como un recurso de gran valor. En las zonas áridas y semiáridas, las cuales representan aproximadamente el 50 % de la superficie terrestre, el agua es el principal factor limitante para el desarrollo de la agricultura. Sin embargo, ante este problema las experiencias de los indígenas Seri, Pima, y Papago, ofrecen alternativas aceptables. Algunos de ellos, han desarrollado técnicas agrícolas que utilizan los escurrimientos en escala pequeña. Estos escurrimientos los manejan en canales, terrazas, bordos y derivaciones, todos hechos a mano para la retención y utilización del agua de lluvia.

### **2.2.1. Clima**

Slayer y Mabbut (1964) mencionan que con respecto al comportamiento hidrológico de los escurrimientos, se ha encontrado que el escurrimiento anual depende de algunos factores climáticos tales como la evaporación, transpiración potencial, la distribución de la lluvia y algunas características de la cuenca (área, forma y pendiente). Una cuenca es una extensión de tierra donde dos pendientes se juntan, y las partes elevadas (lomas, cerros) muestran dos áreas de drenaje cuyas aguas afluyen a una misma corriente.

### **2.2.2. Irregularidades del Régimen Hidrológico**

Slayer y Mabbut (1964) mencionan que el comportamiento de las precipitaciones ocurridas en las zonas áridas, caracterizadas por ser esporádicas, torrenciales y de corta duración, ha permitido definir que la intensidad de la lluvia puede ser importante, mas que la cantidad anual, aunque el escurrimiento siempre tenderá a aumentar a medida que aumenta la duración de la lluvia.

Por lo que es muy común que a menudo se tengan que ajustar los datos a distribuciones probabilísticas.

### 2.2.3. Análisis de la Distribución Pluviométrica

El ajuste de datos observados de una variable (volúmenes, precipitaciones, gastos aforados) a distribuciones probabilísticas consiste en la preparación de gráficas que presenten simultáneamente dos componentes: la distribución empírica u observada de los datos, y la distribución teórica de valores que seguirán el modelo matemático o distribución probabilística a la que se desea probar la bondad de ajuste de los valores observados.

La preparación de estas gráficas se simplifica considerablemente mediante el uso de papel probabilístico. Este papel está diseñado en forma tal que la gráfica de la función de distribución acumulada de ciertas distribuciones resulta en una línea recta o en una curva simple.

La técnica que se emplea en todos los casos consiste en arreglar los datos en forma descendente, asignando número de orden "m" a los valores ordenados. La fórmula más eficiente y más comúnmente usada para el cálculo de posiciones gráficas es la propuesta por Weibull:

$$P(X > x) = \frac{m}{n + 1}$$

donde: m = número de orden

n = número de observaciones

P(X > x) = probabilidad de excedencia

#### 2.2.4. Distribución Pearson III

El procedimiento para graficar la distribución teórica para la distribución Pearson III consiste en la observación de los parámetros estadísticos para los valores observados, la obtención de los valores correspondientes a los factores de frecuencia para diferentes periodos de retorno en función del coeficiente de asimetría de los datos, y el cálculo de magnitudes de valores de periodo de retorno a partir de la fórmula propuesta por Ven Te Chow (1964):

$$X_i = \bar{x} + KiSx$$

Donde K, es el factor de frecuencia. Este factor de frecuencia puede ser definido como el número de observaciones estándar arriba y abajo del valor medio a que se encuentra el punto de interés. Para distribuciones biparamétricas, K varía de acuerdo con la probabilidad de excedencia, o con su correspondiente periodo de retorno. Para distribuciones asimétricas, K varía con el coeficiente de asimetría y con el periodo de retorno.

La falta de asimetría de una distribución puede ser descrita por el coeficiente de asimetría, el cual es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma_1 = \frac{n^2 \sum xi^3 - 3n \sum xi \sum xi^2 + 2(\sum xi)^3}{n(n-1)(n-2)Sx^3}$$

donde:  $\gamma_1$  = coeficiente de asimetría

$n$  = número de datos

$xi$  = precipitación

$Sx$  = desviación estándar

#### 2.2.5. Pruebas de Bondad de Ajuste

La discriminación entre las distribuciones probabilísticas usadas, que se hace necesaria para determinar aquella que mejor describe el comportamiento de los datos, o dicho de otra manera, para seleccionar aquella a la que los datos mejor se ajustan, se



hace mediante pruebas de bondad de ajuste comunes en estadística experimental. Las pruebas de bondad de ajuste más comúnmente utilizadas son:

$\chi^2$ .

Kolmogorov - Smirnov.

Suma de Cuadrados del Error.

### **2.3. Intensidad de las Lluvias**

Slayer y Mabbut (1964) determinaron que la duración del escurrimiento y el volumen de una tormenta, depende del tipo de precipitación, su intensidad, duración y distribución, además de la topografía de la cuenca, geología, tipo de suelo, características de la cubierta vegetal y condición antecedente de humedad del suelo. Adicionalmente, se ha definido que el volumen escurrido disminuye y es menor del 20 por ciento en la mayoría de las zonas áridas y semiáridas.

### **2.4. Determinación del Volumen Escurrido**

Martínez (1984) citado por García (1989), dice que se necesitan obras de infraestructura hidráulica para el manejo y aprovechamiento de escurrimientos superficiales. Para lograrlo es necesario que se construyan obras derivadoras sobre las corrientes naturales o arroyos, y en las áreas aledañas se establezcan sistemas de canales, bordos y estructuras que ayudan a manejar las aguas broncas cuando se presentan las avenidas.

Linsley (1982) define el escurrimiento superficial o escorrentia superficial, como el agua que discurre sobre la superficie del terreno hasta su cauce. La palabra cauce, entendida como cualquiera de las corrientes naturales que pueden llevar pequeños arroyuelos, de agua turbulentamente durante la lluvia y poco tiempo después de ella.

Velázquez y Serna (1986) citados por García (1989), realizaron un estudio en la cuenca hidrológica El Plateado, con el objeto de determinar los factores que influyen sobre el escurrimiento superficial en áreas de pastoreo, y concluyeron que los factores

que mayor influencia tienen sobre el escurrimiento superficial, fueron la cobertura vegetal basal, el porcentaje de suelo desnudo y la velocidad de infiltración.

La Dirección de Conservación de Suelos y Agua (sin fecha) citado por García (1989), menciona que la cantidad y duración del escurrimiento superficial de una cuenca quedan determinadas por la cantidad, el tipo y la duración de la lluvia, más que por cualquier otro factor. Así mismo, dice que la forma o configuración de la cuenca, afecta el régimen de su corriente, de tal modo que una cuenca de forma aproximadamente circular, puede producir inundaciones muy severas en las partes bajas, debido a que una producción de las aguas de escorrentía, confluyen simultáneamente al punto inferior de la corriente. En contraposición, una cuenca angosta y larga, en iguales circunstancias puede producir avenidas con una cresta mucho más baja, pero de duración más prolongada.

En general se acepta, como muchas diversas observaciones subjetivas y objetivas han demostrado; que el escurrimiento superficial se inicia cuando la precipitación supera la capacidad de almacenamiento del suelo y la vegetación, y/o cuando se supera la capacidad de infiltración del suelo.

#### **2.4.1. Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos**

Uno de los métodos de relación de precipitación y volumen de escurrimiento que es mayormente aplicable en regiones en la que la disponibilidad de datos de aforo y precipitación es reducida, fue propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. Es este un método que a partir de la lámina total precipitada y características de la cuenca estima el volumen de escurrimiento producido por una tormenta.

##### **La estimación del volumen de escurrimiento**

Se estima a partir de la lámina total precipitada y las características de la cuenca expresadas en su capacidad de retención:

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

donde: Q = lamina escurrida, cm

P = lámina total precipitada, cm

S = retención, cm

El valor de la retención es expresado por medio de índices de cuenca o curvas numéricas W, que son función de factores tales como el tipo de suelo, el tipo y condición de la vegetación presente, y las condiciones de humedad antecedentes a la ocurrencia de la precipitación, mediante la siguiente retención empírica.

$$S = \frac{2500}{w} - 25$$

donde: S = retención de la cuenca, cm

w = índice de cuenca, cm

#### **2.4.2. Lamina media equivalente**

Los registros de estaciones pluviométricas, representan muestras extremadamente pequeñas de la precipitación sobre una región. El área de un pluviómetro de 20 cm de diámetro es aproximadamente  $3.14 (10)^{-6}$  de una hectárea, y si los pluviómetros están usualmente separados por varios kilómetros entre sí, es evidente que existe un alto grado de extrapolación en el uso de tales registros como indicadores de la lámina precipitada.

El uso de la lámina media equivalente se hace necesario para no hacer una sobre estimación de los volares obtenidos, ya que la precipitación en una sola estación es en ocasiones la única información disponible, y es usada para estimar la lámina media equivalente sobre un área, para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$LME = \frac{\sum Qi * Ai}{\sum Ai}$$

donde:  $Qi$ , = lamina escurrida en cm

$Ai$ , = es el área de escurrimiento en  $km^2$

$\sum Ai$  = área total en  $km^2$

### 2.4.3. Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración de una cuenca ha sido definido como el tiempo necesario para que una partícula de agua precipitada en el punto hidráulicamente más remoto de la cuenca con relación al punto de descarga alcance este. Una ecuación empírica propuesta por Kirpich (1940) para la determinación del tiempo de concentración en cuencas pequeñas es:

$$tc = 3.245(10)^{-4} L^{0.77} M^{0.385}$$

donde:  $tc$  = tiempo de concentración horas

$L$  = longitud máxima de flujo en metros

$M$  = pendiente media del cauce de la máxima longitud adimensional

$$M = \frac{Cota\ mayor - Cota\ menor}{L}$$

donde: Cota mayor = cota máxima de la longitud del cauce en metros

Cota menor = cota mínima de la longitud del cauce en metros

$L$  = longitud máxima de cauce en metros

### 2.5. Fórmulas Para Cálculos de Volúmenes

Como en la mayoría de los proyectos hidrológicos no se tienen datos de avenidas, lo que se hace es construir un hidrograma triangular con datos de los registros de precipitación más cercanas al lugar, calculando el gasto máximo del hidrograma para un periodo de retorno considerado como sigue:

$$tp = \frac{D}{2} + 0.6tc$$

$$q_p = \frac{2.08QA}{tp}$$

$$tr = 1.67tp$$

$$tb = 2.67tp$$

donde: D = duración de la tormenta en horas  
 tc = tiempo de concentración en horas  
 tp = tiempo al pico en horas  
 tb = tiempo base, desde que da comienzo el escurrimiento hasta que termina en horas  
 Q = lamina escurrida, cm  
 A = área de la cuenca en km<sup>2</sup>  
 tr = tiempo de recesión después del pico en horas  
 qp = gasto pico en metros cúbicos por segundo

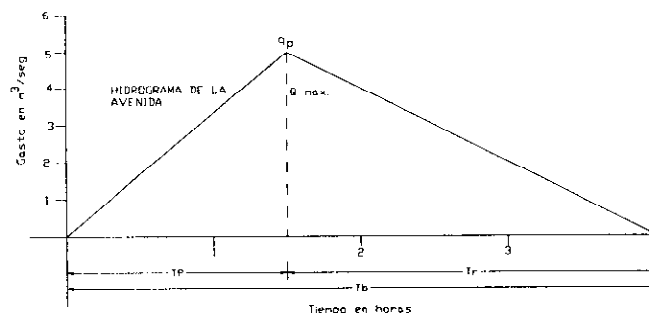


Figura 2.1. Hidrograma triangular

El volumen que se aprovecha puede ser determinado a partir de la siguiente ecuación:

$$Va = \frac{tb * qp * 3600}{2}$$

donde: Va = volumen aportado por la cuenca en metros cúbicos

tb = tiempo base, desde que da comienzo el escurrimiento hasta que termina en horas

## 2.6. ESTANQUE

Un estanque es un almacenamiento de reducida capacidad abastecida únicamente por agua de escurrimiento, cuya estructura principal es un bordo que no excede a los 5 o 7 metros de altura, básicamente construida de tierra algunas veces compactada y generalmente en dos puntos elevados del área (Velasco 1991).

Según Francois (1992) los bordos utilizados para retención de agua superficiales, poseen una capacidad de almacenamiento desde algunos centenares de metros cúbicos, (pequeñas excavaciones para abastecimiento de agua para ganado), hasta miles de metros cúbicos de capacidad (con usos mas importantes como irrigación, generación de energía).

## **2.7. Infiltración**

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra, y queda retenida por él; o alcanza un nivel en el acuífero incrementando el volumen acumulado anteriormente (Llamas 1983).

### **2.7.1. Utilización práctica de la infiltración**

Conocer la capacidad de infiltración de un suelo, permite predecir la lámina de agua o los volúmenes que pueden perderse por infiltración en el caso de un almacenamiento, o la lámina infiltrada que forma parte de la retención de la cuenca.

En caso de un almacenamiento, el conocer las pérdidas de agua ocasionadas por la infiltración y la evaporación, permite evaluar la disponibilidad del agua para proyectos específicos así como tomar medidas necesarias para disminuir dichas pérdidas, y de esta manera incrementar el volumen de agua realmente disponible, y el tiempo de disponibilidad a lo largo del año.

Conociendo la curva de infiltración en el vaso de almacenamiento, podemos calcular la lámina necesaria para saturar el suelo hasta alcanzar el nivel de infiltración básica, y con esto conocer cuanto volumen de agua se ha perdido en determinado periodo de tiempo.

### **2.7.2. Proceso de la infiltración**

Según Gavande, 1982, la cantidad de agua que se infiltra en un intervalo de tiempo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo. Después de un tiempo

largo, la velocidad con que el agua entra se acerca a un valor constante conforme la curva se aproxima a una línea horizontal asintótica. Por lo general la velocidad de infiltración se sitúa en una escala logarítmica en ordenadas, y tiempo en abscisas. La ecuación que describe el comportamiento de la infiltración de un suelo se ajusta matemáticamente al modelo Kostiakov:

$$V. I. = k T^n$$

donde: V. I. = velocidad de infiltración en cm/hr

k, n = parámetros que dependen de las características físicas del suelo

T = tiempo en minutos

El parámetro k, representa la cantidad de infiltración durante el intervalo inicial; el parámetro n, indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo, posee un valor negativo. Ambos parámetros, k y n; son estimados a partir de observaciones de infiltración tomadas en el sitio de interés.

Marsal y Resendiz (1983) mencionan que la permeabilidad de un vaso es una de las características que más preocupa al ingeniero pues toda fuga de agua es indeseable; esto es debido a la presión hidrostática del agua almacenada.

### **2.7.3. Evaluación de la Infiltración en los Bordos de Retención**

Ubicándonos específicamente en el vaso de almacenamiento, las pérdidas por infiltración suelen traducirse en láminas, de tal manera pueden emplearse diferentes métodos para su evaluación. La ecuación de Kostiakov, permite evaluar este parámetro de forma puntual. Sin embargo, la profundidad del vaso precisa cambios en homogeneidad de los horizontes, cuyas propiedades físicas hacen que las magnitudes de la infiltración sean diferentes. De manera práctica podemos emplear la ecuación de Kostiakov, por lo cual se sugiere hacer la evaluación en el fondo del vaso.

Horton (1933) citado por Llamas (1983), llama capacidad de infiltración de un suelo, a la máxima cantidad de agua de lluvia que puede absorber en la unidad de tiempo y en unas condiciones definidas previamente. Precisamente, la relación entre la intensidad de lluvia y la capacidad de infiltración será la que determine la cantidad de agua que penetrará en el suelo y lo que por escorrentia directa alimentará los cauces de las corrientes superficiales.

Herts citado por Llamas (1983) denomina capacidad de infiltración de un suelo a la máxima cantidad de agua, que puede absorber en la unidad de tiempo y en condiciones definidas.

#### **2.7.4. Las Infiltraciones**

Las infiltraciones pueden ser clasificadas en dos categorías según constituyan peligro o no para la estabilidad de la cortina (Francois, 1992).

##### **Las infiltraciones no peligrosas:**

- Las perdidas en el área hidráulica del vaso, en general zonas cristalinas (donde afloran casos aislados de fracturas dentro del vaso), y es más relevante en regiones sedimentarias.
- Las infiltraciones en la zona de contacto, la base y la cortina.
- Las infiltraciones que aparecen en los taludes, estas son generalmente menos relevantes.

##### **Infiltraciones peligrosas para la estabilidad de la cortina:**

- Una mala compactación o un material demasiado arenoso, pueden provocar flujos de agua en el interior de la cortina, provocando deslizamientos en los taludes del vaso. Esto también puede suceder cuando se realiza una ampliación del vaso, quedando de una forma mal realizada, creándose infiltraciones entre la nueva y antigua cortina.
- Algunas partes de material orgánico o madrigueras (raíz muerta, nicho de un animal), pueden crear infiltraciones localizadas en los taludes de la cortina. Con el tiempo, el



flujo del agua acarrea las partículas más finas, enseguida las partículas mayores que se comienzan a agregar a este flujo, pudiéndose crear una galería a partir del punto de salida del agua. Esa galería, puede profundizarse sobre el talud, agravando las infiltraciones y alcanzar el agua contenida en el estanque, formando una abertura que provoca el flujo brutal del agua o rompiendo la cortina. Este fenómeno de erosión regresiva interna puede llevar varios años para que se manifieste.

#### **2.7.5. ¿Cómo evitar las infiltraciones?**

Para evitar pérdidas por infiltraciones en el vaso, este tiene que ser lo más impermeable posible (dejar pasar el agua muy lentamente) en toda su extensión y altura. Se debe procurar construir una cortina homogénea utilizando un solo tipo de material de calidad satisfactoria. Sin embargo cuando no se tiene una cantidad suficiente de material adecuado, es posible reservar el menor material para el área del vaso que asegurara así mismo la impermeabilidad de la obra. En cuanto a la parte de la cortina se debe asegurar la estabilidad de la construcción, la parte de la cortina que exige menor infiltración es el talud mayor (el que está en contacto con el agua). En los vasos construidos con materiales adecuados y bien compactados, la velocidad de infiltración del agua dentro de la obra debe ser muy lenta, un metro por año (Francois 1992).

#### **2.7.6. Impermeabilización**

Al respecto, Hillel *et al* (1969) citado por Enciso (1984) clasifica los tratamientos que se pueden aplicar a la superficie de un terreno para reducir la infiltración, mencionando los siguientes:

Tratamiento mecánico.- Aquellos en los cuales interviene la compactación y el pulimento de la superficie del suelo.

Tratamiento de dispersión coloidal.- Aquellos en que interviene la dispersión o defloculación de los agregados del suelo.

Tratamientos hidrofobicos.- Aquellos en que interviene la reducción de la capacidad de humedecimiento de la superficie del suelo, aplicando agentes que repelen el agua de la superficie.

Tratamientos de ligamentos de la superficie.- Aquellos en los cuales se sella e impermeabilizan los poros de la superficie con un material adherente, como cementar el suelo en una forma sólida.

El uso de arcilla bentónica y capas de cieno han demostrado ser eficientes para la captación de agua, aumentando la disponibilidad de agua 50 % a un 80 % (Jain *et al*, 1980 citado por Anderson 1987).

Los emplastes de lodo se consideran agentes eficientes de un 63 % a un 85 % (Murthy *et al*, 1978 citado por Anderson 1987).

El uso de materiales hidrofobicos como: ceras, silicon, resinas de petróleo, etc. ocasiona una repelencia del suelo, reduciendo o eliminando la infiltración (Frasier, 1975 citado por Serna 1984 citado por Anderson 1987).

Anderson (1987) realizó un trabajo en el cual la velocidad de infiltración fue más baja al incorporar carbonato de sodio, resultando mejor que el suelo compactado, más sin embargo, se determinó que estas sales contaminan el líquido, resultando de calidad S1 en la solución del suelo.

Marin *et al*, (XII Congreso internacional de plásticos en la agricultura 1996) denominaron geomembrana a las laminas impermeables de materiales sintéticos de espesores bajos (normalmente entre 1 y 5 mm) cuya característica común es su baja permeabilidad y su gran flexibilidad. El uso de materiales sintéticos presenta la ventaja de su menor costo, la facilidad para las reparaciones, su gran facilidad para adaptarse al terreno y a los cambios de temperatura, sus elevadas propiedades mecánicas, físicas y químicas, y su resistencia a los agentes atmosféricos y al envejecimiento.

En el caso de la impermeabilización de obras agrícolas, las geomembranas más usadas son las laminas planas (sin acabados especiales) de anchos superiores a los 5 metros y espesores de 1, 1.5, 2 y 2.5 mm., que se obtienen en las fabricas de reciclaje de plásticos.

Según Fayoux (XII Congreso internacional de plásticos en la agricultura 1996), en cuanto a la utilización de otro tipo de plástico en la estanquidad de grandes obras de irrigación, las geomembranas de P. V. C. poseen un conjunto de características (adaptabilidad al soporte, resistencia mecánica, durabilidad) que mejora la eficiencia de almacenaje y presentan algunos ejemplos de la utilización de las geomembranas de P. V. C., en las cuales se citaron las siguientes:

- Presa Escollera en Codole Francia 1985, altura 29 metros, geomembrana de P. V. C. homogénea, 2 m/m sobre geotextil de 300g/m<sup>2</sup>. Protegida por doble hormigón 14 cm + geotextil 400g/ m<sup>2</sup>.
- Tanque de embalse en Castreccioni Italia 1986, 60000 m<sup>2</sup>, profundidad máxima 30 m, geomembrana de P. V. C. homogénea, 1.2 m/m entre dos geotextiles de 400g/m<sup>2</sup>.
- Embalse Barlovento en Canarias, España, realización en curso 250000 m<sup>2</sup>, geomembrana de P. V. C. 1.5 m/m armada sobre taludes y homogéneas en el fondo, no protegida.
- Embalse de Valle de Molina, Canarias España 1986, 80000 m<sup>2</sup>, profundidad 16 m, geomembrana de P. V. C. homogénea 1.5 m/m no-protegida.

#### **2.7.7. Características de un Material Adecuado Para Reducir la Infiltración**

La mejor tierra para compactar es aquella que presenta una granulometria continua, para que los elementos más finos se intercalen entre los elementos más gruesos, dando lugar a la impermeabilidad del material compactado.

Para Francois (1992), una buena compactación provoca una reducción de 30 % del volumen de tierra utilizada y da la siguiente tabla:

Porcentaje	Partículas
20	Arcilla (partículas menores de 2 micras)
15	Limo
45	Arena fina
20	Arena gruesa

Ejemplo de un material con una buena composición para compactar.

- La presencia de 20 a 40 % de partículas finas (arcilla, limo) es favorable. Una textura de limo con arena puede tener todas las cualidades requeridas. Una cantidad de arcilla demasiado elevada (mas de 30 a 40 %) es peligrosa para cierto tipo de arcillas, por causas de que no se secan, provocando falta de estabilidad cuando el material esta muy húmedo.
- La tierra no debe contener material orgánico (raíces, ramas, flora muerta) ya que esta se descompone, pudiendo crear vacíos que constituirían zonas de infiltración.
- Eliminar toda la pedregosidad mayores de 15 a 20 cm del material que correspondan a las capas o camadas de la cortina.
- Una buena compactación requiere de un material húmedo o fresco para facilitar el acomodo de las partículas.

## 2.8. Evaporación

La evaporación puede definirse, como el proceso por el que un líquido o sólido es cambiado en gas. La transformación directa de un sólido en gas, algunas veces es llamado sublimación o derretimiento. El termino evaporación se aplica a estas dos transformaciones, e incluye también el concepto de transpiración, que implica que la vida vegetal ha utilizado el agua justamente antes que se evaporizara (Kazman, 1975).

Arnaiz, citado por Llamas (1983), define la evaporación como el proceso físico, por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso al incrementar la temperatura, retornando directamente a la atmósfera en forma de vapor. La evaporación es un cambio de estado y precisa una fuente de energía que proporcione movimiento a las moléculas de agua y velocidad, la suficiente para desprenderse. De forma directa o indirecta, esta energía procede de las radiaciones solares.

### **2.8.1. ¿Cómo ocurre la evaporación en los estanques?**

Considerando la evaporación de la superficie del agua libre (lago, río, etc.) como la forma más simple del proceso, este puede explicarse así:

"Las moléculas de agua están en continuo movimiento. Cuando llegan a la superficie del líquido, se calientan por efecto de la radiación solar, aumenta su temperatura y en consecuencia su velocidad, creciendo por lo tanto su energía cinética, hasta que algunas consiguen librarse de la atracción de las moléculas adyacentes, y atravesar la interface líquido - gas, convirtiéndose en vapor. Ahora bien, la capa de aire inmediata a la superficie, se satura pronto y ocurre simultáneamente a la evaporación el proceso inverso, por el que las moléculas se condensan y vuelven al estado líquido. La diferencia entre la cantidad de moléculas que abandonan el líquido y la cantidad de moléculas que vuelven a él, marcan el carácter global del fenómeno. Si es positiva se está produciendo evaporación. Si es negativa se está produciendo condensación (Llamas 1983)."

Existen retardadores de evaporación que usados en los estanques para mejorar la eficiencia de almacenaje y conservar el agua por más tiempo disponible entre los cuales se pueden mencionar cobertura plástica, película de aceite, redes de polímeros, latas vacías de refrescos, botellas ámbar entrelazadas, cubiertas flotantes, y otras no contaminantes del afluente.

## **2.9. Planeación del Manejo de la Cuenca y Perspectivas de uso Múltiple**

La planeación para el manejo de una cuenca involucra una investigación de tres juegos principales de elementos. Primero, están los OBJETIVOS establecidos sobre la base del problema analizado en el área de la cuenca e instrucciones directrices de las autoridades de la mayor jerarquía. Segundo, están las RESTRICCIONES como: Presupuesto, limitaciones físico-biológicas, sociales, culturales, políticas y de infraestructura local y/o regional, asociadas con la situación específica. Tercera, están las TECNICAS para llevar a cabo las actividades alternativas de manejo productivo de la cuenca. La planeación del manejo de la cuenca implica: organización, análisis, e integración de los objetivos, restricciones y técnicas / tecnologías en tal forma que las decisiones tomadas y su implementación resulten más eficientes y efectivas que cualquier iniciativa no planteada (Brooks et al 1993).

Los mismos autores enfatizan que solamente en contadas ocasiones, el proyectista tendrá suficientes datos e información para lograr decisiones "libro de riesgos" concernientes a la prevención de acciones y reacciones. Las actividades en el uso de la tierra en una micro cuenca involucra interacciones complejas, y una actividad en una área impacta las actividades en otras áreas vecinas. La coordinación del proceso de implementación de un proyecto debe cuidarse en todas sus facetas para promover el desarrollo de los recursos naturales dentro de la cuenca y conciliar los intereses de los habitantes.

La planeación que se visualice, por lo mismo requiere continuas llamadas de juicio y criterios de gran flexibilidad. La experiencia que han dejado los programas anteriores de manejo en las cuencas, ha demostrado que los proyectos y programas ejecutados, raramente se han desarrollado conforme a lo planeado. El administrador que está listo a ajustarse a los cambios de las condiciones básicas está adelante de aquel quien rígidamente se apega a un plan original a pesar de los cambios en las condiciones y ambiente.

En la practica, el administrador de un programa de manejo de cuencas es uno que sintetiza e integra el conocimiento de muchas disciplinas y orienta los diversos enfoques a los campos requeridos y problemas para resolver.

Cada problema relacionado con la cuenca tiene su propio juego único de características y elementos técnicos. Por tal razón en términos de planeación física cada proyecto requiere un enfoque técnico algo diferente a otros; pero aunque las entradas de datos difieren en cada paso del diseño, el proceso de planeación usado puede ser el mismo y pequeños ajustes en ocasiones pueden ser aplicados para considerar problemas particulares, o también adaptar las salidas a las restricciones intangibles o de largo plazo.

## MATERIALES Y METODOS

### 3.1. Localización de la Cuenca Hidrológica Estudiada

El presente trabajo, fue llevado a cabo en una cuenca localizada a 30 km sobre la carretera Saltillo - Zacatecas y 20 km de terracería rumbo al ejido la Hedionda Grande al sur de la ciudad de Saltillo, dicha cuenca empieza donde se termina el rancho Los Angeles de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y abarca una área de 12.732 km<sup>2</sup> y localizada entre las siguientes coordenadas geográficas:

Longitudes Oeste 100° 58' 33''

100° 54' 42''W

Latitudes Norte 25° 04' 46''

25° 07' 41'' N,

Altitud: Al norte 2285 m.s.n.m.

Al sur 2125 m.s.n.m.

Parte mas baja de 2031 m.s.n.m.

Dentro de dicha cuenca se construyeron seis estanques para la captación de los escurrimientos cuyas dimensiones se muestra el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. - Dimensiones de los estanques construidos.

ESTANQUE	LOCALIZACION GEOGRAFICA		CAPACIDAD M <sup>3</sup>	LONGITUD DEL BORDO Mts.	PROFUNDIDAD Mts.	ANCHO DEL BORDO Mts.
	Lon W	Lat N				
A	100 ° 56' 9''	25° 5' 36''	300 m <sup>3</sup>	17	3.2	5
B	100° 55' 30''	25° 5' 38''	550 m <sup>3</sup>	82	2.2	3.8
C	100° 55' 52''	25° 5' 48''	1000 m <sup>3</sup>	88	2.8	4.5
D	100° 55' 52''	25° 5' 34''	400 m <sup>3</sup>	93	2.15	4.6
E	100° 55' 21''	25° 5' 20''	9500 m <sup>3</sup>	88	4.6	5
F	100° 54' 57''	25° 5' 11''	650 m <sup>3</sup>	35	2.4	4.8



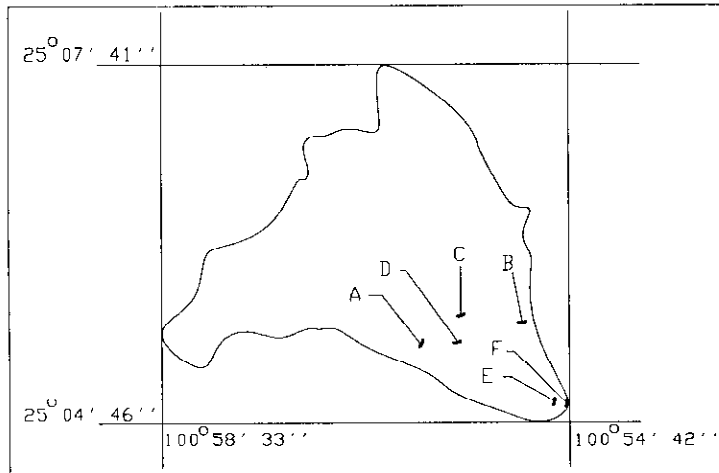


Figura 3.1. - Localización geográfica de la cuenca y los estanques.

Un recorrido de la cuenca fue realizado; y una apreciación visual desde la parte mas alta de los cerros permitió apreciar la dirección de las corrientes naturales y aproximar la ubicación de los bordos para el embalse.

Los bordos en "curva" se construyeron de tierra movida con caterpillar y palo mecánica; tres sobre las corrientes "tributarias" y tres como "tapón" o muros de contención sobre el lecho del arroyo principal. A todos los bordos se les hizo un corte en un extremo a modo de "vertedor" para el desagüe de excedencia en caso de una avenida superior a la capacidad máxima del embalse. La Vegetación es matorral rosetofilo, palmeras y pastos, por lo que el desmonte fue realizado con la misma maquinaria antes del movimiento de la tierra.

### 3.2. Clima de la Región

De acuerdo con Koppen (1918) citado por Medellín (1978), por los climas de nuestras zonas áridas se pueden clasificar como: seco o esteparido (BS), y muy seco o desértico (BW), teniendo un régimen de lluvia en verano que se presenta en forma torrencial e irregular durante los meses de junio a septiembre, las temperaturas son variables presentándose máximas hasta de 43 °C y mínimas hasta de -12 °C y un promedio anual de 18 °C a 21 °C, clasificados como extremosos.

### 3.3. Delimitación de la Cuenca

De acuerdo con Ven Te Chow (1964), una cuenca pequeña puede ser definida como una en la que la sensibilidad a intensidades altas de lluvia y de corta duración no es suprimida por el almacenamiento de la red de drenaje. De acuerdo con esta definición, una cuenca pequeña puede tener un área entre unas cuantas hectáreas y unos 100 km<sup>2</sup> por lo mismo la cuenca estudiada se clasifico como pequeña. Donde él limite superior depende de la condición a la cual la sensibilidad mencionada es minimizada debido al efecto del almacenamiento en cauces.

Para delimitar la cuenca se usó un mapa topográfico de INEGI de escala 1:50000, la cuenca fue delimitada por sus parteaguas.

La foto interpretación se hizo con fotografías de CETENAL de escala 1:50000, con el fin de localizar los diferentes tipos de vegetación y las principales redes de drenaje. Los criterios aplicados fueron:

- Tomando en cuenta los tonos y colores, para identificar, áreas como matorrales y pastos.
- Texturas, representadas por áreas moteadas en las fotografías, desde muy densas, hasta casi nulas y que son mas que nada áreas que representan, arboledas, arbustos, y pastizal.

El cálculo de las diferentes áreas de la cuenca se realizo utilizando AutoCAD V.12, de la siguiente manera y orden indicado:

- Sobre la carta topográfica, se coloca un acetato y sobre el se dibuja la configuración de la cuenca, con sus redes de drenaje y sus diferentes áreas de vegetación, teniendo en cuenta su orientación geográfica
- Sobre un papel milimetrico se calcó el dibujo del acetato.
- Ya en el papel milimetrico se tomaron coordenadas (x, y) sobre la configuración: de la cuenca, áreas de vegetación y redes de drenaje.
- Las coordenadas se introducen en AutoCAD, se multiplicó por el factor de escala de la carta, y se calcularon las áreas mediante el mismo programa.

### 3.4. Determinación del Volumen Escurrido

Uno de los métodos de relación de precipitación y volumen de escurrimiento mayormente aplicable en regiones donde la disponibilidad de datos de aforo y precipitación es reducida, fué propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. En este método a partir de la lámina total precipitada y características de la cuenca se estima el volumen de escurrimiento producido por una tormenta.

Se cuentan con 9 años de datos de precipitación de la estación más cercana a la cuenca estudiada, dicha estación es la del rancho experimental Los Angeles de la U.A.A.A.N., los datos se presentan a continuación.

Cuadro 3.2. Precipitaciones máximas registradas por año.

Año	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Precipitación max. (mm)	30	30.5	32.4	28.9	60.7	26.2	54.7	60	20.6

Datos obtenidos de la estación meteorológica del rancho los ángeles de la U.A.A.A.N.

Debido a los pocos datos de precipitación con los que se cuentan se hace necesario ajustar estos datos a distribuciones probabilísticas y pruebas de bondad (ver anexos 1 y 2). Eligiendo una precipitación de 6 cm correspondientes a un periodo de retorno de 10.53 años, que es considerable para estanques para abrevadero.

#### 3.4.1. Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos

El procedimiento para la determinación de la lámina escurrida de una cuenca incluye los siguientes cinco pasos:

1. - Asignación del suelo (Cuadro A1) de la cuenca a uno de cuatro grupos de suelo considerados por el método, de acuerdo a su potencial de escurrimiento. Este potencial de escurrimiento es principalmente, función de la clase textural del suelo, y la profundidad de éste (ver figura 3.2).

2. - Caracterización hidrológica de la cuenca de acuerdo al tipo y condición de la vegetación presente, y al uso del suelo, (Cuadro A2). Para determinar la condición de la vegetación, se considera la cobertura, de la misma del Cuadro A3.

3. - Determinación del valor del índice de cuenca para condición de humedad antecedente media, en función del grupo de suelo y la condición hidrológica (Cuadro A4). El valor de índice de cuenca para condición de humedad antecedente media, en función del tipo de vegetación, grupo de suelo y porcentaje de cobertura vegetal, también se pueden calcular a partir de las ecuaciones presentadas en el Cuadro A5.

4. - Determinación de la condición de humedad antecedente real (Cuadro A6). El método original considera tres niveles de humedad antecedente en base a la lámina precipitada acumulada en los cinco días previos a la ocurrencia de la precipitación.

5. - Corrección del valor de índice de cuenca para la condición de humedad antecedente real de acuerdo a las relaciones que se presentan (ver Cuadro A7). Los valores presentados en el Cuadro A7 para condiciones de humedad antecedente I y II, se pueden también obtener de las siguientes relaciones :

$$W_I = 2.166 + 0.169W_{II} + 7.66(10)^{-3}W_{II}^2$$

$$W_{III} = 6.931 + 1.596W_{II} - 6.73(10)^{-3}W_{II}^2$$

donde:  $W_I$  = índice de cuenca para condición seca

$W_{II}$  = índice de cuenca para condición media

$W_{III}$  = índice de cuenca para condición húmeda

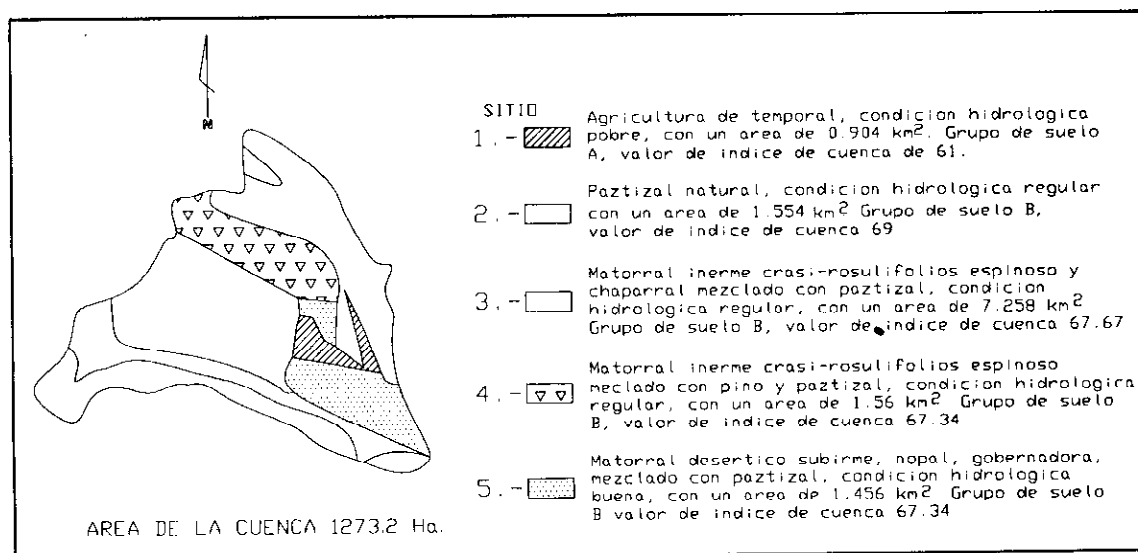


Figura 3.2. - Clasificación del tipo de suelo, condición hidrológica, valor de índice de cuenca; de los cinco sitios de vegetación de la cuenca.

En este caso, para la evaluación se considero  $W_I$  para una codisión seca, ya que es el mínimo escurrimiento que podría escurrir en un momento dado, ya que se supondría que el suelo carece de humedad. En caso contrario, si se considerará  $W_{III}$ , tendría que ser para el diseño de obras hidráulicas (derivadora, vertedor, etc.) ya que estas tendrían que derivar el máximo gasto que podría provocar una tormenta en un momento dado.

Cuadro 3.3. Índice de cuenca

Sitio	Ecuación	Cobertura vegetal %	Valor de Índice de Cuenca $W_{II}$
1	*	pobre	61
2	*	regular	69
3	$W_{II} = 735 - C^{0.415}$	70	68.22
4	$W_{II} = 52 - C^{0.42}$	70	76.04
5	$W_{II} = 735 - C^{0.415}$	80	67.34

Calculo del valor de índice de cuenca de los cinco sitios diferentes de vegetación de la cuenca estudiada (\* Sitio 1, 2, del Cuadro A4).

La lamina escurrida se estimo a partir de la lámina total precipitada que fue de 6 cm y las características de la cuenca expresadas en su capacidad de retención mediante la siguiente ecuación:

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

donde: Q = lamina escurrida, cm

P = lámina total precipitada, cm

S = retención, cm

El valor de la retención es expresado por medio de índices de cuenca o curvas numéricas W, que son función de factores tales como el tipo de suelo, el tipo y condición de la vegetación presente, y las condiciones de humedad antecedentes a la ocurrencia de la precipitación, mediante la siguiente retención empírica:

$$S = \frac{2500}{w} - 25$$

donde: S = retención de la cuenca, cm

w = índice de cuenca, cm

Sustituyendo valores como un ejemplo para el bordo A tenemos lo siguiente:

Corrección del valor de índice

$$W_I = 2.166 + 0.169W_{II} + 7.66(10)^{-3}W_{II}^2$$

sustituyendo

$$W_I = 2.166 + (0.169 * 69) + (7.66(10)^{-3} * 69^2)$$

$$W_I = 50.30 \text{ cm}$$

Retención de la cuenca

$$S = \frac{2500}{w} - 25$$

sustituyendo

$$S = \frac{2500}{50.30} - 25$$

$$S = 24.71 \text{ cm}$$

lamina escurrida

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

sustituyendo

$$Q_i = \frac{(6 \text{ cm} - 0.2 * 24.71 \text{ cm})^2}{6 \text{ cm} + 0.8 * 24.71 \text{ cm}}$$

$$Q_i = 0.04 \text{ cm}$$

El uso de la lámina media equivalente se hizo necesario para no hacer una sobre estimación de los valores obtenidos, de los cinco sitios de vegetación (figura 3.2) que sobre los bordos de retención, para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$LME = \frac{\sum Q_i * A_i}{\sum A_i}$$

donde:  $Q_i$ , = lamina escurrida, cm

$A_i$ , = es el área es de escurrimiento en  $\text{km}^2$

$\sum A_i$  = área total  $\text{km}^2$

Por ejemplo: para el bordo A sobre el influyen el sitio 2 con un área de 1.0212  $\text{km}^2$  con un volumen escurrido de 0.04, y el sitio 3 con un área de 2.1360  $\text{km}^2$  con un volumen de escurrimiento de 0.02 cm y obteniéndose la lamina media equivalente como se muestra a continuación:

$$LME = \frac{\sum Q_i * A_i}{\sum A_i}$$

sustituyendo tenemos

$$LME = \frac{0.04 * 1.0212 + 0.02 * 2.136}{1.0212 + 2.136}$$

$$LME = Q = 0.03 \text{ cm}$$

Cuadro 3.4.1 Resultados del área y vegetación, que influye sobre el Estanque A.

Sitio	Grupo de suelo	Condición hidrológica	Área en km. <sup>2</sup>	W II	W I	S cm	Qi cm	LME Q cm
2	B	Regular	1.0212	69	50.30	24.71	0.04	0.03
3	B	Regular	2.1360	67.67	48.68	26.36	0.02	
Total			3.1572					

Cuadro 3.4.2 Resultados de la subcuenca B1 y B2, del área y vegetación, que influye sobre el estanque B.

Sitio	Grupo de suelo	Condición hidrológica	Área en km. <sup>2</sup>	W II	W I	S cm	Qi cm	LME Q cm
Subcuenca B2								
1	A	Pobre	0.2680	61	40.98	36.01	0.04	0.13
3	B	Regular	2.6529	67.67	48.68	26.36	0.02	
4	B	Regular	1.5546	76.04	59.31	17.15	0.33	
5	B	Buena	0.2036	67.34	48.28	26.78	0.02	
Total			4.6800					
Subcuenca B1								
1	A	Pobre	0.1014	61	40.98	36.01	0.04	0.02
2	B	Regular	0.1358	69	50.30	24.71	0.04	
3	B	Regular	2.3288	67.67	48.68	26.36	0.02	
4	B	Regular	0.0054	76.04	59.31	17.15	0.33	
Total			2.5714					
Area Total = 7.2514						LME = 0.09		

Cuadro 3.4.3 Resultados del área y vegetación, que influye sobre el estanque C.

Sitio	Grupo de suelo	Condición hidrológica	Área en km. <sup>2</sup>	W II	W I	S cm	Qi cm	LME Q cm
1	A	Pobre	0.0804	61	40.98	36.01	0.04	0.03
3	B	Regular	0.1194	67.67	48.68	26.36	0.02	
5	B	Buena	0.0437	67.34	48.28	26.78	0.02	
Total			0.2435					



Cuadro 3.4.4. Resultados del área y vegetación, que influye sobre el estanque D.

Sitio	Grupo de suelo	Condición hidrológica	Área en km. <sup>2</sup>	W II	W I	S cm	Qi cm	LME Q cm
3	B	Regular	0.2520	67.67	48.68	26.36	0.02	0.04
5	B	Buena	0.1965	67.34	48.28	26.78	0.02	
Total			0.2208					

Cuadro 3.4.5. Resultados del área y vegetación, que influye sobre el estanque E.

Sitio	Grupo de suelo	Condición hidrológica	Área en km. <sup>2</sup>	W II	W I	S cm	Qi cm	LME Q cm
1	A	Pobre	0.9040	61	40.98	36.01	0.04	0.06
2	B	Regular	1.5520	69	50.30	24.71	0.04	
3	B	Regular	7.2353	67.67	48.68	26.36	0.02	
4	B	Regular	1.5600	76.04	59.31	17.15	0.33	
5	B	Buena	1.4050	67.34	48.28	26.78	0.02	
Total			12.6563					

Cuadro 3.4.6 Resultados del área y vegetación, que influye sobre el estanque F.

Sitio	Grupo de suelo	Condición hidrológica	Área en km. <sup>2</sup>	W II	W I	S cm	Qi cm	LME Q cm
1	A	Pobre	0.904	61	40.98	36.01	0.04	0.06
2	B	Regular	1.554	69	50.30	24.71	0.04	
3	B	Regular	7.258	67.67	48.68	26.36	0.02	
4	B	Regular	1.560	76.04	59.31	17.15	0.33	
5	B	Buena	1.465	67.34	48.28	26.78	0.02	
Total			12.732					

### 3.4.2. Estimación del Volumen Captado por Estanque

#### 3.4.2.1. Tiempo Concentración

Como se mencionó en la sección de literatura el tiempo de concentración de una cuenca ha sido definido como el tiempo necesario para que una partícula de agua precipitada en el punto hidráulicamente más remoto de la cuenca con relación al punto de descarga alcance este. Utilizando la ecuación propuesta por Kirpich para la determinación del tiempo de concentración en cuencas pequeñas es:

$$t_c = 3.245(10)^{-4} L^{0.77} M^{-0.385}$$

sustituyendo valores como ejemplo para el Bordo A tenemos:

$$t_c = 3.245(10)^{-4} * (3065.5)^{0.77} * (0.028)^{-0.385}$$

$$t_c = 0.62$$

donde:  $t_c$  = Tiempo de concentración horas

L = Longitud máxima de flujo en metros

M = Pendiente media del cauce de la máxima longitud adimensional

$$M = \frac{\text{Cota mayor} - \text{Cota menor}}{L}$$

sustituyendo :

$$M = \frac{2175 - 2089}{3065.5} = 0.028$$

donde: Cota mayor = cota máxima de la longitud del cauce en metros

Cota menor = cota mínima de la longitud del cauce en metros

L = Longitud máxima de flujo en metros

Cuadro 3.5. Pendientes y longitudes de cada uno de los bordos utilizados en la ecuación del tiempo de concentración las cuales se observan en la figura 3.3.

Bordo	L metros	Cota máxima metros	Cota mínima metros	M
A	3065.5	2175	2089	0.028
B	3740.6	2212	2089	0.035
C	976.1	2175	2093	0.081
D	763.6	2117	2077	0.052
E	5056.1	2175	2052	0.024
F	5249.6	2175	2031	0.027

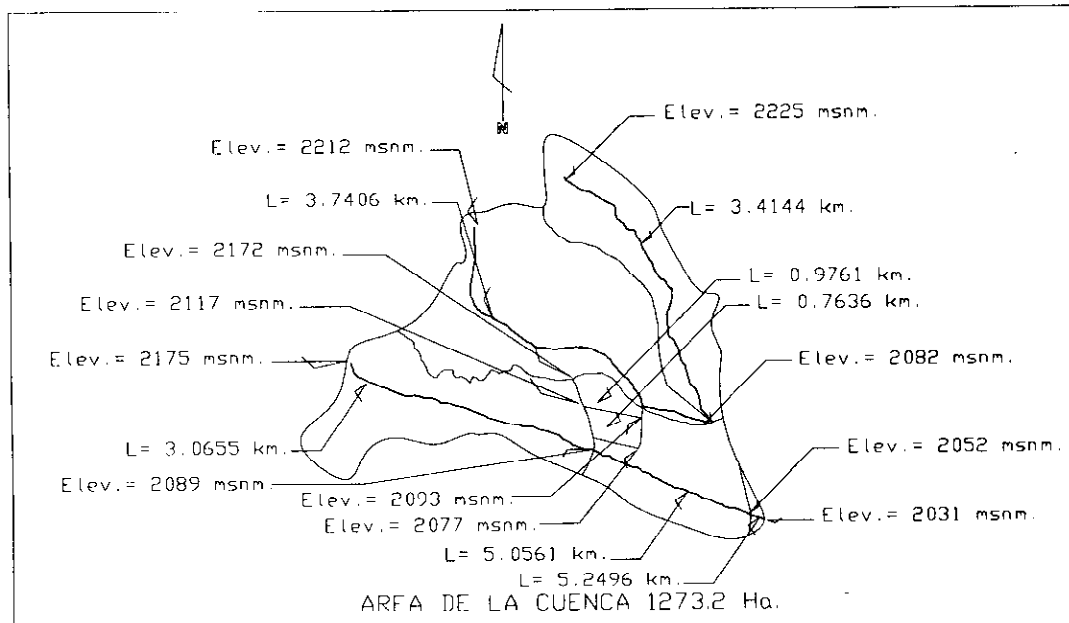


Figura 3.3. Areas de influencia sobre cada uno de los estanques, así como sus cotas máximas y mínimas, incluyendo las longitudes de sus cauces.

### 3.4.2.2. Volumen captado por estanque

Como en la mayoría de estos aprovechamientos no se tienen datos de avenidas, lo que se hizo fue construir un hidrograma triangular con datos de los registros de precipitación más cercanas al lugar, calculando el gasto máximo del hidrograma, para un periodo de retorno considerando que es para bordos de terracería y considerando una duración de la tormenta de una hora, como sigue:

$$tp = \frac{D}{2} + 0.6tc$$

Sustituyendo valores como ejemplo para el Bordo A tenemos:

$$tp = \frac{1}{2} + 0.6 * 0.62$$

$$tp = 0.87 \text{ hrs}$$

donde: D = duración de la tormenta en horas  
 tc = tiempo de concentración en horas  
 tp = tiempo al pico en horas

$$q_p = \frac{2.08QA}{tp}$$

sustituyendo:

$$q_p = \frac{2.08 * 0.03 * 3.1572}{0.87}$$

$$q_p = 0.21 \text{ m}^3$$

donde: Q = lamina escurrida en cm  
 A = área de la cuenca en km<sup>2</sup>  
 tp = tiempo al pico en horas

$$tr = 1.67tp$$

sustituyendo:

$$tr = 1.67 * 0.87$$

$$tr = 1.46 \text{ hrs}$$

donde: tp = tiempo al pico en horas  
 tr = tiempo de recesión después del pico en horas

$$tb = 2.67tp$$

sustituyendo

$$tb = 2.67 * 0.87$$

$$tb = 2.33 \text{ hrs.}$$

donde: tp = tiempo al pico en horas

tb = tiempo base, desde que da comienzo el escurrimiento hasta que termina en horas

$$Va = \frac{tb * qp * 3600}{2}$$

sustituyendo:

$$Va = \frac{2.33 * 0.21 * 3600}{2}$$

$$Va = 1726 \text{ m}^3$$

donde: qp = gasto pico en metros cúbicos por segundo

Va = volumen aportado por la cuenca en metros cúbicos

tb = Tiempo base, desde que da comienzo el escurrimiento hasta que termina en horas

Los resultados obtenidos para cada uno de los bordos se observan en el siguiente cuadro.

Cuadro 3.6. Resultados del Volumen aportado por cada una de las áreas que influyen sobre cada estanque.

Bordo	Tc horas	tp horas	qp m <sup>3</sup> /seg.	tr horas	tb horas	Va m <sup>3</sup>
A	0.62	0.87	0.21	1.46	2.33	1726
B	0.67	0.90	1.35	1.51	2.41	11727
C	0.17	0.60	0.02	1.01	1.61	127
D	0.17	0.60	0.03	1.01	1.61	158
E	0.96	1.08	2.22	1.80	2.87	15801
F	0.95	1.07	1.54	1.79	2.86	15329

### 3.5. Materiales de Impermeabilización

En uno de los estanques se probaron tres materiales de impermeabilización y se comparo con el testigo probando cuatro tratamientos con dos repeticiones, además se probaron los mismos tratamientos fuera del estanque, los tratamientos fueron los siguientes:

- Testigo
- Cemento
- Arcilla
- Ceniza

El cemento es un material pulverizado artificial con que se prepara el mortero y el hormigón de la construcción; se llama generalmente cemento Hidráulico o cemento portland. Es mezcla compleja de carbonato de calcio, silicato de aluminio y pequeñas cantidades de hierro y magnesio. Se fabrica calcinando a altas temperaturas en un horno rotatorio piedra caliza pulverizada y arcilla, y moliendo la escoria resultante, este cemento se mezcla con determinadas cantidades de grava y arena (Según las propiedades

que se busquen) para formar un mortero que "fragua" con la dureza de la roca por la reacción entre el cemento y el agua.

La bentonita, es una arcilla de Fort Bentun en Montana E. U., donde se encuentra. Es una arcilla suave y porosa; se usa como cemento para ligar partículas gruesas de arena y limo; también se emplea como decolorante para aceites, y en la elaboración de materiales absorbentes y abrasivos. Es una arcilla absorbible y absorbente; que se utiliza como relleno en la industria del papel; y se añade para incrementar el volumen, el peso. El material de relleno (arcilla, pegamento, etc.) se usa para llenar las grietas y los poros en la madera antes de pintar.

Ceniza: Polvo gris claro que queda como residuo de una combustión completa, aveces mezclado con brasas. Destruir o arruinar una cosa, reduciéndola a partes pequeñísimas.

Arcilla: Tierra blanda, plástica, que se endurece al fuego; es un silicato de aluminio hidratado que por lo general se encuentra mezclado con impurezas: sílice, oxido de fierro y de manganeso, carbonato de cal y feldespato. En su estado puro se llama caolín o arcilla de china. Es un deposito sedimentario muy suave (calidad en parte) de color blanco, gris, amarillo, rojo ó negro según las impurezas que contenga. Se emplea en la manufactura de porcelana, loza, ollas, ladrillos, bloques refractarios, etc.

En la prueba se cribó con tela mosquitera de 2 mm una porción de suelo del mismo lugar para separar los gránulos de textura fina de la gruesa; y la ceniza se obtuvo quemando una porción de estiércol seco de caprino. El cemento gris portland se compró en una ferretería.

Método de Aplicación: Se limpiaron parcelas de un metro cuadrado, cada una dentro y fuera del estanque, se dispersó sobre el piso de las parcelas el material de impermeabilización hasta haber dejado una capa de 2 centímetros de espesor, se colocaron los cilindros infiltrometros y se inundó.

### 3.6. Pruebas de infiltración

El método que comúnmente es usado es el llamado método de Münz: Son dos superficies cilíndricas, abiertas por las dos bases y unidas entre sí, para mantenerse concéntricas al hincarlas parcialmente sobre el terreno, a una profundidad de unos 10 cm. , Se añade una cantidad de agua, hasta que cubra suficientemente la punta de una varilla de medición, situada en posición vertical en el área cerrada por el cilindro interior, y entre los dos cilindros, se mantiene ese mismo nivel de agua. El agua del cilindro exterior es, para impedir la expansión lateral del agua infiltrada, a través del área que limita el cilindro interior. Al cabo de un cierto tiempo, se mide la lámina de agua que abatida observando el nivel y se repite la operación de añadido de una cantidad conocida de agua. Midiendo los tiempos que tardan en infiltrarse estos volúmenes de agua, se deduce la capacidad de infiltración.

De esta manera se obtienen los valores del comportamiento de la infiltración, es necesario realizar una regresión logarítmica que permita ajustar los valores a una curva de velocidad de infiltración.

de la ecuación de Kostiakov:

$$Z = k T^n$$

donde:  $Z$  = velocidad de infiltración acumulada en cm

$T$  = tiempo en minutos

aplicando logaritmos se obtiene:

$$\log(Z) = \log(k) + n \log(T)$$

que es una ecuación de forma lineal (ecuación de la recta).

$$Y = a + bx$$

donde:  $Y$  = logaritmo de la velocidad de infiltración acumulada

$x$  = logaritmo del tiempo acumulado

$a$  = logaritmo de  $k$ , constante de la recta

$b$  =  $n$ , coeficiente de  $x$

Los resultados obtenidos de la regresión para la prueba de cemento dentro del estanque son:

Constante	-0.45851939
R cuadrado	0.93288054
Nº de observaciones	16
Coefficientes X	0.52499538

determinando los parámetros de Kostiakov se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Log}(k) = a = -0.45854939$$

despejando el término k se obtiene:

$$k = 0.3479$$

$$n = b = 0.52499538$$

sustituyendo en la ecuación de Kostiakov se obtiene la siguiente ecuación:

$$Z = 0.3479 T^{0.525}$$

Derivando la ecuación de velocidad de infiltración acumulada, se obtiene la ecuación de velocidad de infiltración. Se ajusta la ecuación en unidades de cm/hr; multiplicando la constante por 60 minutos quedando de la siguiente manera.

$$V. I. = 10.95866 T^{-0.475}$$

Los valores estimados para cada prueba son presentados en los cuadros A9 al A14.

La infiltración básica se presenta cuando la velocidad de infiltración se vuelve constante, de ahí que podemos calcular la lámina perdida por unidad de tiempo mediante la ecuación de infiltración acumulada.

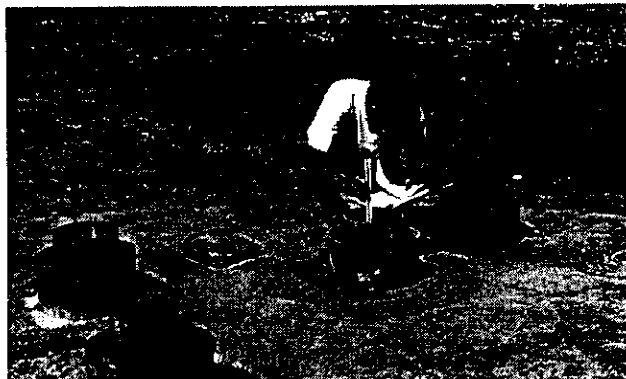


Figura 3.4 Pruebas de infiltración hechas fuera de uno de los estanques.



## RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Areas de Esgurrimento Contribuyentes por Estanque

En el mapa mostrado en la Figura 4.1 se puede observar el área que mayor volumen de escurrimento produjo y la que obtuvo el primer lugar fue el área "E", siguiendole en segundo lugar el área "F" y en tercer lugar el área "B", estas contribuyen a la captación en los bordos E, F y B debido a las condiciones hidrológicas que favorecen el escurrimento como son pendiente topográfica, área de influencia de cada estanque, tipo de suelo (textura media) y de baja permeabilidad y vegetación escasa.

Aunque el área "A" es más grande en comparación a las áreas "C" y "D", no mostró grandes aportaciones como habría de esperarse para el bordo A, que más que nada es un tapón sobre el cauce principal o arroyo construido para elevar el tirante de las avenidas en el arroyo y desviar el escurrimento hacia el estanque D mediante un canal de llamada. En la obra de campo le faltaba altura al bordo para alcanzar el nivel de llamada, por lo mismo el volumen captado en el estanque D siempre era muy insignificante.

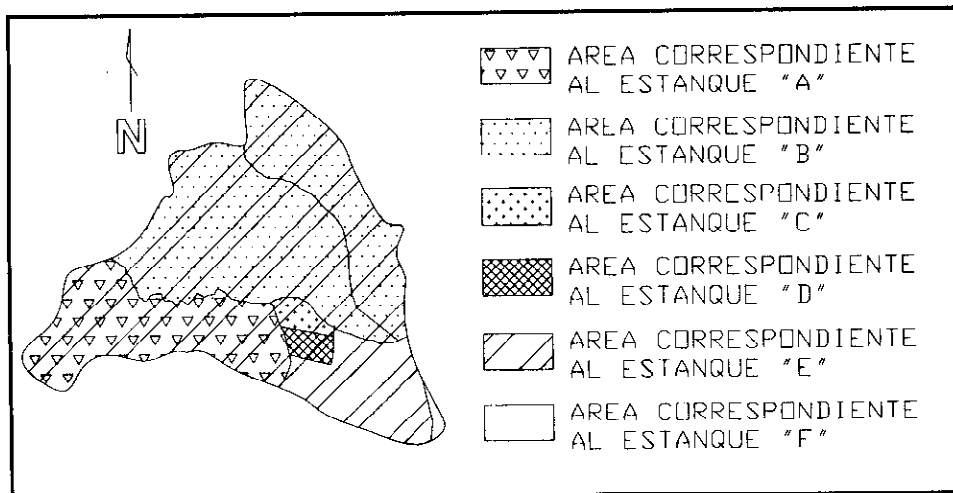


Figura 4.1. Areas que influyen sobre los 6 vasos de almacenamiento del escurrimento superficial.

## 4.2. Volúmenes de Esgurrimiento Captados por Estanque

Los volúmenes aportados para cada estanque indican que cuatro de los seis estanques están correctamente orientados y ubicados, siendo estos A, B, E, y F, pero sus dimensiones actuales desaprovechan la captación potencial de esgurrimiento siendo menor su capacidad de almacenamiento al volumen de esgurrimiento que realmente se puede cosechar.

Cuadro 4.1. Relación entre el esgurrimiento potencial y la capacidad de embalse.

Bordo o estanque	Esgurrimiento potencial m <sup>3</sup>	Capacidad actual de embalse m <sup>3</sup>
A	1726	300
B	11727	550
C	127	1000
D	158	400
E	15801	9500
F	15329	650

Los estanques "C" y "D", son los que tienen una alta capacidad de embalse en comparación con el volumen aportado como se observa en el Cuadro 4.1. En una visita de campo, el 18 de junio de 1997 se observó, que los estanques A, B, E y F se habían llenado, por una tormenta que ocurrió entre el 9 y 15 de junio y estuvieron vertiendo por aproximadamente 6 horas, mientras que el estanque C captó solamente un 20 % de su capacidad y el D un 60 %, por lo que se sugiere construir canales de llamada que corten el esgurrimiento hacia los estanques.

## 4.3. Análisis de las Dimensiones Actuales

Las dimensiones actuales muestran que los estanques C y D están sobrados en su capacidad de almacenaje con relación al esgurrimiento potencial aportado por su área, los estanques A, B, E y F, les falta capacidad para almacenar el agua esgurrida

desaprovechando mas de la mitad del agua generada por las lluvias. Por lo que se sugiere dar una altura uniforme final a los bordos de tierra en los estanques B, E y F; para que la parte superior de la corona quede a nivel sin declive en los extremos, proyectar los vertederos y las obras derivadoras y agregar pequeños tanques desarenadores que detengan los azolves antes de entrar a los estanques pueden ser necesarios para dar un periodo útil más largo a los estanques.

#### **4.4. Eficiencia de Almacenamiento Esperado**

El cemento portland reportó una mejor eficiencia, dado que su almacenamiento con respecto al testigo fue mejor en un 21 %, después ya con menor almacenamiento se reportó que la ceniza tuvo una eficiencia del 8 % y por último la arcilla que no mostró gran eficiencia ya que se comportó similar al testigo.

#### **4.5. Materiales Impermeabilizantes y su Efectividad**

La impermeabilización con cemento portland redujo la percolación en el estanque en un 21 % con respecto al testigo, y le siguió en efectividad la dispersión de ceniza coloidal en un 9 %. La arcilla no mostró un sellamiento favorable con respecto al comportamiento del suelo en el testigo.

Afuera del estanque, la impermeabilización con cenizas (de estiércol de caprino) reporta la mejor calificación (un 71 % de reducción), siguiendole en orden de importancia el cemento portland con un 31 % y en tercer lugar la arcilla con un 5 %.

Cuadro 4.2. Coeficientes de infiltración encontrados dentro y fuera de los estanques al probar cuatro materiales de impermeabilización.

Prueba	Material	Dosis Kg/m <sup>2</sup>	VI <sub>b</sub> cm/hr a 90 min	K	a	% reducción
Dentro del Estanque	Testigo	—	2.03	11.727	-0.394	—
	Cemento	21.9	1.60	10.444	-0.420	21 %
	Arcilla	26.2	2.36	12.100	-0.405	0 %
	Cenizas	13.5	1.85	12.261	-0.424	9 %
Fuera del Estanque	Testigo	—	6.33	17.919	-0.2313	—
	Cemento	21.9	4.38	5.759	-0.0608	31 %
	Arcilla	26.2	6.01	20.853	-0.2770	5 %
	Cenizas	13.5	1.82	24.843	-0.5812	71 %

En las pruebas de infiltración observadas, al tratamiento con cemento gris, la presión, hidrostática del agua "empuja" las partículas verticalmente y se lixivaban en el agua percolada. El agua que permaneció estancada en la superficie del suelo no mostró contaminación apreciables solo algo de turbiedad y una ligera capa de polvillo fino sobre el espejo.

En las pruebas de infiltración "corridas" en el suelo tratado con cenizas, se observó una rápida impermeabilización debido al sellamiento de los poros y grietas del suelo por las partículas de ceniza y carboncillo que quedasen atrapados entre las partículas del suelo conforme el agua se percolaba. En este tratamiento, los residuos de la ceniza y partículas de carbón tendían a fluctuar en la superficie y le inducían un color grisáceo al agua estancada.

#### 4.6. Infiltración

Los eventos de lluvia del día nueve al quince de junio fueron los que llenaron los estanques A, B, E y F, más sin embargo se observó que el estanque E, para el día 24 de junio ya había perdido por percolación el 60 % del agua almacenada, esto debido a que

era la primera vez que almacenaba agua desde su construcción y los poros del suelo en la base del estanque no estaban saturados por partículas finas que los obstruyeran o taparan.

Las pruebas de infiltración fueron hechas después de la temporada de lluvias, y los resultados que indicaron la infiltración básica dentro del estanque fue de 1.67 cm/hrs y 2.38 cm/hrs, mientras que fuera del vaso fue de 6.33 cm/hrs como se observa en las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4, y esto debido a que el agua almacenada es muy turbia conteniendo sólidos de acarreo en suspensión que al asentarse en el fondo del estanque taparon poros del suelo más no los sellaron completamente.

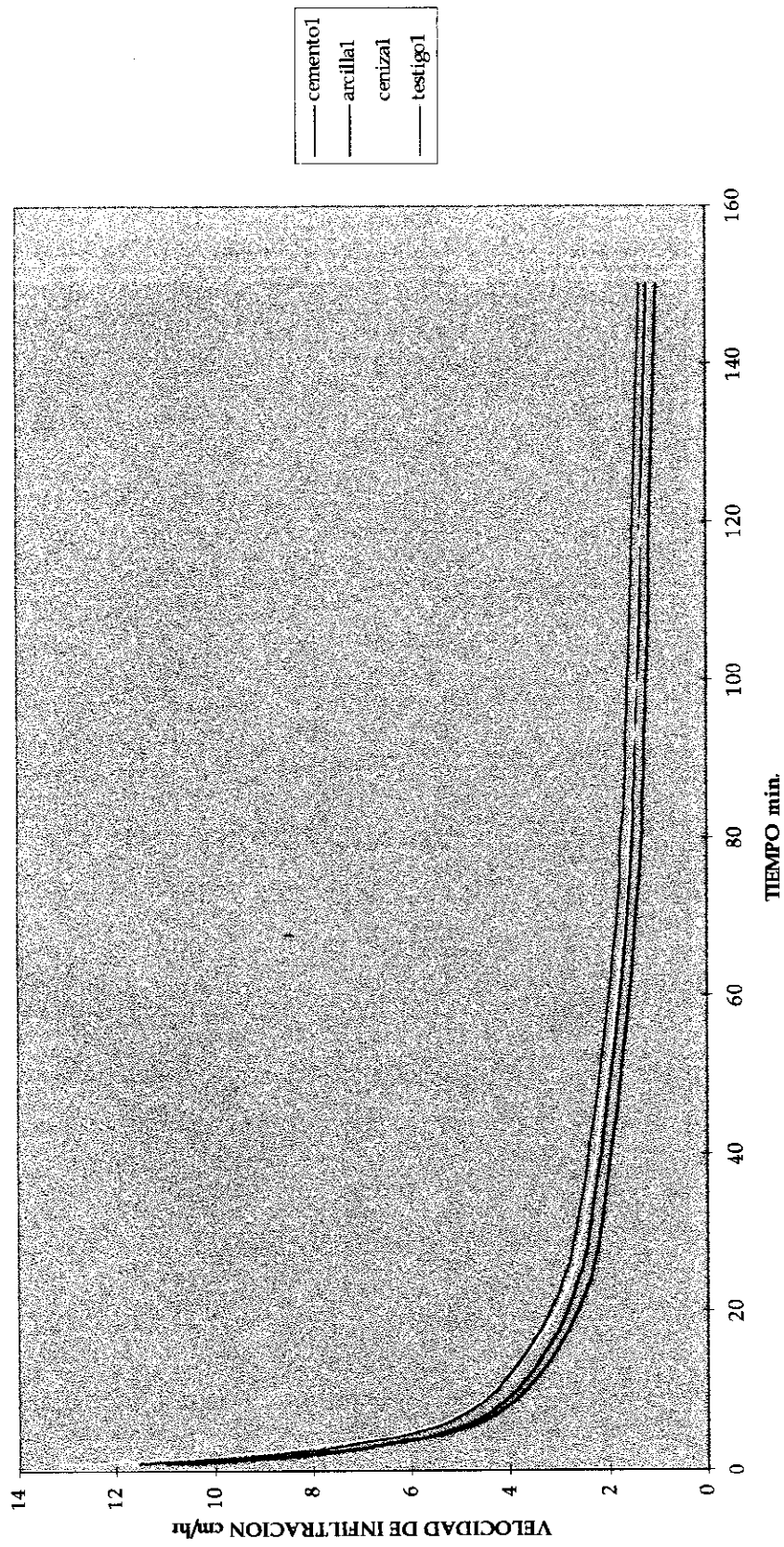


Figura 4.2 Curvas de velocidad de infiltración de la primera prueba dentro del estanque para suelo con cemento, ceniza, arcilla y testigo.

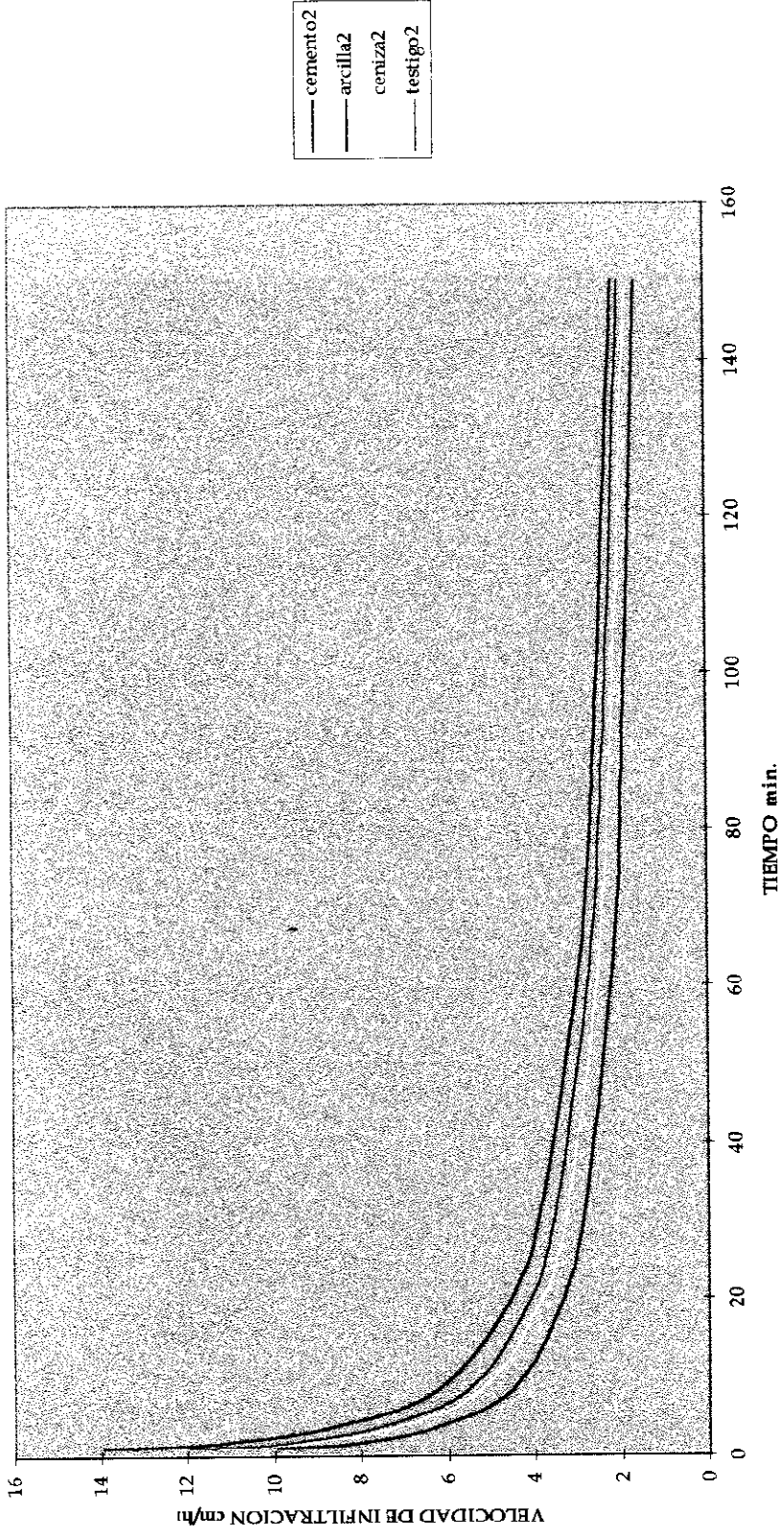


Figura 4.3. Curvas de velocidad de infiltración de la segunda prueba dentro del estanque para suelo con cemento, ceniza, arcilla y testigo.

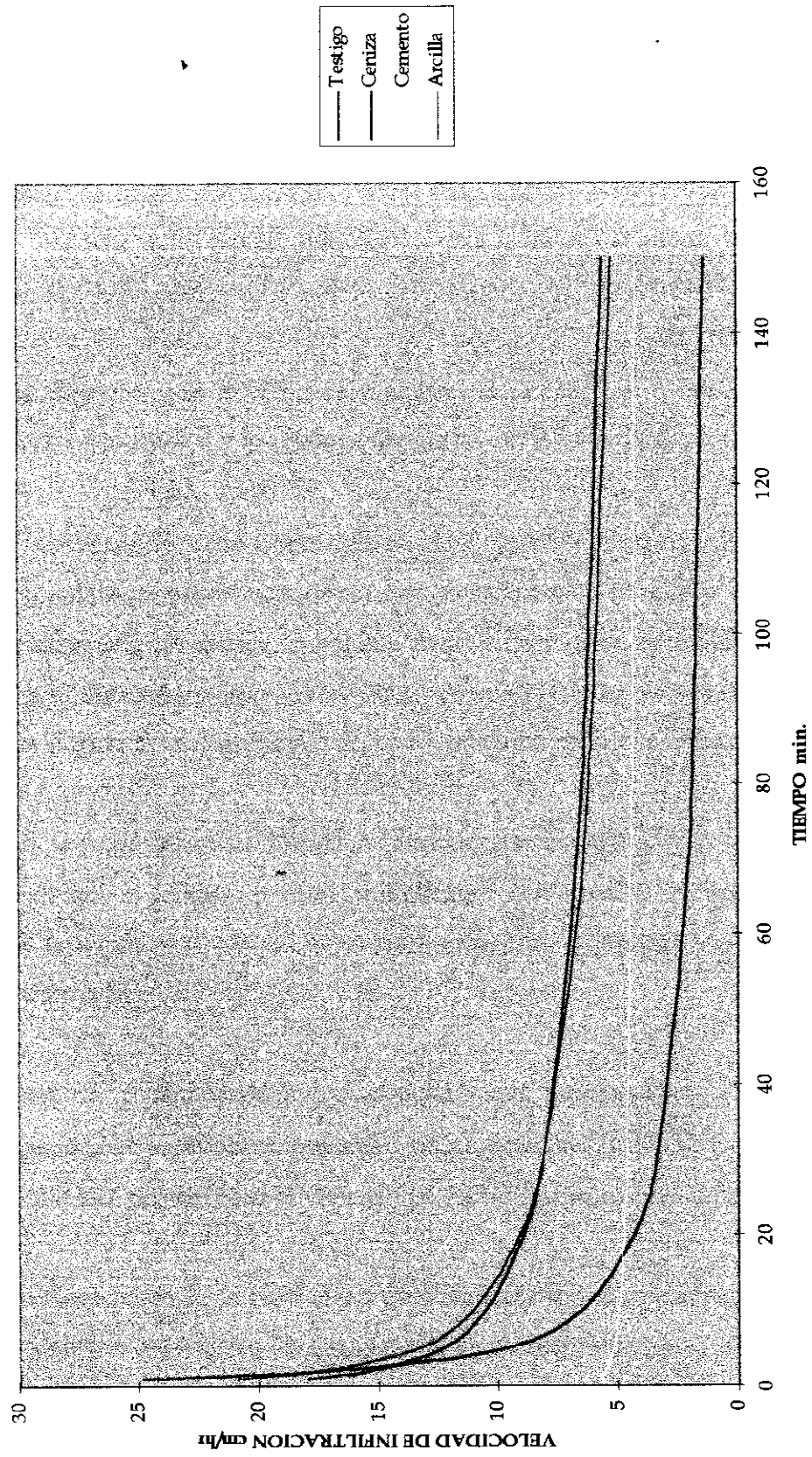


Figura 4.4. Curvas de velocidad de infiltración de la prueba fuera del estanque para suelo con cemento, ceniza, arcilla y testigo.



## CONCLUSIONES

De acuerdo al estudio hidrológico para la cuenca revisada, se puede concluir lo siguiente:

1. Los estanques que mejor se ubican son A, B, E y F y en estos se sugiere la impermeabilización y la continuación de las obras hidráulicas.
2. El volumen de almacenaje que pueden captar los estanques C, D de posición inapropiada, se puede incrementar con la construcción de canales de "llamada" para el estanque C, los cuales se sugiere trazar en dirección contraria a la pendiente del terreno. Se sugiere diseñar correctamente una presa derivadora en el bordo "A" que desvíe parte del escurrimiento del cause principal hacia el estanque "D".
3. Para la impermeabilización de los estanques se sugiere compactar el suelo del piso, luego aplicar cemento portland mezclándolo con arena. El cemento que es más caro que la arcilla y la obtención de las cenizas, por garantizar mejor calidad del agua almacenada.
4. Antes de impermeabilizar los estanques más prometedores, conviene ampliar su capacidad de embalse especialmente en los estanques B, E y F; cuya capacidad actual resulta más pequeña que el volumen potencial de escurrimiento.
5. Los usos potenciales para el aprovechamiento del agua captada en los estanques, pueden ser: abrevadero para ganado de agostadero, agua para irrigación restringida, derivación y tratamiento posterior del agua para usos domésticos, recarga del acuífero subyacente, uso recreativo en lago artificial, fomento de especies acuáticas.

## RECOMENDACIONES

### **Escoger el Lugar Para la Construcción del Vaso**

Antes de construir un vaso es preciso establecer la finalidad de la obra, y las características del terreno disponible, y escoger el mejor lugar para dimensionar el vaso, con este objetivo se pueden decidir:

- Los criterios para escoger el lugar del vaso.
- Cantidades de agua que pueden ser aprovechadas anualmente de las lluvias.
- Dimensionamiento del vaso y su vertedor.

Es siempre necesario dar un recorrido de campo por la cuenca, por donde pueden ser construidos los vasos, escogiendo aquellos lugares adecuados por su topografía. Es conveniente escoger lugares estratégicos (de acceso fácil, donde la vegetación no sea muy espesa, etc.).

### **Los Principales Criterios Para la Localización de los Vasos son:**

- Principal uso previsto para el vaso (abastecimiento, irrigación, etc.).
- Características del lugar escogido para la construcción del vaso, la cual dependerá de las facilidades para la ejecución y el costo de emprendimiento.
- Las características del futuro almacenamiento, principalmente profundidad y volumen de almacenaje.
- La cantidad y cualidades de los recursos de la cuenca hidrológica.

En la practica las situaciones optimas corresponden a cada uno de estos criterios pero no siempre se encontraran reunidas todas al mismo tiempo, debiendo buscar la situación mas equilibrada.

### **Consideraciones Para el Uso Previo de un Vaso**

El localizar el lugar donde se construirán los vasos. Debe ser orientado para el uso previo del vaso.

- Si el objetivo principal es para abastecimiento, se debe de proponer un vaso profundo y de fácil acceso.
- Si el papel del vaso es el de irrigación, debe ser evidente localizar el vaso lo más próximo posible a las áreas adaptadas para tal fin.

Claro que también puede ser posible la asociación entre un valle fértil y un vaso de almacenamiento, pudiendo permitir emprender un sistema de riego por gravedad simple y barato, por lo que se deberá de cuidar que el lugar seleccionado presente las siguientes características:

- Presente una topografía no muy accidentada, que facilite una implantación de una red de surcos.
- Ofrezca posibilidades de drenaje.

### **Escoger el Mejor Lugar Para la Construcción del Vaso**

Longitud de la cortina: Procurar escoger lugares estratégicos, a fin de disminuir el tamaño de esta y los costos de la futura obra.

Cuidar los declives en los futuros costados de la cortina: Los declives en los costados no deben ser excesivamente pronunciados, por que esto dificultara el trabajo de la maquinaria por lo que aumentarían los costos. En tanto en costados con declives poco inclinados la obra seria cara, ya que aumentaría la longitud de la cortina y por lo tanto la cantidad de material utilizado. Se deben encontrar situaciones intermedias o equilibradas.

### **Evitar los Afloramientos Rocosos**

Puede haber lugares que por su localización resulten tentadores para un vaso, mas sin embargo se debe evitar:

- Que estos sean sitios donde se observan fracturas geológicas ya que son muy difíciles de remediar.
- En la práctica, es aconsejable descartar sistemáticamente, en lo más posible, los lugares que presentes afloramientos de piedras lajas, o rocas grandes, que no puedan ser removidas.

### **La Posición del Vertedor**

Una mejor facilidad para la construcción del vertedor puede determinar el lugar exacto del vaso, en particular cuando existe la posibilidad de hacer un vertedor natural separado del dique (disminuye el costo de construcción para el muro de protección lateral o el canal de evacuación).

Generalmente se procuran lugares donde las excavaciones laterales del vertedor sean fáciles.

## APENDICE DE CUADROS

Cuadro A1.- Grupos de suelo del método del servicio de conservación de suelos.

GRUPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS
A	Suelos con potencial de escurrimiento bajo. Incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla; y suelos permeables con grava en el perfil.
B	Suelos con potencial de escurrimiento moderadamente bajo. Son suelos arenosos menos profundos y agregados que el grupo A. Este grupo es de una infiltración mayor que el promedio cuando húmedo. Ejemplos: migajones arenosos ligeros y migajones limosos.
C	Suelos con potencial de escurrimiento moderadamente alto. Comprenden suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene una infiltración menor que el promedio después de saturación. Ejemplo: migajones arcillosos.
D	Suelos con alto potencial de escurrimiento. Suelos pesados, con alto contenido de arcillas expansibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados.

Cuadro A2.- Caracterización hidrológica para varios usos del suelo.

USO DEL SUELO	CONDICION HIDROLOGICA	DESCRIPCION
Pastizales Naturales	Pobre Regular Buena	Pastos dispersos, fuertemente pastoreados con cobertura menor de 50 %. Pastos con pastoreo moderado, cobertura del 50 al 75 %. Pastos con pastoreo ligero, con cobertura mayor de 75 %.
Areas de bosque	Pobre Regular Buena	Areas fuertemente pastoreadas, con arboles dispersos, sin crecimiento rastrero. Arboles dispersos, moderado crecimiento rastrero, y pastoreo moderado. Areas densamente pobladas, con pastoreo mínimo.
Pastizales mejorados	Buena	Mezcla de pastos y leguminosas bajo sistema de manejo adecuado.
Praderas en rotación	Pobre Buena	Praderas sobre pastoreadas, con reducida población . Praderas moderadamente pastoreadas, con alta población, y usadas en rotación con cultivos.
cultivos	Pobre Buena	Cultivos en pendiente, condiciones de monocultivo. Cultivos en rotación, cultivos de cobertura, cultivos de barbecho

Cuadro A3.- Condición de vegetación.

CONDICION	COBERTURA
Buena	Mayor de 75 %
Regular	Entre 50 y 75 %
Pobre	Menor de 50 %

Cuadro A4.- Valores de índice de cuenca para condiciones de humedad antecedente media.

Uso Del Suelo		Condición Hidrológica	Grupo de Suelo			
			A	B	C	D
Tierra en descanso	Surcos rectos		77	88	91	94
Cultivos de escarda	Surcos rectos	Pobre	71	81	88	91
	Surcos rectos	Buena	67	78	85	89
	Curva a nivel	Pobre	70	79	84	88
	Curva a nivel	Buena	65	75	82	86
	Terraza y curva a nivel	Pobre	66	74	80	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	62	71	78	81
Cultivos cerrados	Surcos Rectos	Pobre	65	76	84	88
	Surcos rectos	Buena	63	75	83	87
	Curva a nivel	Pobre	63	74	82	85
	curva a nivel	Buena	61	73	81	84
	Terraza y curva a nivel	Pobre	61	72	79	82
	Terraza y curva a nivel	Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hileras o forrajes en rotación	Surcos Rectos	Pobre	66	77	83	85
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curva a nivel	Pobre	64	75	83	85
	curva a nivel	Buena	55	69	78	83
	Terraza y curva a nivel	Pobre	63	73	80	83
	Terraza y curva a nivel	Buena	51	67	78	80
Pastizal	Natural	Pobre	68	79	86	89
	Natural	Regular	49	69	79	84
	Natural	Buena	39	61	74	80
	curva a nivel	Pobre	47	67	81	88
	curva a nivel	Regular	25	59	75	83
	curva a nivel	Buena	6	35	70	79
Pasto de corte	curva a nivel	Buena	30	58	71	78
Bosque		Pobre	45	58	71	78
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	71
Caminos de Tierra		Buena	72	82	87	89
Caminos pavimentados		Buena	74	84	90	92

Cuadro A5.- Valores de índice de cuenca para condición de humedad antecedente media y diferentes tipos de vegetación.

Tipo de vegetación	Grupo de suelo	Ecuación	Notas
matorral de juníperos pastizal	C	$W_{//} = 88 - C^{0.32}$	1
	B	$W_{//} = 82 - C^{0.42}$	1
matorral de arbustos con pastizal	C	$W_{//} = 86.5 - C^{0.46}$	1
	B	$W_{//} = 73.5 - C^{0.413}$	1
herbáceo	D	$W_{//} = 93 - C^{0.115}$	1
	C	$W_{//} = 90 - C^{0.19}$	1
	B	$W_{//} = 84 - C^{0.25}$	1
matorral desértico	D	$W_{//} = 93 - C^{0.08}$	2.3
	C	$W_{//} = 80 - C^{0.06}$	2.3
	B	$W_{//} = 84 - C^{0.06}$	2.3
bosque de coníferas	C	$W_{//} = 83 - C^{0.14}$	1.4
	B	$W_{//} = 73 - C^{0.31}$	2.4
pastizal de agostadero	A	$W_{//} = 77 - C^{0.58}$	3
	A	$W_{//} = 63 - C^{0.28}$	6
	B	$W_{//} = 83 - C^{0.28}$	
	C	$W_{//} = 89 - C^{0.18}$	
	D	$W_{//} = 91 - C^{0.13}$	5
pasto natural	A	$W_{//} = 75 - C^{0.44}$	3
	A	$W_{//} = 60 - C^{0.13}$	6
	B	$W_{//} = 83 - C^{0.26}$	
	C	$W_{//} = 89 - C^{0.18}$	
	D	$W_{//} = 91 - C^{0.13}$	7
áreas forestales	A	$W_{//} = 50.5 - C^{0.286}$	
	B	$W_{//} = 71.5 - C^{0.229}$	
	C	$W_{//} = 81.5 - C^{0.229}$	
	D	$W_{//} = 87 - C^{0.21}$	7
caminos	A	$W_{//} = 73$	
	B	$W_{//} = 83$	
	C	$W_{//} = 88.5$	
	D	$W_{//} = 90.5$	
rocas desnudas		$W_{//} = 96$	8
superficies liquidas		$W_{//} = 1000$	

Todos los valores de  $W$  son para una condición de humedad antecedente media,  $l_a=0.2$  S, y cubierta sin rocas. <sup>1</sup>De Enderlin y Markowitz (1962). <sup>2</sup>De Simanton y sutter (1973). <sup>3</sup>Para  $C < 50\%$ . <sup>4</sup>Para  $c > 50\%$ . <sup>4</sup>Para  $10\% < C < 80\%$ , relación no lineal a  $W = 83$  y  $W = 7.3$ . <sup>5</sup>De National Engineering Handbook. <sup>6</sup>Para  $C > 50\%$ . <sup>7</sup>De datos no publicados del U.S. Forest Service. <sup>8</sup>Asume  $l_a = 0.08$  pulgadas

Cuadro A6.- Condición de humedad antecedente en función de la lamina precipitada acumulada.

CHA	P acum mm
I	<12.5
II	12.5-37
III	>37

Cuadro A7.- Valores correspondientes del índice de cuenca para diversas condiciones de humedad antecedente.

CHAI	CHAI	CHAI
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



Cuadro A8.- Coeficiente de asimetría.

Valores del factor de frecuencia para distribuciones Pearson de tipo III											
Probabilidad de excedencia											
Coeficientes de asimetría positivo											
$\gamma_1$	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
3.0	-0.667	-0.665	-0.660	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.690	-0.688	-0.681	-0.651	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909
2.8	-0.714	-0.711	-0.702	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.740	-0.736	-0.724	-0.681	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.769	-0.762	-0.747	-0.696	-0.369	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.799	-0.790	-0.771	-0.711	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.832	-0.819	-0.795	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.867	-0.850	-0.819	-0.739	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.905	-0.882	-0.844	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444
2.1	-0.946	-0.914	-0.869	-0.765	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.990	0.949	-0.895	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.606	4.298
1.9	-1.037	-0.984	-0.920	-0.768	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-1.067	-1.020	-0.945	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.140	-1.056	-0.970	-0.806	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-1.197	-1.093	-0.994	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-1.256	-1.131	-0.018	-0.825	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-1.318	-1.168	-1.041	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-1.383	-1.206	-1.064	-0.838	-0.210	0.719	1.339	2.106	2.666	3.211	3.745
1.2	-1.449	-1.243	-1.086	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.066	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-1.280	-1.107	-0.848	-0.190	0.745	1.341	2.043	2.585	3.087	3.575
1.0	-1.588	-1.317	-1.128	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.660	-1.353	-1.147	-0.854	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-1.388	-1.166	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-1.880	-1.458	-1.200	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.955	-1.491	-1.216	-0.856	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.029	-1.524	-1.231	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-1.555	-1.245	-0.853	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.178	-1.586	-1.258	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-1.616	-1.270	-0.846	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0.0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576

Cuadro A9.- Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada dentro del estanque con Cemento.

1ª Prueba = Cemento			2ª Prueba = Cemento		
		-0,475			-0,36594
Vi =	10,95866 T		Vi =	9,95512 T	
		0,525			0,63406
K =	0,3479 T		K =	0,26168 T	
Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. Cm	Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. Cm
0			0		
1	10,96	0,35	1	9,96	0,26
2	7,88	0,50	2	7,72	0,41
5	5,10	0,81	5	5,52	0,73
10	3,67	1,17	10	4,29	1,13
20	2,64	1,68	20	3,33	1,75
30	2,18	2,07	30	2,87	2,26
62	1,54	3,04	62	2,20	3,58
90	1,29	3,69	90	1,92	4,54
150	1,01	4,83	150	1,59	6,27

Cuadro A10.- Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada dentro del estanque con Arcilla.

1ª Prueba = Arcilla			2ª Prueba = Arcilla		
		-0,43542			-0,37433
Vi =	10,51127 T		Vi =	13,9293 T	
		0,56458			0,62567
K =	0,3103 T		K =	0,37105 T	
Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. cm	Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. cm
0			0		
1	10,51	0,31	1	13,93	0,37
2	7,77	0,46	2	10,75	0,57
5	5,22	0,77	5	7,63	1,02
10	3,86	1,14	10	5,88	1,57
20	2,85	1,68	20	4,54	2,42
30	2,39	2,12	30	3,90	3,12
62	1,74	3,19	62	2,97	4,91
90	1,48	3,94	90	2,58	6,20
150	1,19	5,25	150	2,13	8,53

Cuadro A11.- Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada dentro del estanque con Ceniza.

1ª Prueba = Ceniza			2ª Prueba = Ceniza		
		-0,48198			-0,36693
Vi =	13,0713 T		Vi =	11,50133 T	
		0,51802			0,63307
K =	0,42055 T		K =	0,30279 T	
Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. cm	Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. cm
0			0		
1	13,07	0,42	1	11,50	0,30
2	9,36	0,60	2	8,92	0,47
5	6,02	0,97	5	6,37	0,84
10	4,31	1,39	10	4,94	1,30
20	3,08	1,99	20	3,83	2,02
30	2,54	2,45	30	3,30	2,61
62	1,79	3,57	62	2,53	4,13
90	1,49	4,33	90	2,21	5,23
150	1,17	5,64	150	1,83	7,22

Cuadro A12.- Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada dentro del estanque para el Testigo.

1ª Prueba = Testigo			2ª Prueba = Testigo		
		-0,42957			-0,35825
Vi =	11,51481 T		Vi =	11,94499 T	
		0,57043			0,64175
K =	0,33644 T		K =	0,31022 T	
Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. cm	Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. cm
0			0		
1	11,51	0,34	1	11,94	0,31
2	8,55	0,50	2	9,32	0,48
5	5,77	0,84	5	6,71	0,87
10	4,28	1,25	10	5,24	1,36
20	3,18	1,86	20	4,08	2,12
30	2,67	2,34	30	3,53	2,75
62	1,96	3,54	62	2,72	4,38
90	1,67	4,38	90	2,38	5,57
150	1,34	5,86	150	1,98	7,73

Cuadro A13.- Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada fuera del estanque para el Testigo y la Ceniza.

Prueba = Testigo			Prueba = Ceniza		
-0.23133			-0.58122		
Vi =	17.9195 T		Vi =	24.84311 T	
0.76867			0.41878		
K =	0.38855 T		K =	0.98871 T	
Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. cm	Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. cm
0			0		
1	17.92	0.39	1	24.84	0.99
2	15.26	0.66	2	16.61	1.32
5	12.35	1.34	5	9.75	1.94
10	10.52	2.28	10	6.52	2.59
20	8.96	3.89	20	4.36	3.47
30	8.16	5.31	30	3.44	4.11
62	6.90	9.27	62	2.26	5.57
90	6.33	12.35	90	1.82	6.51
150	5.62	18.29	150	1.35	8.06

Cuadro A14.- Valores estimados para la ecuación de velocidad de infiltración y velocidad de infiltración acumulada fuera del estanque para el Cemento y la Arcilla:

Prueba = Cemento			Prueba = Arcilla		
-0.06082			-0.27661		
Vi =	5.75993 T		Vi =	20.85279 T	
0.93918			0.72339		
K =	0.10222 T		K =	0.48044 T	
Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. cm	Tiempo min.	Vi cm./hrs.	K acum. cm
0			0		
1	5.76	0.10	1	20.85	0.48
2	5.52	0.20	2	17.21	0.79
5	5.22	0.46	5	13.36	1.54
10	5.01	0.89	10	11.03	2.54
20	4.80	1.70	20	9.11	4.20
30	4.68	2.49	30	8.14	5.63
62	4.48	4.93	62	6.66	9.51
90	4.38	7.00	90	6.01	12.45
150	4.25	11.31	150	5.21	18.02

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Análisis de la Distribución Pluviométrica

El ajuste de datos observados de una variable (volúmenes, precipitaciones, gastos aforados) a distribuciones probabilísticas consiste en la preparación de gráficas que presenten simultáneamente dos componentes: la distribución empírica u observada de los datos, y la distribución teórica de valores que seguirán el modelo matemático o distribución probabilística a la que se desea probar la bondad de ajuste de los valores observados.

La preparación de estas gráficas se simplifica considerablemente mediante el uso de papel probabilístico. Este papel está diseñado en forma tal que la gráfica de la función de distribución acumulada de ciertas distribuciones resulta en una línea recta o en una curva simple.

La técnica que se emplea en todos los casos consiste en arreglar los datos en forma descendente, asignando número de orden "m" a los valores ordenados de precipitación. La fórmula más eficiente y más comúnmente usada para el cálculo de posiciones gráficas es la propuesta por Weibull:

$$P(X > x) = \frac{m}{n + 1}$$

donde : m = número de orden

n = número de observaciones

P(X>x) = probabilidad de excedencia

Valores ordenados de los datos de precipitación y sus resultados de probabilidad de excedencia.

No. de orden	PP (mm)	P(X>x)
1	60.7	0.1
2	60.0	0.2
3	54.7	0.3
4	32.4	0.4
5	30.5	0.5
6	30.0	0.6
7	28.9	0.7
8	26.2	0.8
9	20.6	0.9

### Distribución Log Normal

En el caso de las distribuciones Normal y Log Normal, la media de los datos observados tiene una probabilidad acumulada del 50 por ciento, y variaciones o desviaciones iguales arriba y abajo de la media caen en una línea recta que pasa a través de la media.

Puntos que representan la distribución empírica para la distribución Log Normal.

No. de orden	PP (mm)	P(X>x)	Log (pp)
1	60.7	0.1	1.78
2	60.0	0.2	1.78
3	54.7	0.3	1.74
4	32.4	0.4	1.51
5	30.5	0.5	1.48
6	30.0	0.6	1.48
7	28.9	0.7	1.46
8	26.2	0.8	1.42
9	20.6	0.9	1.31

Media	1.55
Sx	0.17

Sx, es la desviación estándar.

La línea de distribución teórica que se presenta en la gráfica de papel probabilístico, se obtiene trazando una recta a través de los puntos de los logaritmos de los datos observados de la Media más Sx, Media, Media menos Sx, graficando con probabilidades de excedencia iguales a 15.9 %, 50 % y 84.1 %, respectivamente para obtener su distribución teórica.

Los puntos que representan la distribución empírica para la distribución Log Normal se ubican graficando los logaritmos de los datos observados contra sus probabilidades de excedencia calculadas anteriormente.

### Distribución Pearson III

El procedimiento para graficar la distribución teórica para la distribución Pearson III consiste en la observación de los parámetros estadísticos para los valores observados, la obtención de los valores correspondientes a los factores de frecuencia para diferentes periodos de retorno en función del coeficiente de asimetría de los datos, y

el calculo de magnitudes de valores de periodo de retorno a partir de la formula propuesta por Ven Te Chow (1964):

$$X_i = \bar{x} + KiSx$$

Donde K, es el factor de frecuencia. Este factor de frecuencia puede ser definido como el numero de observaciones estándar arriba y abajo del valor medio a que se encuentra el punto de interés. Para distribuciones biparametricas, K varia de acuerdo con la probabilidad de excedencia, o con su correspondiente periodo de retorno. Para distribuciones asimétricas, K varia con el coeficiente de asimetría y con el periodo de retorno.

#### Obtención del coeficiente de asimetría.

La falta de asimetría de una distribución puede ser descrita por el coeficiente de asimetría, el cual es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma_1 = \frac{n^2 \sum xi^3 - 3n \sum xi \sum xi^2 + 2(\sum xi)^3}{n(n-1)(n-2)Sx^3}$$

donde:  $\gamma_1$  = coeficiente de asimetría

$n$  = numero de datos

$xi$  = precipitación

$Sx$  = desviación estándar

#### Resultados para el calculo de coeficientes de asimetría

No. de orden	$X_i$	$X_i^2$	$X_i^3$
1	60.7	3684.49	223648.54
2	60.0	3600.00	216000.00
3	54.7	2992.09	163667.32
4	32.4	1049.76	34012.22
5	30.5	930.25	28372.63
6	30.0	900.00	27000.00
7	28.9	835.21	24137.57
8	26.2	686.44	17984.73
9	20.6	424.36	8741.82
SUMA	344	15102.60	743564.83

PARAMETROS	$X_i$
MEDIA	38.22
DESVIACION	15.63



Sustituyendo:

$$\gamma_1 = \frac{(9)^2 * 743564.83 - 3 * 9 * 344 * 15102.60 + 2 * (743564.83)^3}{9(9-1)(9-2)(15.63)^3}$$

$$\gamma_1 = 0.71$$

Para ajustar los datos a una distribución Pearson III, es necesario obtener del Cuadro A8 los valores del factor de frecuencia que corresponden al valor del coeficiente de asimetría de los datos observados e interpolando si se hace necesario así:

Coeficiente de Asimetría	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
0.80	-1.733	-1.388	-1.166	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.71	-1.799	-1.420	-1.181	-0.857	-0.118	0.789	1.333	1.970	2.412	2.831	3.241
0.70	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.233

Y así se grafican los valores teóricos calculados para la distribución Pearson III.

P(X>x)	Ki	Xi
99	-1.779	10.414
95	-1.420	16.025
90	-1.181	19.761
80	-0.857	24.825
50	-0.118	36.376
20	0.789	50.552
10	1.333	59.055
4	1.970	69.011
2	2.412	75.920
1	2.831	82.469
0.5	3.241	88.877

donde : P(X>x) = A la probabilidad de excedencia

Ki = Valores del factor de frecuencia que corresponden al valor del coeficiente de asimetría de los datos observados

Xi = distribución de valores teóricos

Dado que la prueba se ajusta, de la curva teórica, se toman probabilidades de excedencia y precipitación de la gráfica de ajuste de los valores teóricos. Y se calcula su periodo de retorno mediante la siguiente formula:

$$Tr = \frac{1}{1 - P(X < x)}$$

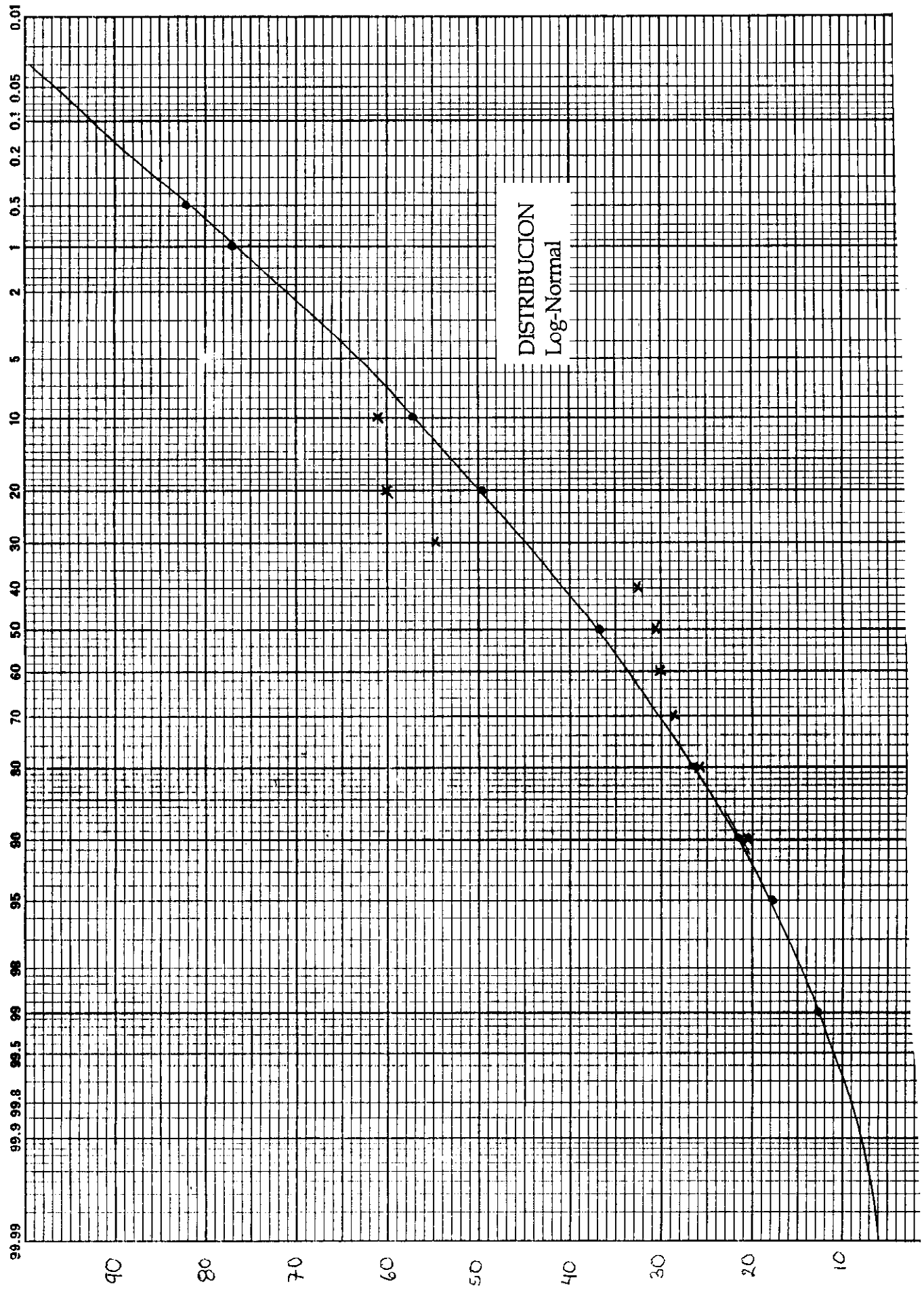
donde: Tr = periodo de retorno

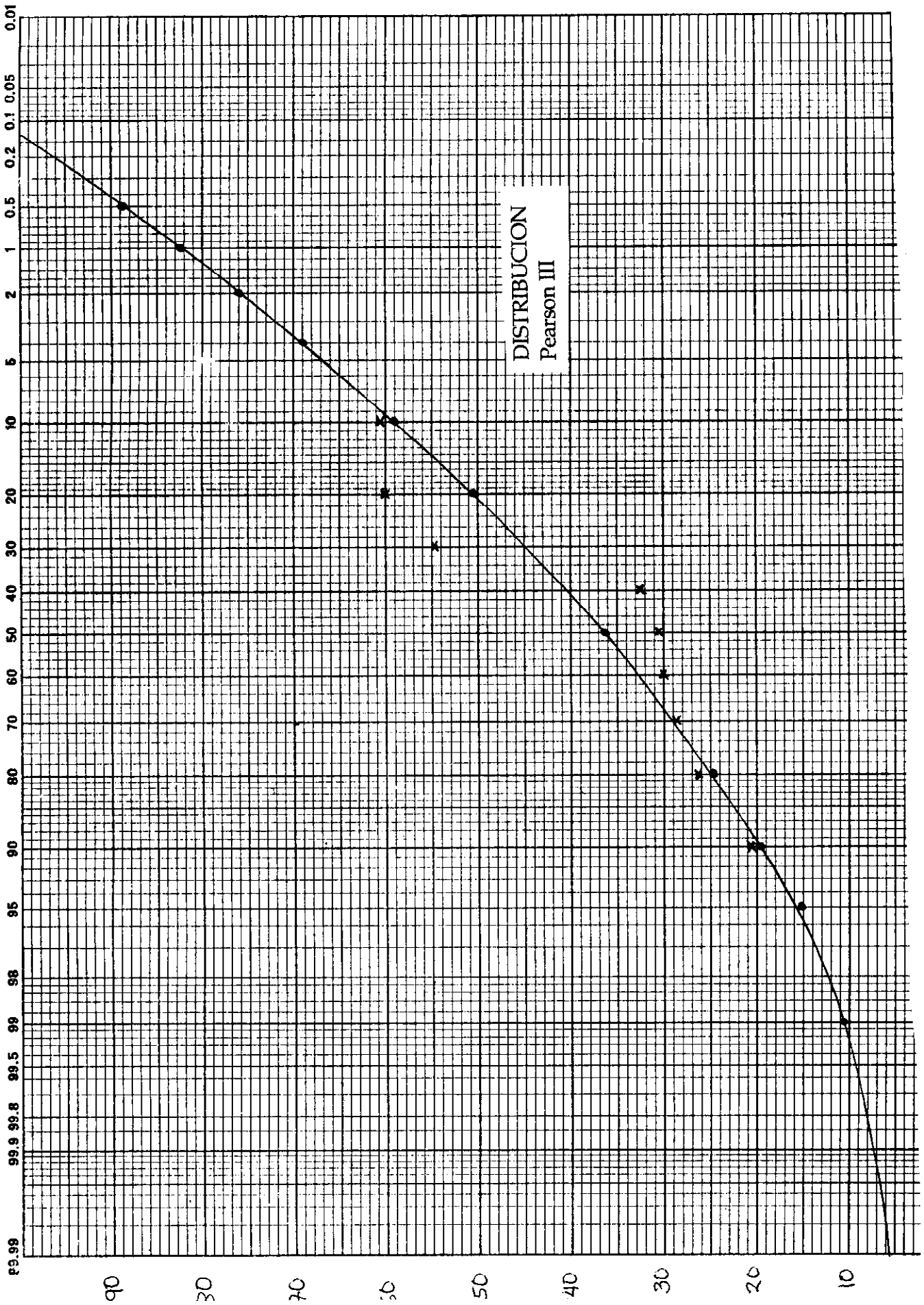
$P(X < x)$  = probabilidad de no exedencia

Datos empíricos sacados de la gráfica de papel probabilístico.

PP (mm)	P(X>x) %	Tr	PP (mm)	P(X>x) %	Tr
99	0.15	666.67	50	20.8	4.81
95	0.25	400.00	45	30.9	3.24
90	0.45	222.22	40	42.1	2.38
85	0.81	123.46	35	55.0	1.82
80	1.4	71.43	30	68.0	1.47
75	2.3	43.48	25	79.5	1.26
70	3.7	27.03	20	89.0	1.12
65	6.0	16.67	15	95.8	1.04
60	9.5	10.53	10	99.15	1.01
55	14.5	6.90	5	99.975	1.00

Como son bordos de tierra se escoge una precipitación que la cual su periodo de retorno no sea muy largo, por tal motivo se tomo un periodo de retorno (Tr) de 10.53 años que corresponden a una precipitación de 60 mm, con el que se trabajo en el presente trabajo.





## ANEXO 2

### Prueba de Bondad de Ajuste

La discriminación entre las distribuciones probabilísticas usadas, que se hace necesaria para determinar aquella que mejor describe el comportamiento de los datos, o dicho de otra manera, para seleccionar aquella a la que los datos mejor se ajustan, se hace mediante pruebas de bondad de ajuste comunes en estadística experimental. Las pruebas de bondad de ajuste más comúnmente utilizadas son:

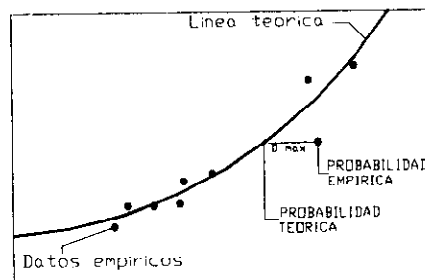
$\chi^2$ .

Kolmogorov - Smirnov.

Suma de Cuadrados del Error.

Como los datos empíricos y teóricos son graficados y se ajustaron a una distribución Pearson III, se procedieron a usar una prueba de bondad de ajuste que para este caso se utilizó la prueba de Kolmogorov - Smirnov. Esta prueba es apropiada únicamente para distribuciones continuas. La hipótesis a probar es que cierta función  $f(x)$  es la función de distribución de un grupo de muestras.

En esta prueba los datos empíricos o puntos de discontinuidad son los datos observados, en cada uno de estos puntos se calculan dos valores que no son difíciles, el empírico que ya lo tenemos y el teórico el cual se lee directamente de la hoja de papel aritmético probabilístico.



- Se determina la desviación máxima mediante la siguiente fórmula:

$$D_{max} = P(X > x)_t - P(X > x)_e$$

donde :  $P(X > x)_t$  = probabilidad teórica

$P(X > x)_e$  = probabilidad empírica

Probabilidad empírica teórica y diferencia

$P(X>x)_e$ %	$P(X>x)_t$ %	$P(X>x)_t - P(X>x)_e$ %
90	87.8	7.8
80	76.8	3.2
70	71.0	1.0
60	67.8	7.8
50	67.0	17.0
40	61.5	21.5 *
30	15.0	15.0
20	9.5	10.5
10	8.8	1.2

\*  $D_{\max}$

- Se escoge un nivel de significancia  $\alpha$  (5%, 1%).

Prueba de Kolmogorov - Smirnov

n	$\alpha = 20\%$	$\alpha = 10\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 2\%$	$\alpha = 1\%$
1	900	950	975	990	995
2	684	776	842	900	929
3	565	636	708	785	829
4	493	565	624	689	734
5	447	509	653	627	669
6	410	468	519	577	617
7	381	436	483	538	576
8	359	410	454	507	542
9	339	387	430	480	513
10	323	369	409	457	486
Aproximación para n grande	$1.07/\sqrt{n}$	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.52/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

- Comparar  $D_{max}$  con la tabla y con  $n$  numero de datos.
- La hipótesis que se formula es:

$H_0: D_{max} \leq 1 - \alpha$  la hipótesis se acepta.

$H_1: D_{max} > 1 - \alpha$  la hipótesis se rechaza.

Como se obtuvo un  $D_{max} = 21.5$  y el valor obtenido a un  $\alpha$  (0.10, 0.05 y 0.01) de confiabilidad con  $n = 9$ , es mayor por lo que la hipótesis se acepta. Por lo tanto los datos se ajustan a una distribución Pearson III de acuerdo con la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, Z. C. A. 1987. Coeficientes y cosecha de agua de lluvia en microcuencas tratadas con inductores de escurrimiento. Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Brooks, K. N., P. F., Folliott, H. M. Gregersen and J. L. Thames 1993. Hydrology and the management of watersheds flow. State University Press. 3<sup>rd</sup> edition. Ames, Iowa 50010 USA. 210 - 238 pp.
- Chow, V. T. 1992. Hand Bock of applied Technology. Ed. Mc Graw Hill Book company 1964.
- Enciso, M. J. 1987. Influencia de la pendiente sobre los escurrimientos superficiales. Tesis, Universidad Autónoma Agraria • Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Francois, M; Cadier, E. 1992. Manual de pequeños bordos. Orston-Sudene, Brasil.
- García, C. M. 1989. Calibración de un modelo para estimar escurrimientos superficiales en las zonas áridas del norte de México, Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Gavande, S. A. 1982. Física de Suelos. Principios y aplicaciones. Editorial Limusa. México. 350 - 352 pp.
- Kazmann, G. R. 1975. Hidrología moderna, de. CECSA, México. 420 pp.
- Kreyszig, E. 1973. Introducción a la estadística matemática. Principios y métodos. Editorial Limusa - wiley, S. A. México. 282 - 284 pp.
- Linsley, K. R. 1980. Hidrología para ingenieros. Ed. Mc Graw Hill, segunda edición España. 349 - 351 pp.
- Llamas, M. R., Custodio, E. 1983. Hidrología subterránea Tomo I. Ediciones Omega, segunda edición, Barcelona, España.



- Marsal, R. J. Resendiz N. D. 1983. Presas de tierra y enrocamiento. Editorial limusa. Balderas 95, 1er piso 0.6040 México 1, D. F. 83 - 85 pp.
- Medellín, L. F. 1978. La desertificación en México. Ediciones del instituto de investigaciones de zonas áridas. Universidad autónoma de San Luis Potosí, S. L. P. México. 33 - 36 pp.
- Muñoz, C. S. Apuntes de hidrología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Narro, F, E. A. 1987. Física de suelos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Slayer, R. O., and J. A. Mabbut. 1964. Hidrology or arid sem-arid regions. Hand book appl. Hidro. Mc. Graw - Hill New York. 24 pp.
- U. S. National Academy of Sciences. 1974. More water for arid land promising technologies and research opportunities. National Academy of Sciences, Washington, D. C. 154 pp.
- Velasco, M. H. A. 1991. Las zonas áridas y semiáridas. Sus características y manejo. Editorial Limusa, México. 724 - 726 pp.
- Velasco, M. H. A. 1982. Cosecha de agua en el altiplano semidesertico de México. I.T.E.S.M. - U.A.N.L., México. 346 - 347 pp.
- Velasco, S. O. 1975. Presas de derivación. Secretaria de recursos hidráulicos. Subsecretaria de construcción. México, D. F. 84 - 86 pp

#### **Consultas en internet**

XII Congreso internacional de plásticos en la agricultura 1996.

Dirección electrónica: <http://www.ediho.es/horticom/tem-aut/plas-inv/congres2.html>

J. L. Rodríguez N. 1996. The Soil and Water Conservation Society Programa de Conservación de Aguas y Suelo Agosto-1996.

Dirección electrónica: <http://www.cicese.mx/~navarro/swcs.html>