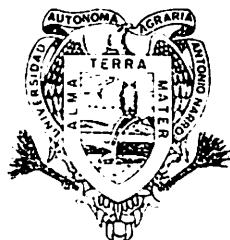


Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"

División de Ingeniería

Departamento de Riego y Drenaje



Interacción de Inductores de Escurrimiento y Retardadores
de Evaporación en Microcuencas

Por:

José Puehla Durán

Tesis

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo

en la Especialidad de Irrigación

Universidad Autónoma Agraria
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México



BIBLIOTECA

11416

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

INTERACCION DE INDUCTORES DE ESCURRIMIENTO Y RETARDADORES
DE EVAPORACION EN MICROCUENCAS

POR

JOSE PUEBLA DURAN

T E S I S

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

APROBADA:

ING. M.C. GREGORIO BRIONES SANCHEZ
Presidente

ING. M.C. IGNACIO GARCIA CASILLAS
Vocal

ING. ROLANDO SANDINO SALAZAR
Vocal
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

ING. M.C. ROMMEL DE LA GARZA GARCIA
Coordinador de la División de Ingeniería

Coordinación de
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila

Febrero 1986

11416

DEDICATORIA

A mis padres y a un hombre, Roberto Puebla

por hacer de mi una persona responsable de mis
actos para con la sociedad, y que nunca podré
pagarles lo hecho por mí, y a quienes les debo
lo que soy.

DEDICATORIA

A mis padres, con amor y respeto

José Puebla Dávila

Eva Durán Marentez

por su digno ejemplo de honradez, de calidad humana, y sencillez, a dos personas, de las cuales sus hijos deberán de sentirse orgullosos, a ellos que sin esperar nada a cambio, dan su vida por proporcionar a sus hijos un futuro mejor.

A mis hermanos, con cariño

Jesús, Angélica, Roberto, Luis, Saúl, Josefina,
Arnulfo, Reynaldo H., Bellanira y Lupe

a quienes deseo triunfen en la vida y a los cuales
tengo presentes en cada uno de mis actos.

A mi novia

Tere, con todo mi cariño.

A mis cuñados y cuñadas.

A mis sobrinos y sobrinas.

A todos mis compañeros y amigos.

A la UAA"AN".

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. M.C. Gregorio Briones S., por su importante colaboración en la dirección de este trabajo.

Al Ing. M.S. Ignacio García Casillas, por sus atinadas sugerencias para la mejor presentación de esta tesis.

Al Ing. M.C. Rolando Sandino S., por sus recomendaciones dadas en la revisión del manuscrito.

Al Ing. M.S. Jesús Noel Yañez R., por sus innumerables sugerencias y consejos para la elaboración de este trabajo.

Al Lic. Emilio Padrón por su amistad, apoyo y asesoría en el análisis estadístico.

A todo el personal que trabajó en el Departamento de Riego y Drenaje les agradezco su valiosa cooperación en la elaboración de este trabajo.

A la Srita. Teresa Catalina A. y Myrna J. Ayala, que participaron con el trabajo mecanográfico.

A todas aquellos que de formas diversas ayudaron a la realización de esta tesis.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE CUADROS	x
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
1.1 Importancia del estudio	1
1.2 Objetivos	3
CAPITULO II	
REVISION DE LITERATURA	4
2.1 El ciclo hidrológico	4
2.1.1 Lluvia	5
2.1.2 Escurrimiento	7
2.1.3 Evaporación y transpiración	10
2.2 Control de las pérdidas de humedad del suelo. .	12
2.2.1 Métodos para el control de la evaporación del suelo	13
2.3 Cosecha de agua	15
2.3.1 Uso del carbonato de sodio como disper- sante químico	17
2.3.2 Uso del polietileno en el acolchado de suelos	19
CAPITULO III	
MATERIALES Y METODOS	21
3.1 Localización del área en estudio	21
3.2 Descripción del sitio experimental	21

	Página
3.2.1 Fenómenos climatológicos	22
3.2.2 Propiedades físico-químicas del suelo . .	24
3.3 El sistema de microcuencas	26
3.3.1 Tratamientos del área de escurrimiento . .	30
3.3.2 Tratamiento del área de captación	31
3.3.3 Arreglo de tratamientos y diseño experi- mental	32
3.3.4 Mantenimiento de las microcuencas	33
3.4 Pruebas de permeabilidad	35
3.4.1 En campo	35
3.4.2 En laboratorio	35
3.5 Datos tomados y metodología de muestreo	37
3.5.1 Datos hidrológicos	37
3.5.2 Datos fenológicos	39
3.6 Procesamiento de datos	39
3.6.1. Balance del agua	39
3.6.1.1 Evapotranspiración observada (me- dida)	40
3.6.1.2 Escurrimiento estimado	41
3.6.2 Crecimiento de los árboles en función de la humedad en el suelo	42
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSION	43
4.1 Régimen pluviométrico registrado en el experi- mento.	43
4.2 Distribución de la humedad	45
4.3 Escurrimiento colectado	47
4.4 Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de los árboles	47
4.4.1 Crecimiento de los brotes	47
4.4.2 Incremento del grosor del tronco	51
4.5 Efecto del acolchado sobre la evapotranspiración	52
4.6 Variación en las características químicas del suelo por efecto del carbonato de sodio	54

	Página
CAPITULO V	
CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	59
5.1 Conclusiones	59
5.2 Sugerencias	60
CAPITULO VI	
RESUMEN	62
CAPITULO VII	
LITERATURA REVISADA	64

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
3.1	Evaporación promedio mensual de Buenavista, Coah.	23
3.2	Distribución mensual de la precipitación en Buenavista, Coah.	23
3.3	Temperatura media mensual registrada en Buenavista, Coah.	23
3.4	Relación pluvial/evaporación en Buenavista, Coah.	23
3.5	Esquema mostrando una microcuenca con su área de captación y su área contribuyente, y las variables hidrológicas que intervienen en el balance del agua.	28
3.6	Distribución de los tratamientos bajo un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas.	34
3.7	Curva de velocidad de infiltración observadas en el área de escurrimiento de las microcuencas tratadas con Carbonato de sodio y no tratadas (suelo desnudo).	36

Figura		Página
3.8	Conductividad hidráulica a cm/hr del suelo a diferentes dosis de Carbonato de sodio. . .	38
3.9	Tiempo de saturación antes de percolarse. . .	38
4.1	Precipitación pluvial registrada en el sitio de las microcuencas durante el período experimental comprendido del 1º de abril al 22 de octubre de 1985.	44
4.2	Variación de la humedad en el suelo con (—) y sin (---) acolchado a la profundidad de 0-25, 25-50 y 50-75 cm del perfil explorado por las raíces de los árboles	46
4.3	Escurrecimiento colectado por evento lluvioso en las microcuencas	48
4.4	Crecimiento total de brotes (cm) en cada microcuenca con diferentes tratamientos en el área de escurrecimiento	50
4.5	Incremento del diámetro del tronco para los diferentes tratamientos	53
4.6	Efecto del acolchado en el área de captación sobre la evapotranspiración	55
4.7	Cambio en las características químicas del suelo por efecto del Carbonato de sodio antes (---) y después (—) del experimento	58

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1	Propiedades físico-químicas del suelo en el sitio de las microcuencas a las profundidades de 0-25, 25-50 y 50-75 cm
	25
3.2	Métodos de laboratorio utilizados durante el análisis de las muestras de suelo
	27

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Importancia del estudio

En el territorio nacional, de 196.7 millones de hectáreas, 19.5 millones de hectáreas son cultivables y de éstas, sólo 5.7 millones están bajo riego y los 13.8 millones restantes se cultivan bajo condiciones de temporal.

Lo anterior, entre otras razones socioeconómicas, justifican el desarrollo de técnicas poco costosas, que permitan un mejor aprovechamiento de las zonas áridas y semiáridas del país, actualmente desaprovechadas por falta de una apropiada tecnología para la captación y conservación del agua aportada por las precipitaciones.

Las técnicas sobre cosecha de agua de lluvia para el establecimiento de huertos, han sido poco estudiadas. Sin embargo, su potencial de aplicación es prometedor especialmente cuando el tipo de cultivo se adapta adecuadamente al régimen pluviométrico, suelo y clima, y responde satisfactoriamente al tamaño del área de captación y a los tratamientos aplicados para elevar la eficiencia en la cosecha de agua.

Las técnicas de cosecha y conservación del agua revierten mayor importancia en las zonas áridas y semiáridas -

donde la extracción del agua subterránea es muy costosa, inexistente o en lugares donde la explotación de un acuífero no se recomienda por la calidad del agua.

Para cosechar mayores volúmenes de agua en esta región donde la precipitación pluvial es escasa, varios principios tecnológicos han demostrado ser útiles entre los que se puede mencionar: las sales químicas dispersantes que tienden a impermeabilizar las superficies destinadas a cuencas de captación, el uso de polietileno y la compactación mecánica del suelo.

La impermeabilización del área de la microcuenca eleva el coeficiente de escurrimiento superficial, mejorando la eficiencia en la cosecha de agua, sin embargo, si la humedad cosechada en el área de cultivo no es conservada, entonces se reduce la eficiencia de utilización por lo mismo, los tratamientos del área de la microcuenca deben combinarse con las técnicas de conservación del agua para una mejor utilización de las estructuras y lograr una mayor eficiencia en el uso del agua cosechada.

En 1984, fue observado en Buenavista, Coah., que un área de captación de $6 \times 4 \text{ m}^2$ produce suficiente escurrimiento superficial, como para satisfacer las necesidades hídricas en el establecimiento de un huerto de manzano o cuando menos evitar un mayor déficit de humedad en el suelo entre dos sucesivos eventos lluviosos. También fue encontrado que un tratamiento de carbonato de sodio aplicado en

el área de la microcuenca disminuye la infiltración del suelo incrementando el índice de escurrimiento con lo cual se mejoró la eficiencia en la cosecha de agua.

Por lo anterior, se desarrolló un trabajo en microcuencas plantadas con manzano a fin de estudiar la interacción de los inductores de escurrimiento en combinación con el acolchado del suelo en el cajete del árbol (o zona de goteo del árbol), conduciendo el experimento bajo los siguientes objetivos.

1.2 Objetivos

- a) Confirmar que el manzano plantado en microcuencas puede prosperar bajo condiciones de temporal en zonas semiáridas donde ocurre una precipitación menor a 500 mm/año y una evaporación mayor de 2000 mm/año.
- b) Evaluación de los escurrimientos inducidos en el área de la microcuenca por efecto del polietileno negro más grava, en comparación con carbonato de sodio y suelo desnudo.
- c) Evaluación del efecto del acolchado plástico sobre la variación de humedad del suelo, evapotranspiración y crecimiento de los árboles.
- d) Cuantificar el cambio en las propiedades químicas del suelo en la zona radicular, motivado por el arrastre de carbonato de sodio en el agua de escurrimiento cosechada.

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1 El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico se inicia con la evaporación del agua en los océanos y por la acción de los vientos, éste vapor es llevado hacia los continentes donde se mezcla con la humedad atmosférica proveniente de la evaporación directa de ríos, lagos, lagunas y de tierras húmedas, incluyendo el vapor de agua transpirada por la vegetación.

Cuando el vapor de agua es enfriado hasta el punto de rocío, se condensa formando pequeñas gotas de agua que originan las nubes o la niebla. Bajo condiciones meteorológicas favorables, las pequeñas gotas incrementan su tamaño y peso, precipitándose a tierra como lluvia.

El enfriamiento de grandes masas de aire es debido a la elevación y obedece a la ley de los gases, pues al disminuir la presión, disminuye también la temperatura. La elevación orográfica ocurre cuando el aire es forzado a elevarse sobre una barrera montañosa por esta razón la pendiente barlovento de las montañas es generalmente de alta precipitación.

Por convección, el aire caliente puede también elevarse sobre una masa de aire más frío para causar las tormentas

con tempestad y truenos, características del verano en muchas partes del mundo.

Conforme la lluvia se precipita sobre la tierra, una porción queda retenida por el suelo a la profundidad de las raíces o interceptada por las hojas y tallos de la vegetación, otra porción escurre hacia los ríos y arroyos más cercanos y una tercera parte se percola hasta alcanzar los acuíferos subyacentes (19).

2.1.1 Lluvia

Según la forma de presentarse y su intensidad, la precipitación recibe varios nombres y es afectada por diversas circunstancias y fenómenos físicos y geográficos. Se denomina lluvia si es continua, regular y el diámetro de sus gotas es superior a 0.5 mm, y se conoce como llovizna cuando las gotas que caen son menudas, con un diámetro inferior al citado que se presenta en forma pulverizada, dando la impresión de flotar en el aire (21).

Como se mencionó anteriormente, de la lluvia que cae sobre el terreno, una parte es retenida temporalmente por el suelo y luego evaporada a la atmósfera o absorbida por las plantas y luego transpirada, otra parte de la lluvia escurre sobre la superficie del suelo hasta llegar a los arroyos y ríos, mientras que otra parte penetra más al terreno y pasa a formar parte de los acuíferos subterráneos, los cuales eventualmente son explotados por el hombre o también pueden

aflorar espontáneamente o desembocar en los océanos.

La lluvia ejerce sobre el terreno un efecto mecánico, pues su impacto disgrega y compacta las partículas del suelo reduciendo la porosidad, también tiene un efecto físico, que se refleja en la formación del suelo, y un efecto químico que provoca la solubilización de los minerales del suelo, facilitando su absorción por la planta, sin embargo, algunos de los efectos pluviales pueden ser favorables y otros desfavorables para la agricultura.

La lluvia como suministro natural de agua para las plantas, normalmente es benéfica, pero resulta perjudicial cuando genera inundaciones o es acompañada por rayos, truenos y grnizo.

En las áreas de temporal, la cantidad de agua disponible en el suelo para las plantas, depende principalmente de la precipitación pluvial. La efectividad de la lluvia depende de la cantidad de agua precipitada que pueda ser almacenada en el suelo a la profundidad radicular y de la evapotranspiración ejercida por la planta.

Una densa cubierta vegetal incrementó la efectividad de la lluvia, ya que gran parte de la misma es interceptada por el follaje, además algunas especies como los pastos protegen la superficie del terreno contra la erosión y retardan los escurrimientos. La cantidad de agua de lluvia infiltrada en el suelo, depende de los siguientes factores: distribución,

intensidad y duración de las precipitaciones y de la topografía y textura del suelo. Después de una lluvia, la humedad retenida en el suelo y follaje de las plantas, es evaporada por efecto de la radiación solar y vientos principalmente (23).

En general, el régimen pluviométrico ejerce gran influencia en el desarrollo de la agricultura de temporal, en la recuperación y rebrote de los zacates nativos en los agostaderos, en el crecimiento de las especies madereras de los bosques, también en las recargas de acuíferos y en el nivel de embalse de presas y estanques y filosóficamente en el florecimiento de los desiertos.

2.1.2 Escurrimiento

Gran parte de la lluvia que cae durante la primera parte de una tormenta, queda estancada en las depresiones de la superficie y la parte remanente puede infiltrarse en el suelo o fluir pendiente abajo como escurrimiento.

El escurrimiento puede ser considerado como la porción del ciclo hidrológico, comprendido entre la ocurrencia de la precipitación y su última descarga en canales, arroyos y ríos o su escape a la atmósfera como vapor de agua durante la evapotranspiración. De acuerdo a la forma en que se producen los escurrimientos, éstos se clasifican en superficiales, subsuperficiales y subterráneos.

Esgurrimiento superficial: Es la porción de la precipitación que no se infiltra en el suelo y se mueve sobre la superficie del mismo hacia la red de drenaje o cuerpos de agua en la cuenca. Este esgurrimiento se presenta sólo si la intensidad de la lluvia es mayor que la velocidad de infiltración del agua en el suelo durante la tormenta.

Este tipo de esgurrimiento es común en regiones áridas y semiáridas donde la escasa vegetación no puede impedir el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo en la cual se tiende a formar una película casi impermeable. En regiones húmedas y subhúmedas, la vegetación incrementa la infiltración y protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, controlando el esgurrimiento superficial excepto en superficies desnudas o pavimentadas con declive (19).

La precipitación que cae directamente sobre las corrientes de agua es de relativamente pequeña magnitud y por lo mismo es considerada como parte del esgurrimiento superficial.

Esgurrimiento subsuperficial: Es causado por aquella parte de la precipitación que se infiltra al suelo y luego se mueve lateralmente en los horizontes superiores del perfil hacia las corrientes de agua, aflorando en los manantiales o directamente en canales y ríos.

Esgurrimiento subterráneo: Es aquella parte del agua infiltrada que se junta con el agua de los acuíferos por -

percolación y después se descarga en una corriente. Algunas veces este tipo de escurrimiento es considerado como el movimiento del agua de los acuíferos y fuentes superficiales de almacenaje (lagunas, lagos, etc.) hacia las corrientes de flujo (22).

El escurrimiento de una cuenca hidrológica es influenciado por dos grupos principales de factores: los meteorológicos y los fisiográficos. Entre los factores meteorológicos se encuentran los diferentes tipos y formas de precipitación, intercepción, evaporación y transpiración, los cuales exhiben variaciones estacionales de acuerdo con el ambiente climático.

Los factores fisiográficos pueden ser subdivididos en dos clases: una relacionada con las características de la cuenca y la otra con las características de la corriente. Las características de la cuenca incluyen factores, tales como: tamaño, forma y pendiente del área de drenaje; permeabilidad y capacidad de las formaciones geológicas de los acuíferos, presencia de lagos y estanques, uso de la tierra y antecedentes de la cuenca.

Las características de las corrientes, consideradas como canales se relacionan principalmente con las propiedades hidráulicas de la sección que gobiernan el movimiento del caudal y determinan la capacidad conductora (28).

2.1.3 Evaporación y transpiración

La evaporación eleva los requerimientos de almacenaje de los depósitos y disminuye el rendimiento de lagos y estanques. Los pantanos y otras superficies húmedas retornan también mucha agua a la atmósfera.

La velocidad de evaporación de los cuerpos de agua expuestos a la atmósfera, varía con la temperatura, presión de vapor, velocidad del viento, presión barométrica y calidad del agua.

Inmediatamente después de una tormenta, el suelo mojado o lodo empieza a perder humedad rápidamente hacia la atmósfera. Conforme la humedad libre desaparece, la evaporación se hace más lenta. La humedad intersticial se evapora internamente o se lleva a la superficie capilarmente antes de evaporarse. Los factores gobernantes son las características del suelo y la profundidad del agua subterránea.

Cuando el frente húmedo se localiza a 0.90 m o más abajo, después de que las capas superficiales del suelo se han secado, existe poca evaporación. Debido a que los suelos cultivados pierden menos agua que los no cultivados, en los cuales prevalece la práctica de aflojar los suelos para conservar la humedad o "arrope" que consiste en rastrear el terreno después de una lluvia considerable o riego de presembrado cuando el suelo alcanza su capacidad de campo y permite el paso de implementos.

La cantidad de agua transpirada por las plantas varía con la especie vegetal y su fase fenológica, además de la influencia que ejerce el porcentaje de humedad en el suelo y las condiciones atmosféricas.

En resumen, los continentes retornan más agua a la atmósfera por transpiración que por evaporación. El área total expuesta de las hojas en un bosque es muy grande en comparación con las partes expuestas de agua y tierra. Además, algunas plantas pueden tomar agua de profundidades considerables y transpirarla (11). Más de la mitad de la precipitación que cae sobre la superficie terrestre es retornada a la atmósfera por el proceso combinado de evapotranspiración. En regiones áridas, la evaporación puede consumir una gran porción del agua almacenada en los reservorios (19).

Como la evaporación es de gran importancia dentro del ciclo hidrológico, entonces se han hecho grandes esfuerzos para establecer un método que permita estimarla en forma directa, para lo cual se ha estado utilizando el tanque evaporímetro. Además, existe una gran diversidad de ecuaciones para estimar la evaporación, las cuales se pueden agrupar en:

- a) Ecuaciones basadas en consideraciones teóricas del balance de energía.
- b) Ecuaciones empíricas obtenidas a partir de relaciones entre datos de evaporímetros y elementos climáticos (20).

Las primeras se basan en la ley de Dalton y las segundas están basadas en evidencias experimentales o coeficientes, los cuales se deben obtener empíricamente.

2.2 Control de las pérdidas de humedad del suelo

Una vez que se ha logrado una condición de máximo almacenaje de humedad en el suelo, es esencial conservar esa humedad y elevar la eficiencia de su utilización, para lo cual las pérdidas deben mantenerse tan bajas como sea posible. Las pérdidas pueden presentarse de tres formas:

- a) Por evaporación de la superficie del suelo.
- b) Por transpiración de las plantas en crecimiento.
- c) Por percolación hacia capas más profundas de suelo, lejos de las raíces de las plantas.

En general, la percolación puede controlarse con el establecimiento de un cultivo de sistema radicular extenso para que extraiga la humedad del suelo. En regiones semiáridas, las pérdidas por percolación profunda comúnmente son pequeñas y en dichas regiones el problema es por humedad insuficiente más bien que por exceso.

Por lo que respecta a las pérdidas de agua por evaporación y transpiración, éstas pueden ser controladas hasta cierto punto (12.30) dependiendo del método utilizado según lo indican los trabajos citados a continuación.

2.2.1 Métodos para el control de la evaporación del suelo

Las cortinas rompevientos y otras barreras, disminuyen la velocidad del viento y el efecto desecante que éste produce sobre la superficie del terreno y plantas, llegando a reducir la evaporación en un 10-30%.

Las cubiertas de residuos vegetales pueden representar cierto control en áreas donde las tormentas ocurren en rápida sucesión. El sombreado y enfriamiento del suelo, así como la reducción de la velocidad del viento, inmediatamente por encima de la superficie, disminuyen la evaporación por períodos cortos después de una lluvia.

La cobertura de la superficie del terreno con materiales como: rastrojo, grava, estiércol, serrín, octacadecanol, arcilla, gis, arena o polietileno, generalmente denominados mulches, retardan la evaporación del agua en el suelo, algunos con mayor efectividad que otros; ayudando a incrementar el rendimiento y calidad de las cosechas (3).

Las coberturas disminuyen las pérdidas por evaporación, principalmente durante el período inmediato a una lluvia o irrigación cuando la superficie del suelo contiene gran humedad. La cobertura del suelo con grava reduce notablemente la evaporación y a la vez permite una fácil penetración del agua en el suelo (31).

Una capa del suelo seco puede resultar más eficiente que los residuos de cosechas o grava, pero el espesor de la capa,

la velocidad del viento y la humedad original del suelo son factores determinantes (31).

El polietileno negro está considerado como el mejor material de cobertura, seguido por los mulches sólidos y orgánicos (16). El polietileno negro y otros materiales plásticos controlan eficientemente la evaporación porque el agua, que alcanza a evaporarse bajo la cobertura, se condensa y regresa al suelo (3).

Una práctica muy utilizada por los agricultores para el control de la evaporación es la llamada "cubierta de polvo" o "arroke", obtenida mediante un rastreo superficial que rompe los capilares de agua, reduciendo la velocidad de transmisión de humedad desde capas profundas húmedas hacia capas superficiales secas (15).

Este tipo de labor puede reducir la evaporación del suelo en áreas donde las precipitaciones ocurren en forma de grandes tormentas alternadas con períodos secos intermedios relativamente largos o donde las lluvias considerables ocurren mucho antes de que se inicie el ciclo de siembras (12,30).

Por otra parte, por lo que respecta al control de las pérdidas por transpiración, se ha obtenido considerable éxito con el uso de inhibidores metabólicos como el acetato mercurio fenil y caolin que habían sido utilizados para disminuir la evaporación directa del suelo (7), la reducción

del agua perdida a través de las hojas de los cultivos, es una forma efectiva para incrementar los rendimientos sin tener que aplicar agua extra de irrigación.

Los antitranspirantes pueden ayudar a incrementar la efectividad del agua de irrigación y lluvia, mediante la aspersión de algún producto químico como atrazine, simazine o propazine que reduzca la apertura de los estomas de tal manera que una menor transpiración ocurra. El simazine ha incrementado los rendimientos del maíz en un 16% con respecto a parcelas no tratadas que recibieron la misma cantidad de lluvia e irrigación (17).

2.3 Cosecha de agua

El término cosecha de agua, se refiere a la captación de las precipitaciones en cuencas o microcuencas, cuya pendiente topográfica y grado de impermeabilidad permiten el escurrimiento y conducción del agua de lluvia hacia terrenos cultivados donde el agua se infiltra, quedando almacenada en el suelo a disponibilidad de plantas y/o árboles frutales.

El tamaño de una microcuenca varía de 2-100 m² y se localiza contigua al área de cosecha o área de cultivo, en cambio una microcuenca puede medir varios miles de metros cuadrados y estar provista de canales u otro tipo de estructuras para conducir los escurrimientos hacia grandes superficies cultivadas (26).

Los estudios realizados sobre técnicas de captación de agua de lluvia, han indicado que las principales características de la precipitación que influyen sobre el tamaño de las cuencas y microcuencas son: intensidad, duración, frecuencia y cantidad de lluvia (29). Un adecuado conocimiento estadístico de estas variables, basado en registros pluviométricos de 20 años o más, ayuda a diseñar mejor el tamaño de las cuencas para que el agua captada sea suficiente para satisfacer las necesidades evapotranspirativas del cultivo.

Para cosechar mayores volúmenes de agua en sitios donde la precipitación pluvial es escasa varios principios tecnológicos han demostrado ser útiles, entre los que se pueden citar: sales químicas dispersantes (que tienden a impermeabilizar la superficie de la cuenca de captación), el uso del polietileno y la compactación mecánica del suelo.

El escurrimiento de microcuencas tratadas, colectado en las franjas cultivadas adyacentes, ha incrementado la disponibilidad de agua en el suelo y también el rendimiento de los cultivos (10).

El establecimiento de árboles de manzano en microcuencas de 6 x 24 m, se ha logrado en Buenavista, Coah., bajo todos los siguientes tratamientos del área de escurrimiento: testigo, emparejado, compactado, carbonato de sodio y polietileno; sin embargo, un crecimiento vegetativo más vigoroso fue observado en aquellos árboles cuya área de escurrimiento fue

cubierta con polietileno + grava o tratada con carbonato de sodio a una dosis de $250 \text{ gr Na}_2\text{CO}_3/\text{m}^2$, esta dosis calculada de acuerdo a la fórmula de Reginato (5).

2.3.1 Uso del carbonato de sodio como dispersante químico

El carbonato de sodio Na_2CO_3 , comercialmente conocido como ceniza de sosa es un polvo higroscópico blanco cristalino, moderadamente soluble en agua fría y muy soluble en agua caliente. Su solución es fuertemente alcalina por hidrólisis, y tiene una densidad de 2533 gr/cc y calor de fusión de 7000 cal/mol .

El carbonato de sodio se utiliza para neutralizar la acidez inconveniente o excesiva en la fabricación en gran escala de sustancias químicas, y es la materia prima con que se elaboran la mayor parte de los compuestos de sodio de buena calidad. El único compuesto de sodio que a granel resulta más barato es la sal común, que en pureza desmerece mucho del carbonato.

La mayor aplicación que tiene el carbonato de sodio es en la fabricación de vidrio a la que se destina algo más de la tercera parte de la producción total (18), pero también puede utilizarse como material defloculante del terreno en cuencas o abrevaderos no revestidos donde se requiera reducir la permeabilidad del suelo y evitar las pérdidas de agua por percolación.

El carbonato de sodio ha incrementado el coeficiente de escurrimiento en microcuencas desde un 41% sin tratar, hasta un 66% en microcuencas tratadas con 404 gr de $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{m}^2$ (27), este efecto del carbonato ha mantenido un alto contenido de humedad aprovechable en el perfil del suelo del área de cultivo en comparación con microcuencas sin tratar, emparejadas o solamente compactadas (14).

El volumen de agua cosechada tiende a incrementarse a medida que la dosis del dispersante químico se incrementa por unidad de superficie, pero tiende a disminuir si la pendiente de la microcuenca disminuye. Por otra parte, la concentración salina del agua de escurrimiento puede incrementarse al aumentar la dosis del dispersante por metro cuadrado (2).

Otros productos químicos como el cloruro de sodio (Na_2Cl) y el sulfato de calcio (Ca_2SO_4) aplicados en suelos arenosos con 50 a 80% de arena han proporcionado al suelo características de solidez estimulando la formación de una costra dura, con las partículas de arcilla entre los granos de arena, que sella la superficie del terreno cuando el suelo está húmedo. En suelos arenosos desnudos con más del 80% de arena, la infiltración continúa siendo alta y el escurrimiento bajo aún después del tratamiento químico (25).

El uso de carbonato de sodio en estanques ganaderos ha demostrado una efectiva reducción de las pérdidas por percolación sin hacer uso de la compactación del suelo.

La incorporación de Na_2CO_3 en los primeros 10 a 15 cm de suelo en abrevaderos contruidos en suelos calcáreos, ha efectivamente reducido las pérdidas de agua por percolación durante tres años consecutivos después del tratamiento.

El primer año después del tratamiento, las pérdidas por percolación disminuyeron de un 60 a un 80% comparadas con las pérdidas que se tenían antes del tratamiento, lo cual incrementó la duración del suministro de agua disponible en 7 semanas más. Al cuarto año, las pérdidas por percolación se habían incrementado considerablemente de tal forma que el tratamiento no pudo ser considerado por más tiempo efectivo (24).

2.3.2 Uso del polietileno en el acolchado de suelos

El polietileno tendido sobre el área de captación de una microcuenca produce un 80-95% de escurrimiento y colocado sobre el área de cultivo, bajo el área de sombreado de los árboles por ejemplo, retarda la evaporación directa del suelo.

El acolchado plástico al conservar la humedad del suelo estimula significativamente el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos. En manzano puede incrementar el crecimiento en un 30-50% y en ornamentales leñosos un 40%, por eso parece razonable esperar incrementos en crecimiento del orden del 30-40% donde se usa polietileno negro (8).

En viñedos, la irrigación combinada con el acolchado influye notablemente en el crecimiento de las plantas y rendimiento y calidad de las uvas. El polietileno controla efectivamente la propagación de malezas y mantiene un nivel favorable de humedad en el suelo para el crecimiento y producción satisfactorio de las vides.

Amplios intervalos de riego combinados con el acolchado producen altos rendimientos y buena calidad de uvas. En promedio, las vides con acolchado pueden producir una y media veces más que las vides sin acolchado (4).

La vida útil del polietileno negro es de varios años y en cuanto a eficiencia en el combate de malezas, los mejores plásticos con un espesor de 300-400 micras, los cuales han demostrado resistencia a la perforación por malezas y excelente control de las mismas a 166 días de instalarlo (1).

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del área en estudio

El presente trabajo fue desarrollado en un sistema de microcuencas construídas en 1981 al pie de la sierra que se localiza al oeste del campo agrícola experimental "El Bajío" propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Coahuila; aproximadamente en la intersección de las coordenadas geográficas 25°22' latitud norte y 101° 03' longitud oeste a una altitud de 1763 msnm.

3.2 Descripción del sitio experimental

De acuerdo a las cartas geográficas de Coahuila publicadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, el clima en Buenavista, Coahuila está clasificado según la nomenclatura de Kopen, modificada por García (13) como BS,Rx semiseco templado con veranos lluviosos y escasa precipitación durante el resto del año.

La precipitación promedio anual varía en el rango de 400-500 mm/año y la evaporación es del orden de los 2000 mm/año. Los escurrimientos superficiales en una forma gruesa

se estiman en 20-50 mm para esta área, donde los acuíferos están sobreexplotados.

En el Bajío, los suelos son de textura media del tipo xerosol háplico sobre regolita calcica y en el cerro son del tipo resosol calcico sobre rendzina. En el bajío se practica la agricultura de riego en frutales caducifolios (nogal, durazno y manzano) y en cultivos anuales (maíz, frijol y pastos) mientras que en el cerro donde predomina el matorral rosetófilo, la única utilización actual es el pastoreo con ganado caprino y aunque su uso potencial agrícola es bajo, su uso potencial forestal con especies no maderables es aceptable.

3.2.1 Fenómenos climatológicos

Con la llegada de la primavera, la evaporación promedio mensual se incrementó desde 146 mm en febrero hasta 223 mm en marzo, alcanzando un valor máximo de 250 mm en el mes de abril, para luego disminuir durante los meses subsiguientes del verano y otoño hasta un valor tan mínimo como 131 mm registrados en noviembre, cuando el invierno se aproxima, lo cual puede ser apreciado en Figura 3.1.

El régimen pluviométrico típico del sitio experimental mostrado en Figura 3.2, indica que el 75% de la precipitación anual ocurre durante los meses de primavera y verano, siendo los meses más lluviosos mayo, julio y agosto con precipitaciones del orden de 57, 80 y 64 mm respectivamente.

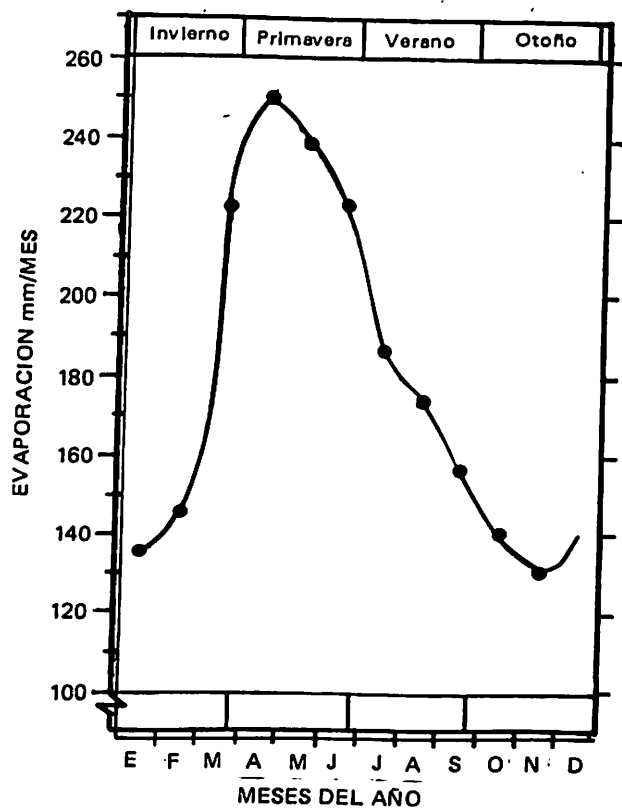


FIGURA 3.1 EVAPORACION PROMEDIO MENSUAL DE BUENAVISTA, COAHUILA

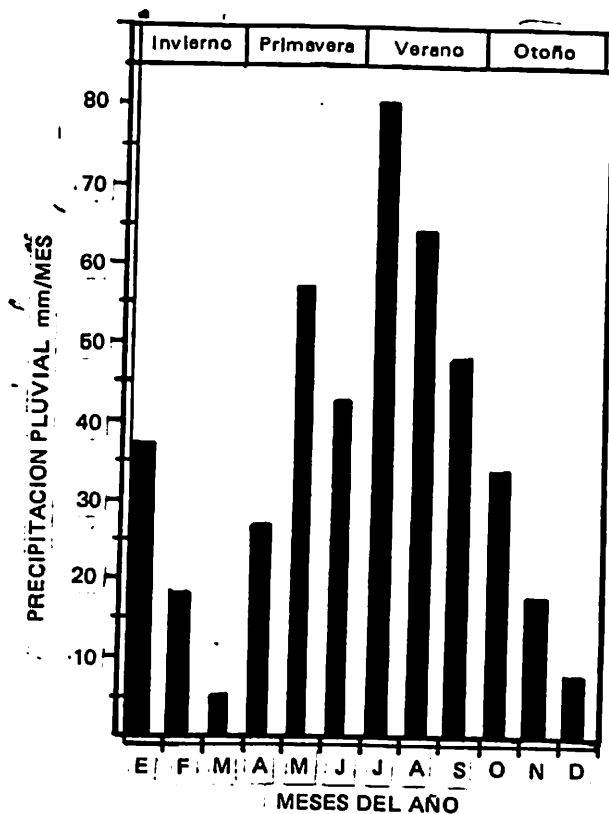


FIGURA 3.2 DISTRIBUCION MENSUAL DE LA PRECIPITACION EN BUENAVISTA, COAHUILA

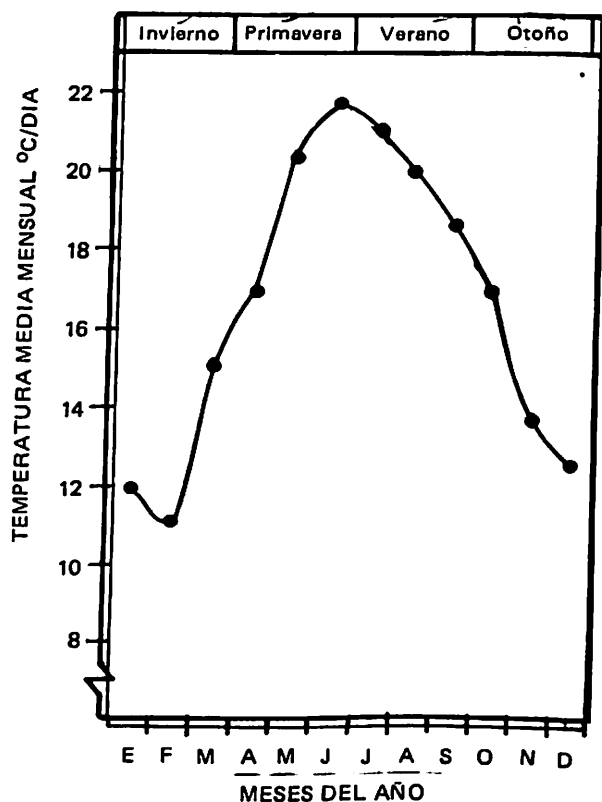


FIGURA 3.3 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL REGISTRADA EN BUENAVISTA, COAHUILA

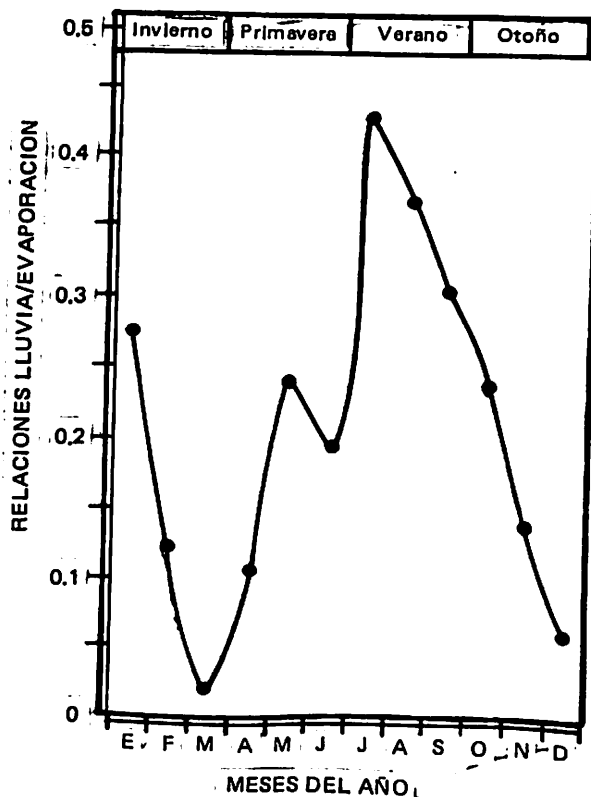


FIGURA 3.4 RELACIONES LLUVIA/EVAPORACION EN BUENAVISTA, COAHUILA

La temperatura ambiental más alta (21.7°C) se presenta en junio, al entrar el verano, y la temperatura ambiental más baja (11.3°C) se registra en febrero, a mitad del invierno, describiendo una tendencia parecida a la de la evaporación como se muestra en la Figura 3.3.

Las relaciones lluvia/evaporación mostradas en la Figura 3.4, son menores que la unidad en cualquier mes del año, lo cual indica que en la región se evapora más agua de la que llueve, situación clásica en zonas áridas y semiáridas.

La mayor relación lluvia evaporación, ocurre en julio (mes más lluvioso del año), cuando un 43% de la evaporación es restituida por la lluvia, sin embargo, en marzo y en abril, las precipitaciones solamente representan un 2 y un 11% de la evaporación respectiva, lo cual se traduce en una sequía estacional que resulta crítica para los árboles, arbustos y pastos, cuya brotación y crecimiento dependen exclusivamente del temporal.

3.2.2 Propiedades físico-químicas del suelo

Las microcuencas fueron constuidas en un suelo migajón limoso de 75-100 cm de profundidad, conservando la pendiente de 1.5% natural del terreno. La barrena de muestreo, difícilmente podía penetrar a más de un metro de profundidad porque el suelo descansa sobre roca fracturada; por lo anterior, las mediciones graviamétricas de humedad, se limitaron

a la profundidad de 0-25, 25-50 y 50-75 cm, pero en algunos árboles, este último estrato no podía ser muestreado.

Las propiedades físico-químicas del suelo, para cada una de las profundidades mencionadas, se muestran en el Cuadro 3.1 y su clasificación se indica enseguida.

Cuadro 3.1. Propiedades físico-químicas del suelo en el sitio de las microcuencas a las profundidades de 0-25, 25-50 y 50-75 cm.

Propiedades	Profundidad de muestreo		
	0-25	25-50	50-75
Físicas			
% Arcilla	25.3	18.3	13.3
% Limo	53.9	43.9	55.0
% Arena	20.8	37.8	30.8
Textura	Migajón limoso	Migajón	Migajón limoso
Densidad aparente gr/cc	1.36	1.29	1.50
Capacidad de campo % CC	17.9	20.9	23.6
Punto de marchitez % PMP	7.9	9.5	11.1
Humedad aprovechable, mm/m	136	147	188
Químicas			
Potencial hidrógeno pH	8.0	8.2	8.7
Conductividad eléctrica CEx10 ³	0.6	0.7	0.6
Nitrógeno total % N	0.29	0.11	0.10
Fósforo aprovechable kg P/ha	86.4	81.5	74.7
Potasio intercambiable kg K/ha	240.8	278.3	281.3
Materia orgánica % MO	1.8	1.2	1.7
Contenido de carbonatos % Co ₃	11.8	19.3	19.8
Capacidad de intercambio catiónico meq cic/100 gr	42.2	13.3	35.5
Relación de adsorción de sodio	1.33	0.55	0.61

El suelo es moderadamente alcalino ($8.0 < \text{pH} < 8.7$), sin problemas de salinidad ($0.57 < \text{CE} \times 10^3 < 0.60$), medianamente pobre en materia orgánica ($1.16 < \text{Mo} < 1.76\%$) y también en nitrógeno ($0.10 < \text{N} < 0.29\%$) y en fósforo ($75 < \text{P} < 86 \text{ kg/ha}$), alto en potasio ($240 < \text{K} < 281 \text{ kg/ha}$), mediano en carbonatos ($12 < \text{CO}_3 < 20\%$), con alta capacidad de intercambio catiónico ($13 < \text{CIC} < 42 \text{ meq/100 gr}$) y con una humedad aprovechable del orden de 157 mm/m propia de suelos con mediana retención de agua en el perfil.

En el Cuadro 3.2 se enlistan los métodos de laboratorio utilizados para el análisis de las características físicas y químicas de las muestras de suelo. La densidad aparente fue determinada directamente en campo utilizando el método de cilindro (para toma de muestras inalteradas).

3.3 El sistema de microcuencas

La vegetación natural del terreno donde se construyeron las microcuencas fue removida en 1985, y la superficie demostrada fue emparejada para corregir el microrelieve.

El sistema de microcuencas se construyó dividiendo el campo en una serie de franjas de $3.30 \times 6.00 \text{ m}$ y de $3.30 \times 7.00 \text{ m}$ separadas por bordes que hacían la función del par-teaguas.

Las franjas se orientaron longitudinalmente sobre la mayor pendiente del terreno y en sentido transversal se trazaron sobre la menor pendiente, de tal forma que en la esquina

Cuadro 3.2. Métodos de laboratorio utilizados durante el análisis de las muestras de suelo.

Características	Método de análisis
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos
Capacidad de campo	Ollas de presión 1/3 bar
Punto de marchitez	Ollas de presión 15 bares
Potencial hidrógeno	Potenciómetro (relación 1:2)
Conductividad eléctrica	Puente de Wheatstone (solución 1:5)
Materia orgánica	Combustión húmeda (Walkley and Blak)
Fósforo aprovechable	Método de Olsen (para pH 7.2)
Potasio intercambiable	Método de Peech
Carbonatos	Titulación
Capacidad intercambio	Acetato de amonio
Calcio	Vercenato
Magnesio	Vercenato
Sodio	Absorción atómica

Análisis de calcio, magnesio y sodio para la estimación de la relación de adsorción de sodio.

más baja de la microcuenca se concentraran los escurrimientos producidos por cada evento lluvioso. La altura de bordos de 15 cm fue suficiente para prevenir el desbordamiento durante las tormentas más fuertes registradas.

Cada franja representaba una microcuenca la cual se dividió en dos áreas, la de contribución o escurrimiento y la captación o almacenaje, esta última localizada en la esquina más baja de la microcuenca y plantada con un árbol de manzano, como se muestra en la Figura 3.5.

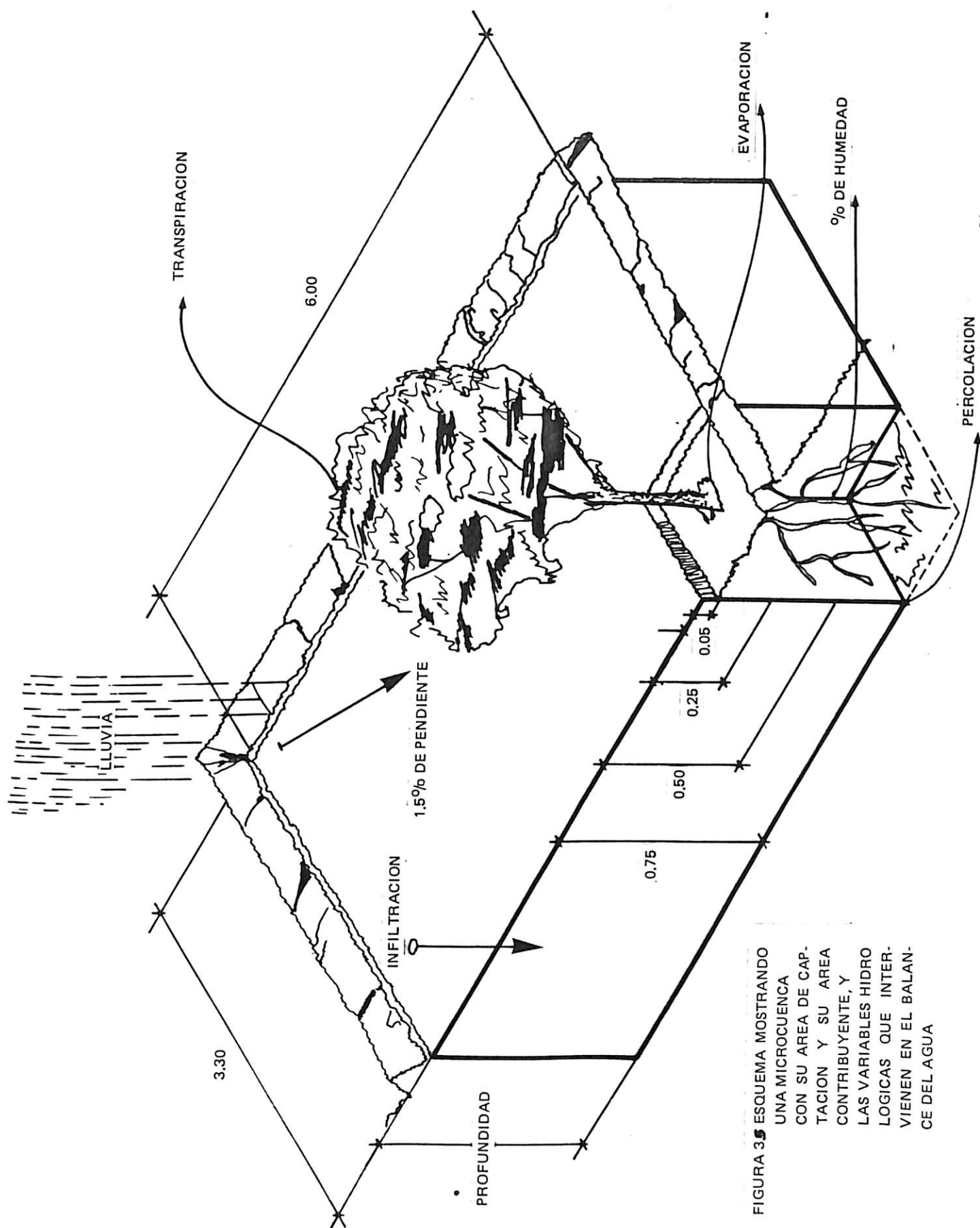


FIGURA 3.5 ESQUEMA MOSTRANDO UNA MICROCUENCA CON SU AREA DE CAPTACION Y SU AREA CONTRIBUYENTE, Y LAS VARIABLES HIDROLOGICAS QUE INTERVIENEN EN EL BALANCE DEL AGUA

El área de contribución fue suficientemente grande de tamaño para producir una cantidad de escurrimiento superficial equivalente al agua evapotranspirada por cada árbol de manzano que se plantó en el área de captación (donde los escurrimientos eran "cosechados").

El sistema de microcuencas fue plantado en 1981 con 50 árboles de manzano traídos de la huerta Sierra Hermosa, Mpio. de Arteaga, y en Abril de 1985 cuando este estudio fue iniciado, los árboles tenían aproximadamente 3½ años de edad y ensayaban sus primeros frutos.

De los 50 árboles plantados, 20 son de la variedad Golden Delicious injertados en patrón MM-106 más diez de la misma variedad pero injertados en patrón doméstico o estandard y los veinte restantes de la variedad Red Delicious también en patrón doméstico. El cajete de los árboles era cuadrado, de 1.50 m por lado y constituía el área de captación para almacenaje del agua de escurrimiento.

Los árboles utilizados para este estudio tenían aproximadamente 1.40 m de altura y fueron seleccionados de la población establecida lo más uniformemente posible tomando doce árboles de la variedad Golden Delicious y otros doce de la variedad Red Delicious para conformar cuatro bloques de seis árboles cada uno requeridos para la distribución de los tratamientos descritos a continuación.

3.3.1 Tratamientos del área de escurrimiento

A fin de reducir la permeabilidad del suelo e incrementar el escurrimiento producido, el área de construcción fue tratada por los siguientes métodos:

- a) Suelo desnudo deshierbado y emparejado
- b) Tratamiento químico con carbonato de sodio
- c) Recubrimiento plástico con polietileno negro + grava.

En las microcuencas con suelo desnudo se eliminaron las malezas y se afinó la superficie del suelo con un rastrillo de mano, procurando mantenerla así durante la conducción del experimento.

En las microcuencas tratadas con carbonato de sodio, las áreas de escurrimiento fueron limpiadas y emparejadas para luego aplicarles una dosis de 10 kg de dicho dispersante químico, calculada con la fórmula de Reginato.

El carbonato de sodio se incorporó manualmente en los primeros 15 cm superficiales del suelo mediante un rastrillo de dientes de acero. Después de haber incorporado el carbonato se emparejó el suelo con un rastrillo de madera y posteriormente fue humedecido para luego compactarse con un rodillo de 96 cm de longitud, 30 cm de diámetro y un peso total de 235 kg. Dos pasadas fueron dadas con el rodillo compactador en toda la microcuenca excluyendo el área de captación (o cajete del árbol).

En las microcuencas recubiertas con polietileno + grava, se deshirió y emparejó la superficie de escurrimiento para enseguida extender una película de polietileno negro a lo largo y ancho de toda la microcuenca incluyendo los talúdes internos de los bordos pero excluyendo el área de captación (especialmente en los árboles donde el suelo del cajete se dejó sin acolchar, como se explica más adelante). La película de polietileno fue fijada al terreno, enterrando los extremos que quedaron encima de los bordos.

Después de la colocación del polietileno se procedió a tapar el plástico con una capa de grava de 5 cm de espesor para protegerlo de los rayos solares y alargar su vida útil.

3.3.2 Tratamiento del área de captación

Para incrementar la eficiencia en la cosecha de agua, los tres tratamientos del área de escurrimiento se combinaron con dos tratamientos del área de captación (con y sin acolchado plástico) de tal forma que el recubrimiento o acolchado del cajete con polietileno perforado permitiera la infiltración del agua captada pero retardara la evaporación directa del suelo preservando por más tiempo la humedad en la zona radicular del árbol proporcionando al mismo mayor oportunidad para evapotranspirar satisfactoriamente entre eventos lluviosos.

Los tratamientos aplicados en el área de captación del árbol fueron los siguientes:

- a) Cajete sin acolchado plástico
- b) Cajete con acolchado plástico

Durante el acolchado de los cajetes con película plástica una pieza de polietileno negro de 400 micras de espesor y 2.40 m^2 fue extendida sobre el área de captación cortando un poco más de lo requerido para poder fijarla al terreno.

Una vez instalado el polietileno, éste fue perforado en cruz al azar para permitir el paso del agua y el intercambio de gases, luego fue cubierto con una capa de grava de aproximadamente 5 cm de espesor para protegerlo de los factores climáticos.

3.3.3 Arreglo de tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos antes mencionados se estudiaron bajo un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas donde la parcela mayor estaba representada por el tratamiento de las áreas de escurrimiento y la parcela menor por el acolchado de las áreas de captación, de cuya combinación resultaron las siguientes seis interacciones:

- a1 b1: Suelo desnudo sin acolchado plástico
- a1 b2: Suelo desnudo con acolchado plástico
- a2 b1: Carbonato de sodio sin acolchado plástico
- a2 b2: Carbonato de sodio con acolchado plástico

a2 b1: Polietileno negro + grava sin acolchado

a3 b2: Polietileno negro + grava con acolchado.

La distribución en campos de estos tratamientos es mostrada en la Figura 3.6 con cuatro repeticiones siguiendo el diseño de bloques al azar en parcelas divididas, donde cada bloque estaba representado por seis árboles de una misma variedad localizados en forma perpendicular a la mayor pendiente de las microcuencas.

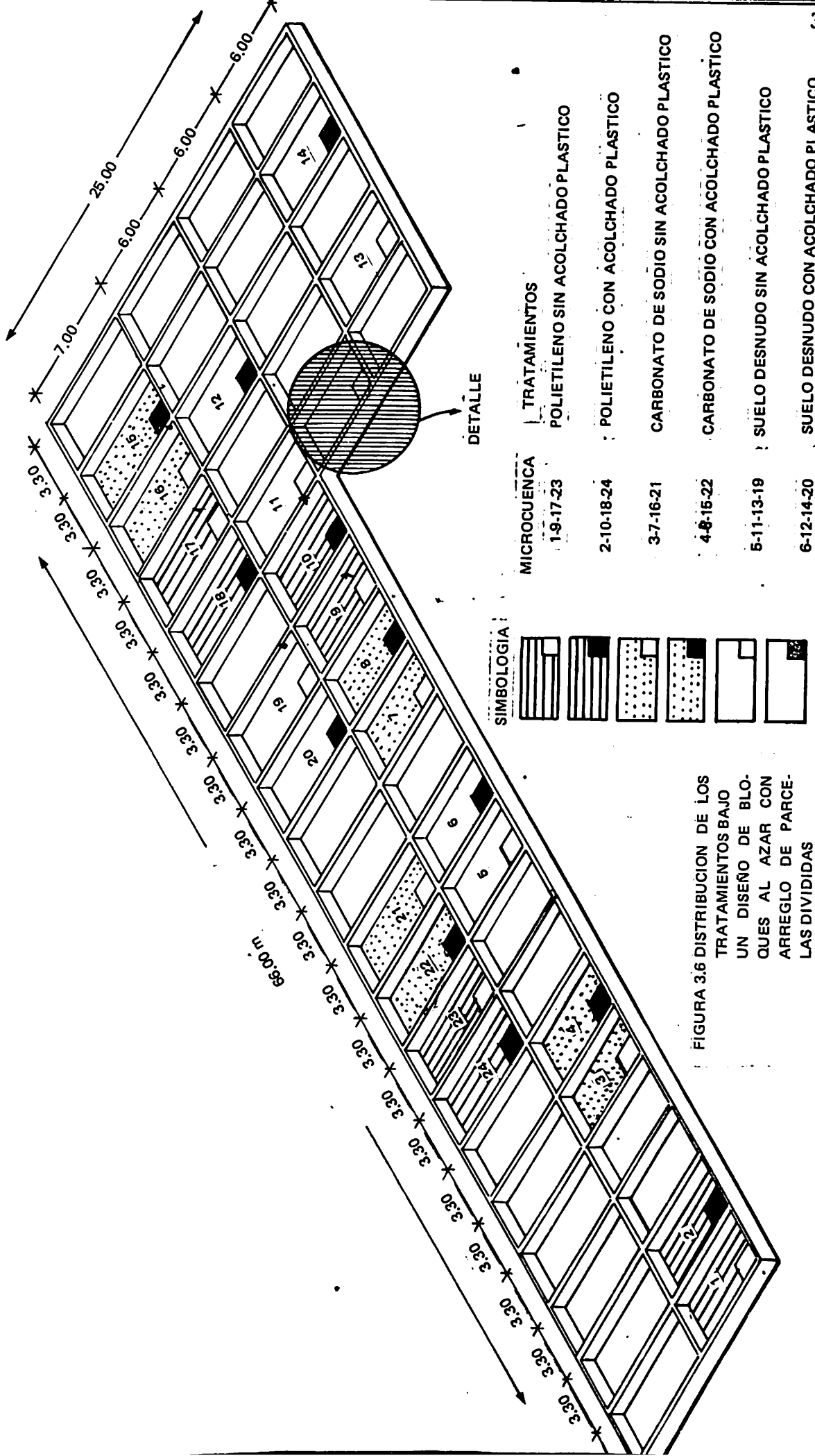
3.3.4 Mantenimiento de las microcuencas

Varios trabajos fueron realizados para reacondicionar las microcuencas entre las cuales se mencionan: reconstrucción de bordos, reforzamiento, rectificación y compactación de los taludes, y eliminación de las malezas.

Se le proporcionó mejor formación a los árboles, podando con tijeras y serrucho, las tijeras se usaron para el despunte de brotes y eliminación de "chupones" y el serrucho fue utilizado en la eliminación de ramas secas o de crecimiento indeseable, los brotes fueron despuntados aproximadamente a la séptima yema cortando cerca de la más vigorosa para estimular una rápida brotación y buena cicatrización.

El cajete del árbol fue reconstruido y la tierra del área de sombreo fue removida para mejorar su porosidad, excavando a una profundidad de 12 cm con azadón.

PLANO GENERAL



3.4 Pruebas de permeabilidad

3.4.1 En campo

La infiltración del suelo en el área de escurrimiento fue medida por el método de los cilindros infiltrómetros de carga constante, observando menor velocidad de infiltración en las microcuencas tratadas con carbonato de sodio que en las microcuencas con suelo desnudo como se muestra en la Figura 3.7.

La infiltración en las microcuencas recubiertas con película plástica no fue determinada debido a la obvia impermeabilidad del polietileno.

3.4.2 En laboratorio

Una muestra no tratado de suelo fue tomada del experimento para estudios de permeabilidad en laboratorio, la cual fue secada al aire y tamizada en malla de 2 mm antes del ensayo.

Para determinar el efecto del Na_2CO_3 sobre la permeabilidad o conductividad hidráulica, se utilizaron cinco permeómetros, cada uno conteniendo una columna de suelo de 7.5 cm de altura por 5.4 cm de diámetro con diferentes dosis de carbonato de sodio: 0, 0.39, 0.78, 1.18 y 1.57 gr, la carga de agua fue de 2 cm y se mantuvo constante sobre la superficie del suelo, aplicando el agua por medio de una manguera; se

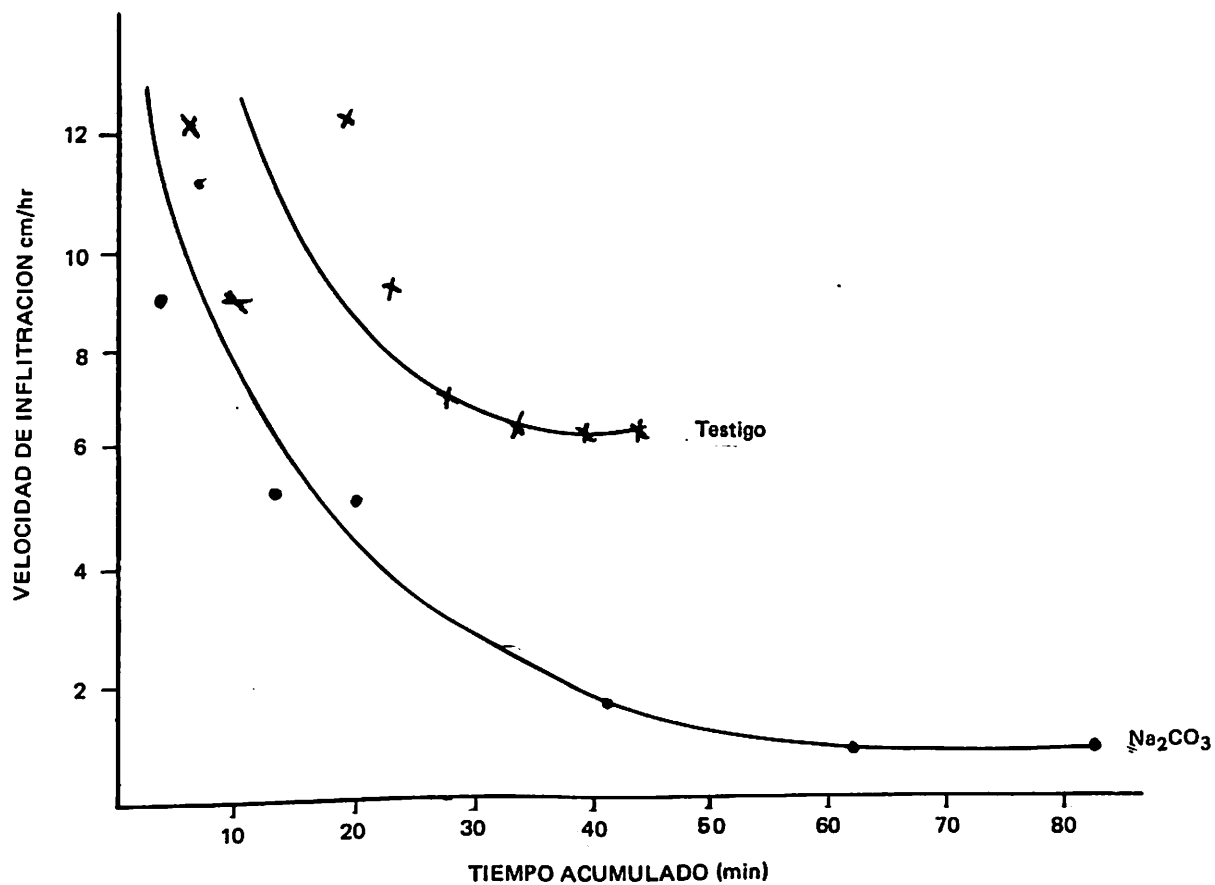


FIGURA 3.7 CURVAS DE VELOCIDAD DE INFILTRACION OBSERVADAS EN EL AREA DE ESCURRIMIENTO DE LAS MICROCUENCAS TRATADAS CON CARBONATO DE SODIO Y NO TRATADAS (SUELO DESNUDO)

midió el gasto percolado y se determinó la conductividad hidráulica para los cinco diferentes tratamientos, aplicando la ecuación de Darcy.

Los resultados de esta prueba de permeabilidad se muestran en la Figura 3.8 y 3.9, donde se puede apreciar que la conductividad hidráulica del suelo sin tratar fue de 5.38 cm/hr, mientras que en los suelos tratados se alcanzó una conductividad hidráulica de: 2.21, 0.62, 0.21, 0.19 cm/hr para cada uno de los tratamientos, respectivamente.

Se observó que el Carbonato de sodio efectivamente reduce la percolación del suelo, como material dispersante, puede ser eficazmente usado en el campo para tratar la superficie del suelo del área de escurrimiento. Estos resultados concordaron favorablemente con la dosis de Carbonato de sodio dado por la ecuación de Reginato, lo cual demuestra la confiabilidad de esta fórmula.

3.5 Datos tomados y metodología de muestreo

3.5.1 Datos hidrológicos

En la precipitación pluvial medida en un pluviómetro instalado en un costado del terreno donde se llevó a cabo el experimento, las lecturas se procuraban efectuar inmediatamente después de una lluvia cuando esto ocurría en el día o muy temprano en la mañana cuando ocurría durante la noche.

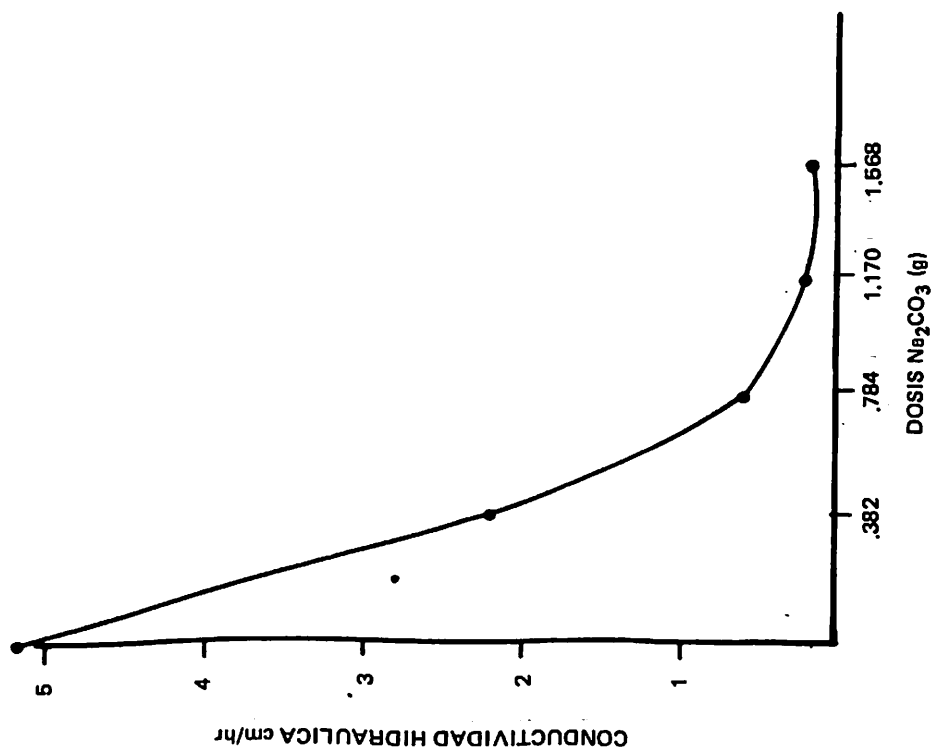


FIGURA 3.8 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA cm/hr DEL SUELO A DIFERENTES DOSIS DE CARBONATO DE SODIO

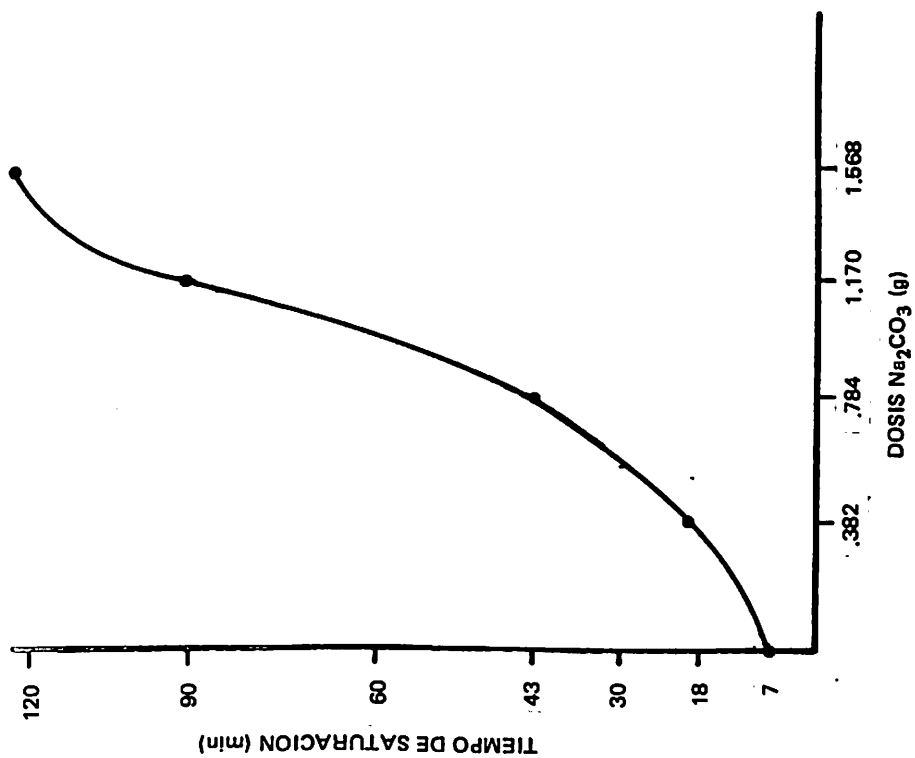


FIGURA 3.9 TIEMPO DE SATURACION ANTES DE PERCOLARSE

Las muestras de humedad se realizaban dos veces por semana a tres diferentes profundidades (0-25, 25-50 y 50-75 cm), en el área de captación o cajete del árbol, muestreando los 24 cajetes entre las 10:00 a 13:00 horas del día.

3.5.2 Datos fenológicos

El crecimiento de los brotes fue medido en tres brotes por árbol, tomándose de la parte media en ramas de madera del año anterior, etiquetando lo más cerca posible al corte relativo durante la poda.

Para la cuantificación del diámetro se tomaron dos lecturas, una al inicio que fue el 6 de mayo de 1985 y otra al término del experimento que fue el 20 de octubre del mismo año.

Las lecturas del grosor del tronco se tomaron con un vernier, midiendo el diámetro del árbol a 20 cm por encima de la superficie del suelo.

3.6 Procesamiento de datos

3.6.1 Balance del agua

El balance del agua en las microcuencas durante una lluvia no pudo ser establecido con precisión por las dificultades encontradas al tratar de estimar el verdadero volumen de escurrimiento generado durante la duración de la precipitación con intensidad desconocida. La cantidad de agua -

cosechada en el cajete del árbol se estimaba para saber cuanto se percolaba y cuanto quedaba retenida a la profundidad radicular; era difícil de determinar especialmente cuando el porcentaje de humedad en el suelo inmediatamente antes de una lluvia no se tenía y hasta cierto punto el balance resultaba un tanto especulativo.

Por lo anterior, el balance del agua sólo fue aplicado en los datos tomados durante períodos de muestreo sin lluvias intermedias, con el fin de determinar la evapotranspiración. El escurrimiento superficial generado en las microcuencas fue estimado a partir de los coeficientes de escurrimiento encontrados para suelo desnudo, carbonato de sodio y polietileno en estudios anteriores (Serna, 1984) los cuales fueron de 0.2, 0.65 y 0.85 respectivamente.

3.6.1.1 Evapotranspiración observada (medida)

A partir de los muestreos de humedad del suelo se determinó la evapotranspiración (ET) y calculando la humedad consumida entre fechas consecutivas de muestreo del suelo a la profundidad de 0-75 cm y en función de esas diferencias en contenido de humedad y de las características del suelo (D_a , P_r) se obtuvieron las láminas de agua evapotranspiradas en un determinado período de tiempo sin ocurrencia de lluvias; de acuerdo a la ecuación:

$$L_c = \frac{P_{w_1} - P_{w_2} \quad D_a \quad P_r}{100}$$

$$ET = \frac{Lc \times 10}{T}$$

donde:

ET = Evapotranspiración (mm/día).

T = Tiempo (días).

Pw₁ = Porciento de humedad para el tiempo inicial de la medición.

Pw₂ = Porciento de humedad para el tiempo final de la medición.

Da = Densidad aparente (gr/cc),

Pr = Profundidad (cm).

Lc = Lámina consumida (cm).

3.6.1.2 Escurrimiento estimado

La fase de los volúmenes de agua cosechados fue estimado utilizando la siguiente ecuación:

$$Ec = A \times P \times Ce + a \times P$$

donde:

Ec = Escurrimiento colectado (lts).

A = Area de escurrimiento (m²).

Ce = Coeficiente de escurrimiento.

a = Area de cultivo (m²).

P = Lluvia (mm).

11416

U.A.A.A.N.

3.6.2 Crecimiento de los árboles en función de la humedad en el suelo

Los crecimientos observados por fecha de muestreo fueron concentrados de acuerdo al diseño y su varianza fue analizada en el centro de cómputo de la UAAAN para establecer el nivel de significancia estadística. Los crecimientos promedios observados por tratamiento fueron graficados en función del tiempo y se ajustaron en tendencia a una curva logística.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Régimen pluviométrico registrado en el experimento

La precipitación acumulada desde brotación de los árboles hasta el día de su defoliación fue de 213 mm, ocurriendo la mínima precipitación (0.5 mm) el 4 de junio, y la máxima precipitación (33 mm) el 21 de octubre. El mes con más lluvias fue Junio cuando se registraron 9 eventos lluviosos y los meses más secos fueron Abril y Agosto cuando se registraron tres eventos lluviosos menores de 12 mm.

Durante el período experimental la precipitación promedio registrada fue de 9.8 mm/día con una desviación del orden de ± 8.4 mm/día.

El intervalo más amplio entre lluvias fue de 23 días en abril y el más pequeño fue de 2 días en junio; la distribución de las precipitaciones a lo largo del período experimental se muestra en la Figura 4.1, donde se puede apreciar lo antes mencionado.

Las lluvias menores de 10 mm ocurrieron con más frecuencia y las lluvias mayores de 10 mm ocurrieron con menos

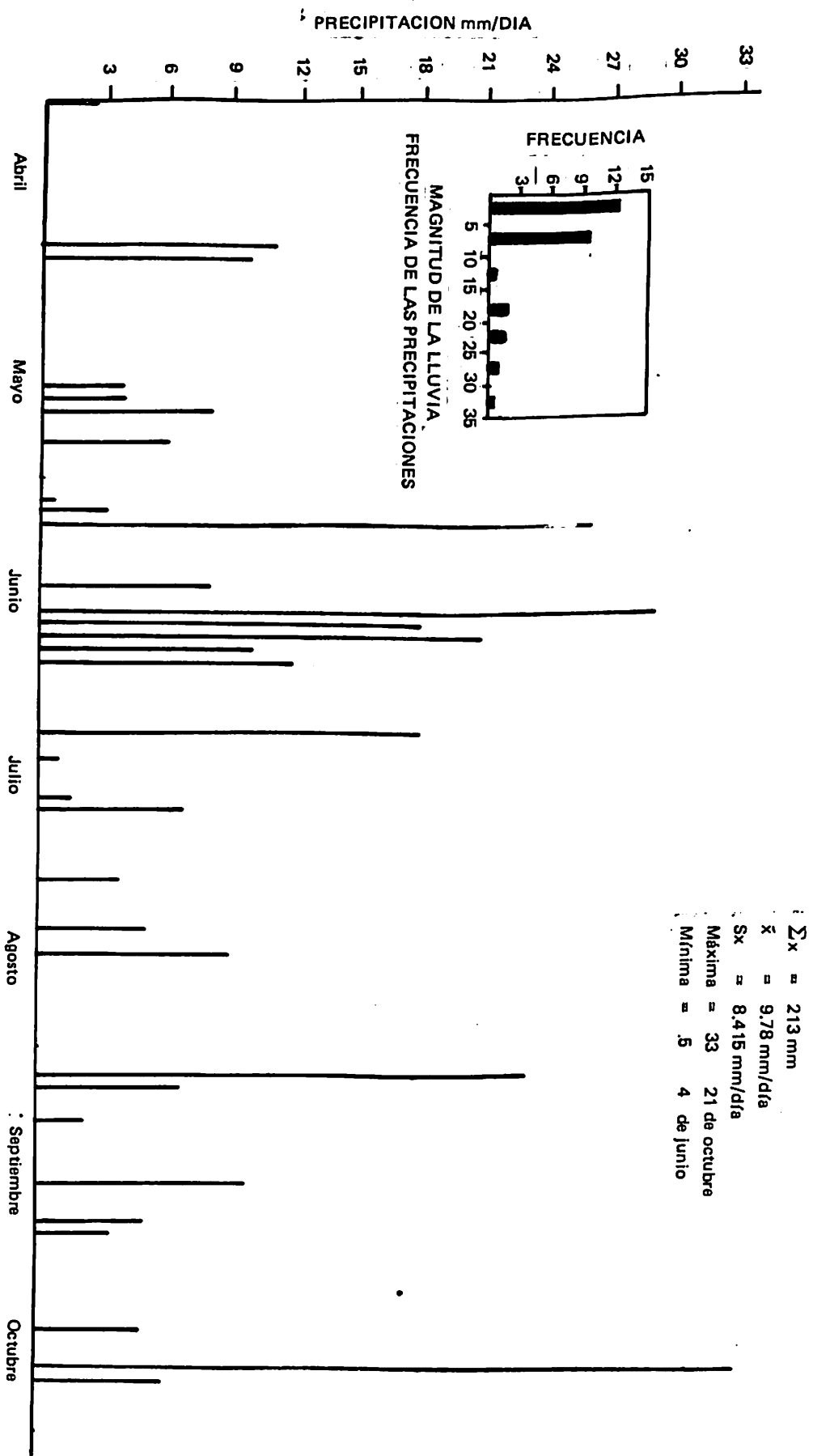


FIGURA 4.1 PRECIPITACION PLUVIAL REGISTRADA EN EL SITIO DE LAS MICROCUENCAS DURANTE EL PERIODO EXPERIMENTAL COMPRENDIDO DEL 1 DE ABRIL AL 22 DE OCTUBRE DE 1985

frecuencia concentrándose la mayor parte de éstas últimas en el mes de junio.

4.2 Distribución de la humedad

En general el porcentaje de humedad en el suelo con acolchado plástico fue mayor que en el suelo sin acolchado, lo cual se puede observar en la Figura 4.2. En promedio la diferencia en porcentaje de humedad entre el suelo con y sin acolchado fue de uno por ciento.

La humedad mostró mayor variación en el suelo sin acolchado en la profundidad de 0-25 cm y por lo que respecta a las otras capas, la variación de humedad fue significativamente menor observándose siempre un porcentaje de humedad más bajo en el suelo sin acolchar, lo cual demuestra la importancia del polietileno como retardador de la evaporación directa del suelo.

Aparentemente las diferencias de humedad entre el suelo con y sin acolchado son pequeñas, sin embargo, éstas alcanzaron significancia estadística al 95% de aceptación en una prueba de comparación de medias, aplicando la t Student. El retardo de la evaporación causado por el polietileno tiene mayor impacto sobre la conservación de humedad durante períodos de sequía prolongada como ocurrió del 23 de agosto al 3 de septiembre y del 2 al 17 de octubre cuando el abatimiento de la humedad de los cajetes sin acolchado fue mayor que en el suelo con acolchado.

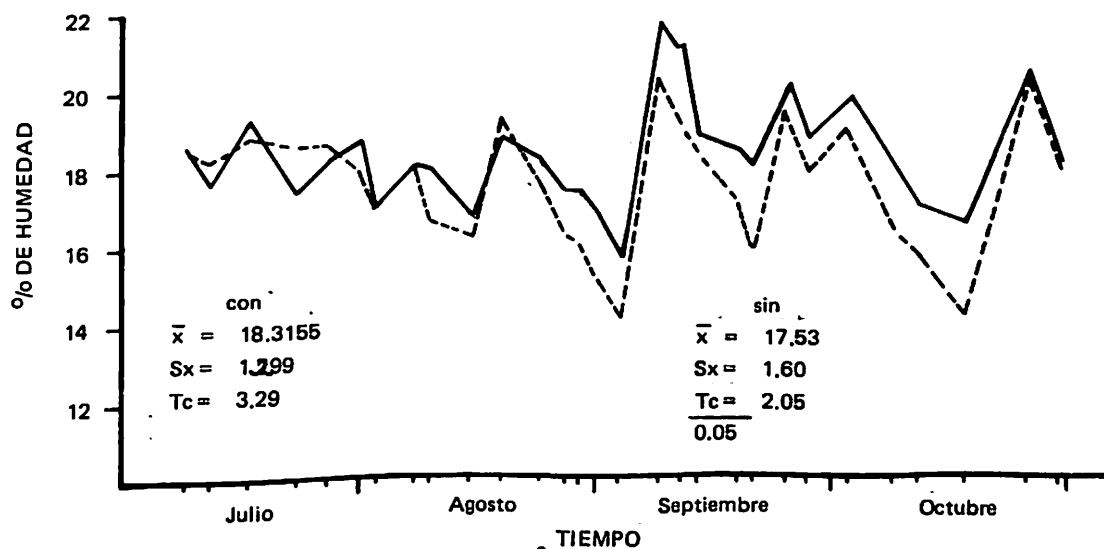
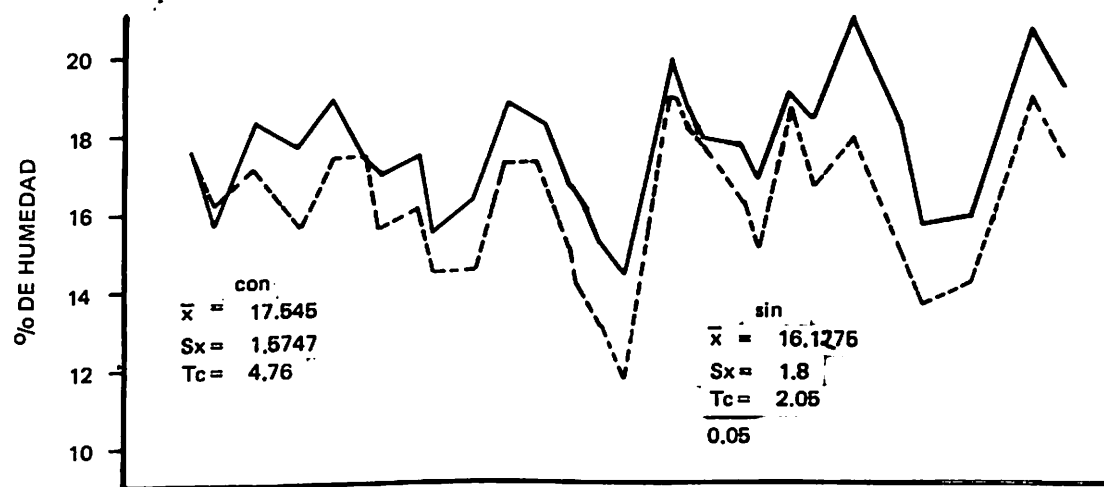
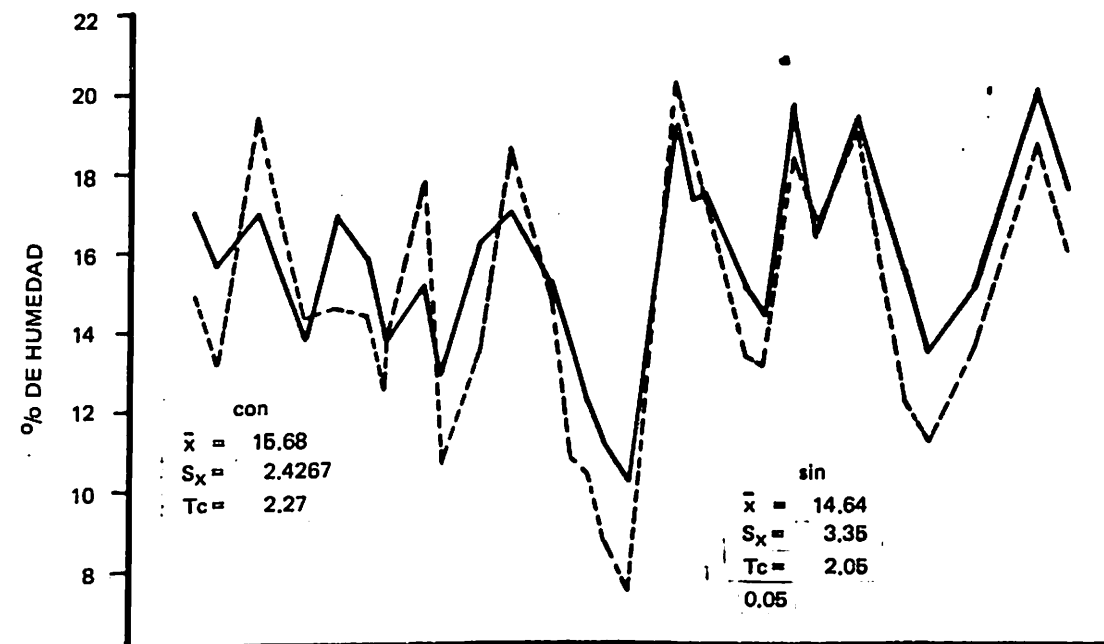


Figura 4.2 VARIACION DE LA HUMEDAD EN EL SUELO CON(—)Y SIN (---) ACOLCHADO A LA PROFUNDIDAD DE 0-25, 25-50 Y 50-75 cm DEL PERFIL EXPLORADO POR LAS RAICES DE LOS ARBOLES

En la capa de 0-25 cm del suelo sin acolchado, la humedad varió de 10.2 a 20.1 por ciento, base peso, mientras que en el suelo sin acolchado varió de 7.4 a 20.3 por ciento para la misma capa.

4.3 Escorrimento colectado

El escurrimiento generado por evento lluvioso fue estimado para cada uno de los tratamientos de las microcuencas aplicando los coeficientes reportados por Serna en 1984.

Un mayor escurrimiento fue producido en las microcuencas recubiertas con polietileno negro más grava, quedando en segundo lugar como inductor de escurrimiento el carbonato de sodio y por último el suelo desnudo, lo cual se muestra en la Figura 4.3.

Los escurrimientos se estimaron solamente en función del coeficiente de escurrimiento, sin embargo, como la esorrentía superficial también depende de la intensidad y duración de las lluvias y de la velocidad de infiltración del suelo entonces el escurrimiento potencial generado por lluvias menores de 5 mm fue cuestionable principalmente en las microcuencas con suelo desnudo.

4.4 Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de los árboles

4.4.1 Crecimiento de los brotes

El análisis de varianza no reportó significancia estadística para las diferencias en crecimiento observado en los -

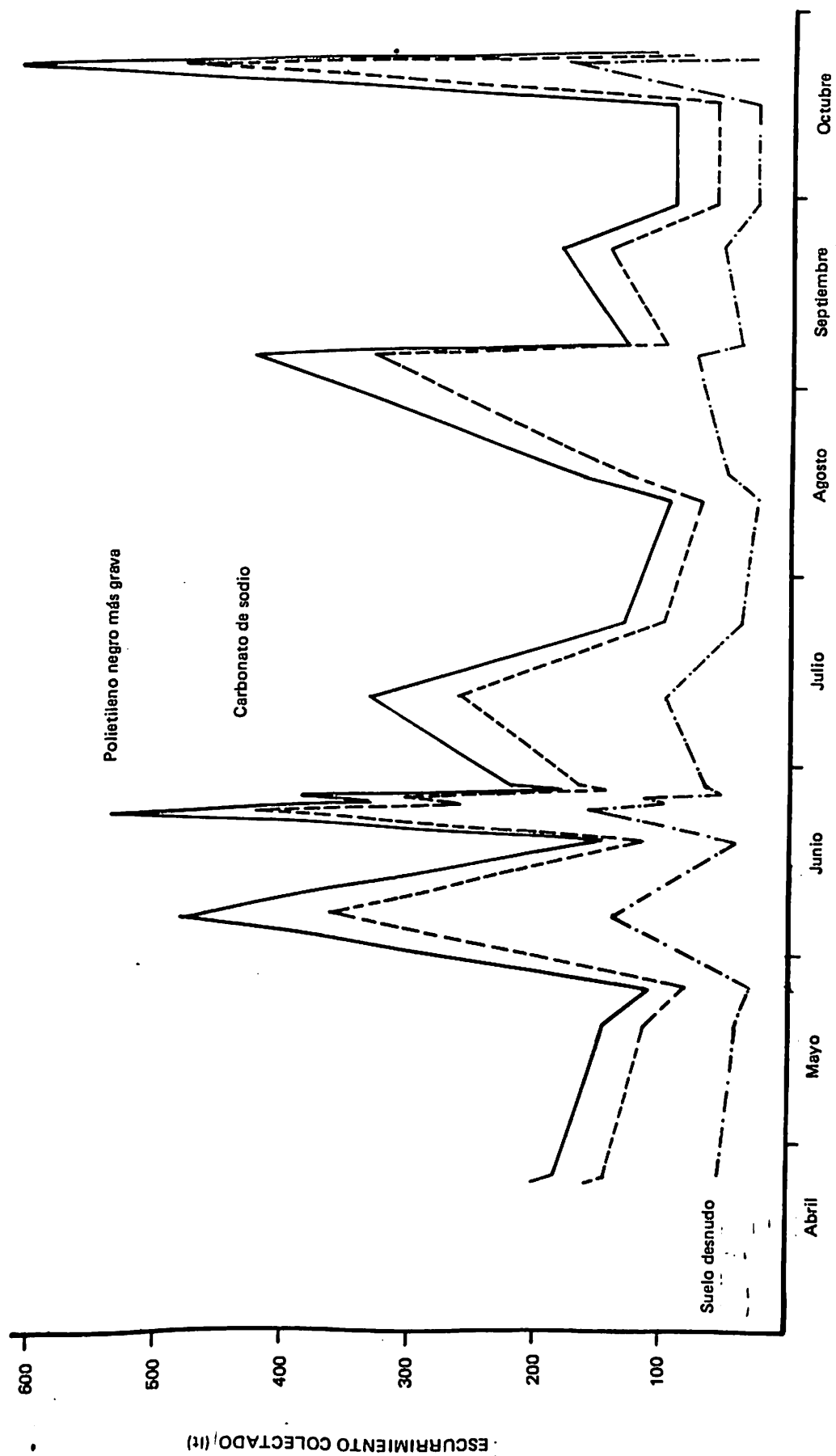


FIGURA 4.3 ESCURRIMIENTO COLECTADO POR EVENTO LLUVIOSO EN LAS MICROCUENCAS

árboles por microcuencia. Las curvas de crecimiento para cada uno de los tratamientos probados se muestran en la Figura 4.4, donde se puede apreciar una tendencia muy similar en la mayoría de ellas.

A pesar de la falta de significancia estadística, ciertas tendencias fueron notables, entre ellas se pueden mencionar las siguientes: los árboles con acolchado plástico desarrollados en las microcuencias con polietileno negro con grava tendieron a crecer más que los árboles sin acolchado, mientras que en las microcuencias con suelo desnudo las diferencias en crecimiento entre árboles con y sin acolchado fue relativamente pequeño.

En las microcuencias tratadas con carbonato de sodio, los árboles con acolchado tendieron a crecer menos que los árboles sin acolchado, lo cual fue probablemente debido al arrastre incidental del carbonato de sodio en el agua de escurrimiento, el cual fue depositado en el área de captación ocasionando la dispersión del suelo y algo de toxicidad en la planta.

Los brotes se mantuvieron en crecimiento activo durante Abril, Mayo, Junio y Julio, mostrando la mayor velocidad de crecimiento entre el 15 de mayo y 15 de junio, antes de la época más lluviosa del ciclo. Esto indica que las precipitaciones que tuvieron mayor influencia sobre los crecimientos fueron aquellas ocurridas entre el 15 de Mayo y el 18 de

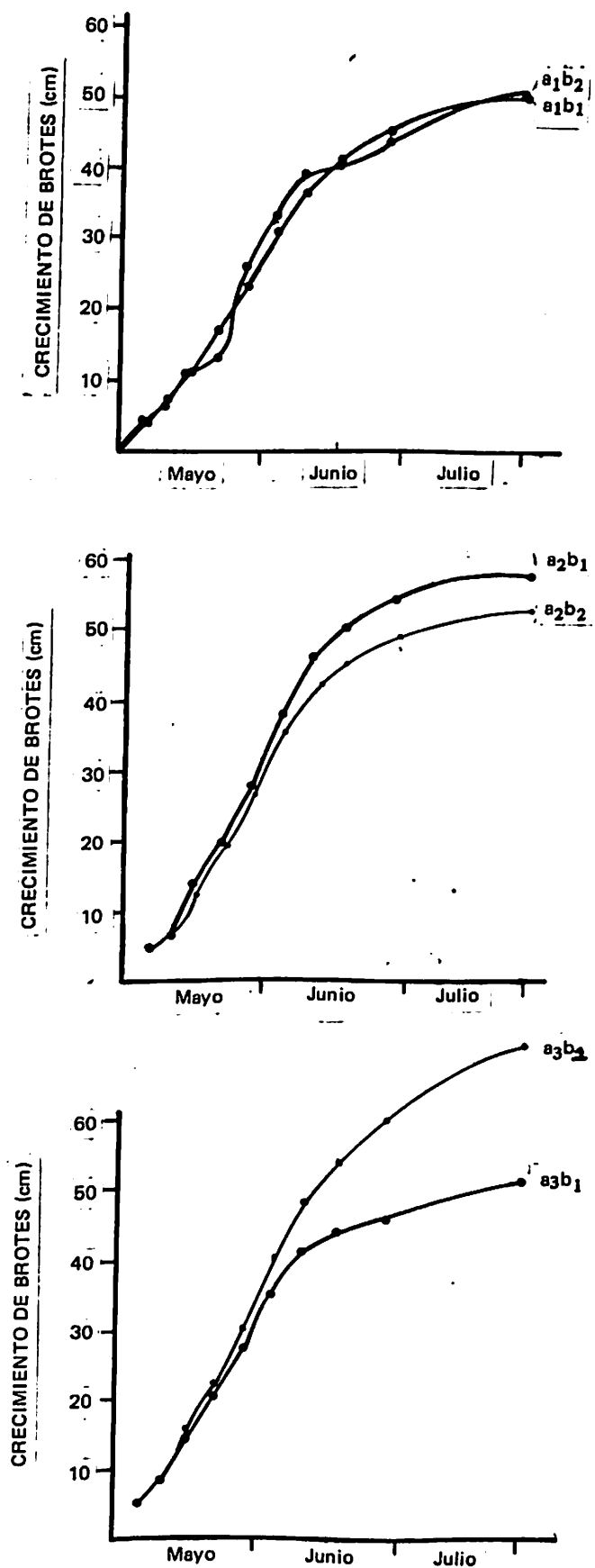


Figura 4.4. CRECIMIENTO TOTAL DE BROTES (cm) EN CADA MICROCUENCA CON DIFERENTES TRATAMIENTOS EN EL AREA DE ESCURRIMIENTO

Junio, época en la cual ocurrieron ocho eventos lluviosos que en total aportaron 60 mm de agua.

Del primero de Abril al 15 de Mayo solamente se registra ron tres lluvias y éstas aportaron 23 mm insuficientes para promover el crecimiento, puesto que los brotes crecieron lentamente durante esas fechas.

La floración de los árboles se presentó al final del mes de marzo, inmediatamente seguida por la brotación de las yemas vegetativas, brotando primero las más cercanas al corte realizado durante la poda.

El amarre de fruto se presentó a los 70 días después de la floración en 13 árboles, y la madurez de esos frutos ocurrió 80 días después del amarre. El crecimiento de los brotes tendió a estabilizarse aproximadamente el 25 de julio, fecha en que los árboles sin acolchado mostraron un crecimiento total de 50 cm en las microcuencas con suelo desnudo, mientras que los árboles con acolchado en las microcuencas con polietileno negro con grava mostraban un crecimiento de 71 cm.

4.4.2 Incremento del grosor del tronco

Conforme se incrementó la eficiencia en la cosecha de agua el grosor de los troncos tendió a incrementarse principalmente en los árboles con acolchado de las microcuencas con Carbonato de sodio y polietileno negro con grava, donde

los troncos mostraron un incremento en diámetro del orden de 1.17 y 1.55 cm respectivamente, lo cual se puede observar en la Figura 4.5.

En las microcuencas con suelo desnudo el acolchado plástico no afectó significativamente el grosor del tronco debido probablemente a que menos agua de escurrimiento era cosechada en estas microcuencas.

En las microcuencas tratadas con Carbonato de sodio, los árboles mostraron un incremento de tronco del orden de .46 cm parecido al observado en los árboles de las microcuencas con suelo desnudo, y lo mismo se observó en los árboles sin acolchado de las microcuencas con polietileno negro más grave.

Los resultados observados muestran que el efecto retardador de la evaporación dado por el polietileno se manifiesta sólo cuando el tratamiento de la microcuenca produce escurrimientos considerables en cada lluvia.

Por otra parte en la eficiencia en la cosecha de agua se ve disminuida cuando solamente se impermeabilizó el área de escurrimiento, pero no se acolchó el área de captación para preservar la humedad.

4.5 Efecto del acolchado sobre la evapotranspiración

El acolchado plástico redujo la evapotranspiración de los árboles, principalmente después de una lluvia y evitó

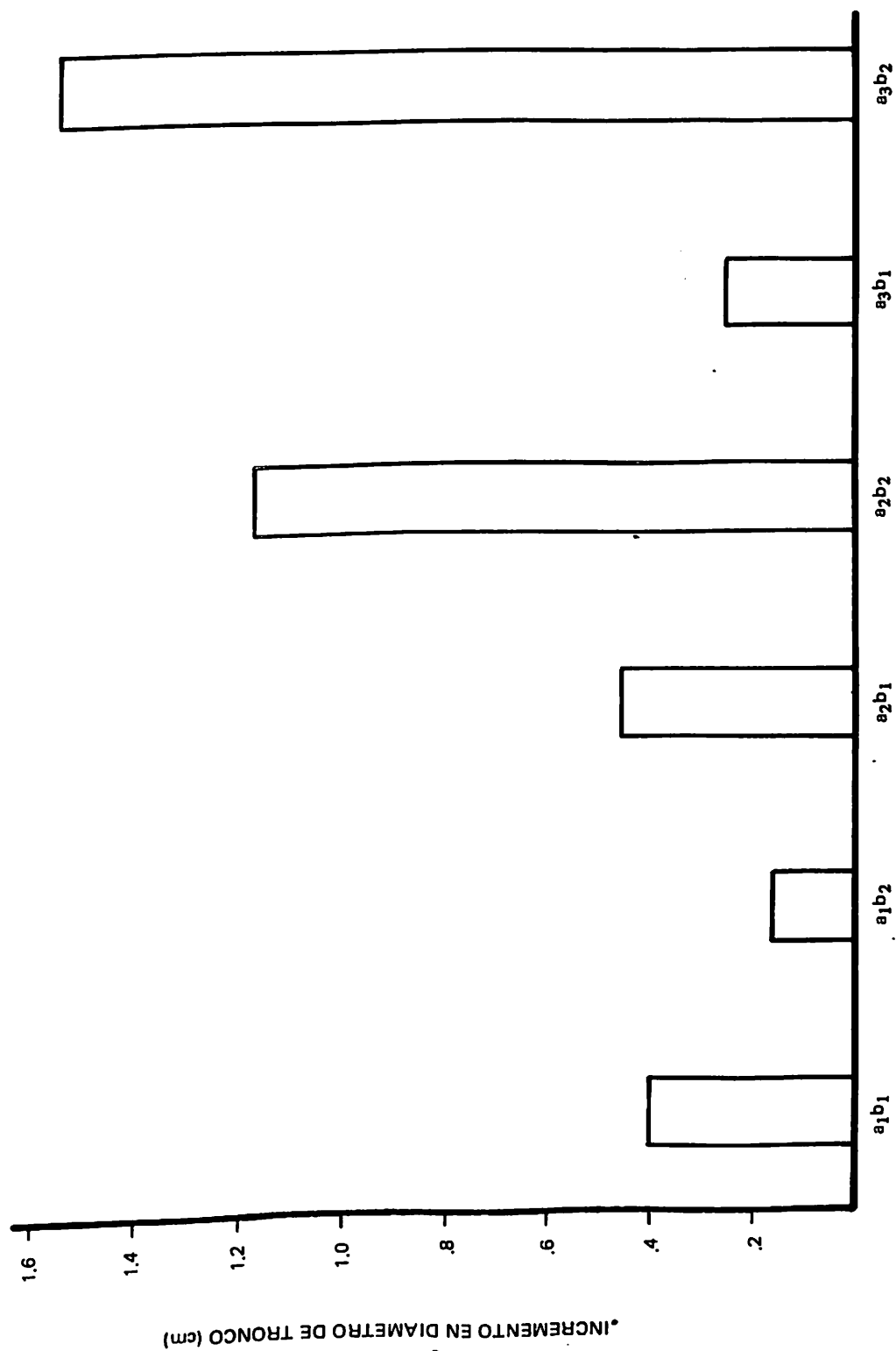


FIGURA 4.5 INCREMENTO DEL DIAMETRO DEL TRONCO PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

que los árboles sufrieran un déficit severo de humedad, durante los periodos de sequía prolongada.

Por lo anterior, la evapotranspiración diaria en los árboles acolchados varió menos que los árboles sin acolchar. Durante el ciclo, los árboles con acolchado evapotranspiraron 1.8 a 6.6 mm/día, y los árboles sin acolchado evapotranspiraron de 0.6 a 11.7 mm/día, siguiendo el comportamiento mostrado en la Figura 4.6.

El retardo en la evapotranspiración ejercido por el acolchado plástico fue significativo al 90% de confianza con 17 grados de libertad, lo cual se demostró con una prueba de t Student.

4.6 Variación en las características químicas del suelo por efecto del carbonato de sodio

Antes de aplicar el carbonato de sodio, el suelo tenía en promedio 8.5 de pH, 0.86 mmhos/cm de CE y 1.06 de RAS.

Después de aplicar el carbonato de sodio, la calidad del agua de escurrimiento fue alterada, ocasionando cambios en las características químicas del suelo en el área de captación donde el agua cosechada se infiltraba.

Después de seis meses de captación del agua escurrida, incrementó significativamente el pH del suelo y el sodio intercambiable en la capa de 0-25 cm, pero redujo la CE y la concentración de calcio + magnesio de la misma capa; como se muestra en las gráficas de la Figura 4.7.

Conforme se incrementaba la profundidad de suelo el PSI fue disminuyendo hasta casi igualar al contenido original aproximadamente a los 75 cm de profundidad; el pH del suelo mostró un comportamiento parecido al anteriormente descrito.

La CE del suelo se redujo durante el experimento, debido a la lixiviación de sales en el agua de percolación, las cuales viajaron más allá de los 75 cm de profundidad.

Por su parte, la RAS fue incrementada en la capa de 0-25 cm, inalterada en la capa de 25-50 cm, y disminuído en la capa de 50-75 cm o sea que la RAS observada a los seis meses tendió a disminuir conforme se incrementaba la profundidad de suelo; lo cual fue debido a que el sodio adsorbido en la capa superficial del cajete sustituyó al calcio y al magnesio, los cuales fueron lixiviados hacia capas más profundas en el agua de percolación incrementando relativamente las concentraciones de calcio y magnesio.

Los análisis del sodio intercambiable hechos antes y después del experimento mostraron claramente que hubo arrastre de carbonato de sodio desde el área de escurrimiento hacia el área de captación, lo cual se puede evitar incorporando solamente la cantidad requerida de dicho dispersante para saturar la capacidad de intercambio y compactando inmediatamente en húmedo, ésto para evitar el efecto defloculante del sodio en el cajete del árbol y su posible riesgo fitotóxico.

Sin embargo, tal parece que la lixiviación del sodio oc
rre lentamente, puesto que en otros estudios (Earl, 1980)
se ha reportado una residualidad de tres años para el carbo-
nato de sodio usado como impermeabilizador de abrevaderos.

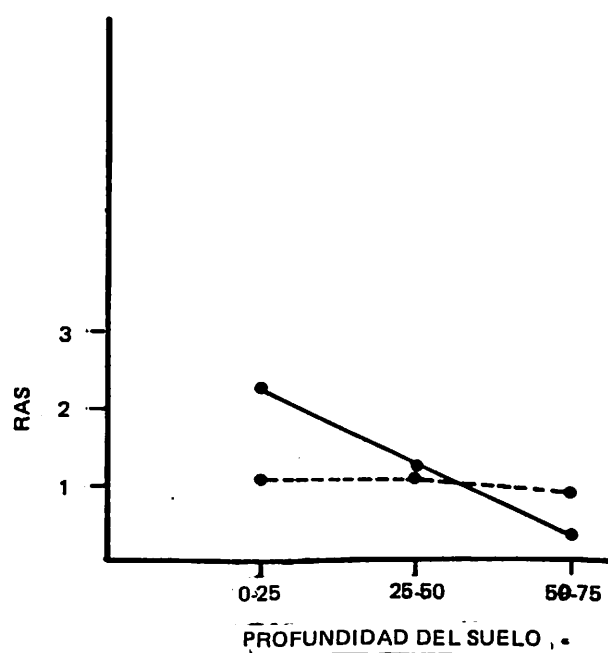
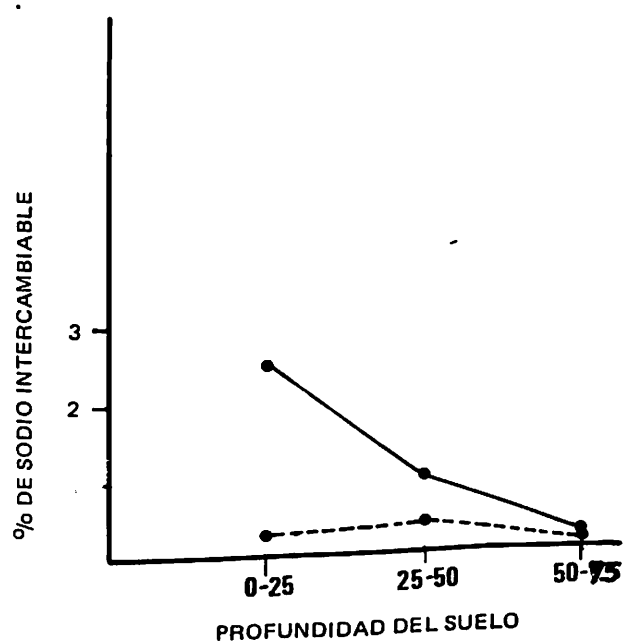
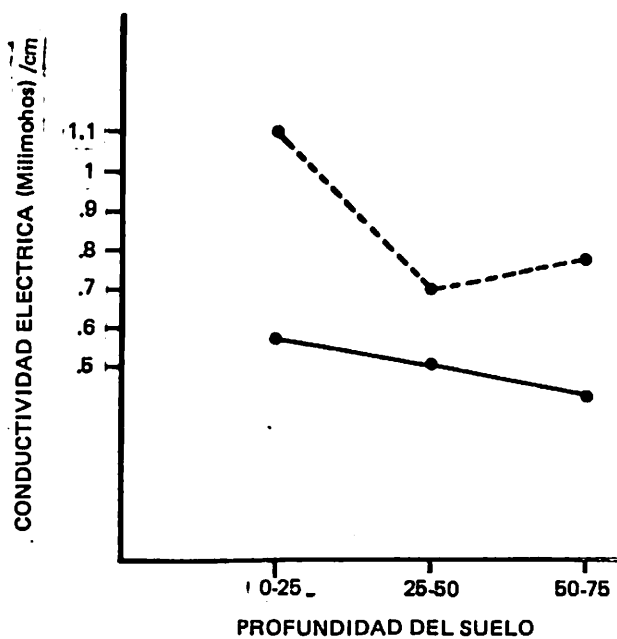
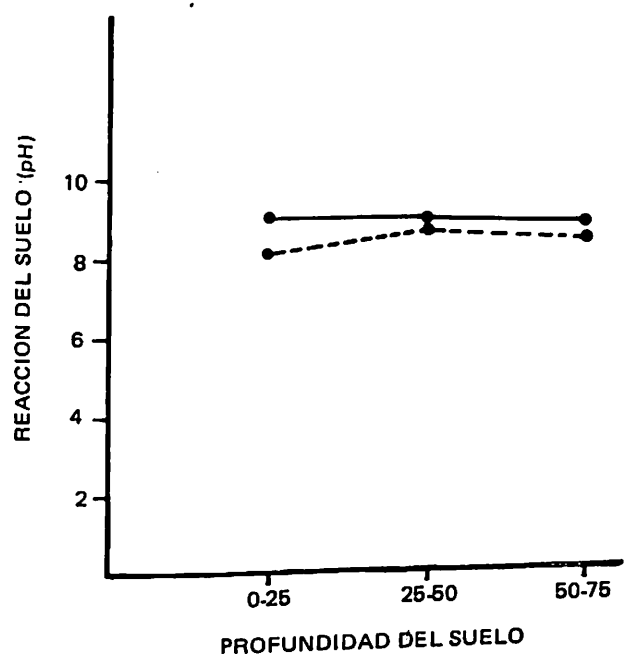


FIGURA 4.7 CAMBIOS EN LAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL SUELO POR EFECTO DEL Na_2CO_3 . ANTES (—) Y DESPUES (---) DEL EXPERIMENTO

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

5.1 Conclusiones

Después del análisis y discusión de este estudio, se concluye lo siguiente:

- a) El tratamiento de polietileno negro más grava extendido sobre el área de la microcuena se comportó como el mejor inductor de escurrimiento.
- b) El tratamiento con carbonato de sodio generó escurrimientos considerables, pero el arrastre de carbonato de sodio hacia el área de captación representa un riesgo potencial de sodicidad para el suelo de la zona radicular del árbol.
- c) El escurrimiento producido en las microcuenas con suelo desnudo fue relativamente menor que el obtenido con los tratamientos anteriores, pero no resultó limitante para el crecimiento del árbol.
- d) El acolchado plástico en el área del cajete del árbol mantuvo un mayor porcentaje de humedad en el suelo durante el ciclo; y redujo la evapotranspiración de los árboles, principalmente después de cada evento lluvioso.

- e) El acolchado plástico además de retardar la evapotranspiración, redujo la variabilidad de la humedad en el perfil del suelo.
- f) Los mayores crecimientos de brote y mayor grosor de los troncos fueron observados en los árboles con acolchado plástico que desarrollaban en las microcuencas recubiertas con polietileno negro más grava.

5.2 Sugerencias

- a) Para que las diferencias en crecimiento del árbol y en humedad en el suelo, sean más notables, se recomienda acortar el tamaño de la microcuenca, puesto que el escurrimiento captado en las microcuencas actuales con suelo desnudo casi cumple con las necesidades del árbol. Con esta medida, los árboles testigo sufrirían por falta de humedad entre eventos lluviosos, mientras que los árboles en las microcuencas con polietileno negro + grava estarían abastecidos de agua y la percolación sería menor.
- b) Se propone diseñar un experimento en donde se prueben tamaños de microcuencas en árboles de diferente edad usando solamente polietileno negro + grava, esto con el propósito de calibrar la ecuación para el cálculo del área en microcuencas bajo las condiciones pluviométricas regionales.
- c) Se sugiere aprovechar el efecto impermeabilizante del carbonato de sodio en estanques o abrevaderos para -

finos no potables y usarlo solamente en la cosecha de agua para fines agrícolas cuando el suelo en el área de cultivo sea de textura gruesa o algún método sea incorporado para evitar su arrastre en el agua de escurrimiento.

- d) Se sugiere establecer un lote demostrativo en terrenos de productores donde se divulguen los resultados de los mejores tratamientos en manzano (principal árbol frutal de la región) para poder pasar del nivel meramente experimental a uno semicomercial más firme.
- e) Evaluar los coeficientes de escurrimiento en microcuencas con depósitos captadores usando los mismos tratamientos.
- f) Estudiar la respuesta fisiológica del árbol, evaluando el área foliar, fases fenológicas y rendimiento en función de la "cosecha" de agua.
- g) Analizar económicamente los diferentes tratamientos de las áreas de escurrimiento.
- h) Evaluar más cercanamente los efectos del carbonato de sodio a diferentes dosificaciones en el área de captación respecto al crecimiento del árbol.
- i) Evaluar el control de malezas en este tipo de técnicas de cultivo y la posible mecanización durante la construcción de las microcuencas.

CAPITULO VI

RESUMEN

El presente trabajo fue desarrollado en un sistema de microcuencas construídas en 1985 al pie de la sierra que se localiza al oeste del campo agrícola experimental "El Bajío" propiedad de la UAAAN.

En el presente experimento se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, donde la parcela mayor estaba representada por el tratamiento de las áreas de escurrimiento y la parcela menor por el acolchado de los árboles de captación de cuya combinación resultaron las siguientes seis interacciones: suelo desnudo con y sin acolchado plástico, carbonato de sodio con y sin acolchado plástico y polietileno negro más grava con y sin acolchado plástico.

Se condujo el experimento bajo los siguientes objetivos: confirmar que el manzano prospera en zonas semiáridas, evaluación de los escurrimientos producidos, efecto del acolchado plástico y estudio de los cambios químicos en la zona radicular.

Como resultados más relevantes se mencionan los siguientes: el acolchado plástico redujo la evapotranspiración y -

mantuvo un mayor porcentaje de humedad en el suelo, en comparación con los árboles sin acolchar.

El mejor tratamiento para la cosecha y conservación del agua de escurrimiento fue el polietileno negro más grava en combinación con el acolchado; con dicho tratamiento se incrementaron los crecimientos del árbol y el grosor de los troncos y con ello la eficiencia de utilización del agua y de la estructura.

La microcuenca tratada con carbonato de sodio generaron escurrimientos considerables, pero menos que el polietileno negro más grava; sin embargo, el arrastre de carbonato de sodio representó un riesgo potencial de sodicidad para el suelo en la zona radicular del árbol, además del efecto fitotóxico colateral que puede ser indicado por el exceso de sodio.

CAPITULO VII

LITERATURA REVISADA

1. Acosta N., S. y J.L. García. 1976. Informe de investigación. Sección Viticultura. S.A.R.H., I.N.I.A., C.I.A. N., C.A.E.L.A.L.A. Matamoros, Coahuila, México. pag. 16-68.
2. Aguilar Resendez, Isaías. 1976. El uso de carbonato de sodio sobre microcuencas para inducción de escurrimiento y cuantificación de la cantidad lixiviada superficialmente de este dispersante. Tesis para obtener el título de Ing. Agrónomo. I.T.E.S.M. Monterrey, N.L. pag. 59-63.
3. Arreola Tostado, J.M. 1983. Establecimiento de un huerto de vid (Vitis vinifera), con agua de escurrimiento de una pequeña cuenca hidrológica y el control de la evaporación directa mediante materiales de cobertura en el suelo. Tesis Profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
4. Burgueño Camacho, Jesús H. 1982. Comportamiento del pimiento C.V. Yolo Wonder (Capsicum annuum var. grossum sendt) bajo acolchado con películas de plástico. Tesis Profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
5. Carrete Guerrero, R.E. 1984. Establecimiento del manzano (Mallus domestico Mill) captando agua de lluvia "in sito" mediante el uso de microcuencas. Tesis Profesional. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila.
6. Claude Garnaud, J. 1982. Les plastiques dans la mise en valeur des zones arides: an inventory. Secretaría General. CIPA 65, rue de Prony F 75854 Paris cedex 17 plasticultura No. 55, September. Pag. 11-24.
7. Damor, M.U. and Mane, D.V. 1982. Effect of mulches and antitranspirants on the growth and yield of sunflower. F.C. 68414 under limited water supply. Annals of Arid Zone. 21(1) pp: 25-28.

8. Davison, John. 1982. Black plastics benefit young fruit trees and busher plasticultura #53. Marzo. pag. 35-42.
9. Departamento de Agrometeorología de la U.A.A."A.N.". Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 1975.
10. Fairbourn, L. Merle and H.R. Gardner. 1974. Field use of microwater sheds with vertical mulch. Agronomy Journal. Vol. 66(5-6). November-December. pag. 740-744.
11. Fair, G.M. Geyer J. Ch. Okm D.A. 1979. Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales. Ingeniería Sanitaria y de aguas residuales. 1ª Editorial Limusa. México. pag. 173-175.
12. Foster, B.A. 1967. Métodos aprobados en conservación de suelos. Editorial Trillas. México.
13. García, Enriqueta. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía U.N.A.M. 2a. Edición. México, D.F. pag. 246.
14. García Torres, David. 1983. Comportamiento de la humedad en el suelo relacionado con la producción de frijol (Phaseolus vulgaris), aplicando la técnica de cosecha de agua "In situ". Tesis Profesional de la U.A.A."A.N." Buenavista, Saltillo, Coahuila. pag. 53-54.
15. Gavande, S.A. 1-72. Física de suelos. Principios y aplicaciones. Editorial Limusa Wiley, S.A. México, D.F. pag. 35.
16. Gupta, P.J. 1978. Evaporation from a sandy soil under mulches. Annals of Arid Zone. 17(3). pag. 287-290.
17. Jain, L.B. y Singh, P.R. 1982. Crop yields as influenced by run-off and soil moisture storage. Annals of Arid Zone. 21(1). pag. 19-23.
18. Kirk y Othmer. 1961. Enciclopedia de tecnología química. Tomo #1. Editorial Hispano Americano. pag. 634-636.
19. Linsley, R.K., Fanzhi, J.B. 1979. Water resources engineering. McGraw-Hill Senes in water resources and environmental engineering. Third Edition. New York, USA. pag. 9-19.
20. Linsley Ray K., Max A. Kohler and Paulhus Joseph L.H. 1972. Hidrología para ingenieros. 2a. Edición. McGraw-Hill. Latinoamericana, S.A. México. Cap. pp. 166-179, 211-235 y 45.

21. Llauge Dausa F. 1976. La meteorología. Editorial Marco-bo, S.A. de Boixarea. Edición 2a. pag. 34.
22. Muñoz Castro, S. 1978. Apuntes de hidrología de licencia-tura. UAAAN. Saltillo, Coahuila.
23. Muñoz Castro, S. 1978. Apuntes de hidrología. Colegio de Postgrado. UAAAN. Saltillo, Coahuila.
24. Neff, Earl, L. 1980. Using sodium carbonate to seal leaky stock ponds in eastern Montana. Journal of Range Management. 33(4). pag. 292-295.
25. Noonan L. y Kemper, W.D. 1970. Runoff as affected by salt treatments and soil texture. Soil Science Socie-ty of American Proceedings. 34:126-130.
26. Sandino Salazar, R. 1984. Pláticas sobre las aguas como recurso y su desarrollo en las zonas áridas y semiáridas. UAAAN. Saltillo, Coahuila.
27. Serna Pérez, Alfonso. 1984. Determinación del coeficien-te de escurrimiento y calidad del agua de tres trata-mientos de carbonato de sodio en microcuencas. Tesis Profesional de la UAAAN. Saltillo, Coahuila. pag. 85-89.
28. Stol and Paul de Vos. Prediction de runoff from precipi-tation the use and interpretation of hidrologic data part II Lecture by consultates. Lecture 14.
29. Torres Figueroa, Santos J. 1983. Establecimiento de un huerto de durazno (Prunus persicae) con agua de escu-rrimiento de una pequeña cuenca hidrológica y el con-trol de la evaporación directa, mediante materiales de cobertura en el suelo. Tesis Profesional. UAAAN. Saltillo, Coahuila.
30. Willard et al. 1956. Tillage principles in preparing land for crop.
31. Villarreal, E. 1967. Pérdidas de agua del suelo en forma de vapor y evaluación de algunas prácticas para su control. Tesis sin publicar. Tecnológico de Monterrey.