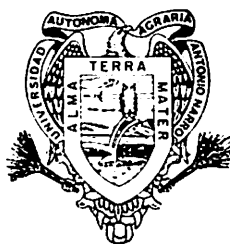


Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"

División de Ingeniería

Departamento de Riego y Drenaje



Coeficiente y Eficiencia de Cosecha de Agua de Lluvia en
Microcuencas Tratadas con Inductores de Escurrimiento

Por:

Cuauhtemoc Alexander Anderson Zamora

Tesis

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo
en la Especialidad de Irrigación

Buenavista Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 1987

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

COEFICIENTE Y EFICIENCIA DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA EN MICROCUEVAS TRATADAS CON INDUCTORES DE ESCURRIMIENTO

POR

CUAUHTEMOC ALEXANDER ANDERSON ZAMORA

T E S I S

QUE SOMETE A LA CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO EN LA ESPECIALIDAD DE IRRIGACION

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



APROBADA:

EL PRESIDENTE DEL JURADO

ING. MC. GREGORIO BRIONES SANCHEZ

BIBLIOTECA

VOCAL

VOCAL

ING. MC. IGNACIO G. GARCIA CASILLAS

ING. MC. ARTURO CARRANZA DE LA PEÑA

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

COORDINADOR DE LA DIVISION DE INGENIERIA

ING. MC. FELIPE ABENCERRAJE RODRIGUEZ



Coordinación de
Ingeniería

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA; MAYO 1987.

Honra a tu padre y a tu madre,
para que tus días se alarguen
en la tierra que Jehová tu
Dios te dá.

Ex. 20.12

Antiguo Testamento

DEDICATORIA

A Dios

A mis padres, con cariño y admiración

Roberto A. Anderson lozano

Amelia Zamora de A. Anderson

porque no existe manera alguna que no me parezca -
pequeña para expresar el gran cariño que siento -
por ellos. Porque han entregado la vida a sus -
hijos.

A la UAA"AN"

A mis hermanos, con respeto y cariño

Roberto, Manuel, Juan Francisco y Rosario

a quienes deseo lo mejor del mundo.

A mi cuñada y a mi sobrina

Aida Landeros y Aidita

A mis amigos y compañeros.

DEDICATORIA

A la mujer

a la que es mi perfecta armonía en cuerpo y alma.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. M.C. Gregorio Briones Sánchez

Al Ing. M.C. Ignacio García Casillas

Al Ing. M.C. Arturo Carranza de la Peña

Al Ing. Benito Canales

A todas las personas que de alguna manera colaboraron para la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	Pagina
INDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
CAPITULO I	
Introducción	1
Objetivos	2
Hipótesis	3
CAPITULO II	
REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Generalidades	4
2.1.1 Cosecha de agua	4
2.1.2 Antecedentes históricos	4
2.1.3 Uso de las microcuencas	5
2.2 Métodos para inducir el escurrimiento super - ficial	6
2.2.1 Eliminación de la vegetación y empareja- do de las microcuencas	7
2.2.2 Sales dispersantes	7
2.2.3 Materiales de cobertura	9

	Página
2.2.4 Materiales hidrofóbicos	10
 CAPITULO III	
MATERIALES Y METODOS	12
3.1 Localización del área	12
3.2 Localización del área	12
3.2 Descripción del sitio	12
3.2.1 Clima del área	12
3.2.2 Características físico-químicas del suelo	- - 13
3.3 Construcción de las microcuencas	17
3.3.1 Tratamiento de las microcuencas	17
3.4 Mantenimiento de las microcuencas	21
3.5 Metodología y datos tomados	22
3.6 Procesamiento de datos	22
3.7 Análisis estadístico	23
3.8 Calidad del agua de escurrimiento	25
 CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSION	27
4.1 Eventos lluviosos durante el periodo de obser vación	27
4.2 Coeficientes y eficiencias de escurrimiento .	27
4.3 Funciones de predicción para el escurrimiento	29
4.4 Comparación de los materiales	34
4.5 Infiltración en suelo con carbonato de sodio, compactado y testigo	38

	Página
4.6 Calidad del agua de escurrimiento	40
4.7 Influencia de la pendiente sobre la eficiencia en la cosecha de agua	43
 CAPITULO V	
CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	45
5.1 Conclusiones	45
5.2 Sugerencias	46
 CAPITULO VI	
LITERATURA CITADA	48

INDICE DE TABLAS

Tabla		Página
3.1	Características físico-químicas del sitio a tres profundidades	16
3.2	Tratamientos de impermeabilización probados .	18
4.1	Coeficientes y eficiencias de escurrimiento para los diferentes tratamientos	29
4.2	Ecuaciones de regresión lineal entre volumen precipitado (VP) y volumen escurrido (Ve) para los cuatro tratamientos, en un área de captación de 3.0 × 3.5 m (10.5 m ²)	31
4.3	Ecuaciones para estimar el escurrimiento extrapolando a diferentes tamaños de micro-cuencas	34
4.4	Significancia estadística de los escurrimientos inducidos por los materiales por evento lluvioso	35
4.5	Comparación de las eficiencias en la cosecha de agua inducidas por los tratamientos por evento lluvioso en base a la prueba t student al 0.05. A: polietileno mas grava, B: carbonato de sodio, C: suelo compactado y D: suelo testigo	36

Tabla

Página

4.6	Calidad del agua de escurrimiento	42
4.7	Ecuaciones de regresión lineal entre la efi - ciencia en la cosecha de agua y la pendiente para los cuatro tratamientos	44

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
3.1	Distribución de la precipitación a lo largo del año para 20 años de observación	14
3.2	Climograma Gausсен para Buenavista, Saltillo, Coah.	15
3.3	Croquis del sitio experimental mostrando la distribución de los tratamientos	19
3.4	Disposición del área de escurrimiento y el depósito de escurrimiento de una microcuenca "X"	20
4.1	Precipitaciones ocurridas durante el periodo de observación	28
4.2	Lluvia umbral para los diferentes tratamientos de impermeabilización del suelo en la zona de escurrimiento	30
4.3	Gráfica de volumen precipitado contra volumen escurrido	33
4.4	Curvas de velocidad de infiltración para suelo con carbonato de sodio, compactado y testigo	39
4.5	Relación entre la infiltración del suelo y coeficiente de escurrimiento	41

RESUMEN

Cuatro diferentes tratamientos inductores de escurrimiento fueron aplicados a las áreas de captación de unas microcuencas ubicadas dentro del campo experimental "El Bajío" en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

Los diferentes tratamientos consistieron en:

- 1.- Recubrimiento de la superficie del suelo previamente limpiado y emparejado con una película de polietileno pigmento negro de 400 micras de espesor con una cubierta protectora (contra los rayos ultravioleta del sol) de grava de 19-25 mm de diámetro promedio y de aproximadamente 40-50 mm de espesor.
- 2.- Incorporación de 404 gr/m² de carbonato de sodio (ligero) Na₂CO₃ a los primeros 10 cm de suelo, emparejar, humedecer y compactar el suelo.
- 3.- Trabajos de emparejar compactar el suelo y
- 4.- Suelo desnudo sin tratamiento como testigo.

El objetivo de este trabajo fué el determinar los coeficientes de escurrimiento y la eficiencia en la cosecha de agua de lluvia de los diferentes tratamientos aplicados al área de captación de las microcuencas.

Los resultados obtenidos mostraron como el mejor inductor de escurrimientos al tratamiento de polietileno mas grava, seguido por los tratamienos de carbonato de sodio, compactado y testigo.

El tratamiento de polietileno mas grava mostró un coeficiente de escurrimiento del 84.4% y una eficiencia en la cosecha de agua del 63.14%, mientras que los tratamientos de carbonato de sodio, compactado y testigo arrojaron valores del 81.55%, 73.51% y 69.77% para el coeficiente de escurrimiento, respectivamente, y del 58.58%, 48.9% y 44.34% para el término eficiencia en la cosecha de agua respectivamente.

Los valores arriba mencionados, son sólo válidos para microcuencas con pendiente de 1 al 4% y precipitaciones pluviales obtenidas en la evaluación de 13 eventos lluviosos con un rango de 0.5 a 12.9 mm de precipitación.

La lluvia umbral requerida como promedio para iniciar un escurrimiento fué también evaluada, permitiendo establecer valores de 1.51, 1.96, 2.32 y 2.58 mm, respectivamente, para los tratamientos de polietileno mas grava, carbonato de sodio, compactado y testigo.

Lo anterior permitió establecer ecuaciones de predicción para estimar volúmenes de escurrimiento en áreas de escurrimiento de 3.5 x 3.0 m o similares, bajo diferentes valores esperados de precipitación pluvial.

CAPITULO I

INTRODUCCION

La principal característica de las zonas áridas y semi-áridas es la baja precipitación, su variabilidad y estacionalidad a lo largo del año. Siendo la principal limitante en la agricultura de temporal de estas zonas, puesto que la lluvia es incapaz de satisfacer los requerimientos mínimos del cultivo, llegando consecuentemente la productividad a niveles de subsistencia.

Las zonas áridas y semiáridas ocupan un nivel importante en el mundo ya que continentes como el Australiano y Africano ocupan el 69 y 50.9% del territorio respectivamente, en Eurasia el 28.7% y en América el 15%. En México estas cifras son poco alentadoras, ya que el 77% del territorio nacional entra dentro de esta clasificación, la mayor parte en el Norte de México (SARH, DGEA, 1980).

Dentro de las estrategias y programas encaminados a fomentar la productividad agrícola, forestal y pecuaria de estas zonas se pueden nombrar los sistemas de cosecha de agua y métodos de conservación de agua y suelo (como los desarrollados por CONAZA), dentro de las cuales juegan un

papel importante todos los materiales impermeabilizantes e hidrofobizantes que ayudan a captar más agua de lluvia.

Entre los materiales más importantes se encuentra el polietileno negro, sales dispersantes, las capas de arcilla bentonítica, los materiales hidrofóbicos y el asfalto, cuya selección dependerá del costo, de su durabilidad y el escurrimiento esperado.

El uso de microcuencas para el establecimiento de árboles frutales emplean materiales impermeabilizantes para elevar el coeficiente de escurrimiento respecto a un suelo normal, mejorando así la eficiencia en la cosecha de agua.

Los coeficientes de escurrimiento para el material o los materiales empleados deben conocerse a fin de diseñar adecuadamente el tamaño de la microcuenca o área de captación, para que la misma sea capaz de cosechar un volumen de agua que aporte cuando menos una parte de las necesidades hídricas del cultivo, en sus diferentes fases fenológicas.

Por lo anterior se planteó el presente estudio bajo los siguientes objetivos e hipótesis:

OBJETIVOS

Determinar el coeficiente de escurrimiento en microcuencas tratadas con carbonato de sodio, polietileno negro mas grava, suelo desnudo y compactado y suelo en condiciones

normales.

Obtener un modelo matemático para estimar el escurri- -
miento en base a la cantidad de lluvia y a la condición - -
estructural del suelo.

HIPOTESIS

Ho: El escurrimiento superficial varía linealmente con
la lluvia registrada, donde la pendiente de la - -
relación escurrimiento-precipitación es afectada - -
por el desnivel del terreno, permeabilidad del - -
suelo y humedad antecedente en el perfil del - -
suelo.

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1 Generalidades

2.1.1 Cosecha de Agua

Se define como una técnica que permite captar agua de lluvia de una zona llamada área de escurrimiento y es conducida hacia una zona de almacenamiento para ser utilizada posteriormente por los cultivos o almacenada en una cisterna para el uso pecuario y doméstico rural. Ambas zonas deben ser acondicionadas para que cumplan eficientemente con sus objetivos SARH Y CPCHM, (DGCSA, 1982).

2.1.2 Antecedentes Históricos

Este tipo de agricultura no es nueva, ya que existen vestigios en el medio oriente, que funcionaron en el periodo israelita (950 a.c. a 700 a.c.) y el periodo romano-bizantino (300 a.c. a 630 d.c.). Esta estaba basada en la cosecha de agua de pequeñas cuencas mejoradas. Estos sistemas incluían campos cultivados (de una a tres Ha), en valles angostos y pequeñas cuencas (40 a 60 Ha). El escurrimiento

era colectado por un sistema de bordos y conducido hacia el valle donde era subdividido artificialmente dentro de pequeñas subunidades (Evenari et al., 1968).

En los años treinta algunos investigadores estudiaron la interrelación de las características del suelo y prácticas de cultivo que afectan las tasas de infiltración y escurrimiento superficial (Horton, 1939 y U.S. Dept. Agr., 1940). Generalmente, los intentos de estas investigaciones fueron encaminadas a entender los procesos de infiltración y los métodos de cultivo fueron adaptados para prevenir la erosión y conservación del agua (Tadmor y Shanan, 1969).

Hasta la fecha son muchos los estudios dirigidos al aprovechamiento máximo de los recursos hidráulicos en las regiones áridas y semiáridas.

2.1.3 Uso de las Microcuencas

El uso de un sistema de microcuencas tiene justificación porque en una región de poca precipitación las plantas pueden crecer satisfactoriamente si una cuenca colectora de agua de precipitación es construida a su alrededor, induciendo el escurrimiento desde una área más grande hacia el área de las plantas (Serna, 1984).

Dentro de un sistema de microcuencas se pueden enumerar las siguientes ventajas:

- a) Mayor eficiencia en el uso del agua con ---

respecto a los proyecto a gran escala, puesto que las pérdidas por conducción son minimizadas.

- b) Lluvias más ligeras producen escurrimiento.
- c) Menor inversión en un sistema de microcuencas que en la agricultura a gran escala (Serna, -- 1984).
- d) Producción en tn/Ha igual ó mayor en menor -- superficie sembrada, lo que ocasiona menos -- inversión.
- e) Posible utilización de técnicas mejoradas de cultivo, y mejores insumos (semillas, fertilización, control de plagas y enfermedades, -- etc.) (Mathieu, 1975).
- f) Aprovechamiento de una mayor gama de suelos, en cuanto a su topografía, pudiéndose aprovechar suelos con pendiente o sin ella (Mathieu, 1975 y Serna, 1984).

2.2 Métodos para Inducir el Escurrimiento Superficial

Existen una serie de metodologías para inducir el escurrimiento superficial, las cuales pueden agruparse de la siguiente manera:

2.2.1 Eliminación de la Vegetación y Emparejado - de las Microcuencas

Esta es una de las prácticas más comunes en el uso de -
las microcuencas, ya que es el método menos costoso y ha - -
dado buenos resultados, en algunos casos el suelo es compac-
tado en el área de escurrimiento, mejorando su eficiencia -
(Carrete, 1984).

Al eliminar la vegetación aplicando hervicidas y pen- -
diente del 7%, se ha incrementado la eficiencia del escurri-
miento desde un 7% a un 27% en promedio durante cuatro años
(Tadmor y Shanan, 1969).

La cobertura vegetal no permite que el golpeteo de las
gotas de lluvia actúen directamente sobre la superficie del
suelo alterando su estructura superficial (Enciso, 1984). -
Además la cobertura vegetal intercepta una porción de la - -
lluvia, disminuyendo el coeficiente de escurrimiento.

2.2.2 Sales Dispersantes

El uso de sales de sodio, ha dado buenos resultados - -
para incrementar el escurrimiento, esto se debe a que el - -
sodio, dispersa los agregados del suelo causando que las - -
arcillas se hinchen disminuyendo así el paso del agua por -
los poros del suelo (Reginato et al., 1973).

La sal que ha demostrado mayor efectividad es el ---

carbonato de sodio (Na_2CO_3) por el alto coeficiente inicial y el subsecuente mantenimiento de altos escurrimientos (Carrete, 1984).

El carbonato de sodio en estanques ganaderos construidos al Este de Montana incorporado en los primeros quince centímetros de suelo, ha reducido eficientemente la percolación en los primeros dos a tres años, decreciendo del 60 al 80% comparada comparada con la percolación de estanques sin tratamiento (Neff, 1980).

El carbonato de sodio en comparación con otros materiales ha reportado una eficiencia del 76.0% como productor de escurrimiento en base al total de la lluvia y ha resultado económico (Murthy et al., 1978).

Además el uso de este dispersante combinado con la compactación del suelo aumenta el coeficiente de escurrimiento (Serna, 1984).

A mayor dosis de carbonato de sodio aplicado (0-800 gr/m^2) se eleva el coeficiente de escurrimiento pero disminuye la calidad del agua (Aguilar, 1976).

Segun Reginato et al. (1973) la cantidad óptima a aplicar de carbonato de sodio está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Kg de Na}_2\text{CO}_3 = .007696 \text{ D A (0.15 CIC - SI)}$$

donde:

D: Profundidad del suelo a tratar (cm)

A: Area a tratar (m^2)

CIC: Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 gr de suelo)

SI: Sodio intercambiable (meq/100 gr de suelo)

La experiencia indica que este tratamiento sólo puede ser susceptible de usarse bajo los siguientes criterios:

- La profundidad del suelo debe ser como mínimo de 30 cm sobre arena o roca porosa.
- El contenido de arcilla debe ser como mínimo de 15%.
- La capacidad de intercambio catiónico debe exceder los 15 meq/100 gr de suelo.

2.2.3 Materiales de Cobertura

Los materiales de cobertura han demostrado ser los mejores para eficientar el escurrimiento. Dentro de los materiales más usados está el polietileno, asfalto, capas de arcilla bentonítica, cementaciones, cubiertas de lámina, fibra de vidrio asfáltica, resina de fibra de vidrio y pl^{as}tas de lodo.

El uso de arcilla bentonítica y capas de cieno han demostrado ser eficientes para la captación de agua de microcuencas (60-80%) aumentando la disponibilidad de agua

para los cultivos en la zona de cosecha (50-80%), resultan-
do una mayor producción (Jain y Singh, 1980 y Murthy - -
et al., 1978).

Los emplastes de lodo se consideran agentes eficientes
en la producción de escurrimiento en el orden de 63-85% -
(Murthy et al., 1978).

El polietileno ha demostrado ser uno de los mejores -
materiales de cobertura para inducir el escurrimiento, don-
de produce un 80-95% de escurrimiento del total de la - -
lluvia.

El polietileno mas grava, ha reportado una eficiencia
del 97% de la lluvia en escurrimiento después del umbral, -
pero el valor umbral se ha incrementado a mas de 4.4 mm, lo
que ocasionó que el escurrimiento decreciera hasta un 57%,
debido a que bajo la grava numerosas perforaciones se han -
encontrado probablemente causadas durante su instalación -
(Frasier et al., 1979).

También se ha probado asfalto, láminas de aluminio y -
capas de concreto, encontrando coeficientes del 100, 82 y -
75% respectivamente después del umbral.

2.2.4 Materiales Hidrofóbicos

El uso de materiales hidrofóbicos como ceras, silicón,
recinas de petróleo, etc. han sido utilizados por diferen -
tes investigadores para aumentar la eficiencia en el ---

escurrimiento (Fink et al., 1973; Fink, 1976; Frasier, 1975 y Frasier et al., 1979).

El uso de estos materiales ocasiona una repelencia del agua en la superficie del suelo, reduciendo o eliminando la infiltración (Frasier, 1975 citado por Serna, 1984).

El uso de cera de parafina se aplica como gránulos u hojuelas sobre la superficie del suelo para ser derretido por las temperaturas altas del desierto, formando así una superficie hidrofóbica (Fink et al. citado por Serna, 1984) proporcionando un 80% en eficiencia de escurrimiento con una lluvia umbral baja. Aunque con temperaturas bajas se obtienen eficiencias bajas al cristalizarse la cera y quebrarse, lo cual reduce su repelencia al agua (Frasier et al., 1979), susceptible de ser mejorado con el uso de aceite supresor de polvo, ayudando a estabilizar el suelo por el daño del ciclo congelamiento-deshielo donde la cera lo protege de la degradación por los rayos ultravioleta (Fink, 1976).

Una de las formas para decidir el método a utilizar para inducir el escurrimiento es por la intensidad de las lluvias; en lugares de baja intensidad, es necesario utilizar materiales impermeabilizantes; y en lugares de alta intensidad es factible, utilizar una simple afinación o compactación. Aunque lo que al final marca la pauta a seguir son las posibilidades económicas con las que se cuenta (CNIZA., 1974).

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del Area

El sitio experimental se encuentra localizado en terrenos de la UAA"AN" al Oeste del campo experimental "El Bajío" en Buenavista, Saltillo, Coah., en la intersección de las coordenadas geográficas, 25° 22' latitud Norte y 100° 00' longitud Oeste a una altitud de 1793 msnm.

3.2 Descripción del Sitio

3.2.1 Clima del Area

Según la nomenclatura Kopen, modificado por García (1975) publicado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, el clima de Buenavista está clasificado como BW, hw seco o árido, templado con lluvias en verano y escasa el resto del año.

La precipitación promedio anual es de 298.5 mm/año, la evaporación varía entre los 2200 a 2500 mm/año, típica condición en una zona semidesértica.

La distribución de la precipitación se muestra en la -
Figura 3.1, la cual indica que los meses más lluviosos son
de Junio a Septiembre con 194 mm, cuando se registra apro-
ximadamente el 65% del total de la lluvia, tal Figura fue -
construida con una serie de datos de 20 años (Agrometeorolo-
gía, UAA"AN", 1983).

Las temperaturas medias están en el orden de 14°C para
el mes más frío (Enero) y 24.3°C para el mes más caliente -
(Junio) teniendo temperaturas mínimas promedio de 6.9°C - -
para el mes de Enero y máxima de 26.9°C para el mes de - -
Junio, para un período de observación de 20 años.

El climograma Gausson (Figura 3.2.) representa el régi-
men térmico y pluviométrico del clima; es decir, la evolu-
ción de las temperaturas y precipitación a lo largo del - -
ciclo, el cual clasifica a la zona como seca la mayor parte
del año, y húmeda en los meses de Julio, Agosto y mitad de
Septiembre lo que nos da una idea del temporal deficiente -
que existe en la zona (Agrometeorología, UAA"AN", 1983).

3.2.2 Características Físico-Químicas del Suelo

El suelo de acuerdo a los resultados de la Tabla 3.1.
se caracteriza por ser un suelo con profundidad menor de un
metro en la parte Oeste que descansa sobre roca fracturada
y mayor de un metro en la parte Este del sitio.

La reacción del suelo es moderadamente alcalina, sin -

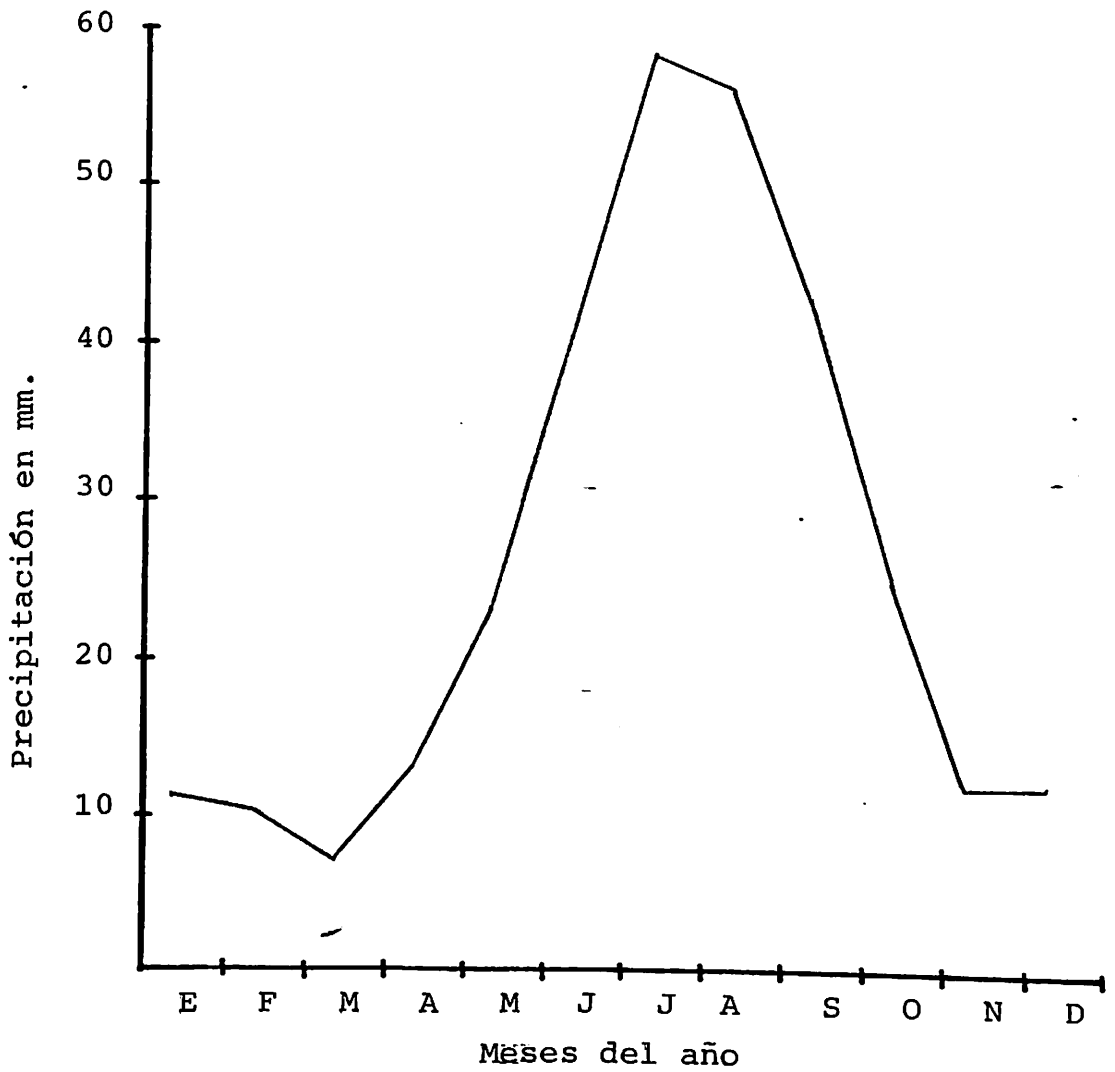


Fig. 3.1. Distribución de la precipitación a lo largo del año, para 20 años de observación.

/// meses secos

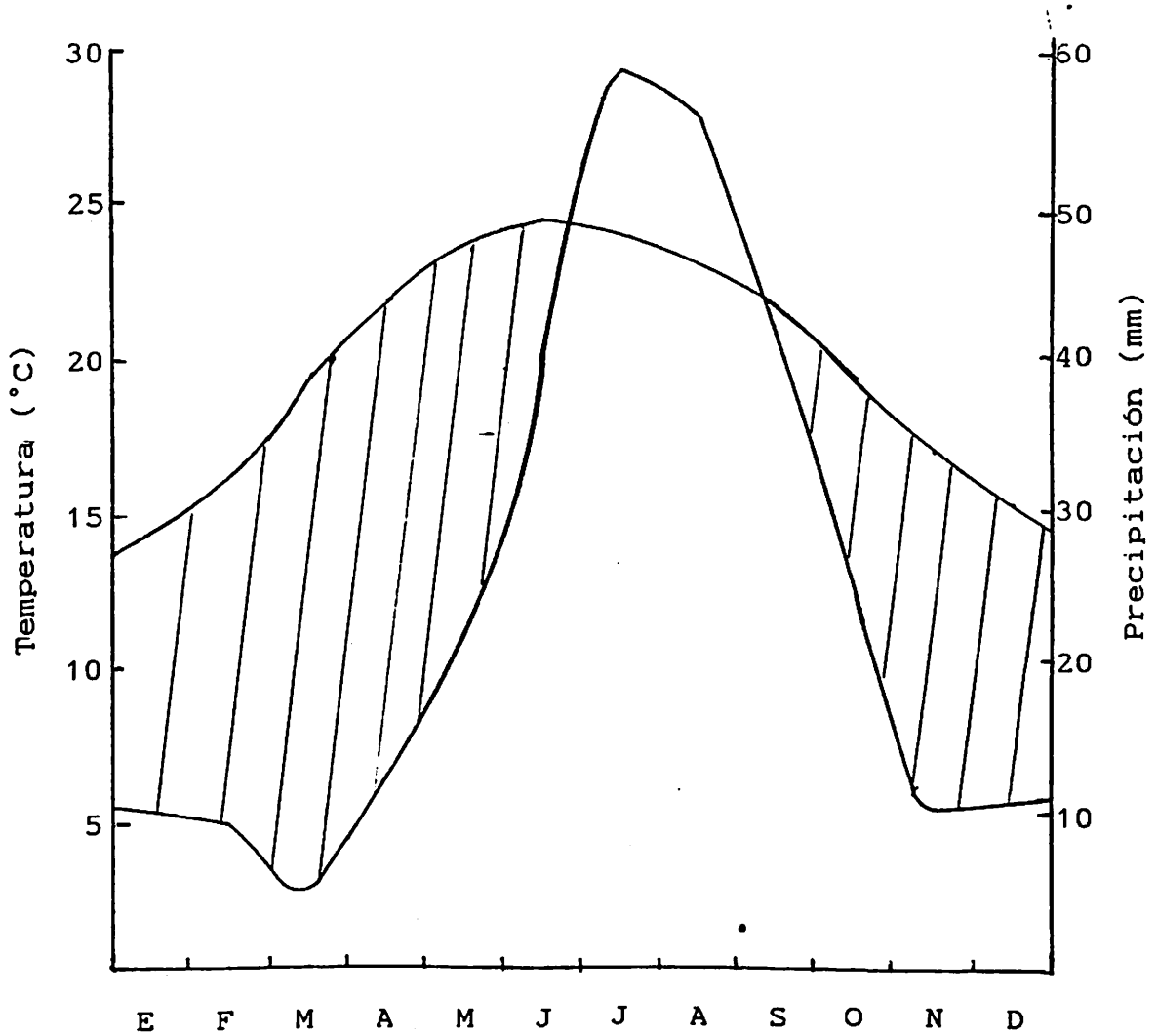


FIGURA 3.2 Climograma Gauss para Buenavista, Saltillo, Coah.

problemas de salinidad, medianamente pobre en nitrógeno, -
 fósforo y materia orgánica, textura migajón limosa en el -
 primer y tercer estrato y migajón en el segundo con una - -
 humedad aprovechable de 165 mm/m.

TABLA 3.1 Características físico-químicas del sitio a - -
 tres profundidades.

Descripción	0-30	30-60	60-90
pH	8.12		
CE $\times 10^3$	1.16		
% de nitrógeno total	0.29	0.11	0.10
% de materia orgánica	1.80	1.20	1.70
Fósforo aprovechable kg/Ha	86.40	81.45	74.70
Potacio intercambiable kg/Ha	240.75	278.25	281.25
Relación de adsorción de sodio	2.34		
Textura	migajón limoso	migajón	migajón limoso
Arcilla %	25.30	18.30	13.30
Limo %	53.40	43.90	55.00
Arena %	20.80	37.80	30.80
Densidad aparente gr/cm	1.49	1.48	1.41
Infiltración básica mm/hr	1.55		
Humedad aprovechable mm	44.70	50.60	52.90
Capacidad de campo %	17.90	20.90	23.60
PMP %	7.90	9.50	11.10

3.3 Construcción de las Microcuencas

El sistema de microcuencas fue establecido aprovechando la infraestructura utilizada en 1983 por Serna (1984), que consiste en 16 depósitos con dimensiones de 40 x 60 x 90 centímetros usados como depósitos de escurrimiento.

Las microcuencas fueron construidas de un área de 10.5 m² (3.5 x 3.0 m²) que fué estimada para una lluvia máxima de 27 mm en un período de retorno de cinco años (Serna, 1984) y un coeficiente de escurrimiento de 80% para el polietileno. La construcción se llevó a cabo levantando los bordos en forma manual para delimitar las microcuencas.

En el sitio experimental se instaló un pluviómetro para medir la cantidad de lluvia. También se instaló un sistema de drenaje para los depósitos como se muestra en la Figura 3.3.

La pendiente promedio de las microcuencas establecidas fue del orden de 2.44% con una desviación estandar de 0.895, cuya variación experimental se controló con un diseño bloques al azar usado en el estudio.

3.3.1 Tratamiento de las Microcuencas

Como se mencionó anteriormente el experimento tuvo un arreglo en bloques al azar con cuatro repeticiones donde se probaron cuatro tratamientos distribuidos en campo como

como se muestra en la Figura 3.3.

Los tratamientos A, B, C y D estuvieron representados por los materiales mostrados en la Tabla 3.2.

TABLA 3.2 Tratamientos de impermeabilización probados

Nomenclatura	Material
A	Polielileno negro mas grava
B	Carbonato de sodio (dosis de 404 gr/m ²)
C	Suelo desnudo, emparejado y compactado
D	Suelo testigo

Nota: La dosis de carbonato de sodio fué tomada de Serna (1984)

En las microcuencia del tratamiento "A" el suelo fué -
limpiado y emparejado dejando lo mas plano posible para evi-
tar obstrucciones al paso del agua. Cubriendo con una peli-
cula de polielileno negro de 400 micras, aplicando una capa
grava de tres cm para que el polielileno no sufra alteracio-
nes en su estructura al estar expuesto a la acción directa
de los rayos del sol, extendiéndose el polielileno hasta la
parte media del bordo.

El suelo del tratamiento "B" fué limpiado de malezas y
removido en sus primeros 5-10 cm usando talache y después -
de mullido el suelo se aplicó el carbonato de sodio, incor-
porándolo con azadón, luego se procedió a humedecer el ---

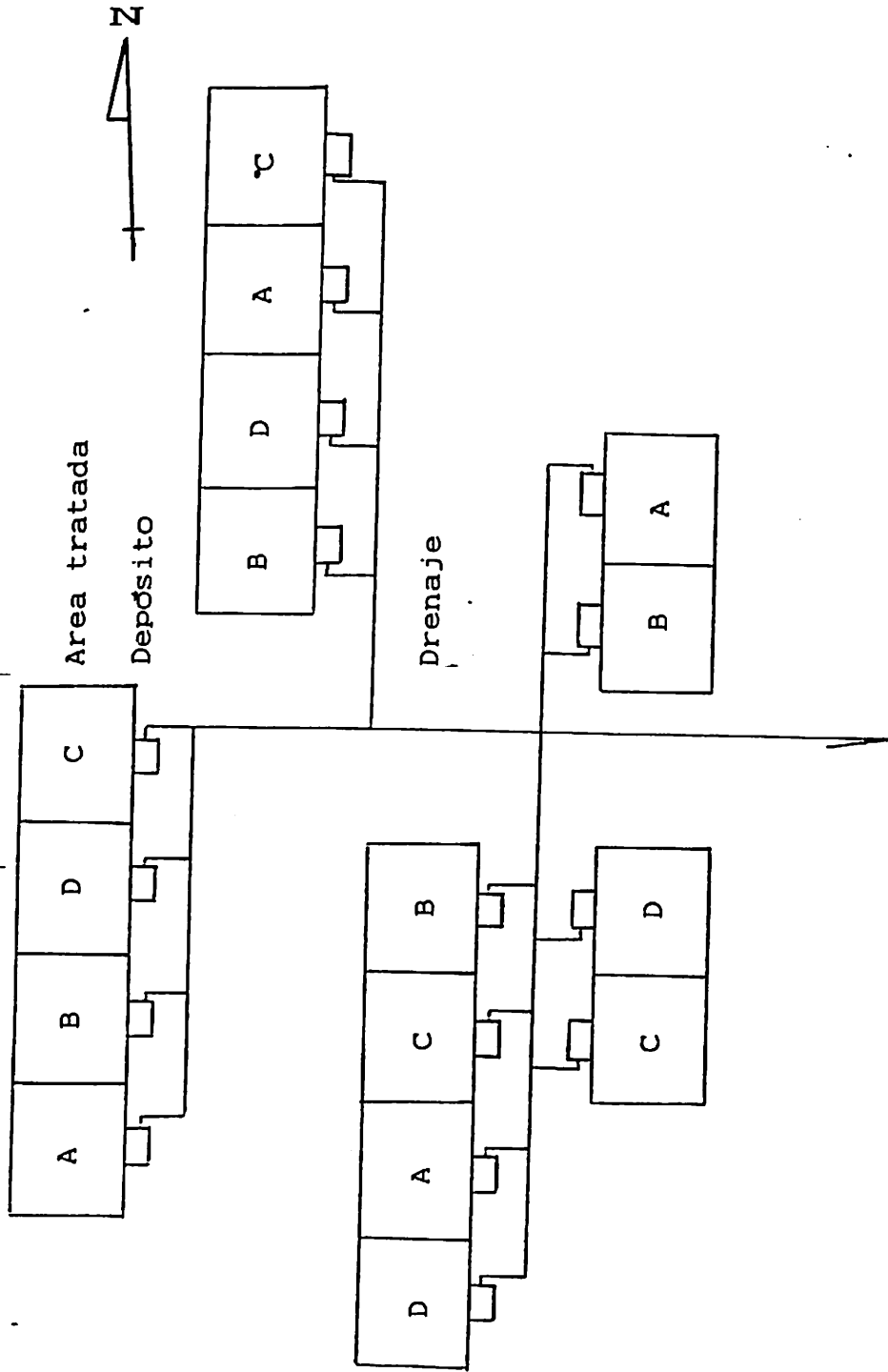


FIGURA 3.3 Croquis del sitio experimental mostrando la distribución de los tratamientos

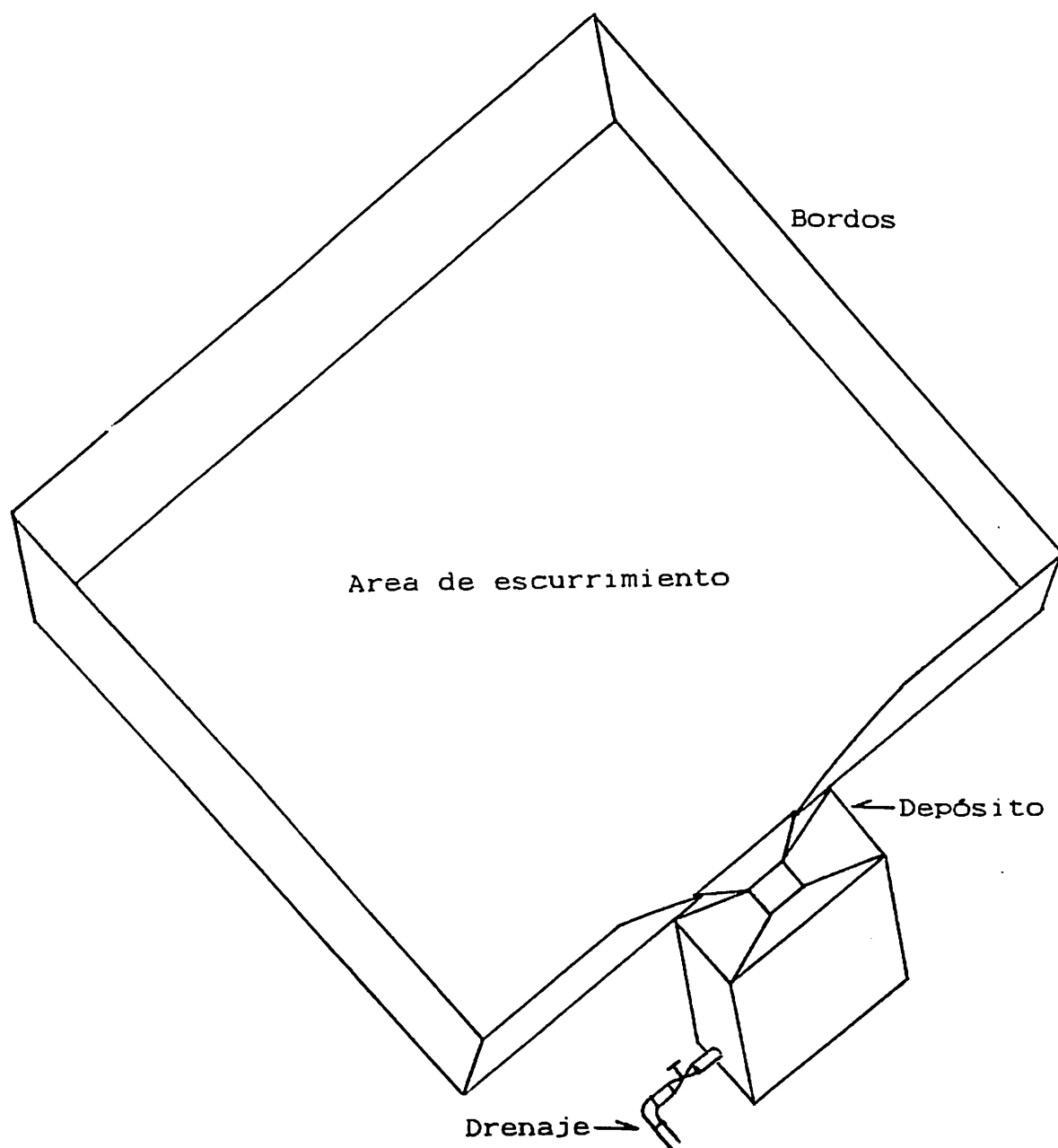


Figura 3.4 Disposición del área de escurrimiento y el depósito de escurrimiento de una microcuenca "X".

suelo para lograr mejor compactación al paso de un rodillo de 235 kg de peso con 30 cm de diámetro y 96 cm de largo, - el cual se pasó varias veces hasta quedar pulido a la - - vista, modificando la densidad aparente de la microcuenca - de 1.49 gr/cm^3 a 1.61 gr/cm^3 .

El suelo del tratamiento "C" fué limpiado y compactado de la misma manera que el tratamiento "B" para modificar la densidad aparente de 1.49 gr/cm^3 a 1.57 gr/cm^3 .

El suelo del tratamiento "D" no sufrió ninguna alteración por ser el testigo.

3.4 Mantenimiento de las Microcuencas

Las microcuencas tuvieron que ser reacondicionadas en varias ocasiones en que las lluvias fueron muy altas y los escurrimientos de arriba de la sierra rompían los bordos - alterando las mediciones en el escurrimiento. Tales datos se excluyeron de los análisis.

En las microcuencas tratadas con polietileno, se tuvieron problemas con malezas que perforaban el polietileno, - afectando la eficiencia en la cosecha de agua. También el tratamiento "C" se tuvo que dehiervar en dos ocasiones, - - siendo éstas innecesarias en el tratamiento "B" donde la - - aplicación de Na_2CO_3 provocó alteraciones físico-químicas - en el suelo evitando el crecimiento de malezas.

Los depósitos colectores de escurrimiento tuvieron que ser limpiados al inicio del experimento, por el azolve ocurrido en el lapso en que se dejaron de usar. Algunos tuvieron que ser limpiados en varias ocasiones por los problemas de ruptura de bordos, específicamente en las microcuencas correspondientes al tratamiento "B" bloque dos y tres, y tratamiento "C" bloque dos.

3.5 Metodología y Datos Tomados

Como se mencionó anteriormente se instaló un pluviómetro en el sitio experimental para medir las precipitaciones del lugar, esto para tener un registro de la precipitación del sitio.

El escurrimiento colectado fué medido para cada lluvia al día siguiente del evento (entre las 10:00 y 12:00 A.M.). Este fué determinado por diferencia de altura del agua en el depósito con respecto al día anterior (todos los días se registraba la altura del agua en el depósito).

3.6 Procesamiento de Datos

El volumen escurrido fué calculado multiplicando la profundidad del agua en el depósito por el área del espejo de la siguiente manera:

$$V_e = L_a \cdot w \cdot l / 1000$$

donde:

L_a : Lámina medida en el depósito en cm

w: Ancho en cm (40)

l: Largo en cm (90)

Ve: Volumen escurrido en litros

Posteriormente el volumen escurrido fué convertido a lámina escurrida con la siguiente expresión:

$$Le = Ve / A$$

donde:

Ve: Volumen escurrido en litros

A: Area de la microcuenca en m²

Le: Lámina escurrida en mm

Después la eficiencia en la cosecha se obtuvo simplemente dividiendo la lámina escurrida entre la precipitada.

$$Ec = Le / Pp$$

donde:

Le: Lámina escurrida en mm

Pp: Precipitación en mm

Ec: Eficiencia en la cosecha de agua

3.7 Análisis Estadístico

Los datos de escurrimiento se concentraron de acuerdo al diseño bloques al azar, y se aplicó el análisis de varianza respectivo para evaluar la posible diferencia estadística entre tratamientos y bloques. Posteriormente

se realizó una prueba de t student para establecer las diferencias entre medias de tratamientos consultando la metodología en el libro de De La Loma (1982).

Los datos de volumen precipitado se correlacionaron con el volumen escurrido mediante regresión lineal, efectuándose el análisis de varianza a la regresión para evaluar la significancia estadística y la confiabilidad de las eficiencias en la cosecha.

Se realizaron pruebas de permeabilidad en campo, en doce microcuencas (tratamientos B, C y D) por el método de cilindros infiltrómetros de carga constante, ajustando los datos a la ecuación de Kostiakov, para obtener las curvas de infiltración y observar las diferencias entre estos tratamientos.

Los análisis de varianza se llevaron a cabo por evento lluvioso para obtener la eficiencia de los tratamientos a través del tiempo y diferentes precipitaciones.

Cuando se obtuvo diferencia significativa entre bloques las eficiencias en la cosecha se ajustaron por regresión lineal en función de la pendiente observada en las microcuencas para cada uno de los tratamientos esto para tratar de explicar la variación en escurrimiento entre bloques.

3.8 Calidad del Agua de Escurrimiento

La calidad del agua de escurrimiento fué determinada - para los tratamientos de carbonato de sodio, suelo compacta do y suelo testigo para evaluar las diferencias entre estos tratamientos.

Los muestreos fueron realizados al inicio, a la mitad y al final del experimento para observar la calidad del - - agua através del tiempo.

El muestreo inicial fué realizado el 17 de Junio cuan- do se colectó una muestra de cada tratamiento, el segundo - muestreo fué el 7 de Agosto colectándose 11 muestras debido a que al tratamiento "B" en el bloque cuatro tenía la válvu la de drenaje abierta. En el tercero y cuarto muestreos se tomaron las 12 muestras, el 26 de Agosto y 2 de Septiembre respectivamente.

El calcio y el magnesio fueron determinados por el - - método de Vercenato a partir de los cuales en el segundo - muestreo se estimó la concentración de sodio, en los demas muestreos el sodio fué determinado en el espectrofotómetro de absorción atómica.

El sodio fué calculado mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Na}^+ = (\text{CE} \times 10^6 / 100) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$$

donde:

Ca^{++} y Mg^{++} : en meq/lt

La calidad del agua fué determinada en base a la conductividad eléctrica ($\text{CE} \times 10^6$) y a la relación de adsorción de sodio (RAS) según el diagrama para clasificación del agua de riego presentada en el libro elaborado por el personal del laboratorio de salinidad de los EUA (1982).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Eventos Lluviosos Durante el Período de Observación

Se registraron 20 lluvias durante el periodo de observación mismas que se muestran en la Figura 4.1., de las cuales 17 causaron escorrentía pero en sólo 10 de ellas fué posible medir el volumen de escurrimiento y en las demás no fué posible debido a fugas en los depósitos y desbordamiento por lluvias muy excesivas. Las lluvias que no causaron escurrimiento representan el 15% de los eventos registrados.

4.2 Coeficientes y Eficiencias de Escurrimiento

El polietileno demostró ser el mejor agente inductor de escurrimiento, seguido del carbonato de sodio, suelo compactado y testigo como se muestra en la Tabla 4.1., donde se presentan las eficiencias de cosecha de agua¹ para

¹ Es la relación entre el volumen precipitado total y el volumen escurrido total.

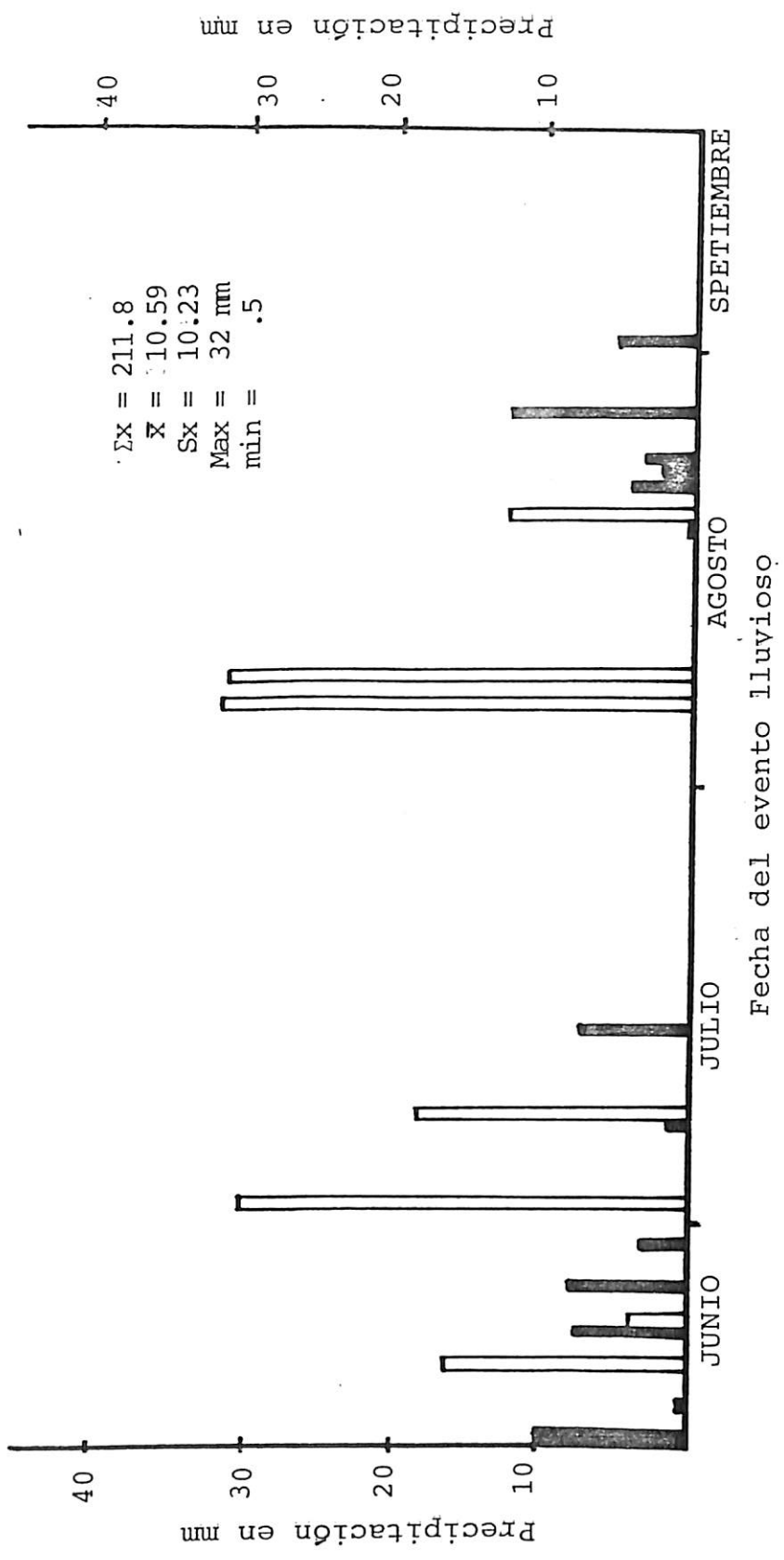


Figura 4.1. Precipitaciones ocurridas durante el periodo de observación.

Nota: Lluvias menores de 2 mm no causaron escurrimiento
 ▮ Lluvias sin dato de escurrimiento

dichos tratamientos con el valor más alto (63.14%) para el polietileno y el mínimo (44.34%) para el testigo. Es importante aclarar que tanto la eficiencia en la cosecha como el coeficiente de escurrimiento fueron calculados tomando en cuenta las lluvias que no causaron escurrimiento, esto con el propósito de estimar el umbral de precipitación para cada uno de los materiales.

TABLA 4.1 Coeficientes y eficiencias de escurrimiento para diferentes tratamientos

Tratamiento	coeficiente de escurrimiento %	Eficiencia en la cosecha de agua %
Polietileno mas grava	84.48	63.14 .
Carbonato de sodio	81.55	58.58
Suelo compactado	73.51	48.90
Suelo testigo	69.77	44.34

4.3 Funciones de Predicción para el escurrimiento

En la Tabla 4.2., se muestran las ecuaciones de regresión lineal para los cuatro tratamientos las cuales expresan el volumen escurrido en función del volumen precipitado; y se puede apreciar que el polietileno arrojó el valor más bajo de precipitación umbral seguido por el carbonato de sodio, suelo compactado y testigo, tendencia graficada en la Figura 4.2. En general el coeficiente de escurrimiento

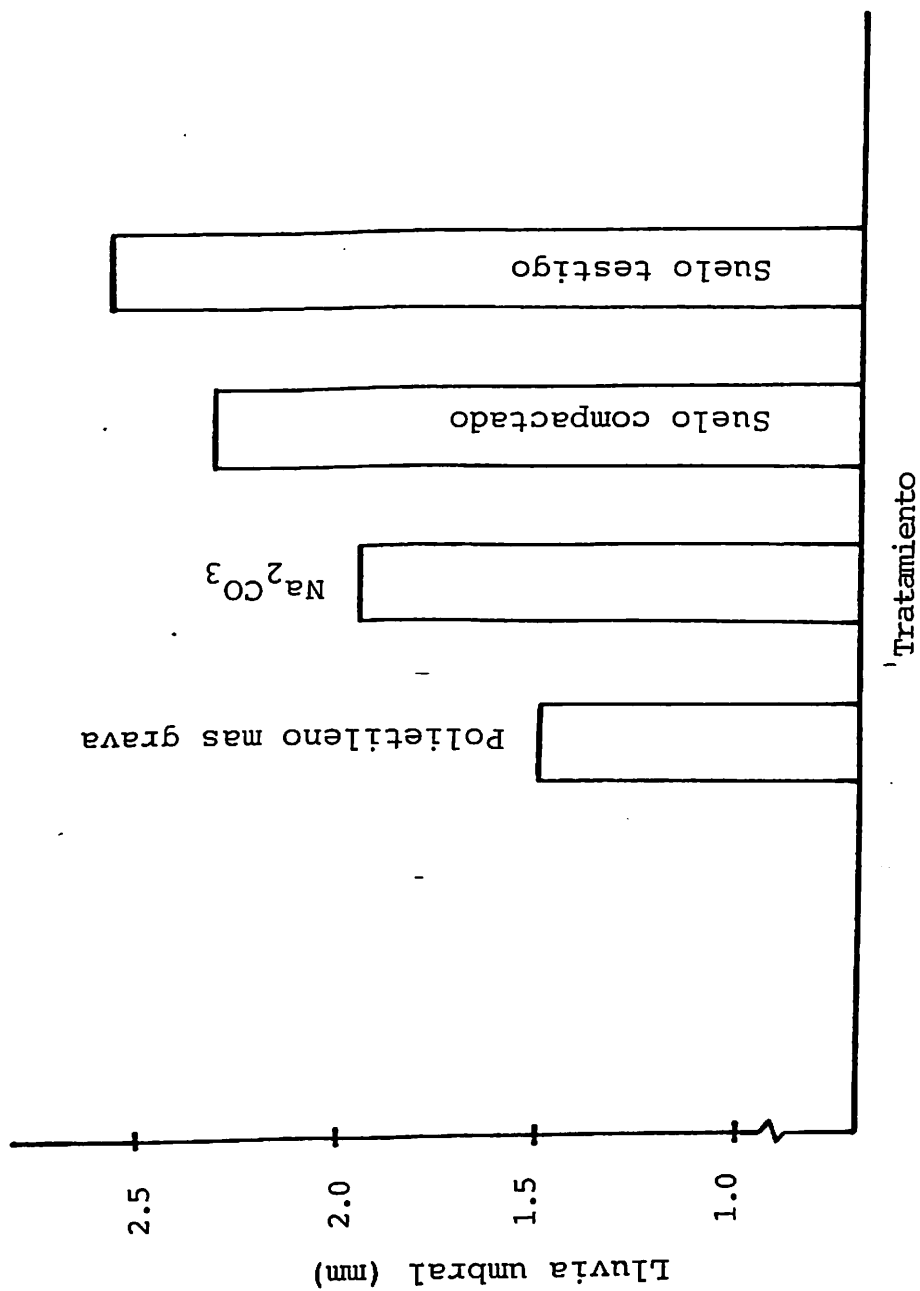


Figura 4.2. Lluvia umbral para los diferentes tratamientos de impermeabilización del suelo en la zona de escurrimiento.

Tabla 4.2. Ecuaciones de regresión lineal entre volumen precipitado (Vp) y volumen escurrido (Ve) para los cuatro tratamientos en áreas de captación de 3x3.5 m (10.5 m²).

TRATAMIENTO	ECUACION DE REGRESION.	COEFICIENTE DE CORRELACION	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO %	LLUVIA UMBRAL (mm)
Polietileno mas grava	Ve = .8448Vp-12.42	0.9418**	84.48	1.51
Carbonato de Sodio	Ve = .8155Vp-16.79	0.9745**	81.55	1.96
Suelo Compactado	Ve = .1351Vp-18.92	0.9304**	73.51	2.32
Suelo testigo	Ve = .6977Vp-18.92	0.9098**	69.77	2.58

** Significancia al .01

se incremento conforme la lluvia umbral disminuía lo cual repercutió en la eficiencia de la cosecha de agua reportada por los tratamientos. El coeficiente de correlación nos indica una relación alta entre el volumen precipitado y el volumen escurrido y el análisis de varianza para la regresión reportó alta significancia estadística para los coeficientes obtenidos.

De lo anterior se deduce que el polietileno empieza a producir escurrimientos cuando la lluvia es mayor de 1.51 mm mientras que el suelo testigo generará escurrimientos sólo hasta que la lluvia sea mayor de 2.58 mm, como lo muestran las tendencias observadas entre el volumen escurrido y precipitado mostrados en la Figura 4.3.

Un mayor volumen de agua cosechada permite disminuir las áreas destinadas a la zona de escurrimiento.

Para extrapolar las funciones obtenidas a otros tamaños de microcuencas se debe estimar el escurrimiento con las ecuaciones presentadas en la Tabla 4.3.; en donde V_e representa el volumen escurrido en litros, P_p precipitación esperada en mm y A área de la microcuenca en m^2 .

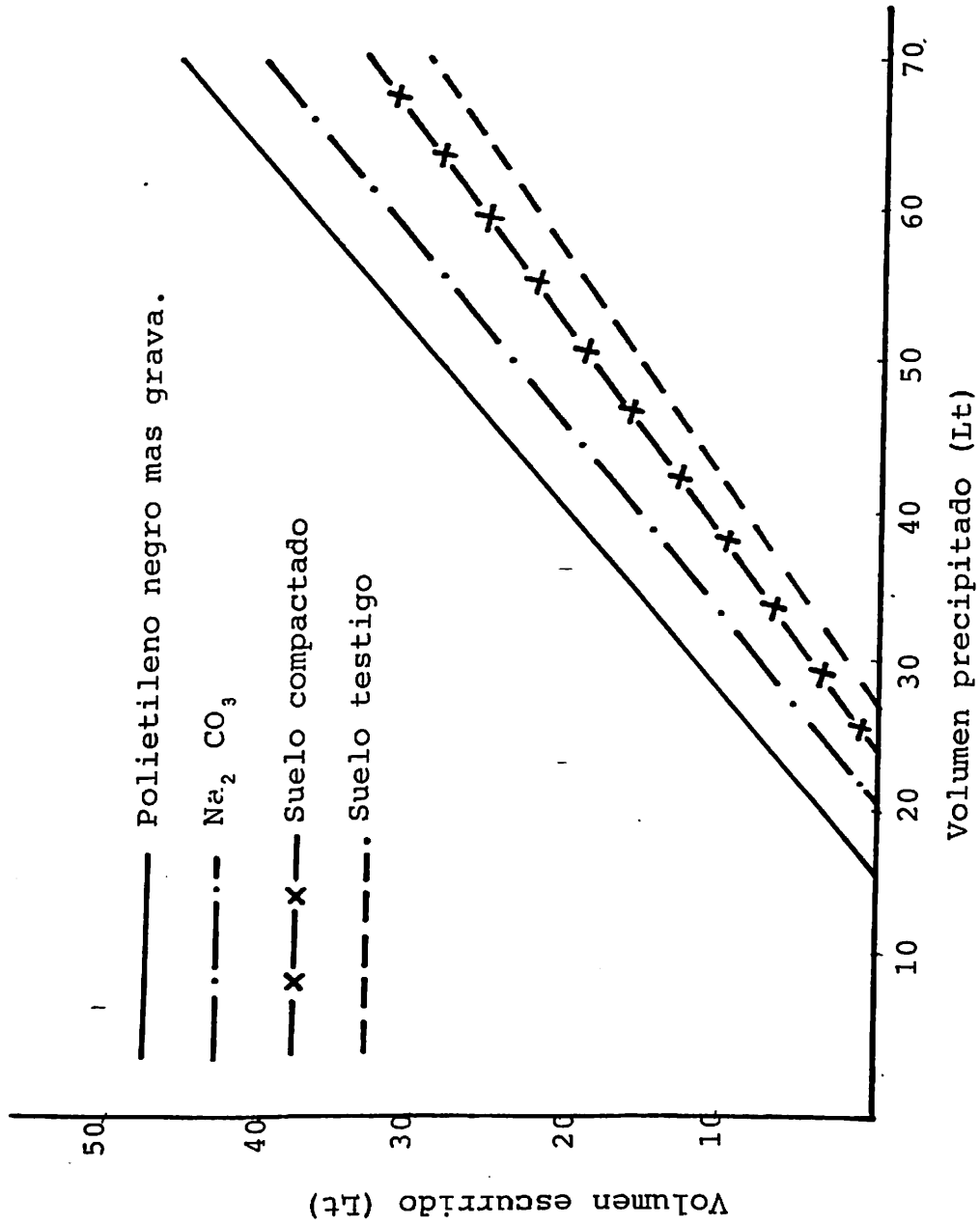


Figura 4.3. Gráfica de volumen precipitado contra volumen escurrido.

TABLA 4.3 Ecuaciones para estimar el escurrimiento extrapolando a diferentes tamaños de microcuenca

Tratamiento	Ecuación
Polietileno mas grava	$Ve = .8448 (Pp - 1.51) A$
Carbonato de sodio	$Ve = .8155 (Pp - 1.96) A$
Suelo compactado	$Ve = .7351 (Pp - 2.32) A$
Suelo testigo	$Ve = .6977 (Pp - 2.58) A$

4.4 Comparación de los Materiales

El análisis de varianza de las eficiencias en la cosecha de agua por evento lluvioso (Tabla 4.4) reportó diferencias altamente significativa entre tratamientos para todos los eventos como se muestra en la columna cuatro lo cual indicó que los materiales probados influyeron fuertemente en los volúmenes de agua cosechados. La columna tres muestra diferencia entre bloques sólo en las lluvias del 16 y 29 de Junio y 22 de Agosto, el coeficiente de variación (columna seis) fué bajo para la mayoría de los eventos excepto para el día 22 de Agosto en que fué de 54.36%; que demuestra la confiabilidad de los datos obtenidos para la mayoría de los eventos lluviosos.

Las pruebas de t student (Tabla 4.5.) mostraron que en la mayoría de los eventos lluviosos el polietileno produjo escurrimientos similares que el carbonato de sodio excepto

Tabla 4.4. Significancia estadística de los escurrimientos inducidos por los materiales por evento lluvioso.

(1) EVENTO LLUVIOSO	(2) DESVIACION ESTANDAR	(3) FC. PARA LOS BLO- QUES	(4) FC. PARA LOS TRA- TAMIENTOS	(5) MEDIA TOTAL	(6) C.V. %
16 de Junio	4.80	4.68*	17.702**	69.58	6.89
23 de Junio	4.68	.401NS	43.35 **	47.13	9.94
26 de Junio	8.00	1.55NS	11.48 **	65.98	12.13
29 de Junio	2.81	5.16*	38.03 **	37.59	7.50
14 de Julio	4.27	1.25NS	18.5 **	65.02	6.56
21 de Agosto	4.59	2.84NS	8.17 **	22.22	20.66
22 de Agosto	3.42	5.44*	20.68 **	6.30	54.36
23 de Agosto	5.95	2.70NS	22.61 **	25.41	24.51
26 de Agosto	2.16	2.82NS	11.94 **	68.96	3.13
1 de septiembre	5.48	.6170NS	14.37 **	58.03	9.44

** Significancia al .01

* Significancia al .05

NS no significativo.

Tabla 4.5. Comparación de las eficiencias en la cosecha de agua inducidas por los tratamientos por evento lluvioso en base a la prueba t Student 0.05.

A = Polietileno B = Na₂CO₃ C = Suelo Compactado D = Suelo testigo más grava.

Fecha de Lluvia	CONTRASTE							
	A vs B	A vs D	A vs C	B vs D	B vs C	C vs D	B vs C	C vs D
16 de Junio	NS	*	*	*	*	*	*	NS
23 de Junio	*	*	*	*	*	*	*	NS
26 de Junio	NS	*	*	*	NS	*	NS	*
29 de Junio	*	*	*	*	*	*	*	NS
14 de Julio	*	*	*	*	NS	*	NS	NS
21 de Agosto	NS	*	*	*	NS	*	NS	NS
22 de Agosto	*	*	*	NS	NS	*	NS	NS
23 de Agosto	NS	*	*	*	*	*	*	NS
26 de Agosto	NS	*	*	*	*	*	*	NS
1 de Septiembre	NS	*	*	*	*	*	*	NS

* Significancia al .05

NS No significativo.

para las lluvias del 23 y 29 de Junio, 14 de Julio y 22 de Agosto, pero con respecto a los escurrimientos del suelo compactado y testigo todos mostraron ser significativamente inferiores en comparación con el polietileno.

La aparente ineficiencia del polietileno en comparación con el carbonato de sodio se debió a las perforaciones causadas por algunas malezas que influyeron negativamente en la eficiencia en la cosecha de agua del polietileno y la lluvia destinada a la mojadura de las gravas.

El tratamiento de carbonato de sodio en contraste con el suelo compactado y testigo presentó diferencias significativas en la mayoría de los eventos excepto en los días 22 de Agosto para el testigo y 26 de Junio, 14 de Julio y 21 y 22 de Agosto para el suelo compactado. Lo cual ocurrió cuando se registraron lluvias menores de 7.6 mm no antecedidas por una tormenta considerable o por varios días consecutivos de lluvias, como en el caso del 23 de Agosto cuando se presentaron 4 días seguidos de lluvia antecedente.

La dosis de carbonato de sodio demostró ser capaz de producir condiciones favorables para inducir el escurrimiento al ser probada nuevamente para este tipo de suelo con una eficiencia de cosecha de 58.6%, resultando mejor agente inductor de escurrimiento que el suelo compactado y testigo cuyas eficiencias fueron de 48.9 y 44.3%, diferencia significativa al 95% de probabilidad en el 60 y 90% de los eventos lluviosos respectivamente, lo que corrobora lo obtenido

por Serna (1984).

El tratamiento de suelo compactado en relación al testigo resultó con diferencia significativa sólo en la lluvia del 26 de Junio. En este punto es importante aclarar que las microcuencas testigo tenían el suelo disturbado y caren te de vegetación lo cual indica que una simple compactación aumenta el coeficiente de escurrimiento como lo indica la eficiencia en la cosecha de 48.9 y 44.4% con coeficientes de escurrimiento del orden de 71.7 y 69.1% para suelo compactado y testigo respectivamente. Sin embargo, la prueba de t student indicó que tal diferencia sólo era en el 10% de los eventos lluviosos; lo cual demuestra que el desmonte es más importante que la compactación puesto que basta una simple remo_ción de la vegetación para crear condiciones inducti vas favorables para el escurrimiento y volver más eficiente el uso de las microcuencas como lo obtenido por Tadmor y Shanan (1969).

4.5 Infiltración en Suelo con Carbonato de Sodio, Compactado y Testigo - -

La velocidad de infiltración fué más baja en las micro cuencas tratadas con carbonato de sodio seguida del suelo compactado y testigo lo cual se puede apreciar en la Figura 4.4.

Aunque el suelo compactado reportó menor velocidad de

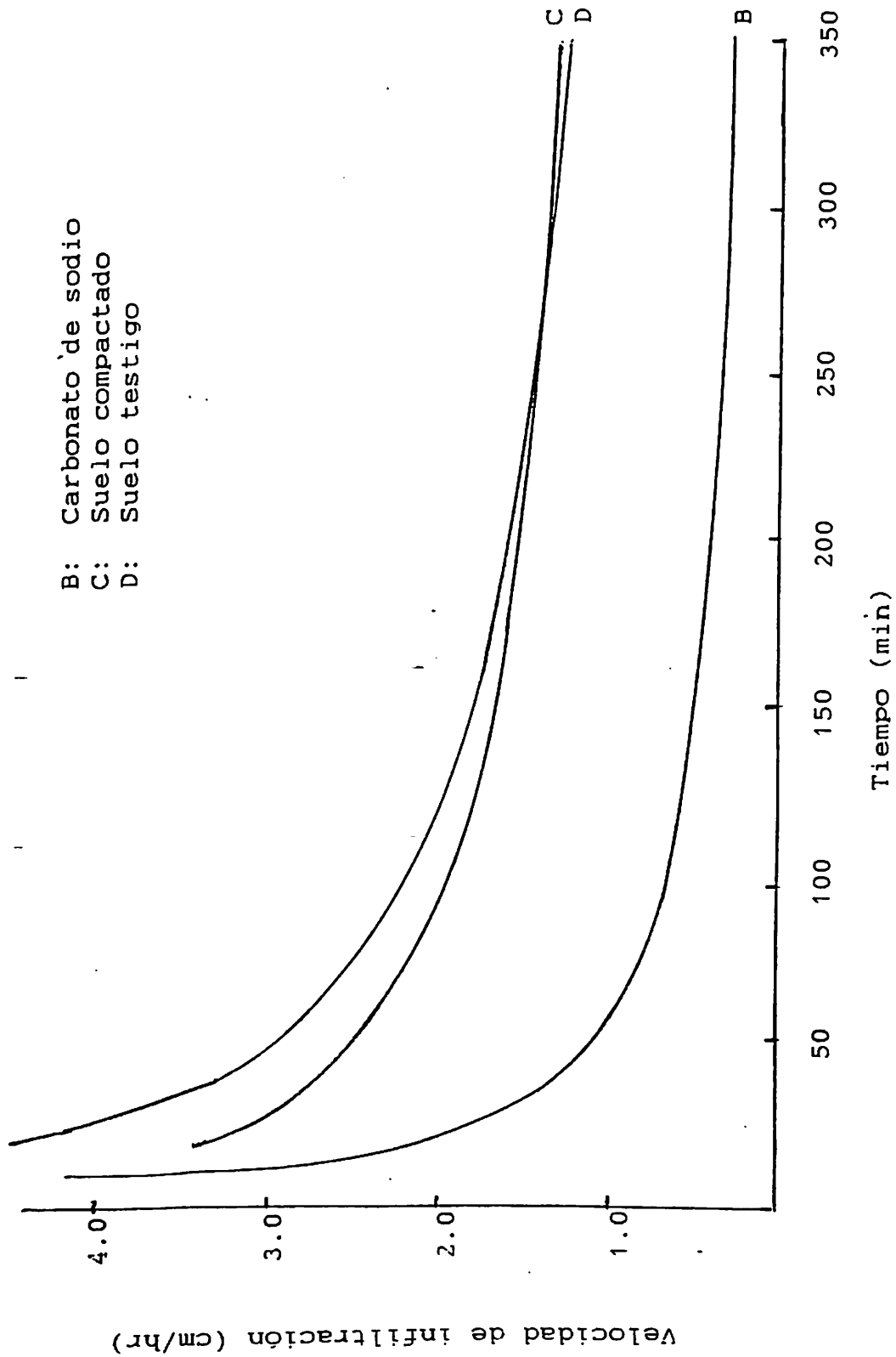


FIGURA 4.4 Curvas de velocidad de infiltración para suelo con Na_2CO_3 , compactado y testigo

infiltración que el suelo testigo (hasta los 200 min donde se igualan), ésta diferencia no fué determinante en la eficiencia en la cosecha como lo indicó la prueba de t student mencionada anteriormente, lo cual se explica por el golpe - teo que ocasionan las gotas de lluvia sobre el suelo, alterando la estructura superficial y taponeando los poros del mismo (Ensiso, 1984).

A los 200 minutos de iniciado el fenómeno de infiltración los suelos compactado y testigo alcanzaron una velocidad de 1.55 cm/hr mientras que en suelo disperso con Na_2CO_3 la velocidad de infiltración disminuyó a 0.4 cm/hr para el mismo tiempo; ésto demuestra la efectividad del sodio como reductor de la permeabilidad del suelo y justifica su uso - en estanques y abrevaderos donde las pérdidas por percolación son considerables (Neff, 1980).

Al reducirse la infiltración del suelo se incrementó linealmente el coeficiente de escurrimiento y por ende la eficiencia en la cosecha de agua como se muestra en la Figura 4.5.

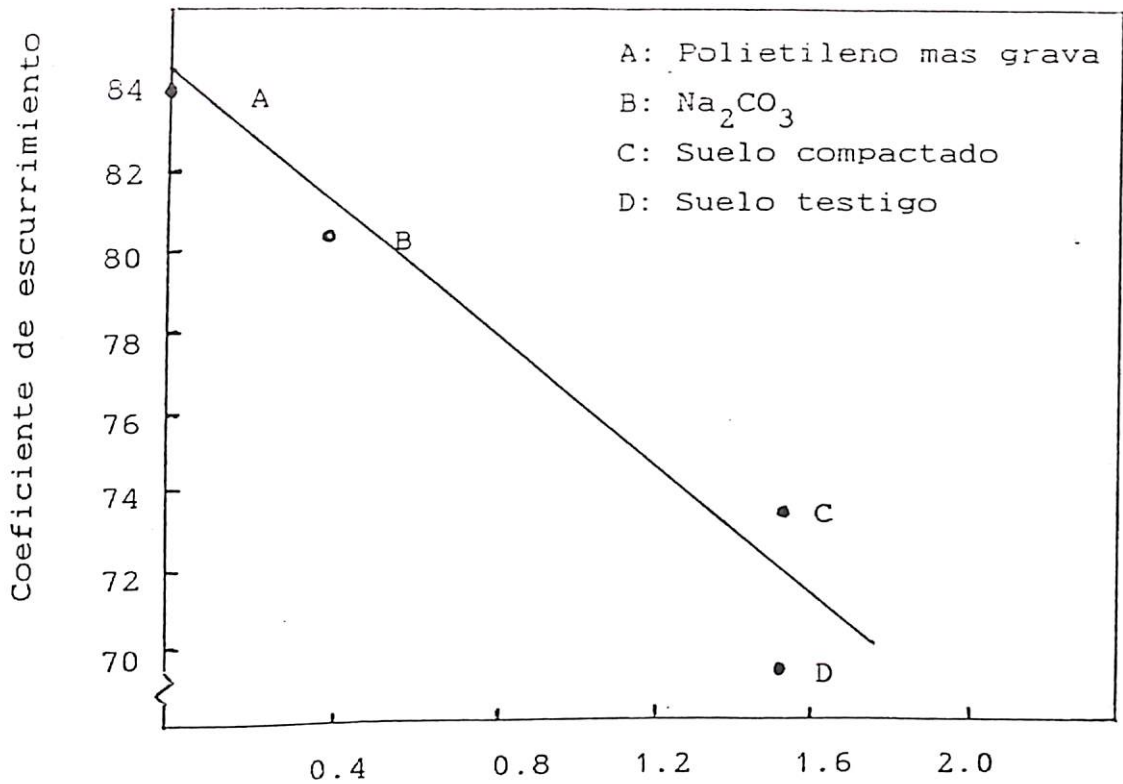


FIGURA 4.5 Relación entre la infiltración del suelo y el coeficiente de escurrimiento

4.6 Calidad del Agua de Escurrimiento

En la Tabla 4.6., se puede observar que la calidad del agua de escurrimiento es aceptable con respecto a la concentración de sodio ya que todas las muestras colectadas a lo largo del ciclo experimental resultaron con calidad S1, - - que indica poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio. Pero con respecto a la conductividad eléctrica el segundo muestreo reportó aguas tipo C2 para todas las microcuencas excepto para el bloque cuatro de suelo compactado y bloque tres de suelo testigo donde resultó ---

Tabla 4.6. Calidad del agua de escurrimiento.

TRATAMIENTO	BLOQUE	FECHA DE MUESTREO			
		17 DE JUNIO	7 DE AGOSTO	26 DE AGOSTO	2 DE SEPTIEMBRE
B	1		C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁
	2		C ₂ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁
	3	C ₁ - S ₁	C ₂ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁
	4		C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁
C	1		C ₂ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁
	2		C ₂ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁
	3	C ₁ - S ₁	C ₂ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁
	4		C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁
D	1		C ₂ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁
	2		C ₂ - S ₁	C ₂ - S ₁	C ₁ - S ₁
	3	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁
	4		C ₂ - S ₁	C ₁ - S ₁	C ₁ - S ₁

calidad C1. Se observó que el tercero y cuarto muestreos - la calidad del agua cosechada mejoró notablemente respecto a sales pues en todos los tratamientos la calidad del agua resultó calidad C1 (excepto para el bloque dos testigo, al tercer muestreo). Tal tendencia indica que el arrastre de sales ocurrió en los eventos registrados desde la aplicación de los tratamientos hasta el 7 de Agosto cuando se - - presentó una lluvia considerable de 31.4 mm la cual probablemente estimuló un mayor arrastre de sales disueltas debido a que el agua al estar más en contacto con el suelo solubiliza más minerales. Un argumento que ayuda a explicar lo anterior es lo manifestado por Serna (1984), quien mencionó que durante períodos con lluvias frecuentes se incrementa el contenido de sales en el agua de escurrimiento cosechada porque las sales tienen mayor oportunidad de entrar en solución.

4.7 Influencia de la Pendiente Sobre la Eficiencia en la Cosecha de Agua

Las ecuaciones de regresión lineal entre la eficiencia en la cosecha de agua para las lluvias en que resultó diferencia significativa entre bloques y la pendiente de las microcuencas para los cuatro tratamientos se muestra en la Tabla 4.7. Sin embargo, el coeficiente de correlación no indica ninguna relación de tipo lineal entre estos dos parámetros. Aunque la pendiente sí influye en la eficiencia en la cosecha de agua como lo comprobaron Jain

y Singh (1980), en este caso el rango de pendientes (1.66-4.33%) con una media de 2.44% y una desviación estandar de .895 que se presentaron en las microcuencas no fué suficiente para modificar la eficiencia en la cosecha en forma significativa.

TABLA 4.7 Ecuaciones de regresión lineal entre la eficiencia en la cosecha de agua y la pendiente para los cuatro tratamientos

Tratamiento	Ecuación de regresión	Coefficiente de correlación
Polietileno mas grava	$Ec = 43.18 + 1.99 P$.0042
Carbonato de sodio	$Ec = 42.87 - 0.94 P$.0006
Suelo compactado	$Ec = 29.32 + 1.24 P$.0010
Suelo testigo	$Ec = 31.94 - 1.08 P$	-.0026

Ec: Eficiencia en la cosecha
P: Pendiente de la microcuenca

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

5.1 Conclusiones

El mayor coeficiente de escurrimiento (84.5%) fué obtenido con polietileno mas grava seguido del carbonato de sodio, suelo compactado y testigo con coeficientes de 81.6, 73.5 y 69.8% respectivamente.

Las microcuencas resultaron más eficientes en la cosecha de agua cuando son cubiertas con polietileno mas grava lo que resulta en destinar menores superficies a la zona de escurrimiento y por ende mayores áreas de cultivo pueden ser incorporadas lo que permite mayores producciones por Ha.

El uso de carbonato de sodio resultó como se esperaba mejor que el suelo compactado y testigo lo que nos guía como se mencionó anteriormente a manejar mayores áreas con esta tecnología. Pero aunque la calidad del agua de escurrimiento resultó para los cuatro muestreos con calidad S1 no debe descartarse el peligro de agregar a la zona de escurrimiento este tipo de materiales por el constante arrastre

de sales en solución en el agua de escurrimiento.

La compactación del suelo no incrementa los volúmenes de agua escurrida notablemente, por ésto se considera que - la simple eliminación de la vegetación en el terreno natu - ral es suficiente para incrementar los volúmenes de agua - escurrida hacia la zona de cultivo y hacer más eficiente el uso de las microcuencas.

La variación de pendiente que se manejó en el experi - mento no influyó significativamente en el escurrimiento.

5.2 Sugerencias

- a) Se sugiere probar grava de varios tamaños con el fin de evaluar la retención de agua y el costo de este material.
- b) Cuando se requiera el uso de microcuencas mayo - res de 10m de longitud se requiere estudiar el efecto de tamaño de microcuencas sobre los - - coeficientes.
- c) Trabajar con microcuencas para suelo desnudo - sin hacer uso de la compactación.
- d) Trabajar variando los niveles de pendiente, - - pero variaciones más grandes que las del presen - te trabajo ya que como se vió éstas no influyen en el coeficiente de escurrimiento.
- e) Medir el contenido de humedad antecedente en el suelo y correlacionarlo contra el coeficiente -

de escurrimiento.

- f) Usar otro parámetro de permeabilidad del suelo (tal como la conductividad hidráulica) para explicar la variación en los coeficientes de escurrimiento en base a su condición estructural.
- g) Ampliar el uso de las ecuaciones de predicción de escurrimiento incorporando las variables que puedan limitar su extrapolación.

CAPITULO VI

LITERATURA CITADA

1. Agrometeorología. 1983. Diagnóstico climático para la zona de influencia inmediata a la UAA"AN". UAA"AN". p. 1-5
2. Aguilar R., I. 1976. El uso de carbonato de sodio sobre microcuencas para inducción de escurrimiento y cuantificación de la cantidad lixiviada superficialmente de este dispersante. Tesis profesional para obtener el título de Ing. Agrónomo. ITSEM. Monterrey, N.L. p. 10-11
3. Carrete G., R.E. 1984. Establecimiento del manzano (Mallus doméstico Mill) captando agua de lluvia "in situ" mediante el uso de microcuencas. Tesis profesional para obtener el título de Ing. Agrónomo en Irrigación. UAA"AN". Saltillo, Coah. p. 5-7
4. Comisión Nacional de Investigación en Zonas Áridas. (CNIZA). 1974. Mejoramiento de agostaderos mediante microcuencas y siembra parcial de pastos. Informe Anual. Saltillo, Coah., México. p. 82-84
5. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. (DAEUA). 1982. Suelos: Diagnóstico y ---

Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos 6^a ed. -
 Editorial Limusa, México. 172 p.

6. Enciso M., J. 1984. Influencia de la longitud de la - -
 pendiente sobre los escurrimientos superficiales. -
 Tesis profesional para obtener el título de Ing. -
 Agrónomo en Irrigación. UAA"AN". Saltillo, Coah. -
 p. 61-64
7. Evenari, M., L. Shanan and H. Tadmor. 1968. "Runoff far -
 ming" in the desert. I. Experimental Layout. Agrono -
 my J. 60: January-February. p. 29-32
8. Fink, D.H. 1976. Soil and water management and conserva -
 tion. Soil Sci. Soc. Am. J., 40: p. 562-566.
9. Frasier, G.W., K.R. Cooley and J.R. Grigs. 1979. Perfor -
 mance evaluation of water harvesting catchments. J. -
 of Range Management. 32(6): November. p. 453-456.
- 10 Jain, B.L., and R.P. Singh. 1980. Run-off as influenced -
 by rainfall characteristics, slope and surface treat -
 ment of micro- catchment, Annals of Arid Zone. - -
 19(1 and 2) p. 119-125.
11. Loma., J.L. de la . 1982. Experimentación Agrícola 2^a -
 ed. Editorial Hispano-Americano. México. 493 p.
- 12 Mathieu, F., R.E. 1975. Inducción de escurrimiento del -
 agua pluvial, utilizando tres grados de pendiente, -
 dos intensidades de compactación y dos dosis de - -
 defloculante químico. Tesis profesional para obte -
 ner el título de Ing. Agrónomo Administrador. - -
 ITESM. Monterrey, N.L. p. 10-11.

13. Murthy, K.N.K., B.S. Gupta and V.C. Issac. 1978. Inter-relationship between rainfall-runoff of treated - - catchments in arid zone of Rajasthan. Annals of - - Arid Zone. 17(3). p. 259-266.
14. Neff, E.L. 1980. Using sodium carbonate to seal leaky - stock ponds in Eastern Montana. J. of Range Manage- ment. 33(4): July. p. 292-295.
15. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, DGEA). 1980. Revista Ecotécnica Agrícola. 10: p. 9-10.
16. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) y Colegio de Postgraduados de Chapingo México - - (CPCHM). 1982. Manual de conservación del suelo y - del agua 2^a ed. 584 p.
17. Tadmor, N.H., and L. Shanan. 1969. Runoff inducement in an arid region by removal of vegetation. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: p. 790-793.