



Organo Científico  
de la Sociedad Mexicana  
de la Ciencia del Suelo, A.C.

ISSN 0187-5779

# TERRA

DIVISION II

Volumen 13    Octubre-Diciembre de 1995    Número 4

## INDICE

- I**nvestigación sobre aprovechamiento de la lluvia en zonas agrícolas de temporal deficiente.  
M. ANAYA G. 389
- Los sistemas de manejo de escurrimiento en la zona árida de México.  
B. FIGUEROA S.,  
J.M. RODRIGUEZ O.  
J. PIMENTEL L.,  
H.G. CORTES T. y  
E. RUBIO G. 400
- Fuentes de agua de consumo en el medio rural de los semidesiertos mexicanos.  
H.A. VELASCO M. 427
- La precipitación causante de escurrimiento como componente de un modelo para el diseño de microcuencas.  
G. OSORIO A. y  
J.L. TOVAR S. 439
- Aplicaciones de modelos de simulación en la captación de agua de lluvia en zonas áridas.  
H.M. ARIAS R. 448
- Modelación del escurrimiento superficial en terrenos agrícolas con pendiente.  
J.L. OROPEZA M. 454
- Efecto de los tratamientos silvícolas y la pendiente sobre el escurrimiento y la erosión.  
G.M. ALVAREZ y  
J.L. TOVAR S. 464

COMISION EDITORA

DR. JORGE D. ETCHEVERS B.,  
Editor en jefe  
DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,  
Editor adjunto  
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,  
Editor técnico  
DRA. KLAUDIA OLESCHKO,  
Editor técnico  
DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES,  
Editor técnico  
M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,  
Editor de estilo

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

DR. NICOLAS AGUILERA HERRERA, México  
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, México  
DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, México  
DR. JESUS CABALLERO MELLADO, México  
DR. LENOM J. CAJUSTE, México  
DR. RONALD FERRERA CERRATO, México  
DR. BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL, México  
M.C. MARGARITA E. GUTIERREZ RUIZ, México  
DR. REGGIE J. LAIRD, México  
DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, México  
DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, México  
DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, México  
M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, México  
DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, México  
DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, México  
DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, México  
DR. BENJAMIN V. PEÑA OLVERA, México  
DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, México

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

DR. EDUARDO BESOAIN M., Chile  
DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria  
DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica  
DR. LUIS ALFREDO DE LEON, Colombia  
DR. HARI ESWARAN, USA  
DR. ANTHONY FISCHER, Australia  
DR. JUAN F. GALLARDO LANCHO, España  
DR. RENATO GREZ Z., Chile  
DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba  
DR. JOSE M. HERNANDEZ MORENO, España  
DR. ERIC S. JENSEN, Dinamarca  
DR. WALTER LUZIO LEIGHTON, Chile  
DR. JOHN T. MORAGHAN, USA  
DR. HECTOR J. M. MORRAS, Argentina  
DR. CHRISTIAN PRAT, Francia  
DR. PARKER F. PRATT, USA  
DR. PAUL QUANTIN, Francia  
DR. JOSE RODRIGUEZ, Chile  
DR. CARLOS ROQUERO, España  
DR. KARL STAHR, Alemania  
DR. BERNARDO VAN RAIJ, Brasil  
DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba  
DR. EDUARDO ZAFFARONI, Brasil

CUERPO EDITORIAL ADMINISTRATIVO

M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,  
Distribución  
SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR,  
Administración  
SRA. MARCELINA ESPEJEL E.,  
Producción

"TERRA", Registro en Trámite. Organó científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Volumen 13-4, octubre-diciembre 1995.

ISSN 0187-5779

Los artículos publicados son responsabilidad absoluta de los autores. Se autoriza la reproducción parcial o total del contenido de esta revista, citándola como fuente de información.

Las contribuciones a esta revista deben enviarse, en original y dos copias, redactadas conforme a las Normas para Publicación en la Revista TERRA, al: Editor de la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Edo. de México, México.

Oficinas: Edificio del Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

Teléfono: (595) 4-22-00, ext. 5237.

EDITORIAL

Artículos Científicos

División II: Relación Suelo-Clima-Biota

- Investigación sobre aprovechamiento de la lluvia en zonas agrícolas de temporal deficiente. M. ANAYA G. . . . . 389
- Los sistemas de manejo de escurrimiento en la zona árida de México. B. FIGUEROA S., J.M. RODRIGUEZ O., J. PIMENTEL L., H.G. CORTES T. y E. RUBIO G. . . . . 400
- Fuentes de agua de consumo en el medio rural de los semidesiertos mexicanos. H.A. VELASCO M. . . . . 427
- La precipitación causante de escurrimiento como componente de un modelo para el diseño de microcuencas. G. OSORIO A. y J.L. TOVAR S. . . . . 439
- Aplicaciones de modelos de simulación en la captación de agua de lluvia en zonas áridas. H.M. ARIAS R. . . . . 448
- Modelación del escurrimiento superficial en terrenos agrícolas con pendiente. J.L. OROPEZA M. . . . . 454
- Efecto de los tratamientos silvícolas y la pendiente sobre el escurrimiento y la erosión. G.M. ALVAREZ y J.L. TOVAR S. . . . . 464
- Evaluación de microcuencas de captación de agua de lluvia *in situ*, distancia entre contras y densidades de población en la producción de maíz para grano de Tecamac, Edo. de México. M. MORA G. y J.L. TOVAR S. . . . . 470
- Distribución del sistema radical del maíz y de la humedad del suelo bajo la técnica de captación *in situ* del agua de lluvia. G. OSORIO A. y J.L. TOVAR S. . . . . 476
- Eficiencia en el uso del agua en tres sistemas de captación de agua de lluvia con adición de estiércol en maíz. J.L. LARA M. y L.M. LASSO M. . . . . 487
- Producción de orégano a través de prácticas culturales para la captación de agua de lluvia *in situ* en La Laguna. E. SALAZAR S. y J.D. LOPEZ M. . . . . 492
- Captación de agua de lluvia en durazno de temporal en Zacatecas. A. LEGASPI G. . . . . 499
- Comentarios y Cartas al Editor
- Comentario sobre el uso correcto de algunas palabras. J. ALVARADO L. . . . . 505
- Errata. . . . . 513

EDITORES INVITADOS

Victor M. Ordaz Chaparro  
Jorge L. Tovar Salinas  
Armando Legaspi Guzmán  
Jorge Alvarado López

**EDITORIAL BOARD**

DR. JORGE D. ETCHEVERS B.,  
 Editor-in-chief  
 DR. JAVIER Z. CASTELLANOS,  
 Associate editor  
 DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES,  
 Technical editor  
 DRA. KLAUDIA OLESCHKO,  
 Technical editor  
 DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES,  
 Technical editor  
 M.C. JORGE ALVARADO LOPEZ,  
 Style editor

**NATIONAL ASSOCIATE EDITORS**

DR. NICOLAS AGUILERA HERRERA, Mexico  
 DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, Mexico  
 DR. MANUEL ANAYA GARDUÑO, Mexico  
 DR. JESUS CABALLERO MELLADO, Mexico  
 DR. LENOM J. CAJUSTE, Mexico  
 DR. RONALD FERRERA CERRATO, Mexico  
 DR. BENJAMIN FIGUEROA SANDOVAL, Mexico  
 M.C. MARGARITA E. GUTIERREZ RUIZ, Mexico  
 DR. REGGIE J. LAIRD, Mexico  
 DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, Mexico  
 DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, Mexico  
 DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, Mexico  
 M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, Mexico  
 DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, Mexico  
 DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, Mexico  
 DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, Mexico  
 DR. BENJAMIN V. PEÑA OLVERA, Mexico  
 DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ, Mexico

**INTERNATIONAL ASSOCIATE EDITORS**

DR. EDUARDO BESOAIN M., Chile  
 DR. WINFRIED E.H. BLUM, Austria  
 DR. ELMER BORNEMISZA, Costa Rica  
 DR. LUIS ALFREDO DE LEON, Colombia  
 DR. HARI ESWARAN, USA  
 DR. ANTHONY FISCHER, Australia  
 DR. JUAN F. GALLARDO LANCHO, Spain  
 DR. RENATO GREZ Z., Chile  
 DR. ALBERTO HERNANDEZ, Cuba  
 DR. JOSE M. HERNANDEZ MORENO, Spain  
 DR. ERIC S. JENSEN, Denmark  
 DR. WALTER LUZIO LEIGHTON, Chile  
 DR. JOHN T. MORAGHAN, USA  
 DR. HECTOR J. M. MORRAS, Argentina  
 DR. CHRISTIAN PRAT, France  
 DR. PARKER F. PRATT, USA  
 DR. PAUL QUANTIN, France  
 DR. JOSE RODRIGUEZ, Chile  
 DR. CARLOS ROQUERO, Spain  
 DR. KARL STAHR, Germany  
 DR. BERNARDO VAN RAIJ, Brazil  
 DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba  
 DR. EDUARDO ZAFFARONI, Brazil

**EDITORIAL STAFF**

M.C. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA,  
 Distribution  
 SRA. CARELINA C. AALMERS DE AGUILAR,  
 Management  
 SRA. MARCELINA ESPEJEL E.,  
 Production

"TERRA", Registration pending. Scientific publication of the Mexican Society of Soil Science.

Volume 13-4, October-December 1995.

ISSN 0187-5779

The authors take full responsibility for the articles published. Partial or total reproduction of the content of this journal is authorized, as long as this publication is cited as the information source.

When submitting articles to this journal, an original and two copies must be sent to: Editor de la Revista TERRA, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., Apartado Postal 45, 56230 Chapingo, Edo. de México, México.

Office address: Edificio del Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

Telephone: 52-595-42200, ext. 5237.

**INDEX**

**EDITORIAL**

*Scientific Articles*

*Division II: Soil Climate-Biota Relationship*

Research on water harvesting under dryland agricultural conditions. M. ANAYA G. . . . . 389

Management systems of the drainings in the arid zone of Mexico. B. FIGUEROA S., J.M. RODRIGUEZ O., J. PIMENTEL L., H.G. CORTES T., and E. RUBIO G. . . . . 400

Water sources for human consumption in mexican semi-deserts. H.A. VELASCO M. . . . . 427

Runoff-causing rain as component of a model for the design of micro-watersheds. G. OSORIO A., and J.L. TOVAR S. . . . . 439

Applications of simulation models to water harvesting techniques in arid zones. H.M. ARIAS R. 448

Runoff simulation model in sloping agricultural lands. J.L. OROPEZA M. . . . . 454

Effects of silvicultural treatments and slope on the erosion and runoff. G.M. ALVAREZ, and J.L. TOVAR S. . . . . 464

*In situ* evaluation of micro-watersheds for rain water trapping, distance between borders and population densities in maize grain production in Tecamac, State of Mexico. M. MORA G., and J.L. TOVAR S. . . . . 470

Distribution of the corn root system and soil moisture under micro-watershed rainfall collection. G. OSORIO A., and J.L. TOVAR S. . . . . 476

Water use efficiency of maize under three systems of rainfall water trapping and cattle manure use. J.L. LARA M., and L.M. LASSO M. . . . . 487

Oregano yield trough cultural practices of rain water trapping in the dry land of the La Laguna. E. SALAZAR S., and J.D. LOPEZ M. . . . . 492

Rainfall trapping in peach orchards under dryland conditions. A. LEGASPI G. . . . . 499

*Comments and Letters to the Editor*

Comment about correct use of words. J. ALVARADO L. . . . . 505

Errata. . . . . 513

**INVITED EDITORS**

Victor M. Ordaz Chaparro  
 Jorge L. Tovar Salinas  
 Armando Legaspi Guzmán  
 Jorge Alvarado López

## EDITORIAL

El agua es el recurso principal de la producción agrícola. Sin agua no hay agricultura. México se caracteriza por poseer grandes extensiones de la llamada agricultura de temporal o agricultura dependiente del agua de lluvia. A pesar de la importancia que representa esta modalidad en el concierto de los sistemas productivos, se le ha prestado escasa atención. Los mecanismos de captación de agua, uso eficiente de la misma, manejo de la labranza y los residuos orgánicos, disminución de la evotranspiración, etc., son aspectos que necesitan ser analizados en profundidad para comprender mejor cómo operan, cómo pueden ser controlados y, más aún, mejorados, en este tipo de agricultura.

El presente volumen es el fruto editorial de dos simposios: el primero, realizado en la Cd. de Zacatecas, en septiembre de 1990, y organizado por la Universidad de Zacatecas; el segundo, en la Cd. de Torreón, Coahuila, en agosto de 1994, y organizado por el CENID-RASPA-INIFAP del estado, en coordinación con la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo; el cual hoy ponemos a disposición de los lectores interesados en esta materia, como una muestra de la preocupación de esta sociedad científica por los problemas de la agricultura nacional.

El editor.

# INVESTIGACION SOBRE APROVECHAMIENTO DE LA LLUVIA EN ZONAS AGRICOLAS DE TEMPORAL DEFICIENTE

Research on Water Harvesting Under Dryland  
Agricultural Conditions

Manuel Anaya Garduño

Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados,  
Montecillo, Méx. C.P. 56230

*Palabras clave:* Microcuencas, Captación de  
agua de lluvia

*Index words:* Microwatersheds, Rainfall  
collection

## RESUMEN

En México se dedican al cultivo 22 millones de hectáreas, de los cuales el 75% está en condiciones de temporal. Se tiene una situación preocupante debido al potencial de deterioro de las tierras ya que la población estimada para el año 2000 será de 110 millones de habitantes, el límite mexicano de superficie arable es de 25 millones de hectáreas, lo cual hace que el país tenga un promedio de 0.23 ha per capita. Si no se tiene las medidas necesarias, la hambruna se hará presente. En 1980, el consumo de maíz (*Zea mays* L.), de frijol (*Phaseolus* sp.) y de arroz (*Oriza sativa* L.) fue de 238, 20 y 6 kilogramos por persona, respectivamente. En 1986, fue de 158, 16 y 5; lo cual equivale a una reducción

en el consumo de 29, 20 y 20%, respectivamente. Las técnicas de captación de agua de lluvia y de conservación del suelo representan la infraestructura básica para lograr sistemas permanentes de producción bajo condiciones de temporal. Estas técnicas incrementan la disponibilidad de agua por las plantas y reducen los efectos de la sequía. La captación de agua de lluvia "in situ" significa la colección, transporte y almacenamiento del escurrimiento superficial en la zona de raíces. La captación de agua de lluvia deberá consistir en las condiciones sociales, económicas y ecológicas, algunas variables importantes son las siguiente: a) lluvia: cantidad, intensidad, distribución y frecuencia, por períodos de al menos 10 años, b) planta: uso consuntivo, fecha de siembra, geometría y densidad de población, c) suelo: profundidad, capacidad de alineamiento y coeficiente de escurrimiento.

## SUMMARY

Mexico currently farms 22 million ha of its land, 75% under rainfed conditions. This is a potentially dangerous situation since, given the

Recibido 3-95.

projected population of 110 million by the year 2000 and an upper limit on farmable land of about 25 million ha, the country will have an average of only 0.23 ha per capita at its disposal. If adequate measures are not taken famine will surely result. In 1980, consumption of corn (*Zea mays* L.), beans (*Phaseolus* sp.), and rice (*Oryza sativa* L.) was 238, 20, and 6.0 kg per person, respectively. In 1986, it was 158, 16 and 5 kg per person; a reduction of 29, 20, and 20%, respectively. Rainfall collection and soil water conservation techniques represent the basic infrastructure for permanent production systems under rainfed agricultural conditions. They increase water availability for plants and reduce drought effects. *In situ* rainfall collection means the collection, transport and storage of precipitation runoff in the root zone. Collection should be related to social, economic, and ecological conditions. Some important variables: are a) rainfall amount, intensity, distribution, and frequency for at least 10 years; b) plant water use, seeding date, plant geometry and plant density; c) soil depth, water storing capacity, runoff coefficient, d) tillage and mulching systems; and e) microcatchment sizes.

## INTRODUCCION

La humanidad atraviesa por una grave situación que se relaciona con el abasto de alimentos, debido a que el incremento de la población rebasa la producción agrícola sobre todo si se considera que 85% de la superficie agrícola, mundial (1350 millones de hectáreas) se encuentra bajo condiciones de temporal. Aunado a esto, constantemente aumentan las áreas con problemas de erosión hídrica, problema causado por la falta de aprovechamiento de la lluvia entre factores lo cual, además, favorece los impactos de la sequía, precursora del hambre, y pone en peligro la existencia de varias naciones (World Meteorological Organization, 1975).

La situación mundial sobre el volumen de agua destinado a riego y temporal, la superficie cultivada y cosechada en el año de 1970 y la proyección al año 2000, se registran en el Cuadro 1. En este se refleja que mientras la agricultura de riego produce hasta dos cosechas por año, la de temporal presenta pérdidas en 25% del total sembrado, debido a la sequía, lo escaso y errático de la precipitación pluvial y otros fenómenos agrometeorológicos (granizo y heladas) (Anaya, 1988).

La producción agrícola en condiciones de temporal se basa, en gran medida en la relación que existe entre la cantidad de agua requerida por las plantas para su óptimo desarrollo y la cantidad de lluvia disponible, esto induce a la necesidad de reforzar e impulsar nuevos enfoques en la investigación, en la generación de tecnología y en la coordinación de los productores (Anaya, 1973, Anaya, 1973, Anaya, 1974, Anaya, 1974, Anaya, 1974, Anaya y Tovar, 1974, Anaya, 1975, Anaya y Tovar, 1975, Anaya, 1976, Anaya y Tovar, 1977).

Los sistemas de aprovechamiento de la lluvia se han practicado desde hace miles de años; los Nabateanos los utilizaban en el desierto de Negev con fines de consumo humano, para abrevaderos y para la producción, mediante la aplicación de conocimiento empírico (Evenary *et al.*, 1971, ICRISAT, 1979).

En México, entre los años 1521 y 1910, se presentaron 127 sequías, entre las que destaca la de 1901, que duró 3 años y afectó a la parte central del país; de 1910 a 1977, las sequías de intensidad media se presentaron frecuentemente, con excepción de las de 1923, 1925 y 1927 que fueron severas. En 1982, a consecuencia de una prolongada sequía, México tuvo que importar 8 millones de toneladas de granos; las precipitaciones pluviales fueron menores a 400

milímetros en el 32% del país, y más de 600 el 53% (Anaya, 1988).

En 1990, la población en México era de 82 millones de habitantes y las tierras abiertas al cultivo cubrían aproximadamente 22 millones de hectáreas, lo que equivale a 0.25 hectáreas por habitante.

Para el año 2000 la población será de 110 millones y la frontera agrícola se habrá extendido hasta 30 millones de ha, con lo cual se tendrán únicamente 0.23 hectáreas per cápita (Anaya, 1988).

En gran parte del territorio nacional las lluvias son deficientes y erráticas; se presentan deficiencias en 80% de la agricultura de temporal, lo cual hace que se pierdan las cosechas en 25% de la superficie sembrada; en algunos lugares de Zacatecas, Durango y Chihuahua, llega 60% (Anaya, 1988, Ortiz y Anaya, 1982).

En la República Mexicana se siembran anualmente 22 millones de ha, de las cuales sólo 5 millones cuentan con agua de riego y las 17 restantes son áreas de temporal que en su mayoría, se localizan en las regiones áridas y semiáridas del país.

Las zonas áridas y semiáridas de México abarcan una superficie de 84 millones de ha, que representan 42% del territorio nacional. Una franja semiárida de 23.3 millones de ha se extiende desde el norte hacia el centro del país y afectan parte de los estados de México e Hidalgo. Estas regiones tienen una precipitación media anual de 500 mm o inferior, distribuida irregularmente en el tiempo y en el espacio, por lo que existe un alto riesgo de sequía, lo que propicia que los rendimientos de maíz y frijol y otros cultivos de temporal, sean bajos; por ello es necesario el desarrollo de técnicas tales como el uso de microcuencas para captación *in situ* del

agua de lluvia. Estas cuentan con un área de siembra, un área de escurrimiento y aumentan las disponibilidades de agua.

Lo anterior indica la complejidad del problema para aumentar la producción agrícola en condiciones de temporal deficiente, ya que se requiere de una mayor organización y el mejor aprovechamiento de los recursos agua de lluvia, suelo, tecnología y hombre, considerando para ello las implicaciones económicas y las consecuencias sociales. Además, es importante evaluar y analizar la amplia variación de condiciones ecológicas, los numerosos cultivos autóctonos, la destreza del agricultor y el aporte de los científicos y técnicos.

En este trabajo, se analizan algunas metodologías de investigación sobre el aprovechamiento de la lluvia para aumentar la producción agrícola en zonas de temporal deficiente (Anaya y Tovar, 1977b; Anaya y Negrete, 1978; Anaya y Tovar, 1978; Anaya, 1981; FAO, 1972; ICRISAT, 1979; Lal, 1975).

## MATERIALES Y METODOS

Los métodos de aprovechamiento de la lluvia para la agricultura en condiciones de temporal deficiente pueden agruparse en dos: a) captación *in situ* de la lluvia y b) aprovechamiento de escurrimientos superficiales, los cuales datan de hace varios miles de años y fueron generados con un enfoque empírico bajo diversas condiciones ecológicas, sociales y económicas (Anaya, 1976). Dada su importancia se describen a continuación.

La selección de los métodos para la captación *in situ* de la lluvia debe estar acorde con el nivel tecnológico de los productores y a sus condiciones socioeconómicas, ya que en muchos casos predomina la agricultura tradicional

y de subsistencia, las cuales se caracterizan por lo siguiente: a) agricultura de tipo extensivo con bajos rendimientos unitarios; b) raquíticos niveles económico y tecnológico; c) escasez de insumos, créditos, capital, asistencia técnica y fuentes de energía; y d) falta de programas interdisciplinarios.

Desde 1972 a la fecha, la Sección Física de Suelos del Colegio de Postgraduados ha establecido experimentos de campo sobre captación *in situ* del agua de lluvia, métodos de labranza, prácticas de conservación de suelos y de la humedad en el perfil del suelo; dichos trabajos se han llevado a cabo en terrenos de la Escuela Nacional de Agricultura, ahora Universidad Autónoma Chapingo, así como en otros estados de la República tales como: Oaxaca, Puebla, México, Hidalgo, San Luis Potosí, Aguascalientes y Durango. Los cultivos bajo estudio han sido: durazno, nopal, rábano, girasol, cebada, maíz forrajero y para grano sorgo, soya y frijol (Anaya, 1973a; Anaya, 1974b; Anaya, 1976; Anaya y Tovar, 1976; Andrade, 1974; Antezana, 1978; Campos, 1982; Carranza, 1973; Márquez y Anaya, 1973; Martínez y Cepeda, 1970; Núñez, 1982; Tovar, 1978).

Las variables independientes estudiadas han sido: 1) tamaño de la microcuenca con sus respectivos tratamientos al área de escurrimiento y al área de siembra; 2) fecha de siembra; 3) genotipos; 4) densidad de población; 5) utilización de coberturas para reducir la evaporación, 6) fertilización; e 7) incorporación de materia orgánica. Las variables dependientes evaluadas han sido las siguientes: 1) desarrollo y distribución de las raíces, 2) altura de las plantas y desarrollo vegetativo; 3) modificación de las condiciones físicas del suelo (régimen de la humedad del suelo, velocidad de infiltración, temperatura y coeficiente de escurrimiento); 4) uso consuntivo del cultivo; y 5) rendimiento de materia seca y forraje de grano (Anaya y Tovar,

1986; Ballivian 1979; De Souza y Anaya, 1979; Ortiz, 1975; Rocha y Souza, 1985; Terrazas, 1977).

Además, se han medido algunos parámetros climatológicos como son: 1) cantidad, intensidad, distribución y frecuencia de la lluvia; 2) temperaturas máximas y mínimas; 3) evaporación; 4) humedad relativa; y 5) radiación solar (EMBRAPA - CPATSA, 1989).

También se han realizado evaluaciones de tipo económico con el objeto de seleccionar aquellas tecnologías que estén al alcance de los productores. Es importante señalar que la actualmente se cuenta con el arado "Xolox", implemento diseñado y construido por la Sección de Física de Suelos; el cual consiste de una vertedera alargada y semicurvada, sobre un arado de reja y tiene como función formar un talud amplio con una adecuada inclinación para inducir el escurrimiento de la lluvia hacia el área sembrada; éste, el cual puede ser tirado por tractor y por yunta, se ha probado con éxito en varios estados del territorio nacional en la construcción de microcuencas de captación *in situ* de la lluvia para cultivos en hilera e individuales como el nopal (Tovar y Anaya 1979; Tovar y Anaya, 1981).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos de la investigación realizada por la Sección de Física de Suelos durante 15 años indican que las microcuencas de captación de lluvia presentan las ventajas siguientes: a) aumentan la disponibilidad del agua para los cultivos, al mejorar los regímenes de la humedad y temperatura del suelo; b) reducen los riesgos de la sequía y, por lo tanto, la pérdida de cosechas; c) mejoran los rendimientos unitarios de los cultivos y, por ende, las ganancias de los productores; d) mejoran la

eficiencia en la utilización de los recursos lluvia, suelo, planta y microambiente en la agricultura de temporal, lo cual hace que los sistemas de producción sean más permanentes.

En otras instituciones de México y en otros países se han realizado investigaciones sobre captación *in situ* del agua de lluvia y sobre conservación de la humedad del suelo, con el objeto de reducir los riesgos de sequía y de aumentar los rendimientos unitarios de los diversos cultivos; también, se ha prestado atención al diseño y fabricación de implementos agrícolas para las zonas bajo condiciones de temporal deficiente (National Academy of Sciences, 1979).

Además, se han probado diferentes materiales para aumentar el escurrimiento en las microcuencas de captación de lluvia, los cuales han sido desde la simple compactación del terreno hasta el uso de plástico y tratamientos con ceras parafinas y aplicaciones de sal común. Sin embargo, escasos son los trabajos que se han realizado en terrenos de agricultores cooperantes, lo cual reduce la rápida difusión de tecnología.

Otra forma para aprovechar el agua de lluvia es mediante la conducción de los escurrimientos a las áreas de siembra, para ello se consideran los parámetros hidrológicos de la cuenca o área de escurrimiento y se evalúa el potencial de escorrentía; además, es necesario acondicionar el área de almacenamiento o área de siembra.

El aprovechamiento de los escurrimientos superficiales se ha practicado desde hace miles de años en diferentes partes del mundo y en México, los cuales constan de eventuales inundaciones como las que se practicaban en la Comarca Lagunera hace varias décadas, para lo cual se aprovechaban las aguas de los ríos Nazas y Aguanaval; también se ha utilizado la distribución

de escurrimientos perennes o corrientes efímeras que se desvían hacia las áreas de cultivos mediante sistemas que van desde lo más simple y económico hasta lo más costoso y sofisticado, tal y como se observa en: sureste del estado de Zacatecas; Tepetates, San Luis Potosí; Ojuelos, Jal.; Apam, Hgo.; Dr. Arroyo, Nuevo León; y en muchas otras áreas de México, donde se observan derivaciones, canales de conducción de agua, terrazas y bordos para conducir los escurrimientos que ocurren en los cerros y laderas cercanas a las tierras de labor. Desgraciadamente, durante el presente siglo éste tipo de manejo de escorrentía ha sido reemplazado por tecnologías modernas de riego y en muchos casos éstas han sido abandonadas y olvidadas. Esto ha sucedido en gran parte por falta de asistencia técnica, ya que no se cuenta con suficiente personal técnico en manejo de escorrentía.

El estudio de las relaciones precipitación-escurrimiento-almacenamiento en las zonas áridas y semiáridas es complicado, principalmente porque la precipitación pluvial se caracteriza por ser errática, esporádica, torrencial y de corta duración, lo cual dificulta evaluar con precisión el volumen de escorrentía. Con el uso consuntivo de los cultivos se puede definir el número de hectáreas por sembrar aguas abajo, esto representa la relación, área de escurrimiento-área de siembra, la cual puede variar de 15 a 200:1 (Martínez y Cepeda, 1970; Zingg y Hauser, 1959).

Durante 1982, la Dirección General de Conservación del Suelo y Agua inició un programa en la Comarca Lagunera que consistió en la construcción de bordos para almacenamiento de escurrimientos superficiales derivados de corrientes efímeras. Para ello se establecieron cinco áreas de trabajo y se benefició a una superficie de 129 hectáreas y con una relación área de escurrimiento: área de siembra de 40:1; se sembró sorgo escobero y maíz con rendimientos promedio de 2.5 y 1.2 toneladas por

hectárea, respectivamente, se benefició a 100 pequeños agricultores y ejidatarios. De lo anterior se concluye que las relaciones áreas de escurrimiento-áreas de siembra deben ser de 100:1 y 50:1 para el maíz y frijol, respectivamente, con una probabilidad de éxito de 80%. En realidad, el valor de la relación área de escurrimiento: área de siembra está en función del riesgo que desee correr el productor. Se puede concluir que las tecnologías para el aprovechamiento de los escurrimientos superficiales presentan ventajas en cuanto a que aumentan el volumen de agua disponible para las plantas; sin embargo, se presentan algunas desventajas como son las siguientes:

1. Definir con precisión la relación área de escurrimiento: área de siembra que satisfaga, en las diferentes etapas fenológicas, las necesidades de agua por la planta.
2. Contar con suficiente personal técnico capacitado para asesorar a los productores localizados en las diversas condiciones ecológicas en nuestro país.
3. El costo de la infraestructura para almacenar y desviar las corrientes debe estar al alcance de los productores.
4. Dado lo errático y aleatorio de la lluvia en muchas ocasiones, es necesario contar con almacenamientos superficiales aguas arriba de la superficie bajo cultivo, con el objeto de contar con un riego suplementario en etapas críticas del ciclo vegetativo.

La captación de lluvia para la producción agrícola tiene como objetivo principal el determinar la óptima relación entre área de escurrimiento y área de siembra; dicha relación se basa en un enfoque empírico.

A la fecha se han realizado numerosas investigaciones al respecto, en Israel, Estados Unidos de América, Brasil, Kenya, Afganistán, India, Australia y México (Anaya y Tovar, 1977a).

Es conveniente que este tipo de trabajos consideren períodos de cuando menos 10 años, con el objeto de evaluar el efecto de la variabilidad de la lluvia sobre la producción de cultivos a través del tiempo.

Asimismo, se deberá considerar la probabilidad de ocurrencia de las lluvias, de tal modo, que el tamaño de las microcuencas de captación de lluvia sean acordes con las necesidades hídricas de los cultivos.

En una segunda etapa de investigación sobre la determinación del tamaño de las microcuencas para captación *in situ* del agua de lluvia, se generaron modelos basados en las variables siguientes: a) cantidad, distribución y frecuencia de la lluvia; b) tamaño de la microcuenca; c) capacidad de retención de la humedad del suelo; d) fecha de siembra; e) uso consuntivo del cultivo o asociación; f) densidad de población; g) genotipo; h) coeficiente de escurrimiento; y i) área de siembra.

En México, Anaya (1988) ha utilizado una ecuación que permite calcular el tamaño de las microcuencas y se basa en la precipitación pluvial, el uso consuntivo, el coeficiente de escurrimiento y el área de siembra; es decir, el tamaño de la microcuenca para captación *in situ* de la lluvia tiene como componente áreas de siembra. Esta fórmula se aplica para cualquier tipo de planta o asociaciones; se tienen tres grupos: 1) cultivos en hilera (maíz, sorgo, maíz-frijol), 2) Cultivos densos o tupidos (cebada, trigo, pastos) y 3) cultivos individuales (arbustos, árboles).

Cuadro 1. Balance hídrico para maíz entre el uso consuntivo obtenido con la fórmula de Blanney-Criddle y la precipitación mensual, Sandoval, Ags. Período 1973-1982.

Mes	Temperatura	P	fi	F	ke	Uc	Frec.	BH
junio	18.99	9.09	1.39	12.66	0.48	60.7	29.19	-31.51
julio	19.02	9.33	1.40	13.09	0.70	91.6	111.88	-20.28
agosto	19.24	9.00	1.42	12.79	1.07	136.8	87.41	-40.39
sept.	18.23	8.30	1.33	11.05	1.00	110.4	50.22	-60.18
Oct.	17.55	8.13	1.28	10.39	0.85	88.3	31.46	-56.84
Total						487.8	310.16	-177.34

La fórmula es la siguiente:

$$TM = As + \frac{1}{ce} \left( \frac{UC - P}{p} \right)$$

donde el primer término de la ecuación es el área de siembra o de almacenamiento y el segundo se refiere al área de escurrimiento ( $A_e$ ), así:

TM = tamaño de la microcuenca, puede ser distancia entre surcos (en cm) para cultivos en hilera; en metros (m) para cultivos densos (ancho de las fajas y en metros cuadrados ( $m^2$ ) para cultivos individuales,

As = área de siembra, de almacenamiento o de raíces, (en cm, m y  $m^2$ ),

ce = coeficiente de escurrimiento (adimensional),

UC = uso consuntivo (mm),

P = precipitación pluvial durante el ciclo vegetativo a nivel de 50% de probabilidad (mm).

La ventaja que tiene la utilización de esta fórmula es que permite calcular el tamaño de las microcuencas de captación *in situ* de la lluvia para cualquier tipo de cultivo y bajo diferentes condiciones ecológicas para cultivos de temporal. Sin embargo, presenta algunas limitaciones, como

son: el valor a utilizar del coeficiente de escurrimiento, el porcentaje de probabilidad de la ocurrencia de la precipitación pluvial y el valor a utilizar el uso consuntivo de los cultivos en condiciones de temporal. Sin embargo, la captación *in situ* de la lluvia aumenta la disponibilidad de agua para las plantas, reduce los riesgos de la sequía y aumenta los rendimientos (Anaya, 1988). Con el objeto de mejorar los diseños de tratamientos para microcuencas de captación *in situ* del agua de lluvia se estableció, en 1984, un experimento de campo en Sandoval, Ags., con una precipitación pluvial promedio de 373 mm anuales (Martínez *et al.*, 1985).

Se realizó un balance hídrico para maíz como un diagnóstico para determinar el uso de microcuencas. En el Cuadro 1, se reportan los valores obtenidos y se observa que sólo en julio existió un balance positivo de 20.28 mm.

Se consideran cuatro probabilidades de lluvia para emplearse en la fórmula de Anaya (1978). En el Cuadro 2 se presentan los demás valores utilizados y el tamaño obtenido para las microcuencas. Para facilitar la construcción de microcuencas se ajustaron a 0.76, 1.14, 1.52 y 1.90. Estos tamaños de microcuencas se combinaron con seis superficies por planta en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Valores de los parámetros en la fórmula de Anaya *et al.*, para definir TM en Los Sandoval, Ags.

Probabilidad de lluvia %	Ar <sup>2</sup>	C <sup>2</sup>	Uc - P*	P	TM
10	0.60	0.5	30.3	454	0.68
45	0.60	0.5	141.6	342.7	1.10
55	0.60	0.5	216.5	267.8	1.57
90	0.60	0.5	264.2	220.1	2.09

1) Obtenidos del balance hídrico.

2) Estimaciones por referencias bibliográficas.

Cuadro 3. Combinación diagonal de los niveles de superficie por planta con los niveles de tamaño de microcuencia.

TM m	Superficie por planta					
	A	B	C	D	E	F
0.76	1	2	3			
0.14		4	5	6		
1.52			7	8	9	
1.90				10	11	12

TM = Tamaño de microcuencia

A = 0.1748 m<sup>2</sup>

D = 0.2736 m<sup>2</sup>

B = 0.2052 m<sup>2</sup>

E = 0.3040 m<sup>2</sup>

C = 0.2432 m<sup>2</sup>

F = 0.3420 m<sup>2</sup>

Como puede apreciarse, este diseño de tratamientos permite una mayor exploración de varios tamaños de microcuencias con diferentes superficies por planta, lo cual significa un nuevo enfoque en las investigaciones sobre captación *in situ* del agua de lluvia. Los tratamientos obtenidos se presentan en el Cuadro 3, donde se incluyeron, además, tres testigos sin microcuencias.

El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se utilizó la variedad de maíz VS-202, la humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico a dos profundidades 0 a 25 y 25 a 50 cm.

La duración del ciclo del cultivo fue de 128 días que comprendió de la siembra a la

madurez fisiológica (del 15 de junio al 10 de noviembre). La lluvia en este período fue de 374 mm. En el Cuadro 4 se presenta la distribución de la precipitación durante las etapas en que se dividió el ciclo del maíz, de acuerdo con los muestreos de peso seco, verde y área foliar. Se observa que del total de la lluvia, 83% ocurrió en las tres primeras etapas, con lo cual el cultivo dispuso sólo de 17% de la lluvia en las etapas que comprendieron la floración y llenado de grano; esto indica una distribución errática para las necesidades del cultivo. En el Cuadro 5, se presenta el incremento en la lámina total de agua extra, aportado al cultivo por las microcuencias en relación con el testigo sin microcuencias y que fue de 27, 2 y 34% para microcuencias de 1.14, 1.52 y 1.90 m, respectivamente.

La evapotranspiración (ETA) se estimó por el método del balance hídrico. En el Cuadro 6 se presentan los valores obtenidos para los 15 tratamientos, se observa que en la Etapa I se registraron los valores máximos de la ETA, lo cual se atribuye a que en dicha etapa la cantidad de agua recibida por el cultivo, aportada por las lluvias y los escurrimientos, fue mayor que en las demás etapas. Posteriormente, dado que las lluvias y los escurrimientos fueron más esporádicos, el valor de la ETA decreció. Además, en la Etapa I, se observa claramente el efecto del tamaño de microcuencia, dado que a mayor tamaño se incrementó el valor de la ETA, debido principalmente a los escurrimientos, pero en etapas como la IV, VI y VII, en donde no tuvieron aportes extra de agua, sus valores de ETA son muy similares entre tratamientos. Por otra parte, se tuvo que a igual superficie por planta, pero con un incremento en el tamaño de la microcuencia, el valor de la ETA presentó una tendencia a aumentar, lo cual indica que a un mayor tamaño de microcuencia, la planta contó con un volumen mayor de agua (Martínez *et al.*, 1985).

Cuadro 4. Lámina ocurrida por intervalo de lluvia en las etapas de maíz. Sandoval, Ags., 1984.

Precipitación	Lamina							Total	%
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
0.1 - 5.0	25.3	10.5	11.3	5.5	—	—	5.0	57.6	15
5.1 - 10.0	15.5	10.0	—	9.0	—	—	—	34.5	9
10.1 - 15.0	25.5	—	—	—	—	—	23.5	50.0	13
15.1 - 20.0	—	—	20.0	—	28.5	—	—	38.5	11
20.1 - 25.0	22.0	21.0	—	—	—	—	—	43.0	12
25.1 - 30.0	—	—	—	—	—	—	—	—	0
30.1 - 35.0	65.5	—	—	—	—	—	—	65.5	18
35.1 - 40.0	38.0	—	—	—	—	—	—	38.0	10
40.1 - 45.0	—	—	—	—	—	—	—	—	0
45.1 - 50.0	47.0	—	—	—	—	—	—	47.0	12
Total	239.8	41.5	31.3	14.5	28.5	—	28.5	374.1	100
%	64	11	8	4	5	—	8	100	

Cuadro 5. Lámina total de agua aportada al área de siembra para los diferentes tamaños de microcuencas durante el ciclo del maíz. Sandoval, Ags., 1984.

Tamaño de microcuencas	Lámina escurrida	Lámina total de agua	Incrementos
			%
1.14	102	476	27
1.52	82	456	2
1.90	126	500	34

Cuadro 6. Evapotranspiración actual del maíz, por el método de balance hídrico, durante su ciclo de desarrollo. Sandoval, Ags., 1984.

Núm.	Tratamiento		Evaporación actual							Total
	TM	SP	I	II	II	IV	V	VI	VII	
	m	m2	----- mm -----							
1	0.76	0.1748	119	64	68	31	16	13	28	334
2	0.76	0.2052	126	63	58	24	27	19	27	344
3	0.76	0.2432	127	45	60	38	32	21	29	352
4	1.14	0.2052	199	55	79	38	41	35	28	475
5	1.14	0.2432	212	49	76	36	36	30	28	467
6	1.14	0.2736	199	65	64	36	27	21	28	440
7	1.52	0.2432	183	43	73	53	32	23	28	435
8	1.52	0.2736	188	57	65	47	39	27	28	451
9	1.52	0.304	189	58	49	50	39	28	28	441
10	1.90	0.2736	225	56	73	30	38	31	28	481
11	1.90	0.304	212	57	63	39	40	27	28	465
12	1.90	0.342	221	42	68	50	43	32	28	484
13	Test.	0.1748	121	50	38	63	34	21	28	355
14	Test.	0.2052	131	47	31	60	32	16	28	345
15	Test.	0.2432	126	40	53	56	32	15	28	350

A mayor tamaño de microcuenca se incrementó el rendimiento en la mayoría de las situaciones; así, una superficie por planta de 0.2432 m<sup>2</sup> incrementó su rendimiento en 18 y 250 kg/ha con un tamaño de microcuenca de 1.14 y 1.90 m, respectivamente, en relación con microcuencas de 0.76 m, lo cual señala que a mayor superficie por planta dedicada al área de escurrimiento de las microcuencas, proporcionaron mayor volumen de agua por planta, incrementando los rendimientos de grano, tanto por planta, como por hectárea.

Con la metodología propuesta por Perrin *et al.* (1976) se realizó un análisis de dominancia para los beneficios netos en donde el tratamiento con 1.90 m de microcuenca y 0.342 m<sup>2</sup> para superficie por planta obtuvo el mayor beneficio neto con \$ 6 424.00/ha y, dado sus costos variables más bajos, obtuvo un incremento marginal de sus beneficios netos de 77% y una tasa de retorno del capital de 41%.

## CONCLUSIONES

1) Las microcuencas de captación *in situ* del agua de lluvia aumentan la disponibilidad de agua para las plantas, reducen los riesgos de la sequía, mejoran los rendimientos unitarios de cultivos en hilera, densos e individuales; además, mejoran el régimen de la humedad del suelo sobre todo si se utilizan coberturas para reducir la evaporación.

2) Es conveniente incrementar los programas de investigación para la generación de tecnologías sobre captación *in situ* del agua de lluvia y sobre el manejo de los escurrimientos superficiales, ya que México cuenta con grandes áreas que requieren con urgencia este tipo de manejo; para ello, deberán considerarse las condiciones ecológicas, sociales y económicas.

3) A pesar de que la agricultura de temporal representa 85% del total cultivado en el mundo, la enseñanza y la investigación en captación *in situ* y manejo de escurrimiento superficiales y conservación de la humedad del suelo no han recibido la suficiente atención; por lo que es necesario reforzar estas actividades mediante el establecimiento de áreas piloto con fines de demostración, investigación y capacitación con el objeto de difundir masivamente estas tecnologías.

4) Es urgente diseñar y construir implementos agrícolas tirados por tracción mecánica y animal para la construcción de microcuencas, los cuales estén al alcance de los productores.

5) En virtud de que la mayoría de las investigaciones sobre captación *in situ* se han realizado en campos experimentales, se hace necesario establecer este tipo de estudios en terrenos de agricultores cooperantes y establecer proyectos productivos sobre todo en granos básicos.

## LITERATURA CITADA

- ANAYA G.,M. 1973a. Captación *in situ* de agua de lluvia bajo diferentes tratamientos al suelo para la producción de rábano. pp. 403-432. In: VI Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Veracruz, Ver., México.
- ANAYA G.,M. 1973b. Microcuencas de captación de agua de lluvia para cultivos de maíz, girasol y hortalizas. pp. 226-227. In: Avances en la Enseñanza y la Investigación 1973. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- ANAYA G.,M. 1974a. Different soil treatments for harvesting water for radish production in the Mexico Valley. pp. 315-320. Gary W. f. (ed.) Proceedings of the water harvesting symposium. Phoenix, Arizona, USA.
- ANAYA G.,M. 1974b. Water harvesting methods for vegetable production in the Mexico Valley. XIXth. International Horticultural Congress Warszawa, Poland.
- ANAYA G.,M. y J.L. Tovar S. 1974. Water harvesting methods for vegetable production in the Mexico Valley. pp. 139-144. In: proceedings of the XIX International Horticultural Congress. Vol. 1 (B) Warszawa, Poland.
- ANAYA G.,M. 1975. Producción de forraje bajo condiciones de temporal. p. 67. Resúmenes del VIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Saltillo, Coah., México.

- ANAYA G.M., and J.L. TOVAR S. 1975. Different soil treatments for harvesting water for radish production in the Mexico Valley Proceedings of the Water Harvesting Symposium Phoenix, Arizona. March 26-28, 1974, Agric. Res. Service-USDA, USA.
- ANAYA G.M. 1976. Optimización del aprovechamiento del agua de lluvia para la producción agrícola bajo condiciones de temporal deficiente. Análisis de los Agroecosistemas de México, Chapingo, México.
- ANAYA G., M. y J.L. TOVAR S. 1976. Métodos de captación *in situ* de agua de lluvia para frutales. pp. 126-127. In: Avances de la Enseñanza y la Investigación 1975-1976. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- ANAYA G.M. 1977a. Métodos de captación de lluvia en zonas áridas y semiáridas. Resúmenes del VI Congreso Latinoamericano y X Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México, D.F.
- ANAYA G.,M. 1977b. Technology and desertification. Economic Geography 55: 407-412.
- ANAYA G.,M. y J.L. TOVAR S. 1977a. Métodos de captación *in situ* y aprovechamiento del agua de lluvia para la producción de maíz forrajero. p. 180. In: Avances en la Enseñanza y la Investigación, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- ANAYA G.,M., J.L. TOVAR S. 1977b. Métodos de captación de lluvia en zonas áridas y semiáridas. X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México, D.F.
- ANAYA G., M. y C. NEGRETE R. 1978. Evaluación de algunas prácticas de manejo de suelos para reducir la erosión y aumentar la producción en suelos de ladera. pp. 19-20. In: Resúmenes: Visita a los experimentos del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- ANAYA G., M. y J.L. TOVAR S. 1978. Fechas de siembra y su influencia en las técnicas de captación de lluvia en la producción de grano de maíz. pp. 250-251. In: Avances en la Enseñanza y la Investigación 1977-1978. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- ANAYA G.,M. 1981. Research methodologies for *in situ* rainfed agriculture, G.R. Dutt, C.F. Hutchinson and M. Anaya G. (eds.) Proceeding of a Work Shop Rainfall Collection for Agriculture in Arid and Semiarid regions.
- ANAYA G., M. y J.L. TOVAR S. 1976. Microcuencas de captación de agua de lluvia para frutales pp. 126-127. In: Avances de la Enseñanza y la Investigación 1975-1976. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.
- ANAYA G.M. 1988. Research on rainfall collection for agricultural purposes in Mexico. pp. 245-248. Proceedings of the International Conference on Dryland farming. Amarillo-Bushland, Texas, USA.
- ANDRADE E.,F. 1974. Influencia del "porque" bajo diferentes métodos de labranza sobre el rendimiento de maíz para forraje. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- ANTEZANA T.,O.J. 1978. Influencia de la captación *in situ* de agua de lluvia cobertura de rastrojo y fechas de siembra en la producción de maíz de temporal. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- BALLIVIAN P.,G. 1979. Modificación del microambiente para la producción de maíz forrajero bajo condiciones de temporal en Chapingo, México, Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- CAMPOS J.,S. 1982. Efecto de la captación de lluvia, estiércol y rastrojo sobre la humedad del suelo y producción de la asociación maíz frijol. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- CARRANZA, DE LA P.,A. 1973. Aplicación de tres materiales de cobertura para captación y conservación *in situ* del agua de lluvia en cultivo forrajero de maíz y girasol. Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- SOUZA, S.A., do y G.M. ANAYA, 1979. Algunas consideraciones sobre el manejo del suelo y agua para el desarrollo de la agricultura tradicional en el Nordeste de Brasil, Petrolina, Pe., EMBRAPA-CPASTA, Brasil.
- EMBRAPA-CPASTA. 1989. Captão de água de Chuva *in situ*: comparacão de métodos e densidade de plantio. Boletim de Pesquisa No. 35 ISSN-100-8951. Petrolina, Pe., Brasil.
- EVENARY, M., L. SHANAN y N. TADMOR. 1971. The Negev the challenge of a desert. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., USA.
- FAO. 1972. Prácticas y máquinas de labranza y siembra para el cultivo de secano en zonas semiáridas. Cuadernos de Fomento Agropecuario 92, Roma, Italia.
- ICRISAT. 1979. Improving implements for SAT farmer International Crops Research Institute for the Semiarid Tropics, Hyderabad, India.
- LAL, R. 1975. Role of mulching techniques in tropical soil and water management. 38 pags. Intern. Inst. of Tropical Agriculture. Ibadá, Nigeria.
- MARQUEZ, A. y ANAYA, G.M. 1973. Efectos de diversos tratamientos de áreas de captación, coberturas de rastrojo y densidades de población sobre la producción de maíz de temporal. Memorias del IV Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Veracruz, Ver., México.
- MARTINEZ F.,M. M. ANAYA G. y J.L. TOVAR S. 1985. Captación de agua en maíz de temporal en Aguascalientes. Memorias del XVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, La Paz, B.C.S., México.
- MARTINEZ M.,L. y S. CEPEDA V. 1970. Aprovechamiento de aguas de escurrimiento y producción de cosechas en suelos de laderas aluviales en la zona árida del municipio de Saltillo. Boletín Técnico de la Esc. Superior de Agricultura Antonio Narro, Universidad de Coahuila.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1979. More water for arid lands. Promising technologies and research opportunities, Washington, D.C., USA.
- NUÑEZ A.,R. 1982. Captación de lluvia y conservación de la humedad del suelo en la producción de cebada bajo condiciones de temporal. Tesis de Maestría. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- ORTIZ M.,J. 1975. Efecto de las microcuencas para la captación *in situ* de lluvia sobre el régimen de humedad del suelo y la producción de maíz (*Zea mays* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- ORTIZ, S.,C. y M. ANAYA, G. 1982. La relación capacidad alimentaria densidad de la población como un criterio del riesgo de desertificación en la República Mexicana "La Desertificación y su Efecto en la Producción Agrícola". In: II Simposio de la Asociación Latinoamericana de Ciencias Agrícolas, México, D.F.
- PERRIN, R. K., E.R. WINDELMAN, J. MASCARDI y R. ANDERSON. 1976. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Ed. Las Américas, México.
- ROCHA, P.A. y A. S. SOUZA. 1985. Small-scale water management in farming systems in the brasilian arid zones. In: Proceedings of an International Research and Development Conference E.E. Whitehead, Ch. F. Hutchinson, B. N. Timmermann land R. G. Verady (eds.) Westview Press. Boulder, Colorado, USA.
- TERRAZAS G., J.L., 1977. Manejo de suelos para reducir erosión y aumentar productividad en los suelos agrícolas de ladera de la cuenca del río Texcoco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- TOVAR S.,J.L., 1978. Captación y aprovechamiento del recurso lluvia como una alternativa para la producción de grano y forraje de maíz en zonas de temporal deficiente. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- TOVAR S.,J.L. y M. ANAYA G. 1979. Captación y aprovechamiento de la lluvia como una alternativa para la producción de grano y forraje de maíz en zonas de temporal deficiente. Agrociencia: 113-128.
- TOVAR S.,J.L. and M. ANAYA, G. 1981. Designing farm machinery for rainfed agriculture Proceedings of a workshop Rainfall Collection for agriculture in arid and semiarid regions. G. R. Dutt, C. F. Hutchinson and M. Anaya, G. (eds).
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1975. Drought and agriculture. Tech. Note No. 128 W. M.O. 392, Geneva, Switzerland.
- ZINGG, A. W., and V.L. HAUSER. 1959. Terrace benching to save potential runoff for semiarid lands. Agron. J. 51 289-292.

# LOS SISTEMAS DE MANEJO DE ESCURRIMIENTOS DE LA ZONA ARIDA DE MEXICO

Management Systems of the Drainings in the Arid Zone of Mexico

B. Figueroa S., J.M. Rodríguez O., J. Pimentel L.,  
H.G. Cortés T. y E. Rubio G.

Campus San Luis Potosí, Iturbide 73, Salinas de Hidalgo,  
78600 San Luis Potosí

*Palabras clave:* Zonas áridas, Esgurrimientos,  
Bordos.

*Index words:* Arid zones, Drainings, Dams.

este agrupamiento, se discuten algunas formas  
tradicionales de manejo de escurrimiento que  
se practican en algunas regiones del Altiplano  
Potosino-Zacatecano.

## RESUMEN

Dentro de áreas con temporal deficiente, se hace imperativo un uso eficiente de la escasa precipitación de la zona, por ello los sistemas tradicionales de manejo de escurrimiento, resurgen como una alternativa de bajo costo como coadyuvante en los programas de reconversión productiva.

Para lograr lo anterior, se realizó el análisis de diversas características de cada uno de los municipios definidos por la Comisión Nacional de las Zonas Aridas, agrupando municipios de características ambientales y económicas similares que pudieran aportar elementos que permitan enfrentar de manera más capacitada la toma de decisiones en estos ambientes, Adicional a

## SUMMARY

In areas of deficient rain it becomes imperative the efficient use of the scarce rainfall in the zone. Therefore, the traditional systems for handling the drains reappear as a low cost alternative that helps in productive reconversion programs.

To achieve this an analysis was made of the diverse characteristics of each of the counties defined by the National Commission for the Arid Zones, grouping those counties with similar environmental and economic characteristics which could serve as sources of elements which will permit to face in a more documented manner the making of decisions in these environments. In addition to this grouping, some traditional ways of draining systems management are discussed, as they are practiced in some regions of the Altiplano Potosino-Zacatecano.

---

Recibido 3-95.

## INTRODUCCION

La acelerada competencia por el uso del recurso agua de los diferentes sectores económicos que ocupan las zonas áridas y semiáridas ha renovado el interés para el estudio de las fuentes no convencionales de agua para riego agrícola.

En las zonas áridas y semiáridas del mundo, el hombre se ha visto en la necesidad de generar estrategias y tecnologías que le permitan subsistir y obtener satisfactores de la naturaleza aun a costa de las características hostiles de estos ambientes.

Nuestro país no escapa a dicha situación y, así, en las zonas de escasa precipitación los campesinos han generado, con cierto éxito, diversas formas de enfrentar las restricciones naturales presentes en su ambiente. Una de estas técnicas la constituye el manejo de escurrimientos superficiales, con lo cual los productores tratan de amortiguar el efecto negativo de la escasez de agua para la producción de cosechas.

Si bien esta técnica no es nueva, ya que existen multitud de lugares en los cuales es una práctica común y tradicional, sí merece examinarse con atención para tratar de obtener de la misma los resultados óptimos, pues hasta la fecha, dicha práctica se ha venido realizando sin el apoyo adecuado por parte de las instituciones relacionadas.

El propósito de este documento es el de proporcionar un marco de referencia a los sistemas tradicionales de manejo de escurrimientos de la zona árida y semiárida de México que sirva como punto de partida para el diseño de opciones que mejoren la operación y redituabilidad de los mismos.

## ANTECEDENTES HISTORICOS

La agricultura con el uso de escurrimientos, se inició desde hace aproximadamente 400 años a fin de permitir la producción de cultivos en terrenos que reciben 100 mm de lámina de lluvia anual (Evenari *et al.*, 1971). Las investigaciones realizadas por Evenari señalan que los agricultores antiguos del Oriente Medio desmontaron y suavizaron los lomeríos para aumentar el escurrimiento del agua y construyeron muros con piedras a lo largo del contorno para coleccionar esta agua y conducirla a través de cultivos. En la época del Imperio Romano, estos sistemas habían evolucionado para convertirse en unidades relativamente sofisticadas.

Rojas (1985) señala que los agricultores mesoamericanos utilizaron ampliamente la construcción de terrazas a fin de intensificar el uso de las áreas con lomas, mesetas, cerros pedregoso, hondonadas y barrancas. El uso de estas estructuras permitía atenuar los efectos de la erosión, retener el suelo, aumentar el grosor del perfil y el contenido de materia orgánica y, como consecuencia su capacidad de retención de humedad proveniente de la lluvia y el riego.

Donkin (1979) en su obra sobre las terrazas agrícolas en América, lista los lugares con terrazas antiguas y modernas en la antigua Mesoamérica (desde la Sierra Madre Oriental a los altos de Guatemala) y en Sudamérica. Además, señala que existen casi 150 sitios registrados en uso, abandono total o parcial, con riego parcial o total o con vestigios de uso anterior bajo riego. Aunque pocos de los sistemas de terrazas han sido fechados con exactitud los periodos de construcción se han asignado con base en los asentamientos humanos que los rodean. De acuerdo con Herold (1965), las "trincheras" del norte de México pertenecen al periodo circa (110 a 1450 d.C.). Se ha sugerido el

siglo XI como el período de origen de las terrazas del suroeste de los Estados Unidos (Donkin, 1979). Es posible que existan varios centros independientes de origen para los sistemas más elementales de terrazas, seguido de la difusión a formas más avanzadas asociadas con el labrado de la piedra y el incremento en las habilidades para mover el terreno e irrigar con canales (Donkin, 1979).

La antigüedad de las terrazas agrícolas de la parte central de México en el Valle de México-Teotihuacán, se remonta a las postrimerías de los períodos preclásico y clásico (Hopkins, 1968; Sanders y Marino, 1970). Fechas semejantes se han sugerido para las terrazas de la parte oeste de Teotlalpan (valle del río Tula) y de Tecaxic-Calixtlahuaca (valle de Toluca). MacNeish (1958) reportó terrazas con muros de piedra para la Sierra de Tamaulipas que pertenecían a tres períodos sucesivos de ocupación (600 a.C. - 1000 d.C.).

En la parte sur de México, en los valles de Oaxaca y Tehuacán y en Montenegro-Tilantongo en la Mixteca Alta, la construcción de terrazas para uso agrícolas combinado en algunos lugares con el riego comenzó en el período preclásico, varios siglos antes del inicio de la Era Cristiana (Palerm y Wolf, 1957; Spores, 1969).

Los autores españoles, incluyendo a los cronistas de la Colonia, denominan a las terrazas como andenes. Otros nombres incluyen gradas o graderías, tablonas, terraplenes, bancales, y llanadas (llanos hechos a mano). Los Nahuas utilizaban la palabra *kaláltin* para describir las terrazas irrigadas en Texcoco en el Valle de México (Wolf y Palerm, 1955). También se ha utilizado el vocablo náhuatl *metepantlis* que significa semiterraza, es decir, una superficie que se aplanó entre líneas de maguey (West, 1970). El vocablo *teopan*, que equivale a montículo

terraceado se encuentra incorporado en muchos nombres de lugares (Códice Mendocino, 1964).

Se dan descripciones de las terrazas agrícolas durante la Época Colonial en las relaciones geográficas (1579-81) para Chilchota, Mich., y para Ozolotepec, Oax. (Paso y Troncoso y Vargas, 1974). Alva Ixtilxochitl (1891) menciona las terrazas de Textzcutzingo (Acolhuacán) y Burgoa (1934) señala la presencia de camellones, tanto en las laderas como dentro de los cauces, entre Achiutla y Tilantonga en la Mixteca Alta.

La distribución territorial reportada por Donkin se extiende desde la parte suroeste de Colorado (36° N) hasta la Sierra Madre Occidental. En esta zona la distribución es muy dispersa y consiste principalmente de campos de cultivo en forma transversal a los desagües naturales en barrancas estrechas. Cerca de 95% de las zonas terraceadas en el norte y centro de México coinciden con áreas clasificadas como climas muy secos (BW) y secos y templados (BS t C(W)). En 85% de éstas áreas, la precipitación es muy variable y se tiene una estación seca de cinco meses o más, con una lluvia promedio de 900 mm o menos. Ocasionalmente existen áreas terraceadas dentro de los climas A(W). Para los habitantes precolombinos, la terraza era una técnica cuya función esencial fue la conservación y el manejo del agua y de la humedad. Estas terrazas se diseñaron para enfrentarse a la producción de cultivos en laderas con una marcada estación seca, es decir, en suelos delgados y con humedad insuficiente (Rojas, 1985).

Las estructuras de las terrazas presentan ciertas diferencias según el grado de modificación de la pendiente y la complejidad de las obras realizadas. Se reconocen tres tipos comunes de terrazas: las terrazas de ladera, las "presas" construidas en barrancas, cárcavas y cauces

temporales de agua y los metepantles hechos en las pendientes más leves (Rojas, 1985).

En el caso de los metepantles, bancales, melgas o semiterrazas, se modifica ligeramente la pendiente mediante el levantamiento de bordos. En ocasiones se ponen plantas en los lomos o setos vivos, consistentes en hileras sencillas o dobles de maguey y en ocasiones de nopal o frutales. Con frecuencia se cavan zanjas paralelas a las hileras de magueyes en la parte superior e inferior para recoger el agua de lluvia y disminuir el escurrimiento, o bien un bordo paralelo para conservar los setos vivos (West, 1970). Este tipo de terraza es característico de las tierras marginales de la parte oriental de la Mesa Central, correspondiente a áreas subhúmedas y semiáridas del sureste de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla (West, 1970; Donkin, 1979; Sanders, 1957). También se han descrito en la cuenca de Toluca, los estados de Veracruz y Puebla, y las laderas del Valle de México (Rojas, 1985). En los valles de Oaxaca y en la Mixteca Alta abundan, pero sin magueyes (West, 1970).

En las terrazas de ladera (cercas, tenamitl, bezana-repado) la superficie de cultivo puede ser más o menos amplia, plana y horizontal, según sea la pendiente y las obras realizadas, desde simples terrazas de contorno y de temporal, hasta otras a manera de escalones y con irrigación permanente. Lo más frecuente es que el retén o muro de la terraza sea de piedra, pero también las hay de bloques de tepetate o aun de solo tierra que se amarra con una cubierta vegetal de pasto. En el caso de muros de retención dobles o triples, se rellenaba la parte intermedia con cascajo (Donkin, 1979). Rojas (1985) menciona que este tipo de terrazas de ladera tiene dos variantes. La primera son las de temporal, con las superficies de cultivo en declive, cuya función principal es la captura de aluviones, la reducción de la erosión y el control y retención de los escurrimientos. En numerosas ocasiones estas terrazas contaban con

riego proveniente de las avenidas de arroyos temporales. El segundo tipo de terraza es casi siempre irrigada con agua de fuentes perennes.

Las terrazas que se han denominado presas y que localmente reciben el nombre de "trincheras", "atajadizos", "teceras", "enlamados", y "lama y bordo", se construyen en series o conjuntos a lo largo de una barranca o cárcava que originalmente fue ocupada por un arroyo intermitente. Las superficies de cultivo están niveladas y el agua drena hacia el relleno de la terraza de las pendientes que la rodean. La cuenca que alimenta estas terrazas generalmente tiene una superficie muchas veces mayor que el área cultivada. Este tipo de terraza representa un avance significativo en los sistemas de producción de cultivos que utilizan acumulaciones anuales pero no controladas de aluviones. La combinación de efectividad y simplicidad en la construcción sugiere que este tipo de terrazas corresponden a la versión inicial de las terrazas verdaderas (Donkin, 1979).

Las presas tienen muros de piedra sencillos, dobles y hasta triples y estos presentan a veces setos vivos y relleno. Con los muros se atajan y atrapan sedimentos (lama), se dirigen las escorrentías y se retiene la humedad, formando gradualmente la terraza (Herold, 1965; Lorenzo, 1968). Los muros presentan, a veces, lo que, en el Mezquital, los campesinos llaman "compuerta", una abertura en la parte superior del muro exterior para dar salida al agua de lluvia sobrante una vez que el sedimento ha sido retenido (Johnson, 1977). Rojas (1985) sugiere que este tipo de terrazas originalmente se construyó para derivar el agua de las corrientes temporales a los terrenos adyacentes y convertirlos en campos de cultivo al azolverse.

Donkin (1979) señala que posiblemente en el caso de las presas, el material de relleno de las mismas era obtenido mediante la aceleración

deliberada del proceso de erosión a través de la remoción de la vegetación y las piedras de la superficie del suelo. Se ha señalado que en el valle de Nochixtlan (Mixteca Alta) los agricultores del período postclásico (d. C. 1000 +) removían el caliche superficial para facilitar la erosión de las margas (Spores, 1969). En el caso de terrazas que se han llenado gradualmente, los muros de retención pudieron haberse elevado en etapas (Herold, 1965).

Las terrazas del fondo de los valles son más raras. Los muros son bajos y se construyen en ángulo recto a la corriente del agua sin interferir con la misma. En ocasiones se incorporan porciones de la pendiente terraceda en forma natural a estos sistemas. Las superficies amplias y a nivel de cultivo son indicios de que el propósito de tales terrazas fue siempre el facilitar el riego por agua obtenida en alguna porción superior y que era distribuida por gravedad en la porción nivelada de la terraza (Donkin, 1979).

Este tipo de sistema de riego, conocido como "derramaderos" en algunas zonas, o de riego por inundación o avenidas, se encuentra lo mismo en valles que en laderas montañosas de varias zonas del país. Respecto a su antigüedad, la naturaleza efímera de sus obras (canales de tierra y presas de piedra, tierra y rama), dificulta su identificación arqueológica, pero es posible que al menos parte de las huellas de estaca y los restos de canales situados entre los cerros Maravillas y Malinalco en el valle de Teotihuacán, descritos por Armillas *et al.* (1956), correspondan a sistemas de riego por inundación en la barranca de San Miguel se han encontrado restos, posiblemente del postclásico, de una presilla (de 6 m de altura, 10 m de largo y 5 m de espesor en la base) y de un canal (Dávila, 1974).

Kirkby (1973) señala que el principal recurso utilizado para el riego en las terrazas eran las corrientes temporales de arroyos y barrancas,

los escurrimientos de los terrenos de lomeríos. Mediante estos riegos irregulares se almacenaba la humedad en el área de cultivo que aseguraban las cosechas del ciclo de temporal. En ocasiones se utilizaba la humedad residual para producir un segundo cultivo en el período de secas.

Existen numerosas variaciones de los sistemas de riego por inundación pero el principio unificador de todos ellos es el de escurrimientos pluviales a los terrenos bajo riego o a las tomas y canales que la distribuyen. En el caso de los sistemas sin canales, se construyen bordos de tierra y palos o bien paredes, conocidas en Oaxaca como "muros" y en Chihuahua "trincheras". Estas estructuras son de piedra o de tierra y ramas, agrupadas en las laderas, formando escalones, y, en los valles de suave pendiente, aislados o en pares (Rojas, 1985).

Con la acumulación de sedimentos estos muros forman terrazas en las que el suelo retenido se convierte en almacén de humedad y en estructura de control de azolves. En algunos lugares es necesario renovar anualmente las estructuras (Denevan, 1980; Kirkby, 1973; Herold, 1965).

En los sistemas con canales los escurrimientos se desvían a través de presas construidas a lo ancho de las corrientes. En algunos casos se tiene un canal primario que distribuye el agua llovediza a canales secundarios y terciarios. La elevación del agua en el interior de esta red se obtiene mediante la construcción de represas temporales utilizando restos vegetales y tierra (Kirkby, 1973). En el valle de Teotihuacan las presas derivadoras se construyeron a lo ancho del curso de las barrancas de donde se dirigía el agua a suelos gruesos (entre 50 cm y un metro de profundidad) localizados en terrenos planos o con poca pendiente. Las presas son de piedra suelta o mampostería y en ocasiones de tierra. El agua se distribuía en una red de canales primarios o

secundarios utilizando presas más pequeñas hechas de tierra (Charlton, 1970; Sanders, 1957; Drewitt, 1967).

En Teotihuacán los terrenos de cultivo se rodean con un bordo de tierra de 30 a 100 cm de alto conocido como "caja" para formar, en el momento de irrigar, una especie de estanque temporal. Una vez irrigadas las parcelas que alcanza la primera presa, el agua se deja correr libremente hasta alcanzar la siguiente, ya sea dejando que rebase el muro o abriendo la compuerta. Las presas y los canales primarios y secundarios son construidos y mantenidos en la temporada de secas por los usuarios, en un esfuerzo colectivo y los terciarios (de las parcelas) por cada agricultor (Sanders, 1957; Charlton, 1970).

Nabhan (1981) describe los sistemas de manejo de escurrimientos desarrollados en la porción árida del suroeste de Estados Unidos por los indios papagos. Este autor indica que los agricultores incrementaron la probabilidad de éxito de su cultivo mediante el manejo de las aguas de escurrimiento que se desviaban hacia los terrenos de dos maneras: almacenando el agua en el suelo del terreno cultivado o en presas para riego durante los periodos secos. La descripción de Nabhan constata que las prácticas de manejo de agua y cultivos actuales de los indios papagos han sido influenciadas poco por las tecnologías modernas; se encuentran adaptaciones locales de las técnicas utilizadas por los nativos americanos y de métodos ancestrales hispánicos que han sido refinados durante centurias.

Las terrazas agrícolas prehispánicas involucraron para su construcción una gran inversión de tiempo, energías, habilidades e imaginación. Sin embargo, la mayoría de ellas son pequeñas y de distribución irregular. Fueron construidas por familias individuales o grupos familiares y su mantenimiento involucraba

cooperación a un nivel no mayor que el de la comunidad local (Donkin, 1979).

Además del uso del riego, en las terrazas se han reportado prácticas agrícolas para mantener la fertilidad del suelo, tal es el caso del uso de estiércoles humanos y animales y de abonos verdes en la parte central de México, en donde algunos desperdicios domésticos se distribuían en forma deliberada sobre las plantaciones cercanas (Wilken, 1969). Sanders (1968) menciona el uso del estiércol de vampiro por los indios tarahumaras. En aquellas porciones con manejos de escurrimientos los incrementos anuales de sedimentos servían para mantener la fertilidad. Otra práctica para restaurar la fertilidad del suelo involucraba el uso del barbecho (período de descanso).

Los beneficios más importantes de la agricultura en terrazas consistieron en la obtención de rendimientos mayores y menos fluctuantes. En la actualidad, una gran proporción del área terraceda se encuentra abandonada. Esta situación es común en la parte norte y sur de la distribución de las terrazas y también en las áreas menos secas de la Mixteca Alta. Nabhan (1981) señala que de los 3068 acres cultivados en 1913 bajo riego por inundación por los indios papagos en Arizona, solamente 125 acres permanecían bajo cultivo en 1981. Las causas de esta disminución son de diferente naturaleza e incluyen: fluctuaciones a corto y mediano plazo de la lluvia; disminución en la población y cambios en la localización de las poblaciones indígenas después de la conquista española; e introducción de áreas al cultivo en muchos valles y planicies, debido a la introducción de los animales de tiro y del arado (Donkin, 1979).

Esta revisión histórica ha mostrado que existe una evidencia considerable sobre el éxito de los sistemas de producción mediante el uso de escurrimientos y campos terracedos utilizados

por los habitantes nativos de América que han permitido la producción de cultivos por centurias sin abatir la productividad del suelo o dañarlo por erosión. Más aún, algunas de las evidencias sugieren que ciertos sistemas colectan nutrimentos y humus, así como agua, y mejoran gradualmente la capacidad de retención de humedad del suelo y su fertilidad. Existen numerosas ventajas culturales y económicas en el mantenimiento de estos sistemas tradicionales de pequeña escala que se encuentran esparcidos en toda la porción árida y semiárida de México. En el siguiente apartado describiremos el marco físico en el que se han desarrollado estos sistemas.

### MARCO FISICO

No existe consenso sobre la magnitud y distribución de las zonas áridas de México. Para la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA) el límite entre las zonas áridas y semiáridas de México se establece a partir de 700 mm anuales de precipitación (Carreras, 1980). La CONAZA (Carreras, 1980) divide, además, las zonas áridas y semiáridas en tres: (1) zonas semiáridas con una precipitación media anual entre 500 y 700 mm; (2) zonas áridas con una precipitación media anual de 200 a 500 mm; y (3) zonas desérticas con menos de 200 mm de precipitación media anual (Figura 1).

Medellín y Gómez (1979) indican que las zonas áridas y semiáridas de México cubren aproximadamente un millón de kilómetros cuadrados de la superficie total del país y están divididas en ocho áreas: (1) sonorense; (2) chihuahuenses; (3) queretana; (4) hidalguense; (5) poblana; (6) guerrerense; (7) oaxaqueña, y (8) yucateca. Estos autores, usando la clasificación de Meigs (1953), determinaron que 58% de las áreas secas de México son semiáridas; cerca de 38% áridas y sólo 4% extremadamente áridas.

Los investigadores del Instituto Geografía de la UNAM (Mosiño, 1983), utilizaron la fórmula de Emberger (1932), e incluyeron los métodos estadístico propuestos por Wallen (1955) para describir las características sobresalientes del régimen pluviométrico del país y formular una carta de zonas áridas de la República Mexicana. También se ha utilizado como criterio para definición de las zonas áridas el número de meses secos (Martínez y Maldonado, 1974), los índices de evapotranspiración potencial de las plantas (Contreras, 1955) y la distribución geográfica de la flora y de la vegetación (Miranda, 1955). En todos los casos la superficie del país que queda definida por condiciones de aridez y semi-aridez oscila entre 40 y 50% del territorio nacional.

En el CREZAS se adoptó la clasificación de CONAZA para delimitar las zonas áridas y semiáridas; se utilizó el nivel de municipio como célula para realizar la planificación de las actividades productivas primarias desde un enfoque ecológico debido a que este nivel es adecuado para la integración y ordenación ecológica de los procesos productivos primarios y a que el municipio constituye la célula básica del sistema político mexicano (CREZAS, 1989).

Con base en la metodología adoptada en este estudio, la superficie de las zonas áridas y semiáridas se distribuía en 477 municipios de 21 estados, principalmente de la porción central y norte del país (Figura 2) y alojaba en 1980 un total de 18.01 millones de personas (correspondientes a 25.7% de la población total). Los climas muy secos (BW) se presentaron en siete estados, entre los que destacan Sonora, Chihuahua, Coahuila y Durango. Los climas secos (BSO) ocurrieron en 10 estados, donde los más representativos son Coahuila, San Luis Potosí, Sonora, y Chihuahua. En el caso de los climas semisecos (BW1), éstos se distribuyeron

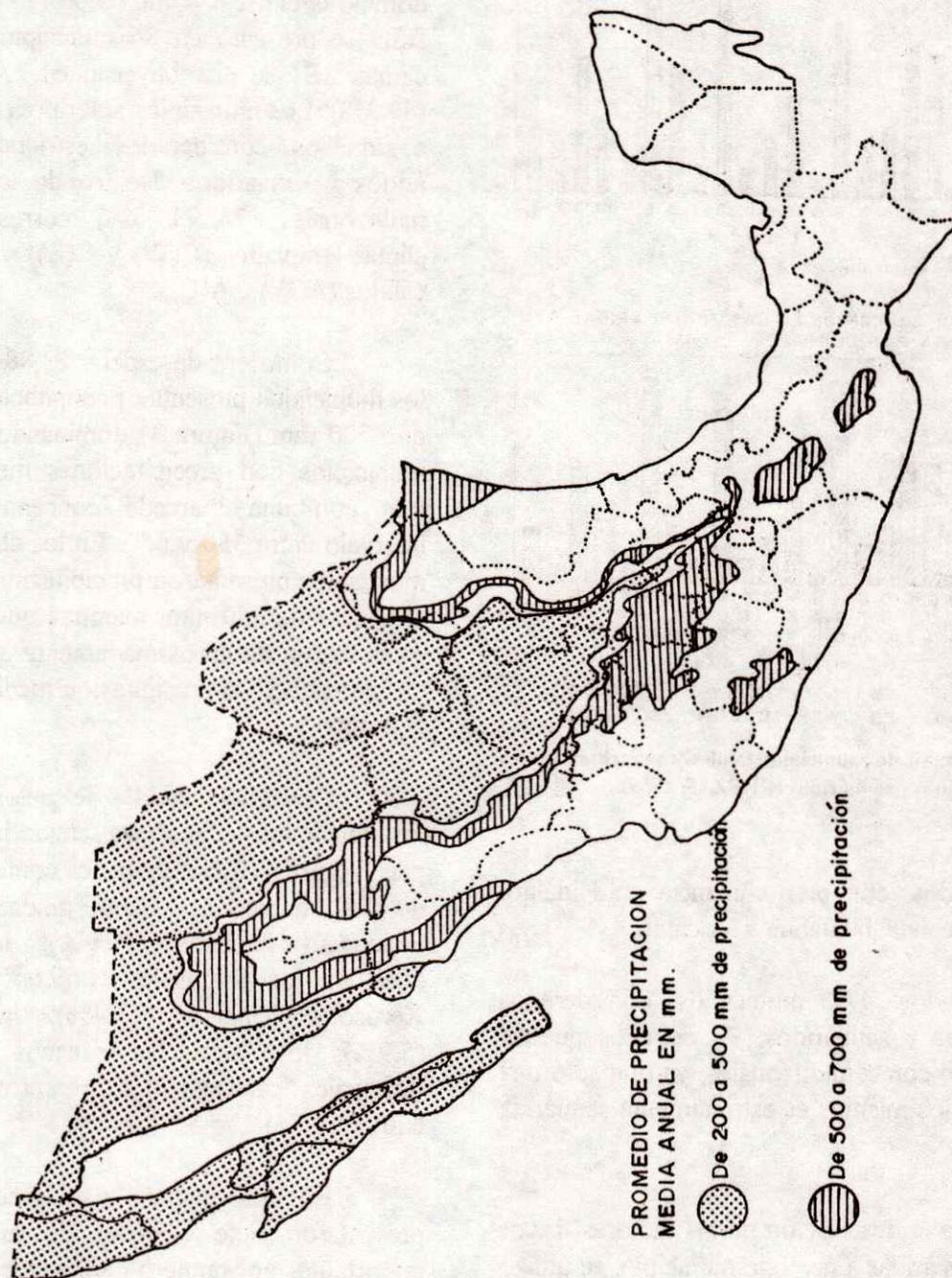


Figura 1. Zonas áridas y semiáridas de México. (Carreras, 1987).

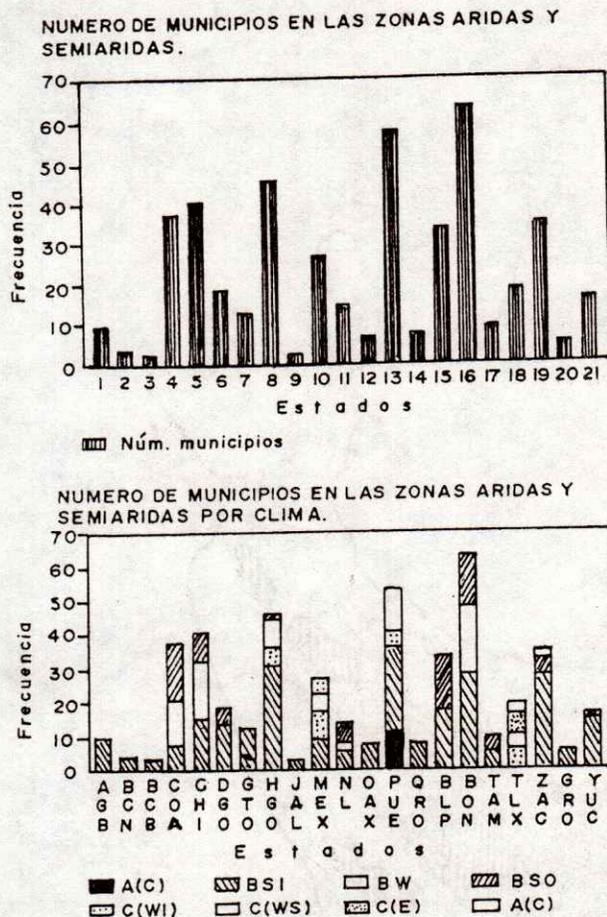


Figura 2. Número de municipios totales y por clima de las zonas áridas y semiáridas (CREZAS, 1989).

en 18 estados, con predominancia en Hidalgo, Sonora, Puebla, Chihuahua y Yucatán.

De los 477 municipios considerados como áridos y semiáridos, 90 de ellos pueden considerarse como multizonales, ya que sólo una porción de los mismos es estrictamente semiárida o árida.

Para la descripción de los factores físicos de las zonas áridas a nivel de municipio, se utilizó el Atlas del Medio Físico publicado por DETENAL (1981). Se tomó como representativo para cada uno de los factores físicos reportados, el dominante en el municipio.

La terminología utilizada en esta descripción está reportado en el trabajo arriba citado.

El número de municipios en los que dominó el clima BW fue de 66 (13.8%), el clima BSO se presentó en 86 municipios (18%), los climas BS1 se distribuyeron en 235 municipios (49.3%). Los municipios anteriores corresponden a aquéllos considerados estrictamente como áridos y semiáridos. Dentro de los municipios multizonales, 74 (15.5%) correspondieron a climas templados (C(W) y C(E)) y 16 (3.3%) a cálidos (A(W) y A(C)).

Como era de esperarse, 88.3% (421) de los municipios presentan precipitaciones menores que 700 mm (Figura 3) dominando en éstos los municipios con precipitaciones menores a 500 mm con una marcada concentración en el intervalo entre 350 y 650. En los climas BW, los municipios presentaron precipitaciones medias de alrededor de 250 mm, mientras que en los BS0, éstas fueron de aproximadamente 350 mm. Para los climas BS1 la precipitación media se ubicó en 500 mm.

De las 30 unidades de suelos presentes en los municipios de las zonas semiáridas y áridas del país (Figura 4), ocho unidades conforman el 82% de los municipios. Estas unidades son: los Phaeozem háplicos (19.9%); los Litosoles (16.4%); los Regosoles éutricos (13.8%); los Xerosoles háplicos (13.4%); las Rendzinas (5.9%), los Xerosoles cálcicos (4.4%); los Regosoles cálcicos (4.2%) y los Cambisoles éutricos (4%).

En los climas más secos (BW) se presentaron siete unidades de suelo, los más importantes por número de municipios fueron los Xerosoles háplicos (33.3%), los Regosoles éutricos (21.2%) y los Litosoles (16.7%). En los climas secos (BS0) destacaron los Litosoles (23.3%), los Xerosoles háplicos y los Xerosoles

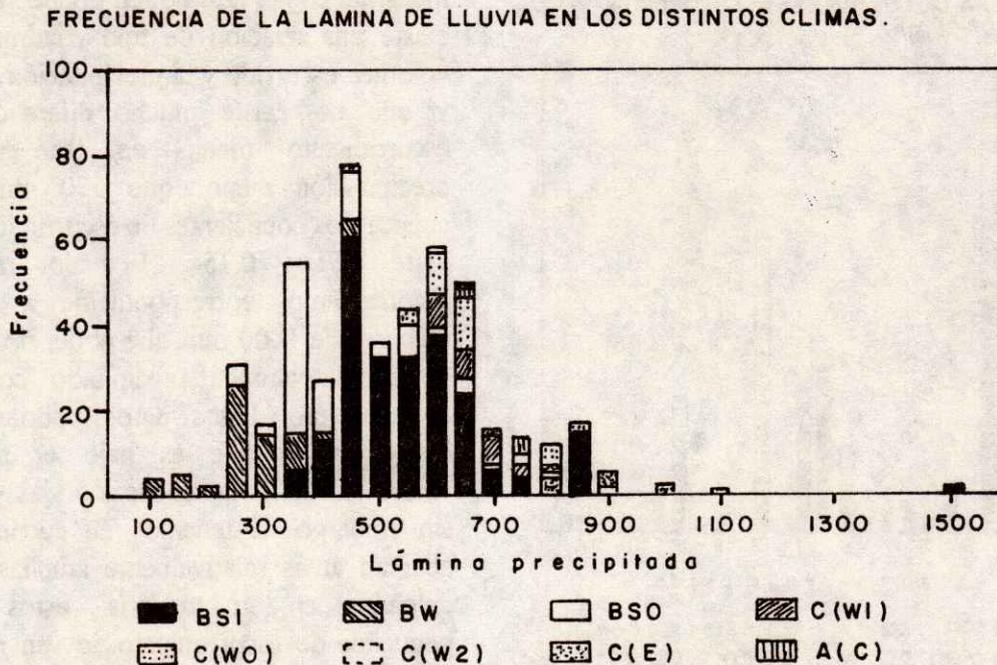


Figura 3. Distribución de la lámina de lluvia anual en los distintos municipios en la zona árida y semiárida agrupados por clima.

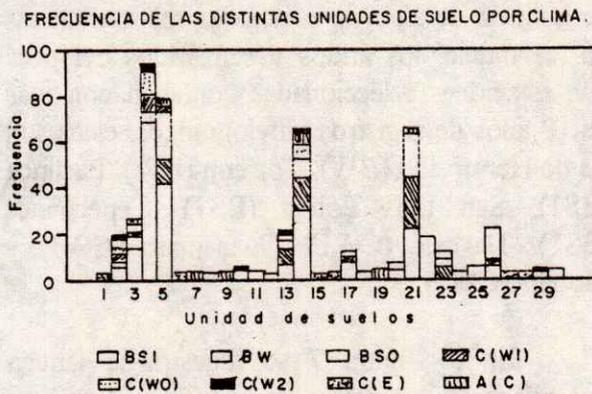


Figura 4. Distintas unidades de suelos agrupados por clima para los municipios bajo estudio.

cálcicos (16.3%) dentro de las 14 unidades de suelos representadas. Existieron 24 unidades de suelo representadas en los climas semi-secos (BS1) con un mayor número de municipios con suelos Phaeozem háplicos (28.9%), Litosol

(17.4%), Regosol éutrico (12.3%), Xerosol háplico (8.9%) y Xerosol lúvico (6.8%).

En los 477 municipios estudiados se presentaron 22 tipos predominantes de uso del suelo. Los municipios en que predominó la agricultura de temporal fueron 119 (24.9%), le siguió en importancia el matorral desértico micrófilo (16.1%), el matorral sarcocaulé (10.7%), el matorral crasicaulé (10.3%), la agricultura de riego (8.0%), el pastizal natural (7.5%) y la vegetación halófito (4.2%).

Para los climas muy secos (BW) existieron nueve usos del suelo (Figura 5), entre los que destacan el matorral desértico micrófilo (34.8%), la vegetación halófito (18.2%), el matorral sarcocaulé (15.2%) y la agricultura de riego (10.6%). En los climas secos (BS0) se presentaron 13 usos distintos del suelo, entre los

FRECUECIA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VEGETACION POR CLIMA.

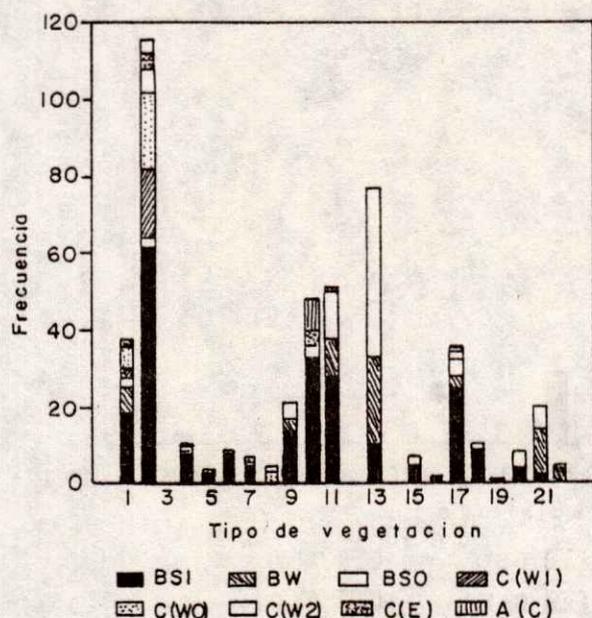


Figura 5. Diferentes tipos de vegetación agrupados por clima para los municipios bajo estudio.

que predominan el matorral desértico micrófilo (51.2%), seguido del matorral sarcocaulé (14%) y de la vegetación halófila (7%). Dentro de los climas semi-secos, (BS1) están representados 16 usos del suelo, donde dominan la agricultura de temporal (26.4%), el matorral crasicaulé (14%), el matorral sarcocaulé (11.9%), el pastizal natural (10.6%) y la agricultura de riego (8.1%).

Una de las variables más importantes desde el punto de vista de la producción de escurrimientos es la precipitación, a este respecto, utilizando los datos del trabajo de Martínez y Fernández (s-f) sobre la evaluación de la degradación específica de las cuencas hidrológicas de México, se separaron aquellas cuencas hidrológicas con precipitación menor que 1000 mm localizadas en la porción norte del país y se relacionaron los escurrimientos medios anuales con la precipitación media anual de dichas cuencas hidrológicas. Los resultados obtenidos se

muestran en la Figura 6, en donde se aprecia que existe una relación de tipo cuadrático entre el volumen escurrido y la precipitación media anual, y que no existe mucha diferencia entre el escurrimiento medio en las cuencas con precipitación menor que 500 mm. En estas cuencas los coeficientes de escurrimiento variaron entre 0.01 y 0.15. El valor más alto de escurrimiento, correspondiente a las cuencas menores de 1000 mm, fue el del río Pánuco con 20% del volumen precipitado convertido en escurrimiento. Estos datos podrían darnos la impresión de que es bajo el potencial de escurrimiento de las cuencas áridas y semiáridas, sin embargo, si tenemos en cuenta que estas abarcan áreas relativamente amplias con suelos delgados en su mayoría, estos volúmenes pequeños de escurrimiento se ven normalmente concentrados en pequeñas porciones con suelos profundos dentro de las bajadas y valles intermontanos presentes en estas regiones.

Se analizaron, también, las características de la lluvia de algunas estaciones representativas de los municipios áridos y semiáridos del país. Las estaciones seleccionadas contaban con más de 10 años de registros pluviográficos, éstas son las de Hermosillo (BW), Torreón (BW), Pachuca (BS1), San Luis Potosí (BS1), Tepehuanes (BS1), Tlaxcala (CW1), Guanajuato (CW1) y Morelia (CW1).

En la Figura 7 se muestra la lámina acumulada en milímetros por períodos decenales para las ocho estaciones analizadas. En todas ellas existe una marcada estacionalidad de la precipitación que se inicia a partir de la decena 16 (segunda quincena de julio) y se vuelve casi inapreciable en la decena 27 (a finales del mes de septiembre). La Figura 7 muestra la lámina promedio para cada uno de estos períodos decenales. Con excepción de Tepehuanes, en los climas secos la lámina promedio decenal es menor que 30 mm y se observa un período de sequía

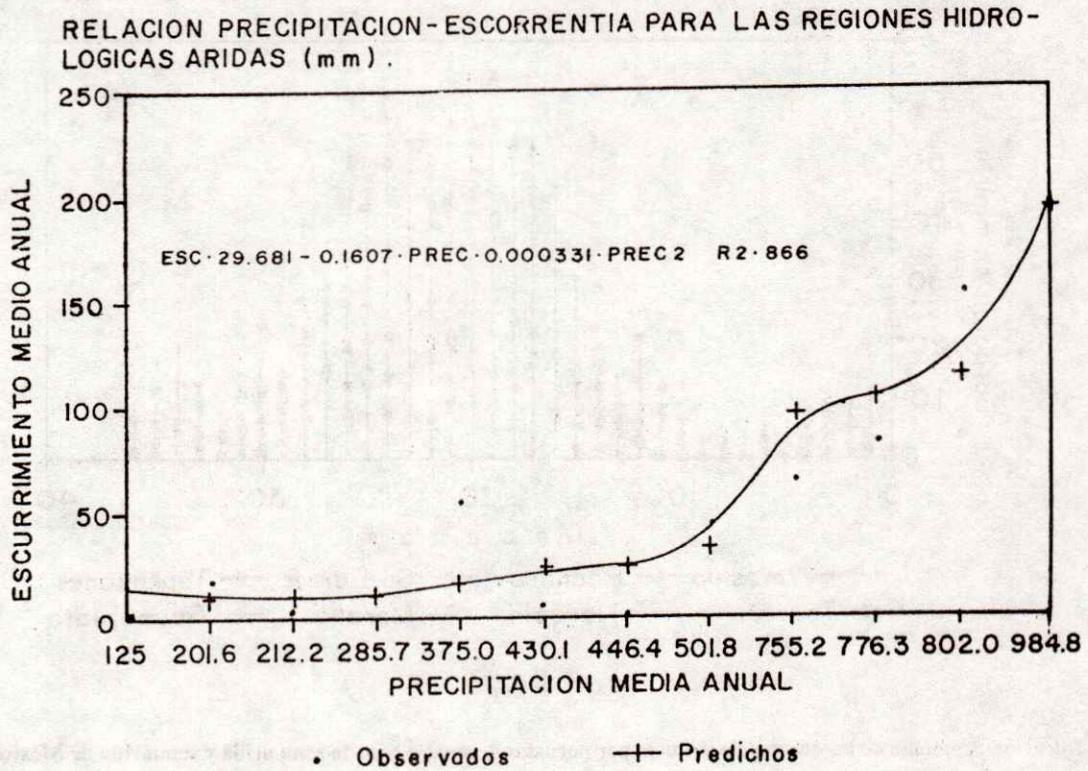


Figura 6. Relaciones, precipitación-escorrentía para las regiones hidrológicas áridas del país.

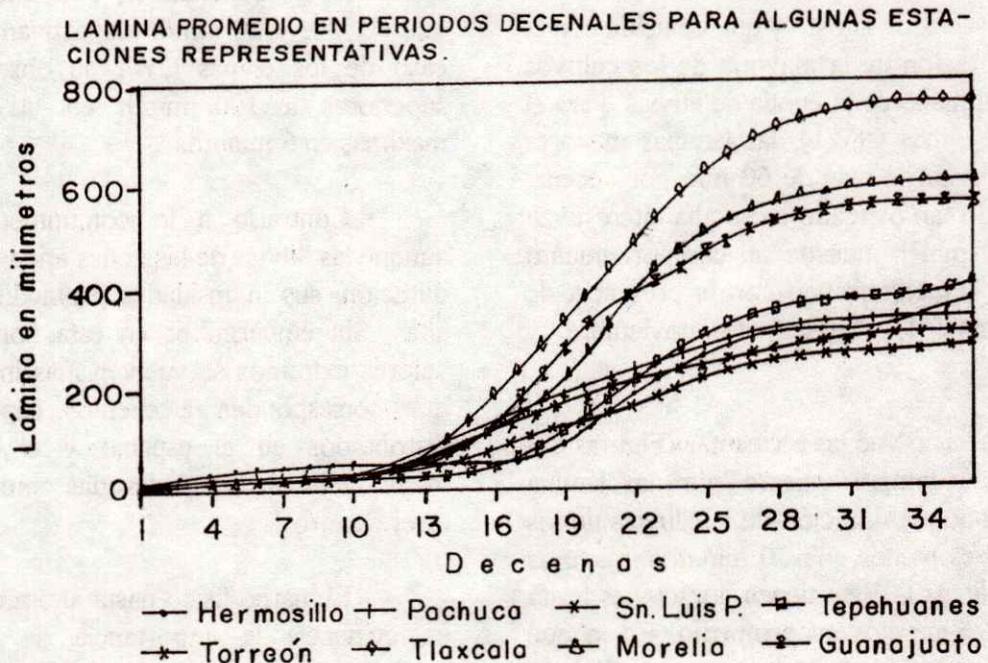


Figura 7. Lámina promedio para estaciones de la zona árida y semiárida de México.

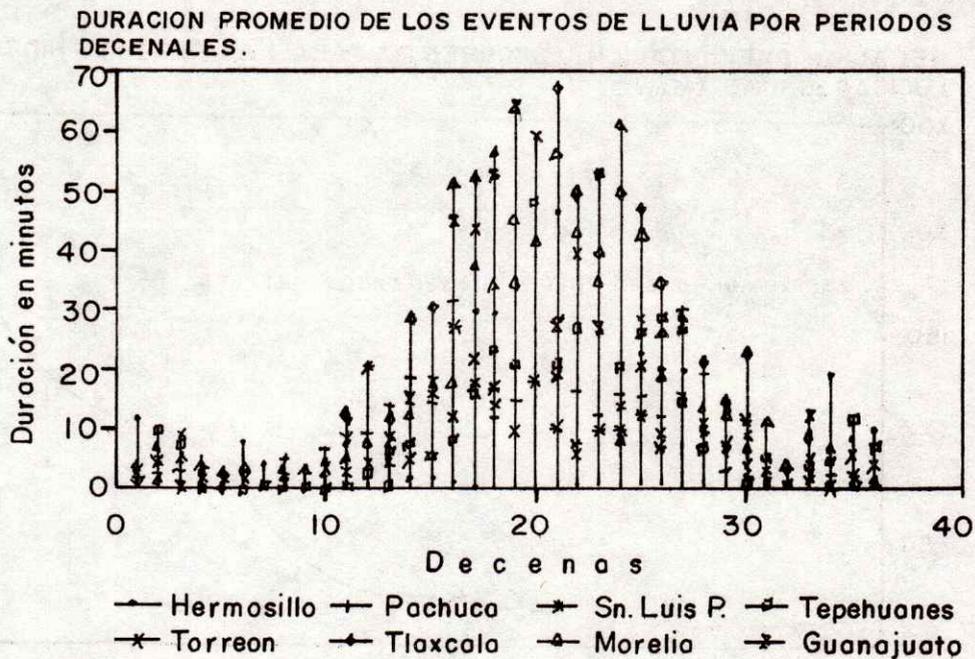


Figura 8. Duración promedio de los eventos de la lluvia por periodos decenales para la zona árida y semiárida de México.

interestival en la decena 22, correspondiente a la segunda quincena de agosto y que coincide con la época de floración de la mayoría de los cultivos sembrados al inicio de la época de lluvias. Para el caso de los climas C(W1), las láminas mayores pueden ser hasta de más de 60 mm por decena, sin un período tan marcado de sequía interestival. Hermosillo también muestra un comportamiento ligero de tipo mediterráneo con la presencia de lluvias durante los meses de noviembre y diciembre.

La duración de las tormentas (Figuras 8 y 9) sigue el comportamiento de la lámina promedio ya que la duración de las lluvias de los climas secos es menor que 30 minutos, mientras que en los climas CW se tienen duraciones hasta de más de 60 minutos en promedio. En lo que respecta a las intensidades máximas en 5, 30 y 60 minutos, se observa, nuevamente, que con

excepción de Tepehuanes, éstas fueron menores que 60, 40, y 20 mm/h respectivamente; para el caso de los climas CW1 se observan valores superiores a 100 mm/h en las intensidades máximas en 5 minutos.

Contrario a lo comúnmente señalado, aunque las lluvias de las zonas áridas son de corta duración, sus intensidades promedio no son tan altas. Sin embargo es en esta zona donde los valores extremos se vuelven más importantes ya que corresponden a eventos esporádicamente distribuidos en el espacio y el tiempo, con intensidades máximas elevadas como se muestra en el Cuadro 1.

El marco físico hasta ahora descrito pone en evidencia la importancia de los sistemas tradicionales de manejo de escurrimientos, ya que se adecuan en forma notable a las características

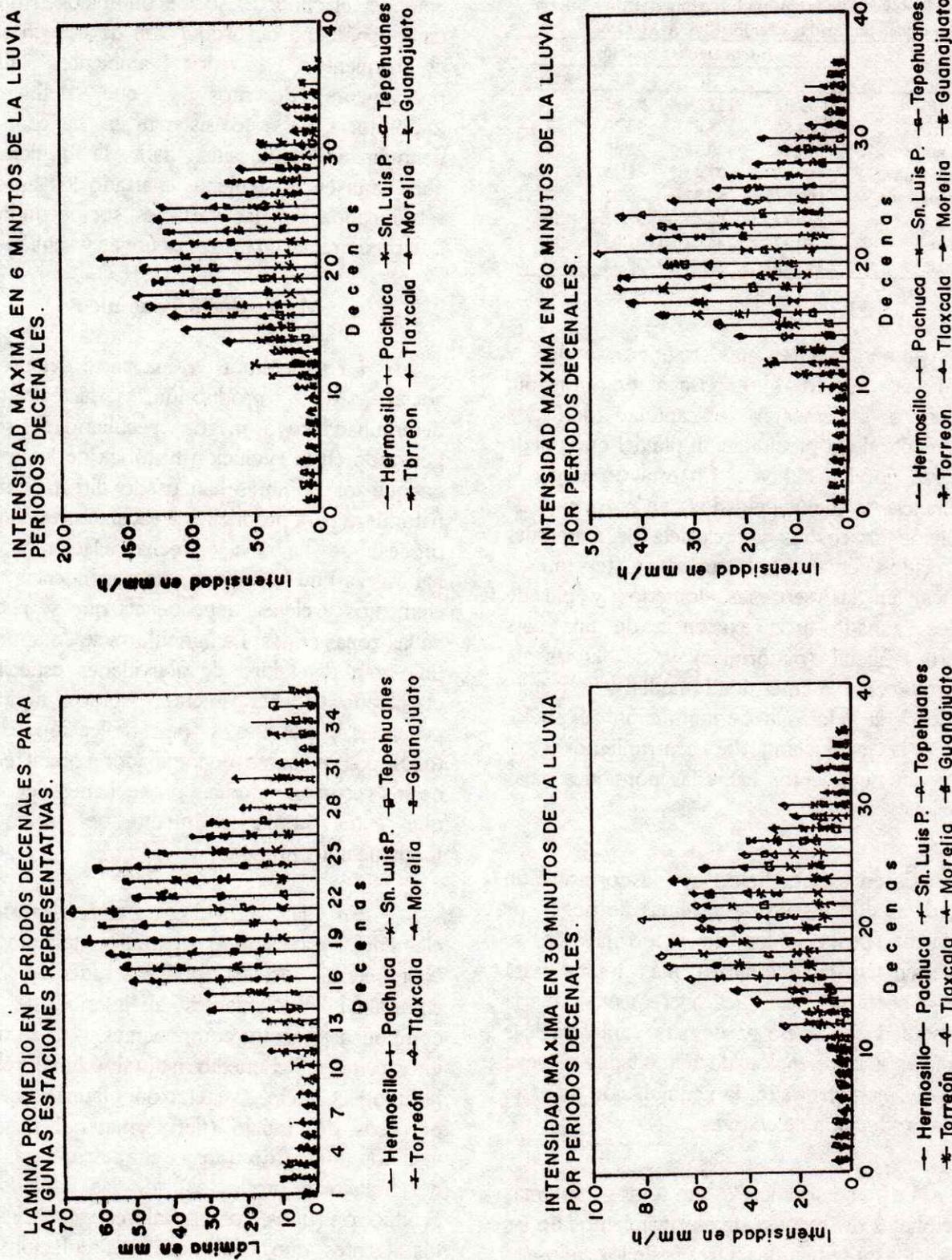


Figura 9. Lámina promedio e intensidades máximas de lluvia para la zona árida y semiárida de México.

Cuadro 1. Valores de intensidad máxima para las diferentes estaciones áridas y semiáridas de México.

Estación	Intensidades máximas			Años
	5	30	60	
Hermosillo	192.92	118.68	92.83	11
Torreón	164.56	79.87	50.30	11
Tepehuanes	93.25	40.36	23.40	4
San Luis Potosí	159.20	77.45	41.46	11
Guanajuato	109.92	64.93	46.31	7
Morelia	136.34	66.57	39.72	10
Pachuca	80.32	46.01	41.03	11
Tlaxcala	113.88	58.44	39.44	9

físicas imperantes en las regiones áridas y semiáridas, puesto que buscan en principio coleccionar e incrementar la cantidad de agua proveniente de la precipitación pluvial que puede utilizarse por los cultivos. En esta estrategia la dominancia de suelos delgados con problemas de formación de costras y presencia de materiales endurecidos cercanos a la superficie (tepetates y caliches) en las serranías, lomeríos y pie de montes, aunado a la existencia de una baja cubierta vegetal (matorrales) y de lluvias de duración corta e intensidad media y extrema, superior a la velocidad de infiltración del suelo, facilitan la producción de escurrimientos y el acarreo de sedimentos hacia las porciones bajas del relieve.

Es en este contexto que la construcción de terrazas y el diseño de sistemas de riego por inundación provenientes de escurrimientos se convierten en la alternativa más lógica para lograr, por un lado, el incremento de la profundidad del suelo y de sus características favorables a la retención de humedad y riqueza mineral y, por otro lado, la acumulación de agua para la producción de cultivos.

La persistencia de los sistemas tradicionales del manejo de escurrimientos de las zonas áridas y semiáridas a través de los siglos, es la evidencia de la racionalidad ecológica, económica y cultural de estos sistemas. A fin de

entender el contexto socioeconómico en que se da el fenómeno de producción de cosechas con escurrimientos en los ambientes físicos previamente descritos y que definen la importancia de este sistema en la economía denominada campesina para la región, se abordarán en el siguiente apartado los aspectos relacionados con las variables socioeconómicas que predominan en las zonas áridas y semiáridas.

### Marco Socioeconómico

La agricultura es una parte del proceso social de producción, históricamente determinada, cuyos rasgos y peculiaridades se han generado en la evolución histórica de las formas en que los hombres han usado directamente la naturaleza para producir sus satisfactores. En este proceso se da una estrecha relación con la naturaleza que le impone una dependencia a sus elementos y ciclos, dependencia que se acentúa en las zonas áridas. La agricultura se compone de una gran diversidad de actividades específicas, clasificadas genéricamente como agrícolas, pecuarias, forestales y de recolección, donde todas poseen como denominador común el uso de los recursos naturales provenientes del suelo, que actúa como el medio de producción fundamental y primario.

En la agricultura están presentes elementos y relaciones (naturales, tecnológicas, económicas, sociales, políticas, ideológicas, y culturales) interactuantes al interior de cada componente y entre componentes. Así, se tienen interacciones del medio natural (clima, relieve, hidrología, suelo, vegetación, fauna); de los procesos de trabajo (tierra, material genético, insumos, fuerza de trabajo, infraestructura, ciclo del trabajo y productos); de las unidades de producción (tipos, costos, valores, ganancias); de los agentes que controlan la circulación y el mercado (banca, intermediarios, instituciones oficiales); y de los grupos sociales y sus

organizaciones socio-políticas (campesinos, obreros agrícolas, empresarios industriales).

Para efectos de la planificación parcial de la agricultura y, en particular, de las acciones de investigación, capacitación y servicio, hasta donde ello es posible en las circunstancias actuales, se requiere trabajar con sistemas agrícolas de producción que correspondan al nivel de generalidad de los que caracterizan a la agricultura de una región, mientras que para la definición de proyectos específicos de desarrollo se requiere de la consideración de sistemas de producción agrícola más particulares que pertenecen a un sistema más general y de orden superior a la jerarquía de los sistemas. En consecuencia, el estudio de los sistemas particulares de producción agrícola debe llevarse a cabo dentro del ámbito de un sistema de producción agrícola más general y previamente definido. El uso de este enfoque permitirá diseñar una estrategia de desarrollo para aumentar la precisión tecnológica de las recomendaciones generadas por la investigación para un área de validez o dominio de la recomendación. El objetivo de la clasificación de los sistemas agrícolas dentro de una región de interés, es la identificación de parámetros que permitan la agregación de los agricultores dentro de un número relativamente pequeño de sistemas agrícolas. Esto permitirá programas de desarrollo más precisos en los que las actividades de planeación se ajusten lo más fielmente a las características del sistema, logrando así que las recomendaciones surgidas de esta planeación se incorporen exitosamente al sistema agrícola para mejorarlo.

Para lograr el entendimiento de los factores socioeconómicos que predominan en las zonas áridas y semiáridas y definir de esta manera las grandes formas de producción prevaecientes en las mismas, se discuten a continuación los

trabajos de regionalización económica de Appendini (1983) y de COPLAMAR (1982).

Dentro de la zona árida y semiárida del país existe una polarización en el tipo de explotaciones agrícolas presentes en ellas. En 43.8% de los municipios estudiados, se presenta una agricultura con orientación empresarial que corresponde a la agricultura practicada en los grandes distritos de riego ubicados en la zona norte del país y a la ganadería con fines de exportación. Por otro lado, 44.9% de los municipios se consideran de agricultura de subsistencia (campesina). En estas zonas se obtiene más de 50% de la producción total del maíz y de frijol del país, los cuales cubren más de 70% de la superficie bajo cultivo. La población ocupada asalariada es menor que el promedio nacional. En estas regiones, la perspectiva de los campesinos como productores requiere una transformación radical de sus condiciones de producción y de la organización del proceso productivo. Actualmente, la forma de subsistencia más generalizada para la población de estas zonas sigue siendo la venta temporal o permanente de su fuerza de trabajo, que permite de manera complementaria la subsistencia y reproducción de la unidad campesina.

En los climas muy secos (BW) la proporción de municipios empresariales se incrementa notablemente y alcanzan 83.3%, mientras que los municipios con agricultura campesina (12.1%), aquéllos ubicados en el nivel superior (8) sólo componen 1.5% de los mismos (Figura 10). En los climas secos (BS0), 50% de los municipios son de orientación empresarial y 38.4% de tipo campesino, de éstos solamente 4.7% pertenecen al nivel superior de clasificación (8). Para los climas semi-secos (BS1), los municipios con orientación empresarial disminuyen a 39.6%, mientras que aquéllos con orientación campesina representan 25.1% de los municipios.

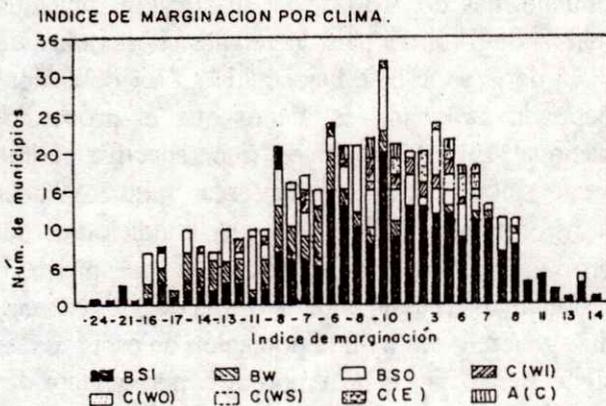
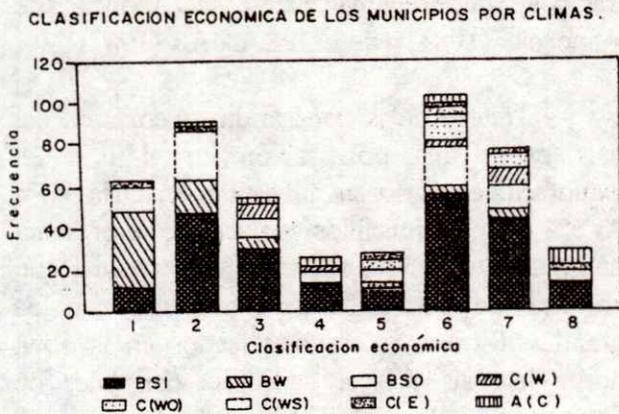


Figura 10. Clasificación económica e índice de marginación de los diferentes municipios de las zonas áridas y semiáridas agrupados por clima.

Los municipios áridos y semiáridos del país presentan diferencias en su nivel económico como lo hemos constatado en los párrafos anteriores. La existencia de un nivel económico dado no necesariamente implica que se cuente con todos los beneficios del desarrollo nacional y de la riqueza generada, ya que hay comunidades que han quedado al margen de estos beneficios sin que necesariamente hayan sido marginadas en la generación de la riqueza ni mucho menos de las condiciones que la hacen posible. Con la finalidad de obtener un índice de marginación, el

COPLAMAR (1982) expresó la marginación con base en los niveles de ingreso de la población económicamente activa, los niveles de subempleo, los porcentajes de población rural agrícola, la incomunicación de las comunidades, la alimentación inadecuada, los bajos niveles de escolaridad, los bajos niveles de salud y dificultad de acceso a los servicios médicos, la presencia de viviendas inadecuadas y sin servicios, y el escaso acceso a otros satisfactores como calzado, radio y televisión. Para medir estas características se tomaron 17 indicadores divididos en: generales, de alimentación, de educación, de salud, de vivienda y sus servicios, y de otras necesidades.

Mediante el método de componentes principales estos indicadores se sintetizaron en una sola variable denominada "índice de marginación". Debido al tipo de indicadores utilizados el índice de marginación se mueve en sentido directo al grado de marginación; esto es, a mayor valor del índice mayor marginación y viceversa. Asimismo, estos índices se agruparon considerando como de marginación muy alta, aquéllos con valores superiores a 10 unidades del índice; de marginación alta, aquéllos comprendidos entre 0 y 10; de marginación media, cuando el índice varió de 0 a -10; de marginación media baja, cuando varió de -10 a -20; y de marginación baja, cuando se tuvieron valores superiores a 20 unidades del índice de marginación.

De los municipios considerados como áridos y semiáridos, solamente 1.3% son de marginación baja, 16.9% son de marginación media baja, 44.1% tienen marginación media, 35.1% se consideran de marginación alta y 2.9% de marginación muy alta.

En los climas muy secos (BS0) no existieron municipios de marginación alta y muy alta. En 37.9% hubo marginación media baja y en

62.1% fue de marginación media. En los climas secos (BS0), 30.2% se considera de marginación media baja, 52.5% es de marginación media y 16.3% de marginación alta (Figura 10).

Para el caso de los climas semisecos, 2.6% de los municipios fueron de marginación baja, 8.5% de marginación media baja, 42.1% de marginación media, 42.1% de marginación alta y 4.7% de marginación muy alta.

El análisis de las condiciones socioeconómicas prevalecientes en los municipios considerados como áridos y semiáridos constata la existencia de una porción considerable de los mismos en los que se practica una agricultura de corte campesino cuyo objetivo es la subsistencia de la unidad familiar y que en la mayoría de las ocasiones coincide con áreas de marginación media a alta. Dentro de este grupo de productores, las técnicas tradicionales de producción no han podido ser reemplazadas por otras basadas en un uso intensivo de insumos externos y por consecuencia de riesgo alto. En su lugar existe la posibilidad de utilizar de una manera más adecuada la experiencia local y los recursos humanos existentes para maximizar las tecnologías actuales a través de empresas pequeñas, que produzcan con costos reducidos en términos de energía y capital y que permitan liberar a los productores de su dependencia de las instituciones operativas del sector agropecuario.

A fin de analizar las posibles alternativas de mejoramiento de los sistemas, es conveniente, en primer lugar, hacer una descripción de los sistemas actuales de manejo de escurrimientos. Esto se tratará en el siguiente apartado.

### **Descripción de los Sistemas Actuales**

No es posible hacer una descripción detallada de los sistemas de producción existentes

de las áreas con manejos de escurrimientos, debido a que cada uno de ellos se ha ajustado de manera notable a las condiciones peculiares de ubicación geomorfológica, tamaño del campo, materiales existentes en la localidad, cultivos prevalecientes y valores culturales. Este ajuste crea un sinnúmero de variantes, por lo que se intentará resumir las descripciones existentes de estos sistemas tomando como base los trabajos de Fortanelli (1981), Charcas (1984), Gallegos (1985) y la Oficina de Estudios de Zonas Aridas de la Universidad de Arizona (1981).

En los Cuadros 2 y 3 se resumen las principales características de ocho de los sistemas agrícolas en que se maneja el riego con escurrimientos dentro de la zona conocida como Altiplano Potosino Zacatecano y que abarca las porciones áridas de los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, y las partes norte de Guanajuato y de Jalisco.

En el Cuadro 3 se resumen las estructuras y procedimientos de distribución del agua, puede observarse en dicho cuadro que las obras de desviación varían desde aquéllas que incluyen zanjas diagonales sobre las laderas a fin de colectar el escurrimiento de los lomeríos (planicie occidental del altiplano potosino y Villa de Ramos, SLP), pasando por las que utilizan bordos de ramas, tierra y piedras colocados en los cauces de los arroyos intermitentes (Santiago Pinos, Zac., y región boreo-central) hasta aquéllos con obras de mampostería, como es el caso de San José del Grito, Moctezuma, SLP, y la planicie de inundación del río La Presa-Justino-Bocas. En el caso de las estructuras y procedimientos de distribución del agua, éstos varían desde un simple surcado en contra de la pendiente máxima del terreno hasta el uso de

**Cuadro 2. Descripción de los sistemas de manejo de escurrimiento del Altiplano Potosino Zacatecano. Aspectos ingenieriles (Fortanelli, 1981; Charcas, 1984; Gallegos, 1985).**

Sitios con sistemas establecidos	Obras de desviación	Obras de conducción	Estructuras y procedimientos de distribución del agua
Santiago, Pinos, Zac.	Bordos mediante dos hileras de postes de 1.0-1.5 m de altura y en medio ramas y tierra	Canales cavados con implementos manuales	Las obras de conducción llevan el agua hasta la parcela y la inundan
San José del Grito Mocatezuma, SLP.	Bordos de mampostería y bordos con tendidos	Canales cavados con implementos manuales	Bordos de tierra y estacados conforman terrazas. En los bordos se plantan especies nativas.
Villa de Ramos, SLP.	Zanjas diagonales sobre las laderas	Zanjas derivadoras	El agua que derrame sobre las laderas se colecta y se conduce hasta los terrenos de cultivo donde se hace el surcado en contra de la pendiente máxima del terreno
<b>Serranías meridionales del altiplano potosino</b>			
Planicie boreo-central del altiplano potosino	Zanjas diagonales sobre las laderas	Zanjas derivadoras	Mediante alargados diques de estacas y ramaje entretejido, construidos perpendicularmente a la pendiente del terreno, se contiene y dispersa el agua de los escurrimientos. Los diques, canales derivados y estacacos se reparan anualmente
Región boreo-central del altiplano potosino	Diques de estacas y piedra	Canales hechos manualmente	Mediante bordos de tierra y piedra perpendiculares a la pendiente del terreno se inundan los terrenos de cultivo. Estas estructuras se reparan anualmente
Planicie de inundación del río la Presa-Justino Bocas	Presas derivadoras a lo largo del río. (En esta zona se tiene una presa de almacenamiento de escurrimientos superficiales)	Sistema de canales sin revestir de sección trapecial o semicircular	Bordos de tierra, palos y ramas y compuertas de concreto. Anegamiento o inundación de la parcela (en lamado). Esta práctica se realiza cuando el terreno de cultivo está en descanso o el cultivo de maíz está muy desarrollado
Cañada del río Las Enramadas - Santa María	Presa derivadora de cal y canto, reforzada con bordos de tierra	Canal de tierra de sección rectangular	Boquillas empotradas a la pared del canal de conducción. Inundación de las parcelas de cultivo con agua de avenidas (en lamado). Esto se realiza (al igual que en el 7) además del riego, con la finalidad que cuando se infiltre el agua quede una capa de "tierra lama" muy fértil

Cuadro 3. Descripción de los sistemas de manejo de escurrimientos del altiplano potosino zacatecano. Aspectos de los cultivos (Fortanelli, 1981; Charcas, 1984; Gallegos, 1985).

Sitios con sistemas	Labores de preparación	Especies cultivadas	Labores culturales	Plagas más importantes	Enfermedades más importantes
Santiago, Zac.	Pinos, Volteo	Maíz Frijol Calabaza	Deshierbes Escardas	Gusano cogollero, gusano de alambre, gusano elotero, gallina ciega, conchuela, mosquita blanca	Cenicilla ( <i>Erysiphe polygoni</i> )
San José del Grito Moctezuma, SLP	Volteo Arrope o paso de rastra	Maíz Cebada Trigo Frijol Garbanzo Haba Calabaza Girasol	Escarda Deshierbe Despunte	Gusano cogollero, gusano de alambre, gusano elotero, conchuela, mosquita blanca	Cenicilla (menos incidencia)
Villa de Ramos, SLP	Volteo Arrope o paso de rastra 2o. Paso de rastra	Maíz Cebada Frijol Calabaza	Deshierbes Escardas	Gusano cogollero, gallina ciega, gusano elotero	Cenicilla (menos incidencia)
Serranías meridionales del altiplano potosino	Pasos de arado (volteo) Rastreo	Maíz Frijol Cebada Trigo Chicharo Haba Girasol	Escarda	Gusano cogollero, gorgojo del maíz, conchuela, mosquita blanca	Sin presencia
Planicie occidental del altiplano potosino	Paso de arado en el borde del surco Volteo Paso de viga (paso de rastra)	Maíz Frijol Calabaza girasol	Escardas	Gusano cogollero, gorgojo del maíz, gusano de alambre, gallina ciega, conchuela, mosquita blanca	Sin presencia
Región boreo-central del altiplano potosino	Volteo (aflojar y voltear el suelo)	Maíz Frijol Calabaza Girasol Cebada Trigo Garbanzo Lenteja Chicharo	Escardas	Gusano cogollero, gorgojo del maíz, gusano de alambre, gallina ciega, conchuela, mosquita blanca	Sin presencia
Planicie de inundación del río La Presa-Justino-Bocas	Riego Volteo Rastreo (se dan varios pasos)	Maíz Cebada Avena Trigo Frijol Alfalfa Haba Lenteja Hortaliza Girasol	Deshierbes Aporques Escarda Rastreo	Gusano cogollero, gusano soldado, gusano elotero, pulgón de la col, gusano medidor	Chamuscado del jitomate, huitlacoche o carbón del maíz, cenicilla

Cuadro 3. Continuación.

Sitios con sistemas	Labores de preparación	Especies cultivadas	Labores culturales	Plagas más importantes	Enfermedades más importantes
Cañada del río las enramadas-Santa María	Desborde Barbecho, varias aradas Rastreo Terraneo (desbaratar terrones) Nivelación	Maíz Cebada Frijol Alfalfa Chicharo Haba Cacahuate Hortalizas Condimentos Ornamentales Frutales	Deshierbes Aporques Escardas Apuntalado en frijol y jitomate Alambrado en jitomate	Mielecilla en nogal, mosquita blanca, conchuela, ardillones y pájaros	Plagueado de la raíz en ajo, encamotado de la raíz en jitomate causada por el nemátodo <i>Meloidogyne incognita</i> Secadora en chile

bordos de tierra y estacas construidos perpendicularmente a la pendiente. En algunas ocasiones se utilizan muros de piedra acomodada en el caso de los sistemas más desarrollados con puertas de concreto.

Normalmente se hace una reparación anual de las estructuras y en la mayoría de los sistemas tradicionales la distribución del agua dentro de la parcela es irregular y se tienen problemas de erosión, tanto en el canal como dentro de la parcela.

Los canales de conducción son de tierra excavados a mano y sin una pendiente de diseño que evite la deposición de sedimentos o la erosión de los mismos. También se reparan anualmente.

En lo referente a las labores de preparación éstas incluyen el volteo o aradura y el arrope o paso de rastra, el cual puede realizarse en dos o más ocasiones. Los cultivos sembrados incluyen en todos los casos maíz, frijol y calabaza, y en aquéllos con mayor disponibilidad de agua, trigo, cebada, garbanzo, haba, girasol, chicharo, lenteja, alfalfa y hortalizas. También se pueden encontrar plantaciones de árboles frutales o de uso forrajero en los bordos, dentro de la parcela.

Como labores culturales se realizan el deshierbe, las escardas y el despunte.

Las plagas más importantes son las del maíz (gusano cogollero, gusano de alambre, gusano elotero, gallina ciega, gusano medidor y gusano soldado) y las del frijol (conchuela y mosquita blanca). En ocasiones se reportan daños por ardillones y pájaros. De las enfermedades presentes destaca la cenicilla, el chamuscado del jitomate, el huitlacoche o carbón del maíz y las enfermedades fungosas en las hortalizas.

La cosecha se orienta básicamente al autoconsumo, aunque las hortalizas se comercializan a las ciudades cercanas.

La Oficina de Estudios de Zonas Áridas de la Universidad de Arizona describe la utilización de aguas de escurrimiento para la zona sureste de Arizona, en la región correspondiente a la reservación de los indios papagos cercana a la ciudad de Arizona.

En lo referente a los indios papagos, éstos pueden utilizar el agua de diferentes maneras ya que dirigen el escurrimiento directamente al campo o a un bordo de almacenamiento. Para las estructuras de desviación utilizan presas de ramas

que reparan y construyen anualmente. Los bordos de almacenamiento tienen una capacidad inferior a 1000 litros y normalmente se utilizan para dar de dos a cuatro riegos ligeros por estación. El agricultor repara periódicamente los taludes del bordo y remueve la vegetación herbácea que crece en los mismos. El agua del bordo se puede utilizar de tres maneras diferentes, utilizando cubetas para regar plantas individuales, dirigiéndola sobre el terreno de cultivo en forma de un riego de inundación y, por último, utilizando un riego con manguera conectada a una bomba eléctrica. También se utiliza para abrevadero de animales. El agua se conduce en la parcela a través de canales. Los cultivos que se siembran incluyen frijol tepari, frijol pinto, maíz, sorgo, sandía, calabaza, chícharo, melón y algunos otros tipos de calabazas. Las variedades que se siembran son efímeras o de ciclo corto de una maduración rápida, para escapar de la sequía interestival lo que permite cosechar en 60 días después de la siembra.

Las técnicas y procesos descritos aquí se aplican en general a todos los sistemas de manejo de escurrimientos de las zonas áridas y semiáridas, aunque no son universales ni únicos como se puede notar en las dos descripciones de los sistemas estudiados. Los principales problemas a que se enfrentan estos sistemas, además de aquéllos de índole socioeconómica y que tienen que ver con la desigualdad de las relaciones entre sectores productivos de la economía nacional y que por lo mismo escapan de los objetivos del presente escrito, incluyen:

1) Deficiente control del volumen de agua introducido en la parcela. Este se traduce en volúmenes de escurrimiento difíciles de conducir y manejar en las parcelas del productor, lo cual puede provocar la destrucción de la obra de derivación y la pérdida por erosión hídrica de las parcelas.

2) Canales de conducción mal diseñados. Esto puede provocar deposición de sedimentos o erosión del lecho del canal; hay ocasiones en que el agua no fluye a la parcela en el volumen y dirección adecuada.

3) Distribución irregular del agua en la parcela. Esto puede provocar frecuentes manchones con exceso o deficiencia de agua que se traducen en producciones irregulares.

4) Sistemas de distribución deficiente del agua en la parcela. Generalmente se carece de estructuras hidráulicas (vertedores) que permitan una distribución uniforme y segura del volumen captado.

5) Baja fertilidad de los terrenos y problemas de salinidad en algunos casos.

6) Variedades con poco potencial de respuesta a la aplicación de insumos.

7) Problemas de mano de obra para las labores de cultivos en las etapas críticas, debido a un uso mínimo de equipos de mecanización agrícola.

8) Abandono en el mantenimiento de obras de naturaleza comunal debido a aspectos culturales cambiantes como consecuencia de alteraciones en las relaciones económicas prevalecientes entre sectores de la economía nacional.

Estas limitaciones son susceptibles de superarse mediante esquemas tecnológicos que se adecúen a las condiciones imperantes en cada uno de ellos. De esto trataremos en el siguiente capítulo.

## Alternativas para el Mejoramiento de los Sistemas de Manejo de Esguerrimientos

A fin de que las innovaciones tecnológicas generadas en los centros de investigación puedan ser adoptadas por los productores, convirtiéndose así en ejes del desarrollo de una región, es necesario que éstas se ajusten a las condiciones económicas de las regiones y de los agricultores a quienes se pretende transmitir las tecnologías. Es necesario, entonces, partir de un esquema metodológico que permita una precisión tecnológica mayor, es decir, un mayor ajuste entre la técnica recomendada y las condiciones existentes, tanto ecológicas como económicas en un espacio geográfico agrícola definido. Un enfoque exitoso para definir el área de validez o dominio de una recomendación para que ésta sea óptima consiste en la aplicación de la teoría de sistemas al estudio de los sistemas ecológicos de la agricultura.

El objetivo de la clasificación de los sistemas agrícolas dentro de una región de interés, es la identificación de parámetros que permitan la agregación de los agricultores dentro de un número relativamente pequeño de sistemas agrícolas a los cuales se les diseñen innovaciones tecnológicas. Este enfoque requiere de la definición inicial del sistema estudiado, ya que existen diferentes acepciones válidas de los sistemas agrícolas. Esa diversidad se debe a que en cada una de las diferentes acepciones se confunde alguno de los subsistemas específicos anidados en el sistema de producción agrícola con este último. En el caso particular de los sistemas de producción de cultivos con esguerrimientos, se ha constatado a través de esta revisión que socioeconómicamente y geográficamente están bien definidos, por lo que su caracterización es relativamente fácil a fin de generar estrategias de desarrollo.

Se considera conveniente, para describir la heterogeneidad que existe dentro de los productores y las diferenciaciones a su interior que le son específicas, proceder de la siguiente manera:

Primero, definir y localizar los sistemas de producción agrícola con esguerrimientos de una región dada, considerando los factores y elementos endógenos de carácter económico-social; segundo, definir y estudiar los sistemas de producción agrícola que existen en cada uno de los sistemas anteriores; tercero, estudiar los procesos naturales de diversa índole (física y ecológica) estructurados a su vez como sistemas presentes en los sistemas de producción agrícola particulares; cuarto, detectar los aspectos limitativos; y quinto, diseñar líneas de investigación y experimentos específicos en los que se reproduzcan las características esenciales del sistema agrícola particular con el fin de encontrar soluciones técnicas que superen dichas limitaciones.

En el caso específico de los sistemas de producción agrícola con esguerrimientos, el panorama presentado en las páginas anteriores permitiría avanzar rápidamente a la generación de investigaciones, experimentos y transferencias de tecnología para aquellos productores que practiquen el sistema.

Se han enumerado ya las características generales de los sistemas, los principales problemas que se les presentan y las características socioeconómicas que los definen. Es conveniente, entonces, definir brevemente los aspectos tecnológicos susceptibles de mejoramiento. Estos aspectos pueden agruparse en tres grandes rubros:

1. Diseño ingenieril de las estructuras de toma, conducción y manejo en la parcela de los esguerrimientos.

2. mejoramiento del manejo de cultivos y de suelos en la parcela que reciba los volúmenes escurridos.

3. Manejo de las áreas de abastecimiento (cuencas hidrográficas).

4. Incremento de la productividad de la mano de obra mediante esquemas de mecanización adecuados a unidades de tamaño pequeño y capital limitado.

5. Integración de actividades frutícolas, de producción de forraje y ganaderas en los sistemas de cultivos.

6. Organización de los grupos de productores en torno a las obras de manejo colectivo en el sistema y a la compra de insumos y comercialización de productos.

Con referencia al primer y tercer punto que requieren del conocimiento de las características hidrológicas de la cuenca estudiada hay numerosos intentos de formulación de esquemas de predicción de volúmenes escurridos y búsqueda de relaciones área de siembra-área de escurrimiento. Dentro de aquellos esquemas empíricos se encuentran trabajos como los de Morín y Matlock (1975), quienes utilizaron datos de distribución de la lluvia, relaciones lluvia-escurrimiento en función de la humedad antecedente, evaporación, temperatura y humedad del área de cultivo, datos de las características de infiltración, profundidad, capacidad de retención de humedad de agua del suelo, y datos del cultivo como tolerancia a la sequía en diferentes estados de crecimiento, uso consuntivo potencial y escurrimiento para otras regiones, o bien, mejorar el manejo y el diseño de las estructuras de control de agua.

Otro esquema para diseñar sistemas se basa en modelos hidrológicos determinísticos en

los que se incluyen la estructura espacial del modelo (identificación y cuantificación de las características relacionadas con la producción y transmisión del escurrimiento y su variación espacial) mediante subdivisiones entre elementos de las laderas y de los canales.

En este mismo enfoque se requiere de la generación de ecuaciones para infiltración y escurrimiento, susceptibles de asignar parámetros para cada elemento de la red espacial utilizada en la descripción de sistemas físicos. Por último se requiere de una ecuación para el seguimiento del escurrimiento a lo largo de cada uno de los elementos espaciales en que se dividió el sistema.

Normalmente se han utilizado ecuaciones que combinan las ecuaciones de momento, continuidad y flujo para hacer el seguimiento del proceso de escurrimiento. La infiltración se puede modelar utilizando ecuaciones con base física, ajustadas a las condiciones locales.

La combinación de estos procesos, como lo ha sugerido Lee (1988), puede permitir un entendimiento más completo de las técnicas tradicionales, permitiendo así su mejoramiento y optimización. Un ejemplo de este tipo de enfoque realizado en México es el modelo propuesto por Pimentel (1989), en el cual se utiliza un modelo paramétrico que distribuye el relieve de la cuenca en áreas unitarias con parámetros uniformes. En este modelo se utilizan facetas triangulares irregulares para la generación digital del terreno y posteriormente se determinan los segmentos de los cauces y se forma, así, la red de cauces de la cuenca.

En la determinación del hidrograma de salida se utiliza un esquema de cascada. El tránsito del escurrimiento se realiza aplicando la teoría de la onda cinemática y el principio de continuidad expresado en la ecuación del almacenamiento.

Para el mejoramiento del manejo de cultivos y suelos es necesario introducir esquemas basados en el modelado del crecimiento de los cultivos, utilizando parámetros del suelo, planta y clima. Ejemplos de este enfoque son el trabajo de Fernández (1986), quien desarrolló un modelo hidrológico que utiliza información sobre las características de la cuenca, el clima, los cultivos y el suelo, para evaluar el balance de agua de los cultivos de avena, cebada, frijol, maíz, asociación maíz-calabaza y asociación maíz-frijol.

La afinación de este tipo de trabajos y su generalización permitirá contar con herramientas para planear las labores de cultivo y los mejores patrones de cultivo para una área manejada con sistemas de escurrimientos en una región.

La optimización de la productividad de la mano de obra involucra el mejoramiento de los implementos de tracción animal que predominan en estos sistemas, a través de la utilización de este esquema, como son los yunticultores y la multibarra desarrollados por el INIFAP para la zona centro-norte (Aguascalientes) del país (Sims, 1985). Este equipo cuenta con sus respectivos implementos entre ellos la rastra, sembradora, cultivadora, aspersora y carreta para transporte.

Otro implemento adecuado a condiciones de pequeña superficie y capital limitado es el motocultor de alto despeje desarrollado en la Universidad de Guanajuato (Campos, 1986).

La introducción de equipo mejorado de tracción animal, no podrá realizarse convenientemente si no se acompaña con modificaciones importantes en las prácticas de producción y de cultivo de los campesinos. En este sentido, debe pensarse fundamentalmente en prácticas de cultivo más intensivas, mejor adaptadas a las condiciones de suelo y clima, y, sobre todo, con una mayor integración de la

agricultura con la producción pecuaria. Sólo de esta manera el gasto suplementario que representa la adquisición de estos equipos podrá verse compensado en los rendimientos.

Por último, los problemas de organización para la adquisición de insumos y venta de productos no deben dejarse de contemplar ya que podrían frenar el desarrollo de un esquema de mejoramiento de estos sistemas al limitar la ventaja económica relativa que darían el uso más eficiente de la mano de obra y de los recursos de la parcela del productor al hacerlo dependiente de los intermediarios para sus procesos de intercambio de bienes y restarle así ganancia a su explotación.

## CONCLUSIONES

La tecnología de manejo de escurrimientos practicada por los productores en las áreas áridas y semiáridas de México es exitosa y su persistencia sugiere que es susceptible de mejorarse. Las ventajas culturales y económicas del mantenimiento y mejoramiento de estos sistemas esparcidos en toda el área árida y semiárida del país se han revisado y se han sugerido esquemas para su mejoramiento bajo el enfoque de sistemas agrícolas con el uso de la teoría de sistemas y el modelado. El mejoramiento de estos sistemas permitirá utilizar eficientemente la experiencia y recursos humanos locales; mejorar las herramientas tradicionales, mantener los proyectos agrícolas en áreas cercanas a los centros de vivienda del productor, reforzar la orientación cooperativa de la agricultura y las ligas de planes familiares y de amistad que se requieren para el manejo de estos sistemas, lo que contribuiría a una mejor organización de los productores que se traduzca en un mejoramiento de sus condiciones de vida. La agricultura tradicional es un vehículo importante para la comprensión de los problemas

del manejo de recursos naturales, tanto para investigadores y docentes como para los mismos productores. La agricultura de escurrimientos es una alternativa a los pequeños y grandes proyectos de irrigación que han probado ser ineficientes en muchas regiones del país; asimismo, son una manera para lograr que la gente que los utiliza obtenga independencia de las fuentes tradicionales de crédito. Reducen, además, los costos energéticos y permiten la utilización de tecnologías que se adecúen a las condiciones ecológicas sin dañar el ambiente para las generaciones futuras.

### LITERATURA CITADA

- ALVA I., F. de. 1891. Obras históricas (c.1640), ed. A. Chavero, 2 volúmenes. México.
- APPENDINI, K. 1983. La polarización de la agricultura mexicana. Un análisis a nivel de zonas agrícolas en 1970. *Economía Mexicana*, Serie Temática No. 1., México, D.F.
- ARMILLAS, P., A. PALERM y E. WOLF. 1956. A small irrigation system in the valley of Teotihuacan. *American Antiquity* 21: 396-399.
- BURGOA, F., DE. 1934. Geográfica Descripción. (1974). Publicaciones del Archivo General de la Nación 25 y 26. México, D.F.
- CAMPOS O., L. 1986. Implementos de tracción animal y otros equipos para la economía campesina. Proyecto ONUDI-SPP. Productividad y Cambio Tecnológico en la Cadena Alimentaria. México, D.F.
- CARRERAS S., R. 1980. Aprovechamiento económico de la explotación regional de las zonas áridas y semiáridas de México. Seminario de investigación. Escuela de Ciencias Económico Administrativas. Universidad de las Américas A. C., Puebla, México.
- CODICE MENDOCINO. 1964. En José Corona Núñez, ed. Antigüedades de México, Secretaría de Hacienda y Crédito Público. México, D.F.
- CONTRERAS A., A. 1955. Las zonas áridas de México. pp. 54-63. In: Mesas redondas sobre problemas de las zonas áridas de México. Instituto Mexicana de Recursos Naturales Renovables. México.
- COPLAMAR. 1982. Geografía de la marginación: necesidades de México. (Situación actual y perspectivas del año 2000). Tomo 5. Siglo XXI, México, D.F.
- CREZAS. 1989. Proyecto Conceptual y Operativo. Colegio de Postgraduados. Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas. Salinas de Hgo., San Luis Potosí, México.
- CHARCAS S., H. 1984. Estudio de los principales sistemas de producción de cosechas de secano en el altiplano potosino. Tesis de Licenciatura. UASLP. Escuela de Agronomía. San Luis Potosí, SLP. México.
- CHARLTON, T. H. 1970. Contemporary agriculture of the valley, In: Natural environment, contemporary occupation and 16th century population of the valley. The Teotihuacan valley project. Final report Núm. 3 The Pennsylvania State University. Pennsylvania, USA.
- DAVILA, P. 1974. Cuauhtinchan: estudio arqueológico de un área. Tesis. ENAH. México, D. F.
- DENEVAN, W. M. 1980. Tipología de configuraciones agrícolas prehispánicas. *América Indígena*, XL: 619-652.
- DETENAL. 1981. Atlas nacional del medio físico. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F.
- DONKIN, R. A. 1979. Agricultural terracing in the aboriginal new world. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona, USA.
- DREWITT, R. B. 1967. Irrigation and agriculture in the valley of Teotihuacan. Tesis Doctoral. University of California. Berkeley, USA.
- EMBERGER, L. 1932. Sur une formule climatique et ses applications on botanique. *La Meteorologie* Nov-Dec.: 423-432.
- EVENARI, M., L. SHANAN, and N. TADMOR. 1971. The Negev. The Challenge of a Desert. Oxford University Press. London, England.
- FERNANDEZ R., M. 1986. Evaluación de seis patrones de cultivos y sus balances de agua bajo condiciones de secano. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Centro de Edafología. Chapingo, México.
- FORTANELLI M., J. 1981. Sistemas de producción de cosechas de riego en cañadas y planicies de inundación aledañas de San Luis Potosí. Tesis de Licenciatura. UASLP. Escuela de Agronomía. San Luis Potosí, SLP, México.
- GALLEGOS V., C. 1985. Contribución al conocimiento de los sistemas de producción de cosechas de secano del área de estudio del CREZAS-CP. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zonas Áridas. Chapingo, México.
- HEROLD, L. C. 1965. Trincheras and physical environment along the rio Gavilán. Chihuahua, México. Department of Geography, University of Denver, Publication in Geography, Technical Paper Núm.65-1, Colorado, USA.
- HOPKINS, J. W. 1968. Prehispanic agricultural terraces in México, unpublished M.A. thesis. University of Chicago, Chicago, USA.
- JOHNSON, K. J. 1977. Do as the land bids. A study of otomi resource-use on the eve of irrigation. Tesis Doctoral. Department of Anthropology. Clark University, Massachusetts, USA.
- KIRKBY, M. 1973. The use of land and water resources in the past and present valley of Oaxaca, México. Ann Arbor. University of Michigan. Memoirs of The Museum of Anthropology, Michigan, USA.
- LEE, M. D. 1988. The development of a distributed computer simulation model of a reconstructed ancient waterharvesting system, Avdat, Israel. pp. 919-934. In: Whitehead *et al.* (eds.). Arid lands, today and tomorrow. Proceedings of an International Research and Development Conference. Westview-Belhaven Press. Tucson, Arizona, USA.
- LORENZO, J. L. 1968. Clima y agricultura en Teotihuacán. pp. 51-72. In: J.L. Lorenzo (de.). Materiales para la arqueología de Teotihuacán, México, D. F. INAH.
- MARTINEZ M., L.L., J. MALDONADO. 1974. Importancia de las zonas áridas en el desarrollo general del país. SAG. Departamento de Divulgación y promoción. Productora Nacional de Semillas, México.
- MARTINEZ M., M.R., y J. FERNANDEZ V. s/f. Evaluación de la degradación específica a nivel Nacional a partir de cuencas hidrológicas. SARH. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, México.
- MEDELLIN L., F., y G.A. GOMEZ. 1979. Management of natural vegetation in the semi-arid ecosystems of Mexico. In: B. H. Walker (ed.). Management of semiarid ecosystems. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- MEIGS, P. 1953. World distribution of arid and semiarid homoclimates. In: UNESCO, Reviews of Research on Arid Zone Hydrology. Arid Zone Res. 1:203-210.
- MIRANDA, F. 1955. Formas de vida vegetales y el problema de la delimitación de las zonas áridas de México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. Mesas Redondas sobre Problemas de las Zonas Áridas de México, México.
- MORIN, G. C. A., and W. G. Matlock. 1975. Desert strip farming computer simulation of an ancient water harvesting technique. pp. 141-150. In: Proceedings of the water harvesting Phoenix, Az. March, 1974. ARS W-22. Agricultural Research Service. U.S. Department of Agriculture. USA.
- MOSIÑO A., P.A. 1983. Climatología de las zonas áridas y semiáridas de México. In: J. Molina G. (ed.). Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. México.
- NABHAN, G. 1981. Papago indian desert agriculture and water control, 1967-1974. Completion Report. OWRT Project No. C-90258-G. Applied Remote Sensing Program. Office of Arid Lands Studies. The University of Arizona, Tucson, Arizona, USA.

- OFFICE OF ARID LANDS STUDIES. 1981. Application of remote sensing in evaluating floodwater farming on the papago indian reservation. The University of Arizona, Tucson, Arizona, USA.
- PALERM, A., and E.R. WOLF. 1957. Ecological potential and cultural development in Mesoamerica. pp. 1-37. *In: Studies in Human Ecology*. Pan American Union, Washington, USA.
- PIMENTEL L., J. 1989. Modelo matemático para simular el escurrimiento en una red de cauces. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- ROJAS R., T. 1985. La tecnología agrícola mesoamericana en el Siglo XVI. *In: T. Rojas R., y W.T. Sanders. Historia de la agricultura. Epoca Prehispánica-Siglo XVI: 129-231.*
- SANDERS, W. T. 1957. Tierra y agua. A study of the ecological factors in the development of mesoamerican civilizations. Tesis Doctoral. Department of Anthropology. Harvard University, USA.
- SANDERS, W. T. 1968. Hydraulic agriculture, economic symbiosis and the evolution of states in Central Mexico. *Anthropological Archaeology in the Americas*. Washington, D. C., USA.
- SANDERS, W. T., and J. MARINO. 1970. *New world prehistory*. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- SIMS BRIAN. 1985. El yunticultor (equipo y uso). Campo Agrícola Experimental Cotaxtla. INIA-SARH, México.
- SPORES, R. 1969. Settlement, farming technology, and environment in the Nochixtlán Valley. *Science* 166: 557-69.
- WALLEN, C. C. 1955. Some characteristics of precipitation in Mexico. *Geografiska Annaler*, XXXVII. Estocolmo, Suecia.
- WEST, R. C. 1970. Population densities and agricultural practices in Pre-Columbian Mexico, with special emphasis on semi-terracing. pp. 361-369. *In: XXXVII International Congress of Americanists (Stuttgart-München, 1968) Munich, Germany.*
- WULKEN, G. C. 1969. Drained-field agriculture: an intensive farming system in Tlaxcala, México. *The Geographical Review* 59: 215-241.

# FUENTES DE AGUA DE CONSUMO EN EL MEDIO RURAL DE LOS SEMIDESIERTOS MEXICANOS

Water Sources for Human Consumption in Mexican Semi-Deserts

Hugo A. Velasco Molina

Depto. de Suelos e Ingeniería Agrícola, División de Agric. y Tecnología de Alimentos.  
Inst. Tec. y de Est. Superiores de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, México.

*Palabras clave:* Aljibes, Ollas de agua, Guimbaletes.

*Index words:* Dams, Conical wells, Windmills.

## RESUMEN

Se estudiaron 13 fuentes de agua para consumo humano en zonas áridas y semiáridas de México. Algunas como los "aljibes" y las "ollas de agua", se construyen con elementos naturales, principalmente; otras, como los "papalotes" y las "bombas recíprocas o guimbaletes", requieren de mayor mantenimiento debido a la tecnología usada en ellos, lo cual puede representar una gran desventaja para su empleo. Algunas de estas estructuras necesitan cambios o mejoras que representan un alto costo y por lo tanto es difícil su mantenimiento. Sin embargo, una cosa es cierta, todas son estrictamente necesarias en los semidesiertos mexicanos.

---

Recibido 3-95.

## SUMMARY

Thirteen types of reservoirs of water for human consumption were studied in arid and semi-arid zones of Mexico. Some of them like dams and conical wells are built using mostly local materials; others like windmills and pumping jacks demand more maintenance due to the technology used in their construction, and this could be a considerable disadvantage for their use. Some of these structures need some costly changes or improvements and this makes for an expensive maintenance. Nevertheless, it is absolutely true that all of them are very necessary in the Mexican semi-deserts.

## INTRODUCCION

El problema más dramático que sigue afrontando el habitante del medio rural de la zona árida-semiárida de México, es la carencia del agua para consumo humano y consumo animal.

Las fuentes de agua actualmente en uso, más otras que han sido utilizadas, constituyen el total de las que a continuación se mencionan: los estanques o presas de tierra, los aljibes, las ollas de agua, los papalotes o molinos de viento, las

bombas reciprocantes de pistón (más bien conocidos como pumping-jacks o guimbaletes), los pozos ademados y equipados con bomba, el transporte de agua en camiones cisterna, los manantiales canalizados o entubados, las trampas de agua de lluvia, los techos cuenca, las plantas desaladoras, las plantas solares y la asesoría e intervención directa de expertos internacionales en la materia. De lo anteriormente mencionado, poco, realmente muy poco, ha podido adaptarse para mantener en forma sostenida el abastecimiento de agua para consumo humano de los habitantes del medio rural en los semidesiertos mexicanos. Las razones para tal aseveración serán analizadas en el contexto del presente escrito.

#### Las fuentes de agua de consumo en el medio rural semidesértico de México

Estanques o presas de tierra. Son estructuras simples consistentes de un bordo, construido en sentido perpendicular a la pendiente, que concentran aguas de escurrimiento de origen pluvial y que en los núcleos de población ejidal de la zona árida-semiárida del país son ordinariamente la única fuente de agua para consumo humano y consumo pecuario. No cuentan con ningún material impermeabilizante ni retardador de evaporación y tienen como área de escurrimiento del campo abierto.

Aljibes. Son recipientes excavados de dimensiones variables, revestidos interiormente con mampostería (piedra y cemento) y terminados con un mortero rico en cemento. Estos recipientes tienen como área de escurrimiento el campo abierto.

Ollas de agua. Recipientes excavados de forma cónica, impermeabilizados con una película de polietileno, la cual se cubre con una capa de tierra de aproximadamente 10 a 15 cm de grueso. Esta capa de tierra es a su vez estabilizada con una

capa de piedra bola emboquillada. En otros casos, el impermeabilizante es una película de cloruro de polivinilo sin ningún cubrimiento y también tienen como área de escurrimiento al campo abierto.

Papalotes o molinos de viento. Son aparatos mecánicos accionados por el viento, algunos de fabricación nacional, muy apropiados para nuestras regiones de escasa precipitación pluvial. Se clasifican por números 6, 8, 10, 12, 14 y 16 pulgadas; estas medidas se refieren a la carrera o magnitud de desplazamiento del pistón; en este tipo de aparatos, el diámetro de la rueda de aspas es proporcional a la carrera de desplazamiento del pistón y ésta, a su vez, a la profundidad de extracción del agua. Por ejemplo, para bombear agua a 25 m de profundidad, se utilizaría un papalote número 6, es decir aquél cuyo pistón tiene una carrera de 6 pulgadas y una rueda de aspas de 6 pies de diámetro; mientras que para bombear agua a 100 m de profundidad se utilizaría un papalote número 14, es decir con 14 pulgadas de desplazamiento de pistón y una rueda de aspas de 14 pies de diámetro.

Bombas reciprocantes de pistón (pumping jacks o guimbaletes). Son aparatos de fabricación nacional, utilizados para extraer agua del subsuelo hasta una profundidad de 350 m. Pueden ser eléctricos o de combustión interna y su capacidad de extracción, ordinariamente fluctúa entre 0.5 y 1 L/s.

Pozos ademados y equipados con bomba. Generalmente pueden fluctuar desde aquéllos que producen de 1 a 2 L/s, de mantos freáticos con profundidades de 30 a 40 m, para consumo humano y animal, con bombas de 15 a 20 caballos de fuerza, hasta los que producen 120 L/s, de profundidades de 150 m para riego agrícola, utilizando bombas de 350 caballos de fuerza.

Transporte de agua en camiones cisterna. El agua en nuestro medio rural se transporta a innumerables núcleos de población enclavados en la zona árida-semiárida del país. El mayor volumen de agua lo transporta la Comisión Nacional de las Zonas Áridas a través de su "Plan Acuario", distribuyendo 1 300 000 m<sup>3</sup> de agua en 15 entidades federativas del país donde se benefician 1200 núcleos de población ejidal. En segundo término, se cuenta con el servicio de agua transportada por La Forestal F.C.L. en la región Ixtlera de Coahuila y finalmente están los particulares que recogen el agua de donde buenamente la encuentran y la transportan en viejas camionetas y camiones en modestos vehículos de tracción animal y, cuando no se cuenta con ninguna de las dos cosas, se transportan sólo pequeños volúmenes a lomo de burro. Se incluyen también aquí todas aquellas personas que trabajan en actividades marinas a lo largo de nuestros vastísimos litorales desérticos en las costas de Sonora y Baja California, así como en las islas cercanas donde el transporte de agua a los sitios de trabajo es aún más importante que el mismo mar que les da el sustento.

Es importante mencionar que el costo del agua cosechada *in situ* (trampas de agua y techo cuenca), guarda una proporción de 1:5 con respecto al agua transportada y actualmente es de \$ 18.75 el costo del litro de agua cosechada *in situ*, el costo del agua transportada debe ascender a \$93.75/L.

Manantiales canalizados o entubados. Son ojos de agua que escasamente aparecen en los plamontes de lomas o cerros de las zonas áridas y semi-áridas de México y, aun y cuando las personas generalmente caminan hasta el lugar mismo de la fuente de agua, hay casos en los que el agua que fluye del manantial se concentra en una pila y de allí se conduce por un pequeño canal o por tubería hasta algún sitio cercano al poblado.

Trampas de agua de lluvia. Son sistemas recolectores de agua pluvial, básicamente consistentes en un área de captación que conecta con una cisterna de almacenamiento. El agua almacenada en la cisterna se distribuye por gravedad, entubándola hasta el centro de los agostaderos, cuando se trata de consumo animal o hasta las cercanías de un núcleo de población cuando se va a utilizar para consumo humano. El área de escurrimiento y la cisterna de almacenamiento que se encuentra dentro de una superficie cercada, deben quedar totalmente impermeabilizadas. Además, la cisterna debe contar con un retardador de evaporación.

Techos cuenca. Son estructuras diseñadas para recolección directa del agua de lluvia. Estos dispositivos constan básicamente de dos secciones; el techo, que funciona como un área de contribución y retardador de evaporación simultánea; e, inmediatamente abajo de éste, se encuentra el tanque o cisterna de almacenamiento. El techo está formado por dos superficies que convergen en una canal central, lo cual permite al agua de lluvia recibida por el techo, caer por gravedad a la cisterna a través de unas cajas de tamiz. Colocado sobre la pared externa del tanque, se ubica un piezómetro, el cual permite observar el volumen de agua almacenada. El sistema de conducción del agua consiste de una válvula de salida, continuada por una tubería para terminar en una llave para consumo humano.

Plantas desaladoras. Son sistemas electro-mecánicos de ósmosis inversa, utilizados para reducir la concentración electrolítica del agua que se tenga disponible, la cual generalmente proviene de un pozo perforado. El sistema consiste de un recipiente de 200 L que recibe el agua por tratar, en proporción de 23 L/min y cada volumen de 23 L de agua que entra al recipiente, recibe 25 gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado/min y 20 gotas de una solución de (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> a 10%/min. El pH en el

líquido del recipiente debe mantenerse con un valor de 5. De la parte inferior del recipiente receptor sale un tubo que conecta a una bomba, la cual manda el agua a un filtro, inmediatamente fuera del filtro está ubicado un manómetro donde deben registrarse de 30 a 40 lb/m<sup>2</sup>; si la presión es mayor, el filtro deberá cambiarse. Después del manómetro, el agua pasa por una bomba que la conduce a un segundo manómetro donde deben registrarse 400 lb/in<sup>2</sup>. El agua a esta presión entra a un cilindro denominado "permeator". La mitad superior de este último dispositivo (longitudinalmente hablando) recibe el agua que es forzada a pasar a la mitad inferior a través de capilares. Los capilares inhiben el paso de las sales que han sido previamente precipitadas y que siguen su curso hacia el exterior del permeator. De cada volumen de 23 L de agua salina recibida por minuto, se producen 7 L de agua libre de electrolitos y se genera un desecho de 16 L, volumen (este último) que se canaliza a una fosa séptica.

Plantas solares. Son dispositivos cuyo principio de funcionamiento se funda en el aprovechamiento de la energía solar, la cual se capta en colectores fijos planos (paneles), dentro de los cuales el agua se eleva a temperaturas hasta de 95°C. El agua dentro de estos conductos, se hace circular por medio de una bomba movida por energía eléctrica, esta energía se toma de un acumulador y fue originalmente producida por un panel de energía solar. El agua, una vez calentada, se hace pasar por un evaporador a través de un serpentín. El evaporador está permanentemente cargado con gas freón en estado líquido; el freón se gasifica dentro del evaporador por el incremento de temperatura dentro de ésta ocasionado por la energía calorífica desprendida del serpentín. El freón gasificado pasa a través de un motor de aspas (o turbina) al cual hace girar, y luego pasa a un condensador donde recobra su estado líquido para llegar nuevamente al

evaporador e iniciar, así, otro ciclo termodinámico.

Del motor que fue puesto en movimiento, sale una flecha donde se encuentra una polea, la que a través de una banda imprime el movimiento a una bomba para extracción de agua del subsuelo.

Cabe mencionar que una parte de esta energía mecánica, se conserva como energía eléctrica en un acumulador y se utiliza en días de poca luminosidad o simplemente durante el paso de una nubosidad. Si por algún motivo la energía mecánica no se utiliza directamente, entonces la conserva como energía eléctrica en acumuladores y se utiliza para otros propósitos.

Sistemas de compartimientos. Estos tiene por objeto, aumentar el tiempo de disponibilidad del agua de escurrimiento captada en una presa, utilizando compartimientos adyacentes de mayor profundidad y menor superficie de exposición, con lo cual se logra abatir al máximo las pérdidas por evaporación del agua almacenada.

La dramática deficiencia de agua aún presente en los semidesiertos mexicanos

Estanques o presas de tierra. Sin duda, el estanque o presa de tierra, es el más primitivo de los sistemas recolectores de agua de lluvia, pero también el más común de todos los dispositivos utilizados para este propósito. Por lo menos un estanque se encuentra en cada núcleo de población ejidal de la zona árida-semiárida del país, en algunos casos puede haber más de 15.

Este tipo de recolector, ordinariamente no puede contener agua durante los 12 meses del año, en la mayor parte de los casos el campesino solamente puede disponer de agua de estanque durante 4 ó 6 meses. Lo anterior no

precisamente se debe a que no se llene, lo cual acontece 2 ó 3 veces al año, sino a las enormes pérdidas por infiltración y evaporación a que está sujeta el agua almacenada en estos recipientes y, también, a la gran reducción que sufren en su capacidad de almacenamiento debido a la acumulación de sedimentos, lo cual puede ser una capa de 25 a 30 cm de espesor por año de cada 35 ó 40 ha de área de escurrimiento.

El sitio para la construcción del bordo (única estructura de un estanque), generalmente es seleccionado por algún miembro de la autoridad ejidal, mientras que sus dimensiones siempre están en función de las horas de trabajo autorizadas para el operario de la máquina y no en base con las especificaciones de trabajo de campo elaboradas por algún ingeniero.

El ingeniero, generalmente un agrónomo, sólo se concreta a mostrar al operario el sitio escogido por los campesinos para la construcción del bordo y a abastecerlo del combustible para que no pare la máquina.

Sin duda, el conocimiento que los campesinos tienen del terreno es un factor importante dado que conocen perfectamente bien los sitios del agostadero por donde bajan los escurrimientos, pero ¿cuál es el volumen de éstos? y ¿en cuánto tiempo se registrarán?, son cosas que ellos no pueden decir, sino más bien que el ingeniero tiene que medir. También la experiencia del operario de la máquina es valiosa, pero mejor sería que siguiera las especificaciones del ingeniero para construir el bordo y la compactación en capas del citado bordo; con un rodillo tipo pata de cabra, nunca se hace porque este implemento no está autorizado.

Es lamentable ver a menudo bordos con la apariencia de una pared, en cuya sección aguas arriba no existe la capacidad de almacenamiento correspondiente a las dimensiones del bordo

construido. En otros lugares se observan bordos reventados, seguramente porque el volumen de agua fue más del esperado, por falta de compactación del bordo, por la ausencia de un vertedor de demasías o por la combinación de las tres causas, que es lo más usual.

Es importante mencionar, finalmente, que el agua concentrada en un estanque es de la más infima calidad como agua potable y representa la causa principal de mortalidad, sobre todo en los primeros años de vida de los niños de estos núcleos de población. En el estanque abrevan toda clase de animales y, al hacerlo, defecan y se orinan en las aguas allí concentradas. Análisis bacteriológicos de agua de estanque reportan incontables colonias de microorganismos.

Aljibes. Son recolectores de aguas pluviales de escurrimiento que representan una versión más avanzada que la del estanque. El principio es el mismo, es decir, aguas de escurrimiento procedentes de los terrenos de agostadero son almacenadas en un recipiente.

Prácticamente, la única diferencia entre estanque y aljibe es que en el segundo, la cisterna es una cavidad excavada a flor de tierra, de dimensiones regulares, revestida interiormente con piedra y cemento, características de construcción que en condiciones normales eliminan las pérdidas de agua por infiltración. Sin embargo, el agua almacenada sigue totalmente expuesta al proceso evaporativo y el recipiente, que básicamente constituye el aljibe, reduce drásticamente su capacidad de almacenamiento por la acumulación anual de sedimentos, como sucede en el caso del estanque.

El agua del aljibe quizá podría considerarse de menos mala calidad que el agua de estanque, puesto que el aljibe generalmente lo mantienen cercado, no tanto para que no penetren los

animales a abrevar sino por el temor de que al caerse a éste se ahoguen.

Finalmente, debe mencionarse que el aljibe es un sistema recolector de aguas pluviales menos común que el estanque, porque en la construcción de un aljibe va incluido su recubrimiento interno con mampostería, renglón que representa la mayor inversión de este tipo de obra.

Ollas de agua. Este tipo de recipientes cosechadores de agua de lluvia fue originado dentro del programa nacional para la construcción de hornos forrajeros. El programa, como muchos otros, nació y murió dentro de un sexenio: su tecnología era raquítica porque su tipo de impermeabilización era vulnerable y, por tener como área de escurrimiento el campo abierto, se concentraban grandes cantidades de sedimento, al igual que en los dos casos anteriores.

Papalotes y guimbaletes. Estos son dos magníficos implementos utilizados para extracción de pequeños volúmenes de agua del subsuelo, de profundidades someras. Quizá todavía más apropiado el papalote que el guimbalete porque el primero solamente necesita de la energía eólica para su funcionamiento, mientras que el segundo es un aparato que requiere de energía eléctrica o de combustible para operario y también de un mantenimiento más continuo, pero lamentablemente el término mantenimiento es prácticamente desconocido en la mayoría de los núcleos de población ejidal de la zona árida-semiárida del país.

En ocasiones, por la falta de un tornillo, o por que robaron el magneto o porque se perdió el "crank", el implemento quedó parado, inutilizado para siempre, pero nadie, absolutamente nadie, en estos lugares es capaz de tomar la iniciativa de arreglarlos; todos esperan que vayan los del

gobierno a componerlos, porque según ellos, son los que tienen la obligación de hacerlo.

Pozos ademados y equipados con bomba. Los acuíferos localizados en las regiones de México dominadas por climas desérticos (BW) y semidesérticos (BS) son, con pocas excepciones, muy vulnerables porque generalmente los volúmenes de agua allí contenidos, se han acumulado a través de milenios, mientras que la velocidad de extracción con la que actualmente se explotan, podría llegar a abatirlos en el corto lapso que vive una generación de seres humanos. Son muchos los lugares de la República Mexicana donde se extrae agua del subsuelo por bombeo y ésta es una de las fuentes de agua que sin duda da lugar a un mayor número de irregularidades. El análisis de estas irregularidades no será hecho en el presente trabajo. Sin embargo, es pertinente mencionar el resultado de algunas de esas irregularidades.

A continuación, se citan unos cuantos ejemplos donde se presentan el tipo de situaciones arriba aludido.

Cuando el Valle del Bizani, en Caborca, Sonora, fue abierto al cultivo en 1940, se bombeaban con facilidad 120 L/s a profundidades que no excedían de 30 y 35 m. Actualmente, los volúmenes máximos de extracción sólo llegan a 45 L/s a profundidades de bombeo de 90 a 110 m; existen casos de ranchos donde los pozos se han secado definitivamente.

La región agrícola de Caborca, desde el Ocuca hasta la costa, tenía un potencial para 700 perforaciones cuando fue abierta al cultivo, en la actualidad existen 1100; en el valle de los Chirrones o Laguna de Toboyory, municipio de Altar, con un potencial inicial para 20 perforaciones ahora tiene 115.

En la región agrícola de Navidad, municipio de Galeana, N.L., donde se practica una agricultura intensiva, el cono de máximo abatimiento freático llega a 2 m/año en la parte central del valle.

En la Comarca Lagunera, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y la Comisión Federal de Electricidad, en 1985, realizaron un estudio en 220 perforaciones equipadas con bomba. Encontraron que, en todos los casos, la eficiencia de los equipos de bombeo era inferior a 70%, mientras que en 60% de los casos la eficiencia no llegaba a 50%. Lo anterior implicaba un enorme desperdicio de energía, el cual se pagaba con una tarifa fuertemente subsidiada por el gobierno.

Finalmente, se mencionará en forma muy general, el caso de la costa agrícola de Hermosillo, Sonora, y el caso del Valle de Santo Domingo, en Baja California Sur, donde, además de registrarse fuertes abatimientos de los niveles freáticos, se tienen intrusiones de agua marina, lo que ha llegado a salinizar el agua de un número importante de perforaciones.

Transporte de agua en camiones cisterna. Deben ser verdaderamente pocos los países del mundo donde se transporta agua en camiones cisterna para mantener vivos a los habitantes de sus regiones de escasa precipitación pluvial. México es uno de esos países y lo lleva a cabo oficialmente La Comisión Nacional de las Zonas Áridas a través de su "Plan Acuario". Otra dependencia que también transporta considerables volúmenes de agua para el mismo propósito es la Forestal F.C.L. y deben incluirse también aquí a un buen número de particulares que han hecho de esta actividad un **modus vivendi**.

Sin embargo, los congéneres que habitan en el medio rural de las regiones secas del país, no

pueden seguir dependiendo de la llegada de un camión cisterna para mantenerse vivos, porque en estas circunstancias casi podría asegurarse que sus fuentes de vida no pueden ser sino aquellas de estricta supervivencia.

#### Manantiales canalizados o entubados.

Seguramente todos habrán escuchado comentarios de personas mayores del campo, refiriéndose a que, dentro de los terrenos de cuando aquello todavía era hacienda, existían ojos de agua al pie de los cerros y que de algunos años para acá, se habían empezado a secar hasta que desaparecieron totalmente.

Lo anterior es un efecto que actualmente se observa pero que indiscutiblemente debió tener alguna causa. No se debe olvidar que, en muchas sierras de México, se ha practicado la tala inmoderada con lo cual se inhibió considerablemente la penetración del agua en el subsuelo y se originó el escurrimiento superficial; restringida la penetración del agua en el subsuelo, automáticamente se eliminaron las fuentes de agua de aquellos antiguos manantiales.

Trampas de agua de lluvia y techos cuenca. Estos dispositivos de sencilla tecnología podrían ser la respuesta a las graves carencias del agua para consumo humano en el medio rural de los semidesiertos mexicanos.

Durante el período de 1975 a 1985, el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey y la Universidad Autónoma de Nuevo León, construyeron a diferentes sistemas cosechadores de agua de lluvia dentro del proyecto experimental denominado "Cosecha de Agua de Lluvias para Consumo Humano, Consumo Pecuario y Agricultura de Secano", llevado a cabo en el ejido Lagunita y Ranchos Nuevos del municipio de Doctor Arroyo, N.L., y financiado por la Secretaría de la Presidencia, correspondiente a aquel período gubernamental.

Ocho sistemas recolectores de agua de lluvia (siete trampas de agua con capacidad de 250 000 L cada una y un techo cuenca de 80 000 L) se evaluaron durante el lapso de 1976 a 1980, y se encontraron eficiencias desde 46%, en el caso de las trampas, hasta 88%, en el caso del techo cuenca.

Como resultado de esta investigación de campo se sugirió el modelo Vecar 500 000, sistema recolector de agua de lluvia con capacidad para 500 000 L.

A partir de 1981, se inició la construcción de 31 sistemas recolectores de agua de lluvia del modelo sugerido. Tales obras fueron construidas por dependencias oficiales en 29 diferentes núcleos de población ejidal de los municipios de Doctor Arroyo, Galeana, y Mier y Noriega en el estado de Nuevo León.

En la actualidad, los siete sistemas experimentales originales (trampas de agua) se encuentran totalmente abandonados, aun y cuando en 1983 se llevó a cabo una rehabilitación de algunos de éstos. El techo cuenca continúa siendo utilizado, aunque ya no usan las llaves para disponer del agua, por estar obstruida la tubería de salida de 46 m de longitud. Ahora el agua se está sacando indebidamente en baldes, por la cavidad que queda entre el techo que representa el área de escurrimiento y el depósito de almacenamiento.

Por lo que toca a los 29 sistemas Vecar-500 000 que finalmente quedaron, en su mayoría fueron útiles por un lapso de 3 a 4 años. Algunos todavía están operando, tal es el caso de aquéllos construidos en los ejidos Mesa de González, San Felipe, Estanque Nuevo y El Charquillo, del municipio de Doctor Arroyo. Sin embargo, el resto, por diferentes causas, quedaron prácticamente inutilizados o trabajando defectuosamente. Dadas las condiciones tan

deplorables en que se encontraban la mayor parte de las obras, el Ing. Gildardo Carmona Ruiz, catedrático de la Universidad Autónoma de Nuevo León, quién había fungido como Subdirector del citado proyecto experimental y el autor del presente trabajo, el día 16 de julio de 1986, presentaron un proyecto a la Secretaría de Fomento Agropecuario del estado de Nuevo León, para rehabilitar los 29 sistemas, es decir, para ponerlos nuevamente en condiciones de cosechar agua de lluvia (Cuadro 1). El proyecto naturalmente consideraba las condiciones que en ese tiempo tenían en el campo los citados sistemas. El presupuesto para este proyecto, que ascendía a 27 millones de pesos, nunca fue aprobado y actualmente solo quedan las ruinas de la mayor parte de aquellas obras.

Cuadro 1. Nombre de los ejidos y sus municipios de ubicación donde se han construido sistemas cosechadores de agua de lluvia del tipo Vecar-500 000 y el costo de inversión para llevar los sistemas a un nivel de funcionalidad total. 16 de julio de 1986.

Ejido	Municipio	Costo de la inversión
San Felipe	Dr. Arroyo	582
Estanque Nuevo (A)	Dr. Arroyo	1531
Estanque Nuevo (B)	Dr. Arroyo	582
Refugio de Cedillo (A)	Dr. Arroyo	1531
Refugio de Cedillo (B)	Dr. Arroyo	932
Puerta de Aguilar	Dr. Arroyo	790
Jesús Ma. y el Salto	Dr. Arroyo	1531
Mesa del Traidor	Dr. Arroyo	901
El Charquillo	Dr. Arroyo	775
El Rucio	Dr. Arroyo	Totalmente destruida
La Lajita	Dr. Arroyo	1531
San Miguel de los Aguirre	Dr. Arroyo	966
San Pedro Nolasco	Dr. Arroyo	1140
Mesa de González	Dr. Arroyo	1531
San José del Sitio	Dr. Arroyo	1531
San Cayetano de Vacas	Dr. Arroyo	582
La Chiripa	Dr. Arroyo	790
Los Cuatros	Dr. Arroyo	582
San Vicente de González	Dr. Arroyo	2311
Los Catorce	Dr. Arroyo	790
Presa de San Carlos	Dr. Arroyo	1531
Las Margaritas	Dr. Arroyo	790
San Francisco del Yugo	Dr. Arroyo	Construida en 1985
La Villejeña	Dr. Arroyo	Construida en 1985
Panales	Dr. Arroyo	Construida en 1985
San Agustín de Valdez	Dr. Arroyo	Construida en 1985
Presa de San Carlos	Dr. Arroyo	Construida en 1985
Guadalupe de Silva	Dr. Arroyo	No existe
San José de González	Dr. Arroyo	775
San Juan de Dios	Galeana	1531
Tapona Moreña	Mier y Noriega	1531

Plantas desaladoras. Probablemente estén operando en muchos otros lugares pero aquí únicamente se harán algunos comentarios de las pocas plantas que el autor de este trabajo tiene conocimiento.

Aparentemente estas plantas fueron instaladas por la SAHOP a partir de 1972 y después de su establecimiento las han manejado otras dependencias; la CONAZA, a la que fueron asignadas las de Zacatecas y la SAPAC, la que maneja las ubicadas en Coahuila.

La planta desaladora instalada en el ejido Tanque de Hacheros, municipio de Mazapil, Zacatecas, y la instalada en el ejido Majoma del mismo municipio y estado, fueron puestas en operación en 1983, y en ambos casos el agua de las perforaciones era muy salada y, según los campesinos entrevistados en uno y otro lugar, el agua después de tratada por las plantas, era buena y de buen sabor. Sin embargo, comenta el señor Ricardo Rivera Ibarra, quien estuvo encargado de la planta en Tanque de Hacheros, "empezó a fallar el motor y le hicimos la lucha ahí en Concha del Oro, pero no se pudo arreglar, después se lo llevaron unas gentes de CONAZA y no han vuelto con él".

Por otra parte, la persona que estuvo encargada de la planta en el ejido Majoma, informó que la planta la habían instalado entre 1982 y 1983, y que lo único que no trabajaba era el sistema de bombeo, porque la desaladora si estaba en buenas condiciones. En este momento tienen seis años de no producir agua.

En el estado de Coahuila existe una planta desaladora en el ejido Estanque de Palomas del municipio de Cuatro Ciénegas, la cual también tiene varios años de estar inactiva, sin embargo, en el mismo estado de Coahuila existen cinco plantas de este tipo trabajando satisfactoriamente.

Estas plantas se encuentran ubicadas en los

ejidos 28 de Agosto, San Rafael de los Milagros, El Sol y 4 de Marzo, todos dentro del municipio de Cuatro Ciénegas, y una más en el ejido Villa Progreso del municipio del mismo nombre.

En el ejido 28 de Agosto, el reparto del agua se hace dos veces al día, de 7 a 11 de la mañana y de 4 a 7 de la tarde, y acuden de 100 a 125 personas en dos turnos, a las que se entregan 30 L de agua diarios por familia.

Plantas solares. Durante el período de 1974 a 1977, se instalaron en México 16 plantas solares. La instalación de estas plantas fue hecha por técnicos franceses (Sofretes, 1974), dentro del programa "Tonatiuh", financiado por el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

Los lugares donde se instalaron las plantas, el año en que fueron construidas y puestas en operación, la superficie del colector solar, la capacidad de extracción de agua, la profundidad de bombeo, las horas de operación así como el uso que se le daría al agua extraída y al espacio techado, aparecen en el Cuadro 2. Actualmente, ninguna de las 16 plantas construidas dentro del citado programa está operando la mayor parte de ellas están en ruinas.

Sistemas de compartimientos. Este tipo de sistema fue originalmente ideado por el Dr. C. Brent Cluff, asesor de la FAO (Cluff, 1972), quién durante su estancia en México en 1976, dirigió la construcción de un sistema de dos compartimientos en el ejido "Tanque de Menchaca" del municipio Fondo Candelillero y además se contó con la participación especialistas en zonas áridas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Actualmente, el recipiente de recepción no retiene agua, dado que, así como entra sale por el vertedor de demasías debido a que está azolvado pues desde que se construyó, nunca se le ha sacado el

Cuadro 2. Datos generales sobre las 16 plantas solares construidas en México de 1974 a 1977.

Ciudad y estado	Año	Area del colector m <sup>2</sup>	Capacidad de extracción m <sup>3</sup> /h	Profundidades de extracción m	Horas de operación	Agua	Usos Cubierta
Caborca, Son.	1974	90	3	45	5 a 6	C. Humano	Escuela
Ceballos, Dgo.	1974	90	4	40	5 a 6	C. Humano	Dispensario Médico
Cedral, S.L.P.	1975	80	4	20	5 a 6	Irrigación	Coletores s/Suelo
Mexicali, B.C.	1975	80	7	20	5 a 6	C. Humano	Restaurant
La Cruz, Chih.	1975	80	7	30	5 a 6	C. Humano	Bodega
Escarcega, Camp.	1975	70	4	25	5 a 6	C. Humano	Escuela
San Luis de la Paz, Guanajuato	1975	1500	150	54	5 a 6	Irrigación	Institución Científica
Las Canas, Zac.	1976	90	4	30	5 a 6	C. Humano C. Animal	Almacén
Todos Santos, B.C.	1976	90	4	30	5 a 6	C. Humano	Escuela
Tolosa, Zac.	1976	90	4	30	5 a 6	C. Humano	Escuela
David Gtz., Q.R.	1976	90	4	50	5 a 6	C. Humano	Dispensario
Yanhuitlán, Oax.	1976	90	4	22	5 a 6	Irrigación	Escuela
Ixtacuixtla, Tlax.	1976	90	4	30	5 a 6	Irrigación del 3er. Mundo	Instituto
Jaumave, Tamps.	1976	90	4	13	5 a 6	C. Humano C. Animal	Almacén
Nocac, Yuc.	1976	90	4	50	5 a 6	C. Humano C. Animal	Escuela
Paso Guayabal	1977	90	4	35	5 a 6	C. Humano	Colector sin suelo

sedimento. Solamente una vez se bombeó agua a los comportamientos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los habitantes del medio rural de la zona árida-semiárida de México siguen padeciendo el problema ancestral de la falta de agua para consumo humano.

Se han detectado 13 formas o sistemas que los habitantes de estas regiones han utilizado como fuentes de agua de consumo. Sin embargo, el estanque o presa de tierra, que es el más rudimentario y menos higiénico de todos, sigue siendo la fuente más usada y la más segura.

Los aljibes, por su recubrimiento interno de mampostería, ofrecen la garantía de no perder agua por infiltración, pero al igual que los

estanques, están totalmente expuestos, con lo cual la concentración de impurezas alcanza niveles intolerables. Además, tanto en un caso como en otro, constantemente se está abatiendo la capacidad de almacenamiento por la acumulación de sedimentos. Las ollas de agua, proyecto que como muchos otros nació y murió en uno de tantos sexenios presentan todos los inconvenientes de los estanques y los aljibes.

Los papalotes y los quimbaletes son dispositivos sencillos y eficientes que se han aprobado en muchas propiedades.

Los pozos equipados con bomba se utilizan para agricultura irrigada y, donde existen, el problema de agua de consumo queda plenamente satisfecho. Sin embargo, si el acuífero se seca, la agricultura desaparece y surge de inmediato la carencia del agua para consumo humano.

El transporte de agua cumple una función humanitaria en nuestro medio rural semidesértico pero nunca dejará de ser una medida de emergencia y no una solución definitiva.

Casi considerado como algo espectacular, todavía se pueden encontrar lugares dentro de la zona árida-semiárida del país donde existen manantiales, lo cual es algo enteramente fortuito por lo que nunca podrían considerarse como fuentes regulares de agua de consumo.

Las trampas de agua de lluvia y los techos cuenca, han sido útiles solamente durante un corto lapso después de terminados, como otros tantos dispositivos llevados al campo. El campesino ha podido apreciar los beneficios de esta tecnología. Sin embargo, al iniciarse el lógico decaimiento de los materiales, o al sufrir los sistemas algunas agresiones o tener que corregirles algunas imperfecciones, los campesinos, que son quienes reciben el beneficio, ordinariamente nunca intervienen y las dependencias que los construyeron tampoco, lo cual trae como resultado un nuevo fracaso en la tecnología introducida.

En lo que se refiere a las plantas desaladoras y a las plantas solares, podría opinarse que son instalaciones muy útiles, que han servido eficientemente en tantas regiones áridas del mundo y que en México podrían ser igualmente útiles. Sin embargo, el mantenimiento de estos dispositivos es mucho más especializado y requieren de una continua supervisión, lo cual, hasta el momento, en México no se ha podido lograr. Si las dependencias oficiales, al introducir en el campo una nueva tecnología, no incluyen un seguimiento de supervisión y mantenimiento, acompañado de un programa de concientización para los usuarios de la nueva tecnología, irremisiblemente se sugieren acumulando fracasos.

Finalmente, debe comentarse que el pago de asesoría internacional para la realización de proyectos en el medio rural ejidal semidesértico de México, ha sido totalmente infructuoso. Tal es el caso de varios sistemas de compartimientos construidos en el ejido Tanque de Menchaca del municipio de Cuatro Ciénegas, Coah. y en una huerta de pistacho y vid, con bordos cuenca, que con una superficie de 20 ha se construyó en San Francisco del Barrial, del mismo municipio y estado.

## CONCLUSIONES

1. El estanque, el más rudimentario de los sistemas recolectores de aguas de escurrimiento, es la fuente más común pero menos higiénica en los núcleos de población ejidal del semidesierto mexicano.
2. Todos los dispositivos que reciben aguas broncas están totalmente expuestos al proceso de evaporación y a la acumulación de sedimentos, lo que produce una alta concentración de impurezas y un abatimiento en la capacidad de almacenamiento, respectivamente.
3. Los dispositivos mecánicos como papalotes y quimbaletes son inoperantes en nuestro medio rural ejidal por la negligencia de sus usuarios.
4. El transporte de agua en camiones cisterna puede considerarse como una medida de emergencia pero no como una solución definitiva.
5. Los pozos equipados con bomba en predios ejidales trabajan ineficientemente por falta de mantenimiento del equipo, mientras que en las propiedades rurales particulares, solucionan el problema de agua potable. De seguirse

propagando en forma irrestricta, muchos acuíferos serán irreversiblemente agotados.

6. Los manantiales son fuentes de agua totalmente fortuitas que han venido desapareciendo con el avance de la desertificación.
7. Las trampas de agua de lluvia y los techos cuenca pudieron ser la respuesta como fuentes de agua de consumo si su construcción se acompañara de un eficiente programa de mantenimiento.
8. Todo lo concerniente con implantación de nuevas tecnologías tales como sistemas de

desalinización, empleo de energía solar y sistemas de optimización de escurrimientos, debería hacerse en centros de investigación, donde se llevaran a cabo demostraciones y cursos de adiestramiento con respecto a su funcionamiento, manejo y mantenimiento, antes de lanzar programas masivos al medio rural campesino.

### LITERATURA CITADA

- CLUFF, C.B. 1972. The compartmented reservoir, a method of efficient water storage Doctoral Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.
- SAHOP-SAPAC. 1982. Costo por metro cúbico de las plantas desaladoras en operación en el estado de Coahuila, Saltillo, Coah., México.
- SOFRETES (Societe Francaise d'Etudes Thermiques d'Energie Solarie). 1974. Zone industrielle d'Amilly, B.P. No. 1 Amilly, 45209 Montargis Cedex, Francia.

# LA PRECIPITACION CAUSANTE DE ESCURRIMIENTO COMO COMPONENTE DE UN MODELO PARA EL DISEÑO DE MICROCUENCAS

Runoff-causing Rain as Component of a Model for the Design of Micro-watersheds

Guadalupe Osorio A.\* y Jorge L. Tovar S.\*\*

\*CECH-CIFAPSON-INIFAP

\*\*Centro de Edafología, Colegio Postgraduados

*Palabras claves:* Captación de lluvia, Diseño de microcuencas.

*Index words:* Rainfall collection, Micro-watershed design.

el TM calculado con la ecuación modificada tiende a ser más preciso al maximizar el rendimiento.

## SUMMARY

In this work a modification to the models used for the design of micro-watersheds for rainfall collection is proposed, that includes the introduction of runoff-causing rains in it. Four micro-watershed (MS) sizes were evaluated using maize, in Tecamac, Mexico, each one for a given probability of rain using Anaya *et al.* (1976) equation. Under the conditions during crop cycle (rain, runoff, evapotranspiration) the optimum MS was computed using the original and the modified equations. When these values were compared to the yield obtained in the different Mss evaluated, the results showed that the MS computed through the use of the modified equation tended to be more precise maximizing yield.

## RESUMEN

En este trabajo se propone una modificación a los modelos utilizados para el diseño de microcuencas de captación de lluvia mediante la introducción de la precipitación causante de escurrimiento como componente de éstos. Se evaluaron, experimentalmente, cuatro tamaños de microcuenca (TM) con maíz, en Tecámec, Méx., cada una para una probabilidad de lluvia respectiva, utilizando la ecuación de Anaya *et al.* (1976). Bajo las condiciones del ciclo vegetativo (precipitación, escurrimiento, evapotranspiración) se calculó el TM que debería haber sido el óptimo mediante la ecuación original y modificada; al compararse dichos valores con el rendimiento obtenido en las TM evaluadas, se obtuvo que

## INTRODUCCION

La técnica de captación *in situ* de agua de lluvia, ha sido generada para complementar las

---

Recibido 3-95.

demandas hídricas del cultivo en el área de siembra o de raíces de éste, mediante la inducción del escurrimiento en una área aledaña (Evenari *et al.*, 1971).

Para el diseño de las microcuencas existen algunos modelos, los cuales se fundamentan en la igualación del volumen de agua faltante en el área de siembra con el volumen proveniente del escurrimiento (Sánchez, 1986). De acuerdo con el modelo de Anaya *et al.* (1976) y con una longitud unitaria (1 m) de la microcuenca, dicha igualdad queda de la manera siguiente:

$$(UC-P) As = Ce x Ae$$

Volumen faltante = Volumen de escurrimiento

donde:

UC= Consumo de agua por el cultivo, m

P= Precipitación total durante el ciclo vegetativo, m

As= Área de siembra, m<sup>2</sup>

Ce= Coeficiente de escurrimiento, m

Ae= Área de escurrimiento, m<sup>2</sup>

En la igualdad anterior, el volumen escurrido se calcula considerando que sólo una proporción de la lluvia total que cae en el Ae se conduce hacia el As debido a los múltiples factores relacionados con el escurrimiento. Dicha proporción se estima mediante un Ce, el cual está afectado por las condiciones físicas del suelo y las características de la lluvia; sin embargo, en todos los modelos para el diseño de microcuencas éste adquiere un valor promedio a través del ciclo, en consideración única del tipo de suelo (Colegio de Postgraduados *et al.*, 1977; Sánchez, 1986).

De las características de la lluvia, una de las más fáciles de medir y de mayor efecto sobre el escurrimiento es la cantidad. En algunos

estudios sobre captación de agua de lluvia *in situ* se ha cuantificado que una gran proporción de los eventos de lluvia han sido menores de 5 mm y en su mayoría éstos no han causado escurrimiento (Ortiz *et al.*, 1977; Antezana *et al.*, 1979; Osorio, 1989).

Debido a que no toda la precipitación total (P) ocurrida durante el ciclo vegetativo causa escurrimiento, resulta conveniente que el volumen de agua aportado por el área de escurrimiento se calcule considerando la cantidad de precipitación que propicia escorrentía (P\*), de tal modo que la relación de igualdad cambia en la forma siguiente:

$$(UC - P) = Ce x P x Ae$$

Al despejar Ae, se tiene:

$$Ae = (UC - P) \frac{As}{CeP^*}$$

Como el tamaño de microcuenca (TM) está dado por la relación siguiente:

$$Ae = As + Ae$$

Entonces, la ecuación final para el cálculo del tamaño de microcuenca de acuerdo con la precipitación que causa escurrimiento, sería:

$$TM = As ( UC - P ) x \left( \frac{As}{Ce x P^*} \right)$$

Con el objetivo de mejorar la precisión en la estimación del tamaño de microcuenca, en el presente trabajo se hace una modificación a la ecuación de Anaya *et al.* (1976), considerando la precipitación causante de escurrimiento, y se compara con la forma original en función de la respuesta observada en el cultivo de maíz.

## REVISION DE LITERATURA

En las últimas tres décadas se han realizado múltiples trabajos experimentales sobre captación *in situ* del agua de lluvia, enfocados a obtener una óptima relación entre el área de siembra y el área de escurrimiento, tanto en cultivos anuales como en árboles frutales (Anaya *et al.*, 1976; Dutt *et al.*, 1981). De estos trabajos experimentales se han derivado algunos modelos matemáticos para el cálculo del tamaño de las microcuencas.

En 1976, Anaya *et al.*, propusieron la siguiente ecuación para el cálculo de las microcuencas:

$$TM = As + Ae$$

donde:

TM = Tamaño de microcuenca  
As = Area de raíces o de siembra  
Ae = Area de escurrimiento

El cálculo del área de escurrimiento se propuso de la manera siguiente:

El volumen faltante en el área de siembra para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo (UC) está dado por:

$$\text{Agua faltante} = (UC - P) As$$

El volumen de agua aportado por el área de escurrimiento está dado por:

$$\text{Volumen aportado} = Ce \times P \times Ae$$

donde:

Ce = Coeficiente de escurrimiento  
P = Precipitación probable (a 50% de confiabilidad)

De lo anterior, se tiene que el volumen de agua faltante en el área de siembra debe ser igual al volumen aportado por el área de escurrimiento, así tenemos que:

$$(UC - P) AS = Ce \times P \times Ae$$

Entonces, despejando Ae de esta identidad, se obtiene la dimensión del área de escurrimiento:

$$TM = AS + \frac{(UC - P) AS}{Ce \times P}$$

Así, sustituyendo ésta en la primera ecuación planteada, se obtiene el tamaño de la microcuenca:

$$TM = AS + \frac{(UC - P) AS}{Ce \times P}$$

Al analizar esta ecuación se observa que:

si As aumenta entonces Ae aumenta;

si P aumenta entonces Ae disminuye;

si Ce aumenta entonces Ae disminuye;

si (UC-P) aumenta entonces Ae aumenta.

Estas interpretaciones son de gran ayuda si el objetivo deseado es hacer más eficiente el uso de microcuencas, principalmente en los factores Ce y (UC-P), ya que mediante una modificación de éstos se puede lograr disminuir el área de escurrimiento sin provocar deficiencias hídricas al cultivo y así tener una mayor superficie total sembrada, lo que finalmente repercute en mayores rendimientos por hectárea y en un mejor uso del agua.

Esta ecuación tiene gran facilidad de uso debido a que el balance hídrico y el coeficiente de

escurrimiento los considera en forma global para todo el ciclo vegetativo del cultivo; sin embargo, esto mismo puede ser un inconveniente para una extrapolación general a causa de los múltiples factores que pueden afectar el balance hídrico y el escurrimiento a través del ciclo del cultivo. Dentro de estos factores se encuentran la aleatoriedad de las características de la lluvia y la disponibilidad de humedad del perfil del suelo en el área de siembra en relación con la cantidad y duración.

Al respecto, se han generado más recientemente otros modelos con la intención de mejorar la precisión del diseño.

Smith (citado por Sánchez, 1986), propone un modelo para determinar la relación óptima entre área de escurrimiento y área de siembra; dicho modelo es similar al propuesto por Anaya *et al.* (1976), con la diferencia de que Smith considera al balance hídrico en el área de siembra entre eventos de lluvia, basándose en la humedad del suelo antes y después de la lluvia y la diferencia de humedad del suelo entre lluvias. Este modelo es más complicado debido a que si es difícil predecir cuándo caerá una lluvia, más aún lo es predecir el contenido de humedad que tendrá el suelo antes y después de la lluvia.

Sánchez (1986) propone un modelo diferente en el sentido de que éste considera el área de siembra y el área de escurrimiento a la vez entre dos bordos antierosivos; asimismo, contempla la relación agua-suelo-planta-atmósfera y le da valor a la capacidad retentiva de humedad del suelo. La ecuación de balance hídrico que propone es la siguiente:

$$Ce(PP)(Lt-L) + PPe LA = LA(CC-PMP)DaPrN$$

Volumen de agua aportado por escu- rrimiento	+ volumen que cae directa- mente en el área de culti- vo	+ Volumen de agua requeri- do por el cul- tivo
--	--	---

Mediante la simplificación de términos se tiene:

$$L = \frac{Ce(PP) L_t}{N(CC-PMP) DaPr + (CePP-PPe)}$$

donde:

- A = Ancho del área de siembra (m)
- L = Longitud del área de siembra (m)
- Lt = Longitud total de la microcuenca (m)
- Ce = Coeficiente de escurrimiento (adim)
- PP = Precipitación pluvial según probabilidad de ocurrencia (m)
- CC = Capacidad de campo (decimal)
- PMP = Punto de marchitez permanente (decimal)
- Da = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)
- Pr = Profundidad efectiva radical o del suelo (m)
- PPe = Precipitación efectiva (m)
- N = Número de lluvias de magnitud equivalente a (CC-PMP) DaPr necesarias para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo (adimensional)

El parámetro N es el de más peso en el modelo, su variación dependerá de la profundidad del suelo, de la disponibilidad de agua de éste y de la velocidad de abatimiento de esta humedad disponible (la cual está relacionada con el uso consuntivo del cultivo).

El valor de N se calcula considerando que en el primer estrato de suelo (la primera cuarta parte de la profundidad efectiva) se realiza la mayor extracción de agua por las raíces, de tal forma que:

$$N = \frac{Ce(PP)L_t}{N(CC-PMP)DaPr + (CePP-PPe)}$$

El tiempo de abatimiento se obtiene de la manera siguiente:

$$TIEMPO = \frac{\left(\frac{HDT}{Nue}\right) \times (1 - VCHA)}{Pee \times Dpc}$$

$$\text{TIEMPO} = \frac{\text{HUMEDAD DISPONIBLE POR ESTRATO (cm)}}{\text{ABATIMIENTO DEL ESTRATO (cm/día)}}$$

donde:

- HDT = Humedad disponible total  
 Nue = Número de estratos  
 VCHA = Valor crítico de humedad aprovechable  
 Pee = Patrón de extracción del estrato  
 Dpc = Demanda promedio del cultivo por día

Este modelo, aunque es más completo y sus parámetros son de fácil obtención, tampoco considera la variación del coeficiente de escurrimiento ni la precipitación que causa escurrimiento a través del ciclo vegetativo, por lo que resulta necesario incluir el análisis probabilístico de las características de la lluvia a través del ciclo vegetativo y su relación con el escurrimiento.

En relación con las características de la lluvia, la cantidad es una de las que mayor información se tiene en México, debido a su mayor facilidad de medición. En el estado de México, uno de los principales productores de maíz en temporal, se ha cuantificado en algunas estaciones meteorológicas, mediante análisis probabilístico de la precipitación, que la mayoría de los eventos de lluvia son menores a 5 mm. Así, para la estación de Tecámec, Méx., se tiene que de 1418 eventos ocurridos de 1971 a 1987, 829 fueron menores a 5 mm (equivalente a 58% del número total de eventos) (Osorio, 1989).

Resultados similares son reportados por Ortíz *et al.* (1977) y Antezana *et al.* (1979), para el área de influencia de Chapingo. Estos últimos autores cuantificaron la frecuencia de eventos causantes de escurrimiento por intervalo de lluvia y observaron que del total de eventos de lluvia entre 0.1 y 5 mm, solamente 8% indujo escurrimiento.

De la presente revisión se concluye que gran parte de la precipitación ocurre en eventos

menores a 5 mm y que éstos tienen muy baja capacidad de inducir escurrimiento superficial, lo cual no se considera en ninguno de los modelos existentes para el diseño de las microcuencas.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo experimental se efectuó durante el verano de 1988 en Tecámec, Méx., cuyo clima es templado subhúmedo (el más seco de los subhúmedos), con lluvias en verano y temperatura media anual entre 12 y 18 °C. El suelo es moderadamente profundo, arcilloso, con moderada permeabilidad y puede clasificarse a nivel de gran grupo como un Hapustolls (SCS-USDA, 1975).

Se evaluaron cuatro tamaños de microcuenca (TM) (0.85, 1.10, 1.45 y 1.90 m) diseñados con base en la ecuación de Anaya *et al.* (1976) considerando probabilidades de lluvia de 30, 40, 50 y 60%, respectivamente, coeficiente de escurrimiento (Ce) de 0.5 y área de siembra o de raíces constante de 0.85 m<sup>2</sup> en la variedad de maíz H-32.

En cada TM se calculó el arreglo topológico de plantas para captar diferentes volúmenes de agua/planta, considerando una precipitación total durante el ciclo con 50% de probabilidad de ocurrencia.

Durante el ciclo vegetativo se registró la precipitación y el volumen escurrido en lotes de escurrimiento de longitudes unitarias (1 m) instalados en dos repeticiones del sitio experimental. También se registró la temperatura media diaria para la estimación del uso consuntivo (UC) del cultivo mediante la metodología de Blaney-Criddle (Grassi, 1968).

La precipitación causante de escurrimiento durante el ciclo (P\*) se incluyó

como componente del modelo propuesto por Anaya *et al.* (1976), de la manera siguiente:

Modelo original

$$TM = \frac{As + (UC - P) AS}{CeP}$$

Modelo propuesto

$$TM = \frac{As + (UC - P) AS}{CeP^*}$$

donde:

- TM = Tamaño de microcuena, (m)  
 As = Área de siembra o de raíces, (m)  
 UC = Consumo de agua por el cultivo (m)  
 P = Precipitación total durante el ciclo vegetativo, (m)  
 P\* = Precipitación causante de escurrimiento, (m)  
 Ce = Coeficiente de escurrimiento, (adimensional)

Los modelos se compararon en su valor resultante de TM, de acuerdo con las condiciones que imperaron durante el ciclo, a través del rendimiento de grano analizado estadísticamente mediante un análisis de varianza para un diseño experimental de parcelas divididas con cuatro repeticiones y una prueba de comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSION

El número de eventos por intervalo de lluvia y la proporción de éstos que causaron escurrimiento hacia el área de siembra, se presenta en el Cuadro 1. En éste se observa que los eventos entre 0.1 y 5.0 mm, aun siendo los de mayor frecuencia en presencia, fueron los que causaron escurrimiento en menor número. Así, se tiene que de 67 eventos de lluvia ocurridos durante el ciclo vegetativo, 38 correspondieron al intervalo de 0.1 a 5.0 mm y de éstos solamente seis provocaron escurrimiento superficial.

En intervalos de lluvia mayores a 5.0 mm, se observa que al aumentar la precipitación hasta 15 mm, el número de eventos que causó escurrimiento se incrementó gradualmente. Cuando la lluvia fue mayor a 15 mm, independientemente de su intensidad y del nivel de humedad del suelo, cualquier evento de dicha magnitud causó escurrimiento.

Estos resultados sobre escurrimiento superficial coinciden con los presentados por Antezana *et al.* (1979), al señalar que un gran número de eventos de lluvia menores a 5 mm no causan escurrimiento, por lo que al realizar el análisis global durante el ciclo vegetativo se tiene que no toda la precipitación escurre hacia el área de siembra. En este caso, la precipitación total durante el ciclo del cultivo fue de 446 mm, con una probabilidad de ocurrencia de 45%; de ésta sólo 80% (356.8 mm) causó escurrimiento con un coeficiente de escurrimiento (Ce) promedio de 0.35.

Según la probabilidad de ocurrencia de 45% de la lámina total precipitada durante el ciclo ( $P_{0.45}$ ) y al aplicar la ecuación de Anaya *et al.* (1976), en su forma modificada bajo las condiciones de campo obtenidas:

$$\begin{aligned} UC &= 522.3 \text{ mm} \\ P_{(0.45)} &= 445.97 \text{ mm} \\ P^* &= 0.8 P_{(0.45)} = 356.77 \text{ mm} \\ Ce \text{ promedio} &= 0.35 \end{aligned}$$

$$TM = AS + \frac{(UC - P_{0.45}) AS}{CE(0.8 P_{0.45})}$$

$$TM = 0.85 + \frac{(0.5223m - 0.44597m) 0.85}{0.35(0.8 \times 0.44597)}$$

El tamaño de microcuena óptimo (sin deficiencia ni exceso de humedad en el área de siembra) debió ser de 1.37 m.

Cuadro 1. Frecuencia de eventos de precipitación que causaron escurrimiento durante el ciclo. Tecámac, Méx. 1988.

Eventos		Frecuencia	Eventos con escurrimiento		Frecuencia
mm	%			%	
0.1 - 5.0	38	56.7	6	15.8	
5.1 - 10.0	11	16.4	6	54.5	
10.1 - 15.0	10	14.9	9	90.0	
15.1 - 20.0	5	7.5	5	100.0	
20.1 - 25.0	-	-	-	-	
25.1 - 30.0	1	1.5	1	100.0	
30.1 - 35.0	2	3.0	2	100.0	
<b>Total</b>	<b>67</b>	<b>100</b>			

De otra forma al aplicar la ecuación original de Anaya *et al.* (1976) y considera que el total de la precipitación causó escurrimiento ( $P^* = P_{0.45}$ ), se tiene:

$$TM = AS + \frac{(UC - P_{0.45}) AS}{Ce P_{0.45}}$$

$$TM = 0.85 + \frac{(0.5223m - 0.44597m) 0.85m}{0.35 \times 0.44597m} = 1.26m$$

El tamaño de microcuena óptimo debió ser de 1.26 m.

Al aplicar la ecuación de Anaya *et al.* (1976) en su forma original y en su forma modificada, para diferentes probabilidades de lluvia, se construyó el nomograma de la Figura 1, el cual nos proporciona gráficamente el TM para el cultivo de maíz (variedad H-32) en Tecámac, Méx., en función de la probabilidad de ocurrencia de la lluvia con y sin consideración de la precipitación causante de escurrimiento.

En la Figura 1 se aprecia que los TM calculados mediante la ecuación de Anaya *et al.* (1976) en su forma original y modificada, para la probabilidad de lluvia de 45% ocurrida durante el ciclo de este estudio, debieron ser de 1.26 y 1.37 m, respectivamente; dichos valores se encuentran entre los TM de 1.10 y 1.45 m, evaluados durante el ciclo de estudio; entonces, la manera de análisis

para tener una base que nos indique cuál debió ser el TM óptimo, consiste en observar la respuesta del cultivo en los TM evaluados (Cuadro 2).

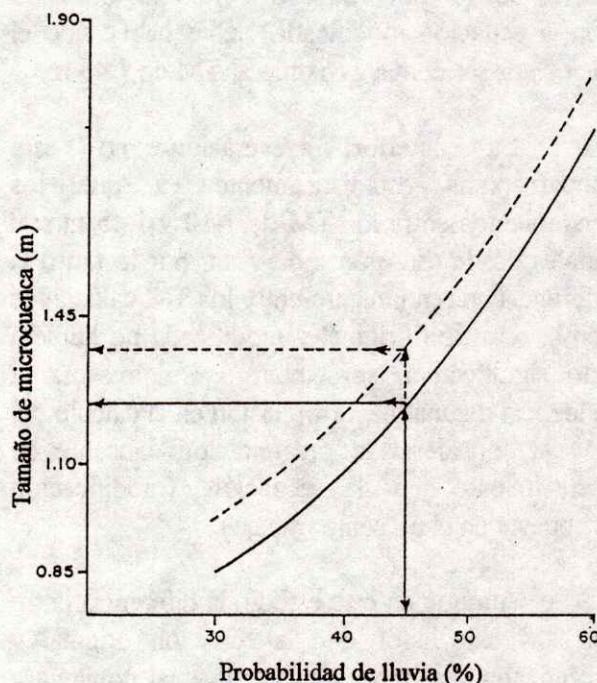


Figura 1. Nomograma para el cálculo del tamaño de microcuena en maíz en Tecámac, México, en función de la probabilidad de lluvia utilizando la ecuación de Anaya *et al.* En su forma original (—) y modificada (---).

Cuadro 2. Efecto del tamaño de microcuena y volumen de agua por planta sobre el rendimiento de grano. Tecámac, México. 1988.

Tamaño de microcuena	Rendimiento de grano			Promedio <sup>1)</sup>
	Volumen de agua por planta (L)			
m	50	125	200	
0.85	43.2	90.5	112.7	81.8 a
1.10	43.0	109.1	136.0	96.0 b
1.45	48.6	105.5	146.0	100.0 b
1.90	36.1	91.6	126.4	84.7 a
<b>Promedio</b>	<b>42.5 c</b>	<b>99.1 b</b>	<b>130.3 a</b>	

<sup>1)</sup> Cifras con la misma letra son estadísticamente iguales.

En el Cuadro 2 se aprecia que el mayor rendimiento se obtuvo con el TM de 1.45 m y el máximo rendimiento pudo haberse obtenido con un TM entre 1.10 y 1.45 m; entonces, con base en esto la ecuación de Anaya *et al.* (1976) fue válida en cualquiera de sus dos formas, pero tal parece que el valor de  $TM = 1.37$  m, obtenido con la ecuación modificada, debió haber sido el mejor por ser el más próximo al TM de 1.45 m.

La anterior aseveración no está fundamentada estadísticamente ya que los rendimientos entre los TM de 1.10 y 1.45 m son iguales desde este punto de vista, por lo tanto la diferencia en rendimiento entre los TM calculados con la ecuación original y modificada no hubiera sido significativa; sin embargo, se presenta la tendencia de una mayor precisión en el cálculo del TM al considerar la precipitación causante de escurrimiento en la ecuación (modificación propuesta en el presente trabajo).

Aunque en este estudio la diferencia entre los TM calculados con la ecuación original y modificada sea muy pequeña, lo cual conlleva a una pequeña diferencia en la respuesta observada en la planta, la modificación puede ser válida y tener mayor efecto en condiciones donde la precipitación causante de escurrimiento sea aún más pequeña.

Aunque la ecuación de Anaya *et al.* (1976) en su forma modificada sea más precisa que en su forma original, resulta difícil estimar la precipitación causante de escurrimiento, debido a lo aleatorio de las características de la lluvia; no obstante, para los valores de estas características que causan escurrimiento, es posible estimarlos mediante análisis probabilístico (Vargas, 1988).

Una forma metodológica de estimación de la precipitación causante de escurrimiento sería en condiciones simuladas de lluvia y con diferentes tipos de suelo para obtener una

relación funcional, la cual, aplicada a determinadas condiciones de una región y al nivel probabilístico deseado de las características de la lluvia inductoras de escurrimiento, permitiría determinar la cantidad de lluvia que propiciaría escurrimiento y, así, calcular con mayor precisión el tamaño de microcuenca para el cultivo a establecer.

## CONCLUSIONES

La precipitación causante de escurrimiento, aunque fue menor en 20% a la precipitación total ocurrida durante el ciclo, al ser considerada en la ecuación de Anaya *et al.* (1976), aumenta la precisión en el cálculo del TM pero no en forma significativa, por lo que la modificación a la ecuación puede funcionar mejor en lugares donde ocurra una menor precipitación causante de escurrimiento.

## LITERATURA CITADA

- ANAYA G., M., J.L. TOVAR S., y A. MACIAS, L. 1976. Métodos de captación de lluvia para zonas agrícolas con temporal deficiente. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- ANTEZANA T., J., M. ANAYA G. y J.L. TOVAR S. 1979. Influencia de la captación *in situ* de agua de lluvia, cobertura de rastrojo y fechas de siembra en la producción de maíz de temporal. *Agrociencia* 36:179-189.
- COLEGIO DE POSTGRADUADOS-SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS-SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO. 1977. Manual de conservación de suelo y agua, instructivo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- DUTT, G.R., C.F. HUTCHINSON, y M. ANAYA G. 1981. Rainfall collection for agriculture in arid and semiarid regions. Commonwealth Agriculture Bureaux. USA.
- EVENARI, M., L. SHANAN, and N. TADMOR. 1971. The challenge of a desert. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. USA.
- GRASSI J., C. 1968. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimiento de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- ORTIZ M., J., M. ANAYA G. y R. FERNANDEZ G. 1977. Efecto de las microcuencas para la captación *in situ* de la lluvia sobre el régimen de humedad del suelo y la producción de maíz y girasol. *Agrociencia* 27: 17-32.
- OSORIO A., G. 1989. Optimización del agua de lluvia mediante captación *in situ*, cobertura orgánica y arreglo espacial en maíz en función del volumen de agua por planta. Tesis de Maestría. colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

SANCHEZ, C.I. 1986. Cosecha de agua de lluvia *in situ*, una alternativa para zonas de escaso y errático régimen pluvial. Serie Temas Didácticos, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Pub. No. 7. México.

SOIL CONSERVATION SERVICE, USDA. 1975. Soil taxonomy. Soil Survey Staff. Agricultural Handbook No. 436, Washington D.C., USA.

VARGAS M., S. 1988. Caracterización de lluvia en la cuenca del río de Texcoco. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

# APLICACIONES DE MODELOS DE SIMULACION EN LA CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA EN ZONAS ARIDAS

Applications of Simulation Models to  
Water Harvesting Techniques in Arid Zones

Héctor Manuel Arias Rojo

Programa de Edafología, Instituto de Recursos Naturales,  
Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. C.P. 56230

*Palabras Clave:* Modelos matemáticos, Predicción de lluvia, Simulación de lluvia, Simulación de montecarlo.

*Index words:* Mathematical models, Rainfall prediction, Rainfall simulation, Montecarlo simulation.

## RESUMEN

Los modelos de simulación permiten generar datos a partir de variables de interés, con la finalidad de acelerar el proceso de toma de decisiones, o de tener una idea, físicamente más basada en resultados, para una determinada propuesta. Estos modelos pueden utilizarse para: optimizar el diseño de estructuras, la captación de agua *in situ* y el manejo de escurrimientos superficiales, con las ventajas antes mencionadas.

En este trabajo se mencionan los aspectos metodológicos de la simulación de lluvia con un enfoque sencillo, cuyos

requerimientos son una microcomputadora y registros históricos de la zona de estudio. Posteriormente, se mencionan los procedimientos para la aplicación de la metodología en tres casos: (1) predicción de sequía intraestival, (2) manejo de escurrimientos superficiales, y (3) captación de agua de lluvia *in situ*, mencionándose la disponibilidad de los parámetros para el modelo de simulación en la cuenca del río Texcoco.

## SUMMARY

Simulation models allow data generation from variables currently measured, with the objective of accelerate the decision-making process, or have an "educated guess" for a given proposal. Those models can be used to optimize the design of structures for *in situ* water harvesting, and runoff management, with the advantages previously mentioned.

In this work methodology aspects of rainfall simulation are mentioned using a very simple approach, whose requirements are a personal computer and historical records of the

---

Recibido 3-95.

study area. Later on, procedures for the application of the methodology are described for three cases: (1) dry spell prediction, (2) runoff management, and (3) water harvesting, mentioning the availability of parameters for the model for the Texcoco watershed.

## INTRODUCCION

El agua es el factor limitativo en las zonas áridas, por lo que las actividades humanas giran alrededor de este recurso. Las dos principales fuentes de agua en estas áreas son la lluvia y los mantos subterráneos. Dado que la obtención de agua subterránea es un proceso más elaborado, se hará énfasis en el suministro de agua a través de la lluvia.

Las características de las zonas áridas son los reducidos volúmenes de lluvia, así como la errática distribución de los eventos lluviosos. Estas características están plenamente identificadas por las condiciones climáticas de la zona y han sido la causa de la baja productividad.

Sin embargo, se ha observado que un buen manejo del agua puede permitir una agricultura sostenida con alta producción. Ejemplos de lo anterior se han visto no sólo en otras partes del mundo, como los trabajos reportados por Evenari *et al.* (1982) en la región Nabateana en lo que actualmente es Israel, o en el Valle del Sol por los Ho'hokam en lo que actualmente es el Proyecto del Río Salado (Salt River Project) en Phoenix, Arizona; también en regiones del norte de México se han observado metodologías de manejo del agua a través de sistemas de conducción, así como de técnicas de captación *in situ*, últimamente.

La agricultura sostenida en las zonas áridas requiere, en general: 1) almacenamiento de suficiente agua para los períodos críticos, sea *in*

*situ* o en depósitos contruidos ex profeso, 2) siembra de especies resistentes a largos períodos de sequía, y 3) utilización de técnicas que reduzcan la evaporación del agua del suelo o de los depósitos de almacenamiento. Sin embargo, dada la variabilidad climática en estas zonas, se busca optimizar los sistemas de producción.

Para la optimización de los sistemas de producción se requiere estimar: 1) cuánta agua es necesaria almacenar para períodos críticos, 2) qué tan largo es el período de sequía y 3) qué tipo de cobertura permitirá reducir la evaporación en los períodos críticos; todo lo anterior con base en aspectos probabilísticos.

Cuando se habla de optimización, inmediatamente se piensa en ingeniería de sistemas, donde se trata de representar los sistemas de interés a través de ecuaciones (algebraicas, diferenciales totales o parciales), se introduce un criterio de decisión, así como un algoritmo de búsqueda para encontrar la opción más adecuada, y las variables de entrada en el sistema son aleatorias, es decir, son procesos estocásticos (Rogers y Fiering, 1986).

Los modelos de simulación de lluvia permiten tener una base probabilística para el diseño de técnicas de conservación del agua, ya que consideraron a las características de la lluvia como variables aleatorias. En esta propuesta no se incluye el criterio de decisión, ni el algoritmo de búsqueda, ya que eso corresponde al tipo de aplicación que se le quiera dar al modelo de simulación; esto es, son decisiones para los investigadores que utilizan los modelos de simulación.

La simulación de lluvias depende de las características de la lluvia que sean deseables en el diseño de las obras de captación o manejo de escurrimientos. Algunas de las variables de interés son: 1) fecha de ocurrencia de un evento lluvioso,

2) lámina llovida en el día, 3) duración del evento lluvioso, y 4) número de eventos con lluvia en el año.

El modelo de simulación que se presenta es una modificación al propuesto por Fogel *et al.* (1976). Para esto, se define un evento como un grupo de días con lluvia, separados al menos por dos días sin lluvia. Este modelo se basa en la suposición de que la distribución de los eventos con lluvia es un Proceso de Poisson descrito por la función de distribución probabilística (FDP) siguiente:

$$f_x(x) = \frac{u^x}{x!} \exp(-ux) \quad (1)$$

donde  $x$  es el número de días entre lluvias, y  $u$  es un parámetro de la distribución.

La validez del modelo se realiza a través de una prueba de bondad de ajuste bajo la suposición de que los eventos de lluvia son independientes; esto es que no existe "persistencia" en la aparición de eventos de lluvia. En realidad, el modelo es válido para la aparición de eventos de lluvias del tipo convectivo; aun cuando, incluso en las zonas áridas, existe una clara influencia de lluvias de tipo frontal, las cuáles indudablemente no muestran independencia entre sí, pero si éstas no son un alto porcentaje del total, pueden no ser significativas.

Fogel *et al.* (1976) recomiendan utilizar la distribución exponencial para representar la independencia de los eventos lluviosos, basándose en la similaridad de las dos distribuciones probabilísticas, y hacen una extensión con la distribución gama para cubrir, incluso, zonas tropicales como el sureste de Estados Unidos de Norteamérica.

Una vez que se ha encontrado si el modelo de simulación propuesto es adecuado a la

zona, se requiere definir la temporada de lluvias; esto es, el inicio y la duración, así como las variables de interés.

La fecha de inicio de la temporada de lluvias es en cierta manera, una característica de la situación geográfica del área de estudio, pero puede decirse que debe coincidir con el mes más seco en invierno o primavera. En México, los meses más secos en este período son febrero y marzo, razón por la que se recomienda iniciarse en abril. Esto también es aplicable para la fecha de terminación del temporal, que debe coincidir con el período seco en otoño o invierno, sin incluir el período de sequía intraestival. En general, dada la situación geográfica del país, puede observarse que noviembre es el mes más seco, por lo que es recomendable establecer al 31 de octubre como la última fecha del temporal. Sin embargo, esto también puede definirse ajustando el día del primer evento a alguna distribución probabilística.

Las variables de interés son: 1) fecha de ocurrencia de un evento de lluvia, 2) lámina llovida en el día, y 3) duración del evento lluvioso.

Si se consideran a estas variables como aleatorias y que su comportamiento puede representarse a través de distribuciones probabilísticas, entonces se pueden generar eventos a través de una simulación de Montecarlo, consistente en generar un número aleatorio equivalente a una probabilidad  $y$ , a través de una función de densidad probabilística (FDP) previamente reconocida, se conoce el valor de la variable de interés.

La fecha de ocurrencia de un evento se calcula en base a la distribución de Poisson, que es la suposición base de este modelo. Esta distribución ya fué mencionada previamente.

La cantidad de lluvia se calcula con base en la distribución probabilística gama, ya que ha mostrado un mejor ajuste. La distribución gama se define como sigue:

$$f_x(x) = \frac{u^v x^{v-1}}{\gamma(v)} \exp(-ux) \quad (2)$$

donde  $x$  es la lámina diaria de lluvia (mm),  $u$  y  $v$  son parámetros de la distribución, mientras que  $\gamma$  es la función gama.

La duración de los eventos lluviosos se manejó originalmente a través del número de días continuos con lluvia, que se distribuyen geoméricamente de acuerdo con la siguiente ecuación (Fogel *et al.* 1976):

$$f_x(x) = p(1-p)^{x-1} \quad (3)$$

donde  $x$  es la duración (días) y  $p$  es un parámetro de la distribución.

Una variación que puede realizarse es tomar la duración de la lluvia en horas, lo cual cambia el tipo de distribución probabilística. Lo anterior es con la finalidad de realizar cálculos para obtener la lámina escurrida a través del método del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos de EUA. (Mockus, 1972). Este método requiere conocer la duración de la lluvia en horas, por lo que se define a un evento como aquella tormenta con una cantidad mayor de 1.0 mm con una duración mínima de 1 hora. Este criterio es arbitrario y se basa en una evaporación promedio diaria para zonas semiáridas.

Desafortunadamente, en México no se tiene una red climatológica suficientemente extensa que permita incluir esta variable, por lo que se recomienda correlacionar datos de duración de lluvia de estaciones con pluviógrafo, con las estaciones disponibles en el área de

estudio o utilizar relaciones lluvia máxima-duración. Si se utilizan datos de pluviógrafo, se recomienda utilizar la distribución gama antes definida, donde  $x$  sería la duración de la lluvia (horas).

## METODOLOGIA

El proceso de simulación requiere conocer: (1) las variables de interés, (2) la distribución probabilística de cada una de las variables de interés, (3) los valores de los parámetros de cada una de las distribuciones y, finalmente, (4) el grado de validez de la simulación.

Las variables de interés más comunes son: 1) fecha de ocurrencia de un evento de lluvia, 2) lámina llovida en el día, 3) duración del evento lluvioso.

Las distribuciones probabilísticas más aproximadas son: distribución de Poisson para tiempo de arribo entre lluvias (fecha de ocurrencia), distribución gama para lámina de lluvia (mm) en el día, y distribución geométrica para duración de la lluvia (d) o distribución gama para duración (h) del evento de lluvia.

El procedimiento dará la estimación de los parámetros para ajustar los datos a las distribuciones antes mencionadas, a través de estimadores de máxima similitud o por el método de momentos, aunque es más recomendable el primer método. El Cuadro 1 muestra las ecuaciones para la estimación de parámetros.

Vargas (1988) utilizó estos métodos de estimación para encontrar los mejores ajustes a las distribuciones de: 1) tiempo de arribo entre lluvias, 2) lámina diaria llovida y 3) duración de los eventos lluviosos en seis pluviógrafos ubicados en la parte alta, media y baja de la

Cuadro 1. Métodos de estimación de los parámetros de las distribuciones probabilísticas más utilizadas en la simulación.

Distribución	Métodos de estimación Máxima similitud	Momentos
Geométrica	$u = 1/(\mu+1)$	$u = 1/\mu$
Poison	$u = \mu$	$u = \mu$
Exponencial	$u = 1/\mu$	$u = 1/\mu$
Gama	$v = 1 + (1+4/(3D))$	$v = (\mu/\sigma)^2$
	$u = v/\mu$	$v = \mu/\sigma^2$

cuenca del río Texcoco (dos en cada área), y encontró que los mejores ajustes fueron con el método de máxima similitud.

Finalmente, la validez de la simulación se realiza al comparar las distribuciones de las variables de salida con las observadas para el cálculo de los parámetros.

Aplicaciones de la simulación de lluvias. Las salidas del programa de simulación más comunes, en consecuencia: 1) fecha de ocurrencia del evento, 2) lámina de lluvia, y 3) duración del evento.

Con estas tres variables es posible, mediante la simulación de varios años: 1) conocer las posibles sequías intraestivales, 2) generar datos de escurrimiento para apoyar un sistema de manejo de escurrimientos superficiales y 3) calcular los efectos de la sequía en el desarrollo vegetativo y, por extensión, tamaños de microcuencas de captación *in situ*. Todo lo anterior con base en aspectos probabilísticos, ya que esto es dependiente del número de años de simulación.

Sequías intraestivales. En el caso de la duración del período de sequía intraestival, el procedimiento es registrar el tiempo de arribo de lluvias más grande y asociarlo a la fecha de ocurrencia a partir del inicio de la temporada de lluvia. La frecuencia del período de sequías puede

relacionarse con el número de años de simulación.

Esto se convierte en un procedimiento estadístico para encontrar las fechas más frecuentes de aparición de días sin lluvia.

Manejo de escurrimientos superficiales. El diseño de un sistema de desvío de aguas superficiales puede realizarse a partir del conocimiento de la humedad disponible en el suelo, los gastos máximos generados en los eventos que generan escurrimiento, y el volumen escurrido en la cuenca de captación. Arias (1987) menciona esta aplicación a través de un modelo conceptual de la distribución de humedad del suelo y el potencial de escurrimiento de la cuenca de captación con relación al diseño del sistema.

El procedimiento consiste en aplicar el método del número de curvas del Servicio de Conservación de Suelos de EUA para estimar el volumen escurrido en la cuenca de aporte. Por otro lado, el diseño del sistema requiere conocer los gastos máximos, los cuales pueden estimarse utilizando el método previamente señalado. Esto permite conocer la cantidad extra de agua que llega a la zona de siembra. Conociendo las características hidrodinámicas del suelo, así como las necesidades hídricas de la planta, es posible calcular el tamaño del área de siembra necesario del sistema de manejo de escurrimientos para una frecuencia dada.

El modelo se amplía para el cálculo del escurrimiento a través de las ecuaciones del método del SCS (Mockus, 1972):

$$L = \begin{cases} 0 & , P \leq 0.2S \\ \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} & , P > 0.2S \end{cases} \quad (4)$$

donde L es la lámina escurrida (mm), P es la lámina llovida en 24 h (mm) y S es la retención máxima, la cual se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{25000}{CN} - 254 \quad (5)$$

El valor de CN se calcula con la metodología propuesta por Mockus (1972), la cual toma en cuenta: 1) la condición hidrológica de la cuenca, 2) el uso y manejo del suelo, 3) el tipo de suelo y 4) el contenido de humedad anterior a un evento lluvioso.

Tamaño de microcuencas de captación de agua in situ. Es conocido que a medida que aumenta un período de sequía, así como una baja en la lluvia acumulada, el tamaño del área de captación de agua de lluvia *in situ* para una planta debe aumentar, así como la necesidad de aplicación de técnicas de control de la evaporación. La simulación de lluvia permite calcular la probabilidad de éxito para una zona determinada, el tipo de suelo y el tipo de cultivo, así como el área óptima de captación *in situ*.

El procedimiento a seguir es calcular la humedad disponible del suelo con base en sus características hidrodinámicas, el posible aporte en base a diferentes áreas de captación, pendiente y tipo de sustancia para aumentar el escurrimiento (o utilizando el método de número de curvas del SCS). Las características hidrodinámicas van a ser fundamentales en el proceso de retención de humedad. Por otro lado, si se conocen los potenciales de escurrimiento y la cantidad de agua posible de escurrir, se puede calcular el suministro extra de agua para la planta y, en consecuencia, la resistencia de la planta al marchitamiento. Este procedimiento, que en principio debe calibrarse, es más barato que el establecimiento de experimentos en cada una de las zonas por cada cultivo a probar.

Una prueba para la calibración del modelo puede utilizarse con experimentos de captación de agua de lluvia en la cuenca del río Texcoco, donde ya se tienen parámetros para el modelo de simulación. El Cuadro 2 muestra las distribuciones y los valores de los parámetros para las variables: tiempo de arribo entre lluvias (d), cantidad de lluvia (mm), y duración de la lluvia (d) en la cuenca del río Texcoco.

Cuadro 2. Distribuciones probabilísticas y valores de los parámetros de las variables: tiempo de arribo entre lluvias (d), cantidad de lluvia (mm) y duración de la lluvia (d), que mostraron mejor ajuste en la cuenca del río Texcoco (Vargas, 1988).

Estación	Tiempo de arribo	Cantidad	Duración
	exponencial	gama	geométrica
La Poza	0.0584	0.939	9.84
Tlatintloya	0.0554	0.939	6.06
Peñitas	0.0880	1.099	5.86
El membrillo	0.0898	1.115	8.84
S. Dieguito	0.0694	1.128	7.61
San Juan	0.0888	1.162	3.74
$\mu = \sum x/n$	$\sigma = \sum (x-\mu)^2/n$	$D = \ln \mu - \sum (\ln x)/n$	

Estos datos requieren la determinación de propiedades hidrodinámicas de los suelos, así como de los requerimientos hídricos del cultivo a probar, como se mencionó anteriormente.

## LITERATURA CITADA

- ARIAS R., H.M. 1987. Manejo de escurrimientos para producción agrícola en zonas áridas. Pp. 124-130. In: III Congreso Nacional de Irrigación. Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación. 22-25 de noviembre, Los Mochis, Sin.
- EVENARI, M., L. SHANAN, and N. TADMAR. 1982. The Negev: The challenge of a desert. Harvard University Press. Cambridge, Mass., USA.
- FOGEL, M.M., L. DUCKSTEIN, and A. MUSY. 1976. Event-based formulation of watershed management. Pp. 349-373. In: Proceedings of the Specialty Conference on "Environmental impact of irrigation and drainage". July 21-23. Ottawa, Ontario, Canada.
- MOCKUS, V. 1972. Soil conservation service national engineering handbook. Section 4, Hydrology. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- RÓGER, P.P., and M.B. FIERING. 1986. use of system analysis in water management. Water Resources Research 22:146S-158S.
- VARGAS M., M.S. 1988. Caracterización de la lluvia en la cuenca del río Texcoco. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Depto. de Zonas Áridas, Chapingo, México.

# MODELACION DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN TERRENOS AGRICOLAS CON PENDIENTE

Runoff Simulation Model in Sloping Agricultural Lands

José Luis Oropeza Mota

Programa de Edafología, Instituto de Recursos Naturales,  
Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.

*Palabras clave:* Modelo de simulación MOPEAU, Lluvia diaria, E scorrimiento superficial, Humedad del suelo, Terreno agrícola con pendiente.

*Index words:* Model simulation MOPEAU, Daily rainfall, Runoff, Soil moisture, Agricultural lands with slope.

## RESUMEN

El modelo de simulación MOPEAU (modelo de producción de agua) tiene un solo parámetro y utiliza un intervalo de tiempo de 1 día para determinar el escurrimiento superficial en terrenos agrícolas de ladera. Los datos de entrada del modelo son: la precipitación diaria, la evaporación media mensual, el escurrimiento medio (para calibración) y el valor estimado de la curva numérica propuesta por el Soil Conservation Service (SCS). El modelo primero debe calibrarse, en una cuenca con una estación de aforo y posteriormente podrá utilizarse para

predecir los volúmenes de escurrimiento diario, mensual y anual en cuencas vecinas no aforadas.

## SUMMARY

The model MOPEAU (modèle de production d'eau) has one parameter and uses a 1-day time interval for determining runoff. Inputs are daily rainfall, average monthly evaporation, measured monthly runoff (for calibration) and estimate of the SCS runoff curve number. The model has to be calibrated on a gaged watershed and then can be used to predict daily, monthly and annual runoff for nearby ungaged watersheds.

## INTRODUCCION

Dentro del marco de pequeñas cuencas hidrográficas o parcelas agrícolas para la evaluación de procesos hidrológicos, en México se dispone, en general, de pocos elementos para planificar y diseñar las obras de protección contra la erosión del suelo y manejo del agua. Por lo tanto, la transformación de la precipitación a escurrimiento superficial es el

---

Recibido 3-95.

único medio de estimación, recurriendo el uso de los modelos matemáticos hidrológicos.

En la actualidad, existen muchos modelos hidrológicos disponibles para simular y predecir escurrimientos superficiales, tales como: los modelos USDAHL-74, ANSWERS, CREAMS, EPIC, SWRRB, WEPP, etc. Estos modelos varían en complejidad, información de entrada, número de parámetros a determinar, intervalo de tiempo utilizado e información de salida, Hawking *et al.* (1986). La mayoría de los modelos citados, generalmente fueron desarrollados en cuencas bien instrumentadas y, dada la gran cantidad de información de entrada que demandan, no pueden utilizarse adecuadamente en países como el nuestro.

El modelo MOPEAU (modèle de production d'eau) que aquí se propone, tiene un solo parámetro a determinar y utiliza un intervalo de tiempo de 1 día. Los datos de entrada son: 1) la lluvia diaria, 2) la evaporación media mensual, 3) la estimación de curva numérica (condición normal), 4) escurrimiento medio mensual para calibración. La información de salida es el volumen de escurrimiento superficial (diario, mensual y anual).

El modelo MOPEAU utiliza como base la función de rendimiento propuesta por el Soil Conservation Service (1968), a la cual se le adicionó un procedimiento matemático para contabilizar la humedad en el suelo entre dos lluvias sucesivas.

Primeramente, el modelo debe calibrarse en una cuenca aforada (2 años de registro mínimo), posteriormente puede utilizarse para predecir largos períodos y ser aplicable a cuencas hidrográficas pequeñas no aforadas.

## OBJETIVO

El objetivo de este trabajo, en el desarrollo del modelo MOPEAU, fue predecir el volumen de escurrimiento diario, mensual y anual en cuencas hidrológicas pequeñas y de uso agrícola para su posible utilización en la planeación y diseño de obras de conservación de suelos y de ingeniería agrícola en general.

## PROCEDIMIENTO HIDROLOGICO

### Cálculo del Escurrimiento Superficial.

El escurrimiento superficial se determina utilizando la función de rendimiento propuesta por el SCS (1968, 1972), como sigue:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{si } P \leq 0.2S, \quad Q = 0(1)$$

donde:

Q = Escurrimiento superficial total (mm)

P = Precipitación total (mm)

S = Parámetro de retención (mm)

De acuerdo con el SCS, el parámetro de retención S debe estimarse para cada evento de lluvia en una serie de precipitaciones para predecir el escurrimiento. Tradicionalmente, el SCS ha utilizado un índice de lluvia antecedente para estimar tres condiciones de humedad (condición seca 1, condición normal 2 y condición húmeda 3). La relación entre la lluvia y el escurrimiento para estas tres condiciones se expresa en función de la curva numérica (CN). A cada precipitación de una serie de lluvias se le asigna una de las tres curvas numéricas (CN<sub>1</sub>, CN<sub>2</sub>, y CN<sub>3</sub>) de acuerdo con la condición de humedad. Para predecir el escurrimiento a partir de la ecuación

(1), la curva numérica  $CN_2$  se relaciona con el parámetro de retención  $S$  a partir de las ecuaciones siguientes:

$$S = \frac{25\,400}{CN_2} - 254 \quad (2)$$

$$CN_2 = \frac{25\,400}{254 + S} \quad (3)$$

#### Estimación Matemática de la Humedad del Suelo

Dado que el valor de la curva numérica  $CN_2$  varía con el contenido de humedad del suelo y utiliza muchas condiciones de humedad en lugar de tres únicamente (seca, normal y húmeda), la predicción del escurrimiento superficial puede mejorarse considerablemente si se utiliza un procedimiento de contabilización de la humedad del suelo y se calcula un valor de  $CN_2$  para cada lluvia.

Si se considera al perfil del suelo como un tanque de almacenamiento, dentro del cual la variación de la humedad del suelo es función de la cantidad máxima de agua y del parámetro de retención, puede escribirse la ecuación siguiente:

$$SM_h = V - S \quad (4)$$

donde:

$SM_h$  = Humedad del suelo (mm)

$V$  = Cantidad máxima de agua en el suelo, igual a 508 mm

$S$  = Parámetro de retención (mm)

La humedad  $SM_h$ , sin importar en que tipo de suelo, puede alcanzar valores entre 0 y

508 mm de agua Williams y Laseur (1976) y, por consiguiente:

Para  $S = 0$  mm;  $CN_2 = 100$  y  $SM_h = 508$  mm

Para  $S = 508$  mm;  $CN_2 = 33.3$  y  $SM_h = 0$  mm

La Ecuación 4 proporciona una alternativa a la función de rendimiento propuesta por SCS para determinar la variación de la humedad en el suelo. Admitiendo que la humedad en el suelo ( $SM_h$ ) disminuye entre dos precipitaciones sucesivas debido a la evapotranspiración y a la infiltración, y relacionando la evapotranspiración  $LE$  y la humedad del suelo ( $SM_h$ ) se determinó la rapidez de variación de la humedad del suelo entre lluvia y lluvia. Esta rapidez de variación de la humedad del suelo se expresa por la ecuación siguiente (Oropeza, 1990):

$$\frac{d(SM_h)}{dt} = -B SM_h LE \quad (5)$$

donde.

$B$  = Coeficiente de agotamiento ( $mm^{-2}$ )

$LE$  = Evapotranspiración (mm/mes)

$t$  = Tiempo (meses)

Dado que la humedad del suelo ( $SM_h$ ) disminuye con el tiempo, se consideró el signo negativo del coeficiente de agotamiento  $B$ .

Integrando la ecuación diferencial (5) obtenemos:

$$SM_h = \frac{SM_o}{1.0 + B SM_o \sum_{t=1}^{T_n} LE_t} \quad (6)$$

donde:

$SM_h$  = Humedad actual del suelo  $t$  días después de la lluvia (mm)

$SM_0$  = Humedad del suelo al inicio de la primera lluvia (mm)

$LE_t$  = Evapotranspiración media mensual del día (t) (mm)

$T_n$  = Número de días entre dos precipitaciones sucesivas

El valor de  $LE_t$  se determina por ponderación de la evapotranspiración media mensual para cada tipo de cultivo de acuerdo con el área cubierta de dicho cultivo.

$$LE_t = \frac{\sum_{j=1}^N LE_{ij} DA_j}{DA} \quad (7)$$

donde:

$LE_{ij}$  = Evapotranspiración media mensual para el mes i del cultivo j (mm)

$DA_j$  = Área cubierta por el cultivo j (km<sup>2</sup>)

$DA$  = Área total de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$N$  = Número de cultivos dentro en la cuenca

$i$  = 1, 2, ..., 12

Durante una lluvia, el agua que se infiltra en el suelo (P-Q) debe adicionarse a la humedad inicial ( $SM_0$ ) (Schwab y Sherman, 1981). Puesto que el escurrimiento superficial no puede sustraerse de la precipitación que hasta el final del período ( $T_n$ ), debido a que éste está en retraso en relación con el episodio pluvioso; finalmente, la Ecuación 6 se escribe como sigue:

$$SM_t = \frac{SM_0 + P}{1.0 + B(SM_0 + P) \sum_{t=1}^{T_n} LE_t} - Q \quad (8)$$

Para determinar el valor del parámetro de retención (S) de la segunda precipitación, se utiliza nuevamente la Ecuación 4, pero

considerando la humedad actual de suelo ( $SM_t$ ) como sigue:

$$S = V = Sm_t \quad (9)$$

El escurrimiento de la segunda precipitación se determina con la Ecuación 1 y, de la misma manera, para cada una de las lluvias registradas durante el período considerado.

Para estimar el valor inicial del coeficiente de agotamiento (B), se consideró el agotamiento anual medio diario, utilizando la relación siguiente (Oropeza, 1990):

$$D_p = \frac{P_m - Q_m}{365} \quad (10)$$

donde:

$D_p$  = Agotamiento anual medio diario (mm/día)

$P_m$  = Precipitación media anual (mm)

$Q_m$  = Escurrimiento medio anual (mm)

Posteriormente, se determinó que el agotamiento medio diario en el suelo puede calcularse a partir de la Ecuación 6, considerando que  $T_n = 1$  día, por consecuencia, en la Ecuación 6 el valor de  $SM_0$  representa la humedad media del suelo  $SM_m$ ,  $LE_t$  es la evapotranspiración media mensual y P y Q son igual a cero para el día  $T_n$ . Finalmente, la Ecuación 6 se escribe de la manera siguiente:

$$SM_t = \frac{SM_m}{1.0 + B SM_0 LE_t} \quad (11)$$

donde:

$SM_m$  = Humedad media del suelo al inicio de la lluvia del día  $T_n$  (mm)

El cálculo del coeficiente de agotamiento medio diario a partir de la Ecuación 10 es igual al cambio de humedad del suelo para el día  $T_n$ :

$$D_p = SM_m - Sm_t \quad (12)$$

Sustituyendo la Ecuación 11 en 12, obtenemos el valor del coeficiente de agotamiento:

$$B = -\frac{D_p}{SM_m LE_t (D_p - SM_m)} \quad (13)$$

## MATERIALES Y METODOS

El modelo MOPEAU se aplicó en la cuenca hidrológica del río Lesse, en Bélgica. Las cuatro subcuencas consideradas fueron: Resteigne (345 km<sup>2</sup>), Ochamps (9.75 km<sup>2</sup>), Our (70 km<sup>2</sup>) y Graide (10 km<sup>2</sup>).

Para la calibración del modelo se consideraron dos periodos: del 1 de enero de 1976 al 31 de diciembre de 1980 para Resteigne y del 1 de enero de 1976 al 31 de diciembre de 1978 para Ochamps, Our y Graide.

Para la optimización del modelo se utilizó el método de aproximaciones sucesivas de Newton, a través de la solución del coeficiente de agotamiento B como una función objetiva no lineal a una dimensión. La ecuación interactiva es la siguiente:

$$B_{it+1} = B_{it} - \frac{B_{it} - B_{it-1}}{f(B_{it}) - f(B_{it-1})} f(B_{it}) \quad (14)$$

donde:

- $B_{it+1}$  = Coeficiente de agotamiento para la iteración (it+1)
- $B_{it}$  = Coeficiente de agotamiento para la iteración (it)
- $B_{it-1}$  = Coeficiente de agotamiento para la iteración (it-1)
- $f(B_{it})$  = Error absoluto o sistemático, igual a la diferencia entre los escurrimientos calculados y observados para la iteración (it).
- $f(B_{it-1})$  = Error absoluto o sistemático, igual a la diferencia entre los escurrimientos calculados y observados para la iteración (it-1).
- it = Número de iteraciones sucesivas.

Con el propósito de determinar la eficiencia total del modelo, se utilizó el coeficiente de eficiencia (EF) propuesto por Nash y Sutcliffe (1970). Este coeficiente describe el grado de asociación entre los valores observados y calculados. La ecuación del coeficiente de eficiencia se escribe como sigue:

$$EF = \frac{F_{obs}^2 - s^2}{F_{obs}^2} \quad (15)$$

donde:

- EF = Coeficiente de eficiencia
- $F_{obs}^2$  = Varianza independiente del modelo
- $s^2$  = Varianza residual

La varianza independiente del modelo ( $F_{obs}^2$ ) se determina como sigue:

$$F_{obs}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q_{obs}^-)^2}{N} \quad (16)$$

La varianza residual del modelo  $s^2$  se determina como sigue:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{obs}^2 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} Q_{cal})^2}{\sum_{i=1}^N Q_{cal}^2}}{N} \quad (17)$$

$Q_{obs}$  = E scorrimiento superficial observado (mm)

$Q_{cal}$  = E scorrimiento superficial calculado (mm)

$\bar{Q}_{obs}$  = Media del escurrimento superficial observado (mm)

N = Número de observaciones

El término  $F_{obs}^2$  representa la variación inicial y el término  $s^2$  representa la variación residual. En la práctica, el valor de EF es siempre menor que la unidad. Si  $EF=1$ , el ajuste es perfecto, contrariamente, si  $EF<0$ , el escurrimento calculado por el modelo será

menos preciso que el simple escurrimento medio.

La metodología general de la presente investigación y el procesamiento de la información hidrológica concluyó en un programa de cómputo electrónico desarrollado en lenguaje FORTRAN 7. El programa MOPEAU está actualmente disponible en el Area de Física de Suelos, Programa de Edafología, Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas de Montecillo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de la calibración para las cuatro subcuencas estudiadas se presentan en el Cuadro 1. El número de años de calibración fueron sucesivamente 2, 3, 4 y 5, para Resteigne, y 2 y 3 para las otras subcuencas.

Cuadro 1. Resultados de la calibración del modelo de simulación MOPEAU para las subcuencas de Resteigne, Graide, Ochamps y Our.

Subcuencas	A	Periodo	Número de años	B	EF	R <sup>2</sup>	CN <sub>2</sub> media	SM <sub>t</sub>
	km <sup>2</sup>			mm <sup>-2</sup>	%	%		mm
Resteigne	345.23	1976-1977	2	0.314 x 10 <sup>-6</sup>	80.19	89.85	87.71	502.81
		1976-1978	3	0.330 x 10 <sup>-6</sup>	78.48	91.18	87.08	502.12
		1976-1979	4	0.320 x 10 <sup>-6</sup>	82.92	90.91	87.89	502.55
		1976-1980	5	0.311 x 10 <sup>-6</sup>	81.81	88.27	89.43	502.97
Graide	10.00	1976-1977	2	0.282 x 10 <sup>-6</sup>	76.25	80.91	90.32	505.33
		1976-1978	3	0.292 x 10 <sup>-6</sup>	72.00	81.87	89.75	505.03
Ochamps	9.75	1976-1977	2	0.224 x 10 <sup>-6</sup>	47.48	78.60	93.71	505.58
		1976-1978	3	0.234 x 10 <sup>-6</sup>	38.65	81.09	93.60	505.26
Our	70.00	1976-1977	2	0.376 x 10 <sup>-6</sup>	71.40	86.78	86.04	500.94
		1976-1978	3	0.390 x 10 <sup>-6</sup>	66.99	83.81	85.70	500.25

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

B = Coeficiente de escurrimento

EF = Coeficiente de eficiencia

R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación

CN<sub>2</sub> = Curva numérica para la condición de humedad media

SM<sub>t</sub> = Humedad del suelo

Cuadro 2. Resultados de la simulación del escurrimiento superficial total mensual y anual, calculados por el modelo MOPEAU para la su cuenca del río Resteigne para el año 1980.

Variable	Ene.	Fe.	Mar.	A.r.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total	EF %
P	81.87	85.83	112.56	55.17	67.19	134.72	195.01	91.50	50.80	149.39	90.93	133.59	1248.56	
Q <sub>os</sub>	71.10	73.80	46.10	47.20	20.00	15.00	128.40	24.80	14.50	39.70	52.00	113.00	645.50	
Q <sub>cal(2)</sub>	59.00	73.55	70.82	28.59	15.60	45.21	112.76	0.67	0.12	27.89	48.42	109.56	592.19	78.63
Q <sub>cal(3)</sub>	57.89	73.19	68.65	27.51	14.24	40.65	109.04	0.44	0.04	21.34	45.49	108.48	566.96	77.63
Q <sub>cal(4)</sub>	58.56	73.41	69.97	28.16	15.05	43.42	111.31	0.57	0.08	25.20	47.35	109.13	582.21	78.48
Q <sub>cal(5)</sub>	59.26	73.64	71.33	28.85	15.97	46.29	113.64	0.74	0.15	29.58	49.03	109.81	598.29	78.63

P = Precipitación mensual (mm) Q<sub>os</sub> = Escurrimiento total mensual o servado (mm)  
 Q<sub>cal(2)</sub> = Escurrimiento total mensual calculado considerando 2 años de calibración (mm)  
 Q<sub>cal(3)</sub> = Escurrimiento total mensual calculado considerando 3 años de calibración (mm)  
 Q<sub>cal(4)</sub> = Escurrimiento total mensual calculado considerando 4 años de calibración (mm)  
 Q<sub>cal(5)</sub> = Escurrimiento total mensual calculado considerando 5 años de calibración (mm)  
 EF = Coeficiente de eficiencia (%)

A partir de las precipitaciones observadas en las cuatro subcuencas de este estudio y utilizando los coeficiente de agotamiento B, determinados para los períodos de calibración 2, 3, 4 y 5 años para Resteigne y 2 y 3 años para las subcuencas de Graide, Ochamps y Our, el modelo MOPEAU fue verificado en modo de previsión para el año 1981 para Resteigne y 1979 para las otras subcuencas.

Los resultados del modelo MOPEAU en modo de previsión comparado con los valores de escurrimiento observados se presentan en los Cuadros 2, 3, 4 y 5 para las cuatro subcuencas, respectivamente.

El examen de los cuadros anteriores muestra, de manera general, que los escurrimientos calculados sobre la base del modelo MOPEAU han sido bien reconstruidos para las cuatro cuencas bajo estudio y para todos los períodos de calibración considerados.

El coeficiente de eficiencia EF resultó ser medianamente aceptable para la cuenca del río Resteigne con valores entre 77 y 78 %. Para las cuencas de los ríos Ochamps, Graide y Our, los coeficientes alcanzaron valores altamente aceptables de 80 y 84 %,

respectivamente. De igual forma, el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> presentó alta correlación, más de 95 % en las cuatro subcuencas restantes (Gráficas 1 a 4).

Sobre la base de los resultados mensuales presentados, será sin duda posible mejorar las previsiones correspondientes a los períodos secos, introduciendo en una versión posterior una función de transferencia, permitiendo en principio una mejor previsión de los escurrimientos en el tiempo.

Río Resteigne (1980)

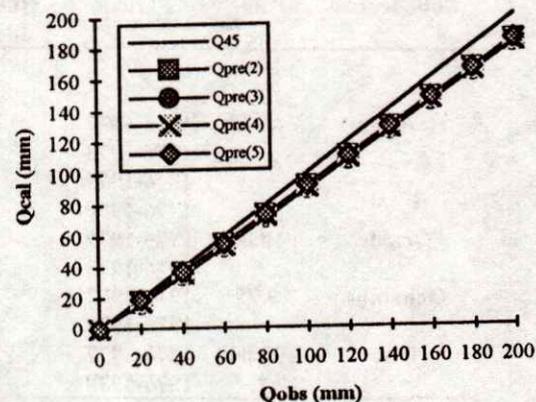


Figura 1. Relación entre los escurrimientos mensuales observados y calculados por el modelo MOPEAU para el año 1980 en la cuenca del río Resteigne.

Cuadro3. Resultados de la simulación del escurrimiento superficial total mensual y anual calculados por el modelo MOPEAU para la subcuenca del río Ochapampas para el año 1979.

Variable	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total	EF %
P	81.35	85.52	238.86	102.22	131.62	60.48	30.43	118.34	37.57	63.60	150.53	221.73	1322.21	
Q <sub>obs</sub>	71.80	75.10	153.00	85.00	62.00	31.60	10.70	10.10	6.90	6.00	44.10	128.80	685.10	
Q <sub>cal(2)</sub>	65.65	70.03	214.99	80.37	90.68	21.21	0.61	14.84	4.63	0.59	88.18	203.12	854.90	84.48
Q <sub>cal(3)</sub>	62.36	67.21	209.56	75.75	82.66	15.44	0.18	7.66	2.09	0.00	58.71	198.80	780.43	84.73

P = Precipitación mensual (mm) Q<sub>obs</sub> = Escurrimiento total mensual observado (mm)

Q<sub>cal(2)</sub> = Escurrimiento total mensual calculado considerando 2 años de calibración (mm)

Q<sub>cal(3)</sub> = Escurrimiento total mensual calculado considerando 3 años de calibración (mm)

EF = Coeficiente de eficiencia (%)

Cuadro4. Resultados de la simulación del escurrimiento superficial total mensual y anual calculados por el modelo MOPEAU para la subcuenca del río Grande para el año 1979.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	EF %
P	81.72	96.80	234.14	120.12	143.48	38.79	20.90	117.79	27.82	61.33	164.57	238.69	1346.15	
Q <sub>obs</sub>	64.90	74.60	200.00	104.90	68.80	33.40	10.70	8.80	4.10	5.00	39.90	151.00	766.10	
Q <sub>cal(2)</sub>	61.99	78.30	203.49	92.32	91.24	2.06	10.00	4.78	3.01	4.80	55.666	214.15	821.80	87.11
Q <sub>cal(3)</sub>	60.15	78.88	200.39	89.71	86.56	1.35	9.00	3.52	4.00	4.70	39.47	211.57	789.30	82.06

P = Precipitación mensual (mm) Q<sub>obs</sub> = Escurrimiento total mensual observado (mm)

Q<sub>cal(2)</sub> = Escurrimiento total mensual calculado considerando 2 años de calibración (mm)

Q<sub>cal(3)</sub> = Escurrimiento total mensual calculado considerando 3 años de calibración (mm)

EF = Coeficiente de eficiencia (%)

Cuadro5. Resultados de la simulación del escurrimiento superficial total mensual y anual calculados por el modelo MOPEAU para la subcuenca del río Our para el año 1979.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	EF %
P	93.85	152.76	229.49	107.91	142.64	46.96	23.39	107.21	30.51	55.23	160.56	223.75	1384.27	
Q <sub>obs</sub>	70.50	113.80	176.70	83.90	60.40	24.90	9.50	10.00	5.40	5.20	27.30	119.00	706.60	
Q <sub>cal(2)</sub>	67.70	127.56	189.10	71.27	74.49	21.89	7.10	0.83	0.00	0.00	7.60	188.96	756.50	80.00
Q <sub>cal(3)</sub>	67.95	127.79	189.51	71.62	75.11	20.40	6.15	0.87	0.00	0.00	8.10	190.46	676.96	79.00

P = Precipitación mensual (mm) Q<sub>obs</sub> = Escurrimiento total mensual observado (mm)

Q<sub>cal(2)</sub> = Escurrimiento total mensual calculado considerando 2 años de calibración (mm)

Q<sub>cal(3)</sub> = Escurrimiento total mensual calculado considerando 3 años de calibración (mm)

EF = Coeficiente de eficiencia (%)

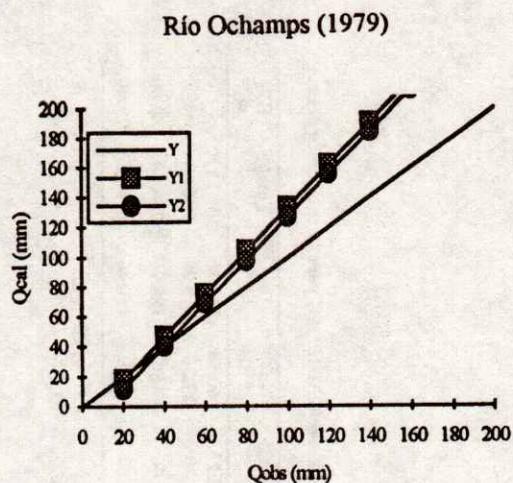


Figura 2. Relación entre los escurrimientos mensuales observados y calculados por el modelo MOPEAU para el año 1979 en la cuenca del río Ochamps.

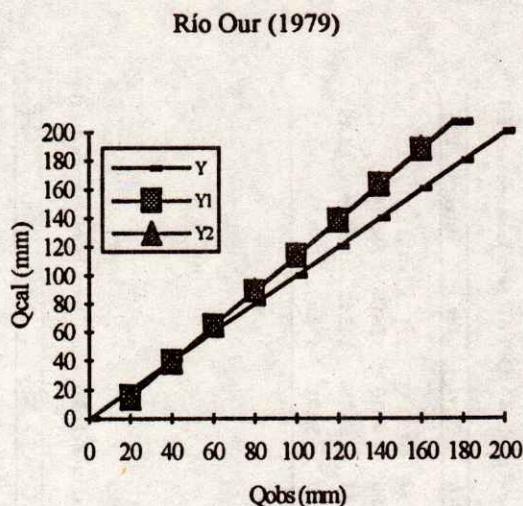


Figura 4. Relación entre los escurrimientos mensuales observados y calculados por el modelo MOPEAU para el año 1979 en la cuenca del río Our.

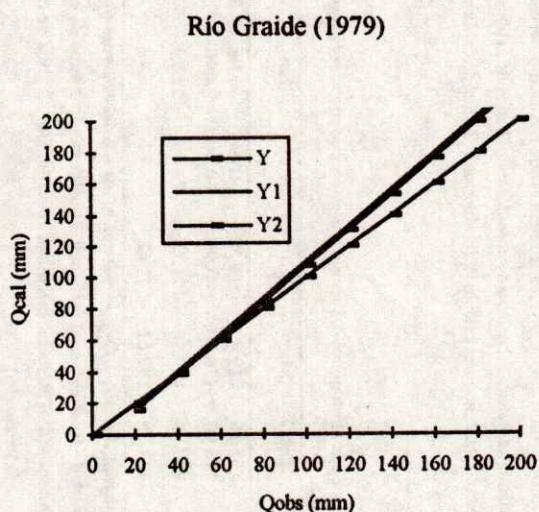


Figura 3. Relación entre los escurrimientos mensuales observados y calculados por el modelo MOPEAU para el año 1979 en la cuenca del río Graide.

Durante la calibración del modelo MOPEAU se observó que la previsión llevada a cabo con el coeficiente de agotamiento B,

calibrado a 2 años, presentó mejores resultados que cuando se consideraron 3, 4 y 5 años de la calibración. Lo anterior se debe a la presencia permanente de datos de los años 1977 y 1978, particularmente húmedos.

## CONCLUSIONES

El modelo MOPEAU puede aplicarse para la previsión de escurrimientos superficiales de pequeñas cuencas hidrológicas en el caso de indisponibilidad de información hidrológica precisa para llevar a cabo proyectos de conservación de suelos, captación de agua de lluvia y diseño de obras de ingeniería agrícola en general.

Dado que el valor estimado de la curva numérica (CN) se determina sobre la condición hidrológica del terreno y la base suelo-cobertura vegetal, el modelo MOPEAU puede aplicarse sin importar el tipo de cuenca

hidrológica. Si se consideran las variaciones espacio-temporales de los escurrimientos; dos años de registro de escurrimientos observados y al menos 5 años de datos de evaporación media mensual son suficientes y necesarios para la calibración del modelo.

El modelo MOPEAU considera únicamente la producción de agua, sin tener en cuenta el balance hídrico. Las pérdidas por infiltración y evapotranspiración se consideran de manera global, mediante un parámetro sustractivo y un coeficiente de agotamiento.

## LITERATURA CITADA

- HAWKING R.H., A.T. HJELMFELT Jr., and A.W. ZEVENBERGEN. 1986. Runoff probability, storm depth and curve numbers. *Journal Irrigation Drainage Engineering* 3(4): 330-340.
- NASH, J. L., and J.V. SUTCLIFFE. 1970. River flow forecasting through conceptual models, 1. A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10: 282-290.
- OROPEZA M., J.L. 1990. Simulation des écoulements des cours d'eau dans les petits bassins versants ruraux. Thèse de Doctorat. Génie Rural I. Université de Gent, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (USDA). 1968. National Engineering Handbook Hydrology. Section 4. Hydrology. U.S. Government Printer Office, Washington, D.C., USA.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (USDA). 1972. National Engineering Handbook Hydrology. Section 4. Hydrology. U.S. Government printer Office, Washington, D.C., USA.
- SCHWAB, M., and L.K. SHERMAN. 1981. Discussion of infiltration formula SCS curve number. *Journal Irrigation Drainage Division.* 104: 462-464.
- WILLIAMS, J.R., and W.V. LASEUR. 1976. Water yield model using SCS curve number. *J. Hydraulics Division,* 120: 1241-1253.

# EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SILVICOLAS Y LA PENDIENTE SOBRE EL ESCURRIMIENTO Y LA EROSION

Effects of Silvicultural Treatments and Slope on the Erosion and Runoff.

G.M. Alvarez\* y J.L. Tovar Salinas\*\*

\*Instituto Tecnológico Forestal No. 1, Apartado Postal 2, El Salto, P.N., Dgo., C.P. 34950

\*\*Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

*Palabras clave:* Suelo forestal, Lotes de escurrimiento, Erosión laminar y en canales, Sedimentos.

*Index words:* Forestry soil, Runoff plots, Sheet and rill erosion, Sediments.

## RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en 1989 en El Salto, Pueblo Nuevo, Dgo. Se evaluaron, por medio de lotes de escurrimiento, las pérdidas de suelo y los escurrimientos en tres tratamientos silvícolas (corta de regeneración, aclareo y sin aprovechamiento) y dos clases de pendiente (3 a 6% y 10 a 16%). Se tomó información durante toda la estación lluviosa, que comprende junio, julio, agosto, septiembre y octubre. Los lotes de escurrimiento se

distribuyeron en un diseño experimental completamente aleatorio con dos repeticiones. La combinación de los tres tratamientos silvícolas y las dos clases de pendiente generó seis tratamientos. Se hicieron mediciones de precipitación, escurrimiento y pérdidas de suelo. Los resultados obtenidos muestran mayores pérdidas de suelo y escurrimiento en la corta de regeneración, tratamiento en el cual la cobertura vegetal se reduce más drásticamente. El análisis estadístico determinó que hubo efecto del tratamiento silvícola pero no de la pendiente. Entre el tratamiento sin aprovechamiento y el aclareo no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en pérdida de suelo y escurrimiento. Las pérdidas de suelo, a pesar de la reducción de la cobertura vegetal, no fueron excesivas debido a que el suelo quedó protegido con residuos de mantillo y de los aprovechamientos forestales, además de que las lluvias no tuvieron excesiva erosividad; la mayoría fueron eventos con cantidades entre 0.1 y 5 mm (50%) y entre 5 y 10 mm (30%).

Recibido 3-95.

## SUMMARY

This work was conducted at El Salto, Pueblo Nuevo, Dgo. in 1989. Soil losses and runoff were evaluated using three silvicultural management systems (regeneration cutting, thinning, and no-harvesting), and two types of slope (3-6% and 10-16%). Information was collected through the rainy season from June to October. The runoff plots were distributed according with a completely randomized design with two replicates. Combination of the three silvicultural treatments and the two slope classes generated six treatments. Rain, runoff and soil erosion were measured. The results showed that the higher soil losses and runoff occurred under regeneration cutting when the vegetative cover is greatly reduced. The statistical analysis showed significant effects for the silvicultural treatments but not for slope. There was no significant difference between no-harvesting and thinning with respect to runoff and soil losses. Soil losses were no excessive in spite of the reduction in vegetation cover because the soil was protected by litter and harvest residues, and also because the rains were not very erosion-causing since most rainfalls were of between 0.1 and 5.0 mm (50%) and 5 and 10 mm (30%).

## INTRODUCCION

En las cuencas forestales, generalmente, se hacen los aprovechamientos del recurso forestal sin tomar en cuenta los efectos que estos puedan tener sobre los demás recursos de la cuenca, como son el agua y el suelo, entre otros. El uso irracional del bosque provoca que los recursos asociados (fauna, suelo y agua) y el bosque mismo se deterioren. Estos recursos se encuentran íntimamente relacionados y el uso inadecuado de alguno de ellos tienen impacto sobre los otros, por lo que es indispensable el

manejo integral y sostenido de ellos para evitar su deterioro.

En la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Dgo., el problema de la erosión aún no alcanza niveles de gravedad, pero es necesario hacer una evaluación del proceso, de tal forma que se cuente con bases para emprender avances que permitan evitar que se rebasen los límites aceptables de pérdida de suelo de acuerdo con las condiciones presentes en el mismo.

El problema de la erosión en terrenos forestales es usualmente menos severo que en terrenos cultivados, porque además de la cobertura aérea existe una acumulación de residuos orgánicos sobre la superficie del suelo que se conoce como piso forestal o mantillo. El resultado de todo esto es una tasa de erosión más baja y un menor escurrimiento máximo de las avenidas, comparado con terrenos similares con otros usos. Sin embargo, no todos los bosques se encuentran en estas condiciones (Hudson, 1982).

Los suelos forestales son intolerantes a la erosión, la cobertura forestal densa tiene un efecto altamente significativo en la reducción de la erosión. Por ejemplo, cuando la cobertura vegetal sobre el terreno se incrementa de 16 a 40%, las pérdidas de suelo se reducen en 56% (Klock, 1982).

La efectividad de los bosques en buenas condiciones en la reducción de las pérdidas de suelo y la regulación de algunos procesos del ciclo hidrológico como la precipitación y el escurrimiento, queda demostrado con una gran cantidad de estudios hechos al respecto.

La vegetación es el factor más fácilmente manipulable con un manejo cuidadoso, el reducir o aumentar su densidad tiene efecto sobre la magnitud de las avenidas y la producción total de escurrimiento (Trimble y Weirich, 1987).

Las actividades de manejo forestal, dentro de las que se incluye la extracción y la construcción de caminos incrementan la erosión y el escurrimiento por la remoción de la cubierta protectora del suelo y por el aumento de las fuerzas erosivas y la erosionabilidad del suelo (Megahan, 1986).

Una operación de cosecha del bosque requiere de caminos, pistas de aterrizaje, remoción de árboles, grúas, camiones para transporte, preparación del sitio y plantación o resiembra. Hasta el final de la cosecha, el rodal puede intervenir muchas veces para protegerlo de incendios, insectos o enfermedades. Para incrementar el crecimiento se puede practicar la fertilización y el corte de especies arbustivas no deseables.

Todas estas prácticas de manejo tienden a generalizarse y extienden su impacto sobre la erosión de los suelos (Cromack *et al.*, 1979).

El impacto de la intervención del hombre sobre la erosión en diferentes ecosistemas varía en función de una gran diversidad de factores que tienen que ver con el tipo de ecosistema, vegetación, suelo y clima entre otros.

En el presente trabajo se planteó el siguiente objetivo: evaluar las pérdidas de suelo y el escurrimiento en suelos con diferentes tratamientos silvícolas y pendiente.

## MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se encuentra ubicada en El Salto, Pueblo Nuevo, Dgo., al oeste del estado de Durango. La precipitación media anual es de 897 mm, el mes más seco es abril (9.2 mm) y el más húmedo es agosto (183.6 mm), con una temperatura media anual de 11.7 °C. Dominan los suelos: Cambisoles, Regosoles, Faeozems y

Litosoles. El uso del suelo es predominantemente forestal (coníferas y latifoliadas), pastizales naturales y pequeñas áreas agrícolas de temporal.

Para la evaluación de las pérdidas de suelo y los escurrimientos, se utilizaron lotes de escurrimiento, para cuya ubicación se tomaron en cuenta dos criterios: el tipo de tratamiento silvícola y la pendiente del terreno, variables que generaron los tratamientos evaluados. Los tratamientos silvícolas estudiados fueron: la corta de regeneración (R), el aclareo (A) y, como referencia, un área sin aprovechamiento (SA). Los aclareos de pendiente evaluadas fueron de 3 a 6% (P1) y de 10 a 16% (P2). Combinados estos factores en un diseño de tratamiento factorial con dos factores; el primero (tratamientos silvícolas) a tres niveles y el segundo (pendiente) a dos niveles con dos repeticiones, en un diseño experimental completamente aleatorio, generaron seis tratamientos y un total de 12 unidades experimentales.

Los seis tratamientos generados fueron: AP1, AP2, SAP1, SAP2, RP1 y RP2. El significado de las literales se definió anteriormente.

La medición de las pérdidas de suelo se hizo tomando muestras de los depósitos de los lotes de escurrimiento. Se determinó la cantidad de sedimentos en la muestra por filtración y se multiplicó por el total de escurrimiento colectado.

Las mediciones se hicieron diariamente, cuando hubo evento de precipitación. El período de recolección comprendió toda la estación lluviosa de 1989, de julio a octubre.

Todos los lotes de escurrimiento se caracterizaron en cuanto a variables topográficas, edáficas y de vegetación.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1, se presentan los valores obtenidos para las variables precipitación, escurrimiento y pérdidas de suelo para cada uno de los seis tratamientos.

Los datos obtenidos muestran una distribución irregular de la precipitación en todos los sitios experimentales, se encontraron diferencias estadísticamente significativas, prácticamente en todos los sitios de medición. Esta gran variación se debió a lo irregular de la topografía en el área de estudio aunque, en términos absolutos, la diferencia de altitud no sea mayor de 100 m. También se hizo un análisis de la distribución de la precipitación por clases, se encontró que las lluvias de 0.1 a 5 mm de lámina comprenden de 50 a 60% del total y las de 5 a 10 mm entre 25 y 30%. Esto indica que dominan las lluvias constantes pero en bajas cantidades por evento. En cambio, las lluvias mayores de 25 mm no abarcan más de 3% en todos los sitios experimentales. Generalmente coincidió que los eventos de precipitación en grandes cantidades presentaron valores altos de erosividad.

El análisis de varianza del escurrimiento en los tratamientos muestra efecto altamente significativo del tratamiento silvícola sobre el mismo, no así de la pendiente y la interacción de ambos (Cuadro 2).

Con el análisis de algunos contrastes, con el método de Scheffé (Martínez, 1981), queda claro que se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre la corta de regeneración y el aclareo, y entre el tratamiento sin aprovechamiento y la corta de regeneración, pero no entre el aclareo y tratamiento sin aprovechamiento.

Esto se explica por el hecho de que en la corta de regeneración se tiene un espesor del

mantillo y una densidad del arbolado menor y, en consecuencia, el efecto de sellamiento de la superficie del suelo conduce a una menor infiltración y a un mayor escurrimiento debido a la carencia del efecto protector de la cobertura superficial y aérea.

El análisis de varianza de las pérdidas de suelo demuestra que hubo efecto estadísticamente significativo sobre las mismas de los tratamientos silvícolas, pero no así de la pendiente ni de la interacción entre ambos (Cuadro 3).

Al analizar algunos contrastes relevantes se encontró diferencia estadísticamente significativa entre el aclareo y la corta de regeneración, entre el tratamiento sin aprovechamiento y la corta de regeneración con pendiente de 10 a 16%, pero no entre el tratamiento sin aprovechamiento y el aclareo. Sólo se encontró efecto de la pendiente en la corta de regeneración entre los tratamientos RP1 y RP2.

En este caso se identificó un comportamiento similar entre el escurrimiento y las pérdidas de suelo. Cuando aumentaron los escurrimientos, también se presentó un incremento en las pérdidas de suelo. En este caso, ya se empezó a notar efecto de la pendiente en la corta de regeneración, debido a la ausencia de obstáculos, el escurrimiento alcanzó mayores velocidades y su poder erosivo fue más grande.

Del total de la precipitación, el porcentaje de escurrimiento para los tratamientos SAP1, SAP2, AP1, AP2, RP1 y RP2 fue de 1.3, 0.04, 0.32, 0.10, 2.0 y 4.6%, respectivamente. Se notó una clara tendencia del escurrimiento a incrementarse conforme se redujo la densidad del arbolado. Existen trabajos que reportan cantidades similares en bosques no disturbados (Pathak *et al.*, 1984).

**Cuadro 1. Resumen de datos de precipitación, escurrimiento y pérdidas de suelo para los diferentes tratamientos durante la estación lluviosa de 1989 en El Salto, P.N., Dgo.**

Tratamientos	Precipitación	Escurrimiento	Pérdida de suelo
	----- mm -----		kg/ha
SAP1	459.85	6.262	7.83
SAP2	456.02	0.186	2.70
AP1	473.47	1.549	26.07
AP2	460.72	0.484	5.57
RP1	586.85	11.943	38.64
RP2	586.85	27.438	230.56

SAP = sin aprovechamiento; P1 = pendiente de 3 a 6%, P2 pendiente de 10 a 16%; A = aclareo; R = corta de regeneración.

**Cuadro 2. Análisis de varianza para la variable escurrimiento.**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de grados	Cuadrado medio	F calculada
Trat. Silvícola	2	370.9250	185.4625	12.07
Pendiente	1	4.1070	4.1070	0.26
Interacción	2	47.1286	23.5643	1.54
Error	6	92.1272	15.3545	
Total	11	514.2880		

**Cuadro 3. Análisis de varianza para la variable pérdida de suelo.**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de grados	Cuadrado medio	F calculada
Trat. Silvícola	2	41243.85	26621.92	5.13
Pendiente	1	9210.51	9210.51	2.37
Interacción	2	28045.02	14022.51	3.61
Error	6	23292.24	3882.04	
Total	11	101791.63		

Este comportamiento tan similar del escurrimiento y las pérdidas de suelo desde el punto de vista del manejo de una cuenca resulta contradictoria.

Por un lado, existen cuencas en las cuales la escasez de agua (en las partes bajas) hace necesario el incremento en los escurrimientos, lo cual puede lograrse al reducir la densidad de la cobertura vegetal, pero por otro lado, al reducir la densidad de la masa forestal, se incrementa la erosión hídrica. La cuestión es encontrar un

punto de equilibrio de tal forma que se aumente el escurrimiento, pero sin rebasar los límites aceptables de pérdidas de suelo.

## CONCLUSIONES

Conforme se reduce la cobertura vegetal, tanto superficial como aérea, se producen incrementos en el escurrimiento y las pérdidas de suelo en áreas forestales. Este efecto se incrementa por la pendiente.

En general, la corta de regeneración produce mayor cantidad de escurrimientos y pérdidas de suelo que el aclareo y el tratamiento sin aprovechamiento.

En el tratamiento silvícola corta de regeneración, se presenta con mayor claridad el efecto de la pendiente, debido a que el escurrimiento alcanza mayor velocidad y, en consecuencia, es mayor su capacidad de transporte de partículas de suelo.

Debe tenerse mucho cuidado en el establecimiento de cortas de regeneración en rodales con pendientes excesivamente altas porque se corre el riesgo de rebasar los límites aceptables de pérdidas de suelo, los cuales, en la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Dgo., son bajos debido a lo somero de los suelos forestales.

## LITERATURA CITADA

- CROMACK, K., F.J. SWANSON, C.C. GRIER. 1979. A comparison of harvesting methods and their impact on soils and environment. Forest Soils and Land Use. Proc. 15th North Amer. For. Soils Conf., USA.
- HUDSON, N. 1982. Conservación del suelo. Ed. Reverté, Barcelona, España.
- KLOCK, G.O. 1982. Some soil erosion effects on forest soil productivity. In: Determinants of soil loss tolerance. Publication No. 45. American Society of Agronomy, and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- MARTINEZ G., A. 1981. Diseños experimentales. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- MEGAHAN, W.F. 1986. Recent studies on erosion and its control on forest land in The United States. P. 178. In: International Union of Forest Research Organizations (IUFRO). 18th World Congress. Division I., Vol. I. Yugoslavia.
- PATHAK, P.C., A.N. PANDEY, and J.S. SING. 1984. Overland flow sediment output and nutrient loss from certain forested sites in The Central Himalaya, India. Hydrol. 71: 239-251.
- TRIMBLE, S.W., and F.H. WERICH. 1987. Reforestation reduces streamflow in the south eastern Unites States. Soil Water Conservation 42: 274.

# EVALUACION DE MICROCUENCAS DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA "IN SITU", DISTANCIA ENTRE PEQUEÑOS DIQUES ("CONTRAS") Y DENSIDADES DE POBLACION EN LA PRODUCCION DE MAIZ PARA GRANO DE TECAMAC, EDO. DE MEXICO

*In situ* Evaluation of Micro-watersheds for Rain Water Trapping, Distance between Borders and Population Densities in Maize Grain Production in Tecamac, State of Mexico

Manuel Mora Gutiérrez\* y Jorge Tovar Salinas\*\*

\*Investigador del CIFAP-QUERETARO.

\*\*Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México.

*Palabras clave:* Areas con temporal deficiente, Aprovechamiento de la lluvia, Captación de lluvia, Microcuencas de captación.

*Index Words:* Rain deficient areas, Micro-watersheds, Maize, Population density.

## RESUMEN

Cerca de 23% de las cosechas de los cultivos se pierden por sequía, debido principalmente a que la precipitación es escasa y mal distribuida en 49% de la superficie agrícola del país, que corresponde a las zonas áridas y semiáridas. A pesar de esto, el maíz sigue siendo el cultivo que más se siembra en estas áreas debido a su importancia en la alimentación. En este trabajo se estudiaron tres factores: tamaño de microcuenca (1.10 m, 1.40 m y surcado

normal a 0.8 m), distancia entre contras (0.0, 1.25 y 2.50 m) y densidades de población (35, 50 y 65 plantas/surco de 20 m). Se utilizó un diseño de tratamientos de factorial 3<sup>3</sup> y un diseño experimental en bloques al azar con arreglo en parcelas subdivididas con tres repeticiones. Se usó la variedad de maíz H-32. La siembra se efectuó el 3 de julio de 1989. Se muestreo la humedad del suelo en 6 tratamientos. El ciclo del cultivo fue de 135 días y la lluvia acumulada de 202 mm. En el contenido de humedad del suelo se encontró que la microcuenca de 1.40 m captó más humedad. El efecto de los pequeños diques (contras) no fue consistente, ya que sólo se manifestó en el surcado normal. Respecto al rendimiento de grano, la mejor producción por hectárea fue estadísticamente igual entre la microcuenca de 1.40 m y el surcado tradicional. El efecto del conteo no fue significativo, sólo se presentó una tendencia de incremento con conteo a 2.50 m en la microcuenca de 1.40 m, la densidad de población mostró una tendencia a incrementar el

---

Recibido 3-95.

rendimiento por hectárea a medida que aumentó. La densidad más eficiente por planta varió según la microcuenca.

### SUMMARY

Close to 23% of crops harvests is lost due to drought caused by scarce and poorly distributed rain in 49% of the croplands in the country, that corresponds to the arid and semi-arid zones. Nevertheless, maize is the most planted crop in these areas due to its importance as food. Three factors were studied in this work: micro-watershed size (1.10 m, 1.40 m and usual furrow at 0.80 m), distance between edges (0, 1.25 and 2.50 m); and plant densities (35,50 and 65 plants per 20 m furrow). Treatments were according to a  $3^3$  factorial in a randomized complete blocks design with split-plots and three replicated. The maize variety used was H-32. Seeding date was July 3 1989. Crop cycle was 135 days and accumulated rain water was 202 mm. The 1.40 m micro-watershed trapped the most water. The edging effect was inconsistent and was only expressed in the usual furrowing. With respect to grain yield it was statistically equal in the 1.40 micro-watersheds and in the traditional furrowing. The border effect was non significant and there was just a tendency for the 2.50 bordering in the 1.40 m micro-watershed to yield more grain. Yield/ha increased with increased plant density. The more efficient plant density varied according to the micro-watershed.

### INTRODUCCION

De la superficie agrícola del país, aproximadamente 70% corresponde a las áreas de temporal (INEGI, 1987). Un enfoque que se ha utilizado recientemente en la determinación de la aptitud de las tierras, en la producción de cultivos, es el propuesto por FAO (Ortiz, 1984),

en el cual se estima el balance hídrico entre precipitación y evapotranspiración potencial; considerando este enfoque, en el país se han determinado los períodos de crecimiento que se definen como aquellos en los que existe humedad y temperatura adecuada para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Se ha encontrado que 49% de la superficie tiene períodos de crecimiento de 0 a 90 días, períodos insuficientes para el desarrollo de varios cultivos básicos; otro 15% corresponde a períodos que van de 90 a 150 días, en donde algunos años se presentan problemas de sequía (Ortiz, 1984). Esta información es clara y muestra que la mayor parte de la superficie agrícola del país presenta problemas serios para que los cultivos cubran sus requerimientos hídricos, de tal manera que 23% de las cosechas de los cultivos se pierden anualmente por sequía. Como una alternativa para contribuir al incremento de la producción en estas áreas, se llevó a cabo este trabajo cuyo objetivo principal fue: evaluar tres tamaños de microcuenca de captación de lluvia, en relación con tres distancias entre contras y tres densidades de población, en la producción de grano de maíz, bajo la hipótesis de que a mayor tamaño de microcuenca, con contreo y con una densidad de población media, se incrementarán los rendimientos.

### MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se desarrolló en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados ubicado en Tecámac, estado de México. Se evaluaron tres factores: tamaño de microcuenca (1.10 y 1.40 m y surcado a 0.8 m) distancia entre contras (0.0, 1.25 y 2.50 m) y densidad de población (35, 50 y 65 plantas/surco de 10 m). Se utilizó un diseño de tratamientos factorial  $3^3$  que generó 27 tratamientos. El diseño experimental fue en bloques al azar con arreglo en parcelas subdivididas con tres repeticiones; la parcela

grande correspondió al tamaño de microcuenca, la parcela mediana a la distancia entre contras y la parcela chica a las densidades de población. La fórmula de fertilización empleada fue la 40-45-0 (kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, por hectárea, respectivamente). La siembra se efectuó el 3 de julio de 1989. Se utilizó la variedad de maíz H-32. Se realizaron muestreos de humedad en seis tratamientos en la parte final de la etapa vegetativa, durante toda la etapa reproductiva y en parte de la etapa de madurez. La cosecha de grano se hizo a los 135 días debido a la presencia de una helada severa que no permitió el total desarrollo del cultivo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El ciclo del cultivo fue de 128 días, período durante el cual se acumularon 202 mm de precipitación; esta cantidad estuvo muy por abajo de la normal o promedio (374 mm de junio a noviembre). Respecto a su distribución, 70% de la lluvia se presentó en la etapa vegetativa, 21% en la etapa reproductiva y 9% en la etapa de madurez. En relación con la humedad del suelo, los análisis de varianza detectaron diferencias estadísticas entre tamaños de microcuenca en 13 muestreos de los 21 efectuados. Figura 1 muestra la distribución de humedad del suelo por día de muestreo en las diferentes microcuencas.

En dicha figura, se observa que en la mayor parte del período muestreado las microcuencas de 1.40 y 1.10 m obtuvieron más humedad que el surcado normal; de esta manera, en base con los objetivos planteados de definir cual microcuenca permite captar mayor contenido de humedad, se encontró que de los muestreos realizados que presentaron diferencias estadísticas (13 en total) la microcuenca de 1.40 m obtuvo el contenido de humedad más alto, en 61.5% de dichos muestreos, la microcuenca de 1.10 m lo tuvo en 30.7% y el surcado normal en 7.6% de

los muestreos. Lo cual indica que la microcuenca de 1.40 m permitió captar un mayor contenido de humedad en el suelo, y le siguieron la microcuenca de 1.10 m y el surcado normal. Ortiz (1975); Martínez (1985); Osorio (1989) reportan que las microcuencas que poseen áreas de escurrimiento aportan agua extra al cultivo y aumentan el contenido de humedad en el suelo. Se concluye que estas microcuencas fueron mejores en la captación de lluvia, notándose una ligera superioridad en la de 1.40 m, esta superioridad se observó principalmente cuando la humedad edáfica disminuyó hasta niveles cercanos a punto de marchitez permanente (PMP) o por abajo de este nivel.

### Rendimiento de grano por superficie total

El rendimiento de grano es el parámetro de mayor interés en la producción de un cultivo como maíz, por lo tanto se espera que cualquier factor de estudio probado deberá repercutir en el rendimiento. Durante este ciclo se obtuvieron bajos rendimientos en el área del sitio experimental; principalmente las causas fueron sequía y una helada ocurrida a 102 días del ciclo del cultivo, durante el período de llenado de grano. Dicha helada provocó deshidratación de la planta y grano, lo que originó una considerable reducción en su peso. Sin embargo, estas condiciones llegan a presentarse con cierta frecuencia en regiones de clima templado y de temporal deficiente. De tal manera que estos resultados muestran una situación real de estas regiones. A continuación se presentan los resultados y discusión por variable estudiada.

Tamaño de Microcuenca. El análisis de varianza realizado para esta variable detectó que hubo diferencias estadísticas significativas entre tamaños de microcuenca (TM). En el Cuadro 1 se aprecia que la microcuenca que obtuvo el mayor rendimiento fue el surcado normal (Tmo), seguida por la microcuenca de 1.40 m (TM<sub>2</sub>) y la

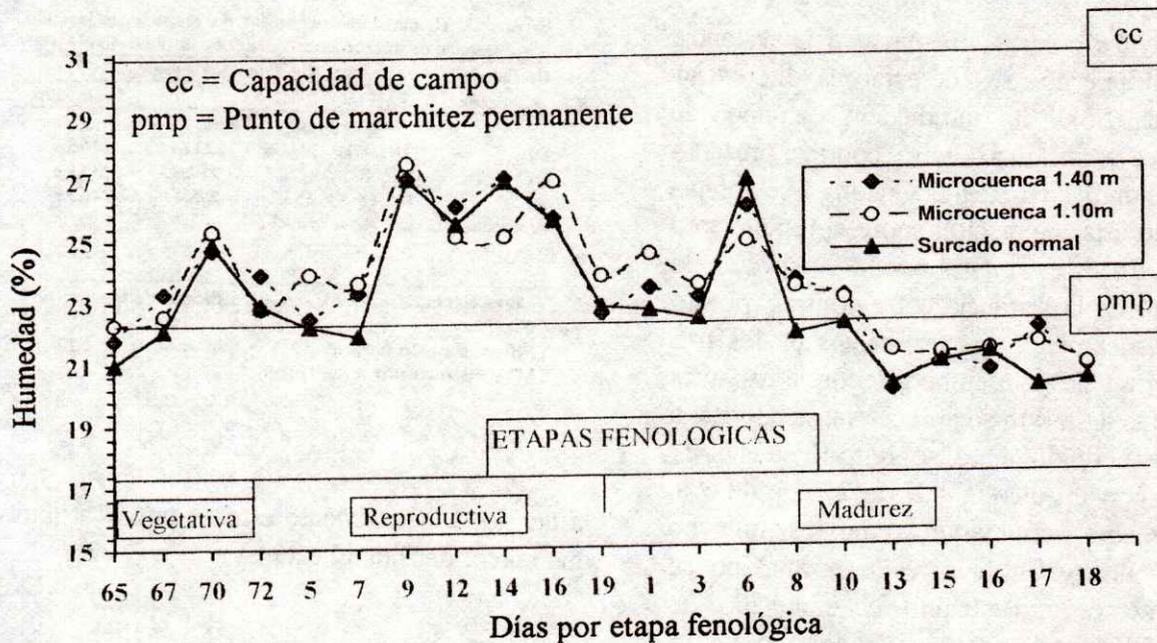


Figura 1. Efecto de tres microcuencas sobre el contenido de humedad del suelo en maíz.

Cuadro 1. Rendimiento promedio de grano considerando tipo de microcuencana y distancia entre contras kg/ha.

Distancia entre contras	Rendimiento de grano			
	TM1	TM2	TM0	Promedio
0.0	181.7	210.32	297.2	229.7 a
1.25	170.9	191.32	276.4	212.8 a
2.50	217.86	302.2	213.3	244.4 a
Promedio	190.1	234.61	262.3	
	b	a	a	

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( $\alpha = 0.05$ ).

TM0 = surcado normal; TM1 = microcuencana de 1.10 m; TM2 = microcuencana de 1.40 m.

microcuencana de 1.10 m (TM<sub>1</sub>). Sin embargo, se encontró que el TM<sub>0</sub> y el TM<sub>2</sub> fueron iguales estadísticamente, según la prueba de Tukey, así mismo, el TM<sub>2</sub> y TM<sub>1</sub> también fueron similares. Estos resultados pueden fundamentarse por dos aspectos: el primero relacionado con el surcado normal donde el mayor rendimiento se debió a una mayor densidad de población/hectárea originada por menor distancia entre surcos. Puesto que el contenido de humedad del suelo en

este tamaño de microcuencana en promedio fue el más bajo durante el ciclo, por lo que el contenido de humedad no explica el mayor rendimiento. El segundo aspecto corresponde a la microcuencana de 1.40 m que estadísticamente fue igual que el surcado normal, donde si se puede atribuir, en parte, a un mayor contenido de humedad durante el ciclo del cultivo, debido a que cuando los niveles de humedad del suelo estuvieron próximos a PMP este tamaño de microcuencana conservó mayor humedad, lo cual contribuyó a un mayor rendimiento de grano. Ya que en este TM la densidad de población/hectárea fue menor que los otros TM. Estos resultados coinciden con lo reportado por Antezana (1978); Núñez (1982), Duarte (1985) quienes encontraron que los mayores TM captaron más humedad; sin embargo, en algunos casos se ha mencionado que este incremento de humedad no es suficiente para aumentar la producción de tal manera que compense la menor densidad de población, comparada con la densidad del método tradicional (Martínez, 1985).

Distancia entre contras. Respecto a la distancia entre contras, no se detectaron diferencias estadísticas. Sólo la interacción tamaño de microcuencia x distancia entre contras presentó diferencia significativa. En el Cuadro 1 se aprecia el efecto de esta interacción sobre el rendimiento de grano. En este Cuadro puede verse que no hubo efecto de la distancia entre contras, puesto que, estadísticamente, los promedios en los tres TM fueron iguales, sin embargo, con la distancia entre contras a 2.50 m se aprecia una tendencia a incrementar el rendimiento, sobre todo en el TM1 y el TM2 con un incremento de 27.6 y 43.6%, respectivamente, comparado con los que no tuvieron contreo. En el surcado normal no se observó efecto, aun cuando el contenido de humedad del suelo fue mayor con contreo a 1.25 m, lo cual indica que no fue suficiente la humedad almacenada en esta distancia de contreo para incrementar el rendimiento. Por lo anterior, se aprecia que hubo una tendencia de incrementar el rendimiento conforme se aumentó la distancia entre contras, principalmente las TM1 y TM2, aunque cabe aclarar que la distancia a 1.25 m entre contras no mostró aumento en el contenido de humedad del suelo en estas microcuencas, de manera que tal vez la distancia mayor puede ser más favorable para captar humedad. Por otro lado, es interesante el resultado que se observó en el TM2 con contreo a 2.50 m puesto que fue el valor promedio mayor, a pesar de que esta microcuencia tuvo la densidad de población menor por hectárea; lo que hace suponer que aunque hubo menor número de mazorcas éstas aprovecharon mejor la humedad captada. En base con lo anterior, se desprende que bajo estas condiciones de lluvia, el efecto del contreo no fue consistente en los tres tamaños de microcuencia.

Densidad de población. Referente a esta variable no se detectaron diferencias estadísticas, sin embargo se aprecia en el Cuadro 2 una tendencia de incremento en rendimiento conforme aumentó

Cuadro 2. Rendimiento promedio de grano considerando tamaño de microcuencia y densidad de población.

Densidad de población	Rendimiento de grano			
	TM1	TM2	TM0	Promedio
	-----kg/ha-----			
D1	188.0	207.86	223.69	206.5 a
D2	197.08	242.27	264.5	234.6 a
D3	185.42	253.7	298.6	245.9 a
Promedio	190.16	234.5	262.2	
	a	a	b	

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( $\alpha = 0.05$ ).

TM0 = surcado normal; TM1 = microcuencia de 1.10 m; TM2 = microcuencia de 1.40 m

la densidad, básicamente esto se puede atribuir a una mayor densidad/hectárea.

## CONCLUSIONES

En base con los objetivos de la presente investigación se concluye lo siguiente:

- La microcuencia de 1.40 m fue mejor en la captación de humedad.
- El efecto del contreo en el contenido de humedad del suelo no fue consistente en las tres microcuencas.
- El rendimiento de grano/hectárea fue definido por una mayor densidad de población por hectárea en el surcado normal y en la microcuencia de 1.40 m. El contenido de humedad contribuyó a un mayor rendimiento.
- El contreo a 2.50 m presentó cierta tendencia a incrementar los rendimientos en las microcuencas de 1.10 y 1.40 m.
- La mayor densidad de población presentó una tendencia a incrementar el rendimiento.

## LITERATURA CITADA

- ANTEZANA T., J. 1978. Influencia de la captación *in situ* de agua de lluvia, cobertura de rastrojo y fechas de siembra en la producción de maíz de temporal. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- DUARTE R., J.J. 1985. Captación de agua de lluvia y su optimización para la producción de maíz bajo condiciones de temporal en la Cuenca del Valle de México. Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1987. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. México, D.F.
- MARTINEZ G., A. 1985. Respuesta del maíz a cuatro tamaños de microcuencas y diferente arreglo topológico bajo temporal deficiente en Sandoval, Aguascalientes. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.
- NUÑEZ A., R. 1982. Captación de lluvia y conservación de la humedad del suelo en la producción de cebada bajo condiciones de temporal. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- ORTIZ M., J. 1975. Efecto de las microcuencas para la captación *in situ* de la lluvia sobre el régimen de humedad del suelo y la producción de maíz y girasol. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- ORTIZ S., C. 1984. Evaluación de la aptitud de las tierras de México para la producción de maíz, frijol y sorgo en condiciones de temporal. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- OSORIO A., G. 1989. Optimización del agua de lluvia mediante la captación *in situ*, cobertura orgánica y arreglo espacial en maíz en función del volumen de agua por planta. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

# DISTRIBUCION DEL SISTEMA RADICAL DEL MAIZ Y DE LA HUMEDAD DEL SUELO BAJO LA TECNICA DE CAPTACION *in situ* DEL AGUA DE LLUVIA.

Distribution of the Corn Root System and Soil Moisture under Micro-watershed Rainfall Collection.

Guadalupe Osorio A.\*  
Jorge L. Tovar S.\*\*

\*CECH-CIFAPSON

\*\*CEDAF, Colegio de Postgraduados

*Palabras claves:* Maíz, Sistema radical, Captación de lluvia.

*Index words:* Corn, Root system, Rainfall collection.

## RESUMEN

En este estudio se cuantificó estadísticamente la distribución de la humedad y de las raíces en sentido perpendicular a la longitud de la microcuenca; se encontró que el contenido de humedad y la densidad de raíces tienen un mayor pronunciamiento en contraposición del área de escurrimiento.

También se cuantificó la distribución radical en estratos de 15 cm hasta una profundidad de 60 cm en unidades experimentales con tratamientos de tamaño de microcuenca, cobertura de paja de cebada

y volumen de agua a captar por planta. En este muestreo se obtuvo que existe una mayor densidad de raíces en la microcuenca de captación, en cualquier estrato, pero principalmente en los primeros 15 cm, en comparación con los surcos normales. El mayor volumen de agua por planta (200 L) también propició una mayor densidad de raíces en el primer estrato y un incremento ligero en los otros. En cuanto a la cobertura orgánica, se observó que con el nivel superior (0.5 kg/m<sup>2</sup>) aumentó el peso de raíces en la primer capa pero fue disminuyendo con el suelo desnudo.

## SUMMARY

The purpose of this study was the statistical quantification of moisture and root systems perpendicularly to the micro-watershed length. It was found that moisture content and root density tended to increase opposite to the runoff area.

---

Recibido 3-95.

Also, the root system distribution was quantified in strata of 15 cm down to 60 cm depths in the experimental plots under the treatments micro-watershed (MS), barley straw mulching (C) and volume of water expected to be used per plant (V). The results showed a larger root density in MS through all strata but particularly in the first 15 cm, as compared to the normal rows. The larger volume of water per plant (200 L) also induced a greater root density in the first stratum and a light increase in the other strata. With respect to C it was observed that the higher level (0.5 kg/m<sup>2</sup>) increased root weights in the first stratum, but decreased with depth in comparison with the bare soil.

## INTRODUCCION

El conocimiento del área de exploración del sistema radical de un cultivo, es importante para el mejoramiento del diseño de las microcuencas de captación de agua de lluvia *in situ* (Anaya *et al.*, 1976), además, el conocer el patrón de distribución radical bajo esta técnica de producción agrícola, permite mejorar las prácticas agronómicas, principalmente en lo referente a la colocación del fertilizante y el registro de observaciones de humedad del suelo con fines experimentales.

Dentro de la técnica de captación *in situ* del agua de lluvia existen algunas prácticas de producción para conservar la humedad del suelo en el área de siembra y hacer más eficiente el agua de lluvia; dentro de estas prácticas pueden estar la colocación superficial de coberturas orgánicas (Rocha, 1988) o el manejo de la densidad de población en el área de siembra a través de cierta superficie por planta (Martínez, 1985) o de determinado volumen de agua por planta (Osorio, 1989).

Debido al hidrotropismo característico de la raíz (Kramer, 1983), la distribución del sistema radical puede ser afectada bajo la técnica de captación *in situ* de la lluvia al utilizar un retardador de evaporación en el área de siembra y diferentes espaciamientos entre plantas para captar volúmenes de agua por planta.

Así, con base en el hidrotropismo de la raíz se pueden plantear las siguientes hipótesis: 1) al aumentar el tamaño de microcuenca, a un mismo volumen de agua estimado a captar por planta, se incrementa la cantidad de raíces con la profundidad, con respecto a los surcos normales; 2) al aumentar el volumen de agua por planta y la cobertura orgánica en el área de siembra, disminuye la cantidad de raíces con la profundidad y aumenta su crecimiento en la parte superficial; 3) en microcuencas de captación, la distribución de raíces, en sentido perpendicular a la microcuenca, es más acentuado aguas abajo (posición contraria a el área de escurrimiento).

Con el objetivo de obtener información que valide las hipótesis anteriores y sea útil para hacer más eficiente el agua de lluvia, se realizó el presente estudio en condiciones de temporal deficiente.

## REVISION DE LITERATURA

Los estudios de raíces son de gran importancia para detectar y mejorar el efecto del medio ambiente sobre el sistema radical y hacer más eficiente el uso del agua.

El desarrollo de las raíces depende de factores internos, como su potencial hereditario, y de factores del ambiente en que se desarrollen, tales como textura, profundidad, contenido de humedad, aireación y concentración de solutos del suelo, así como también de la competencia en otras raíces (Kramer, 1983).

Por lo expuesto anteriormente, es importante conocer el patrón de distribución de las raíces, ya que ello permite determinar su estado de desarrollo en el suelo y a la vez establecer un arreglo espacial de las plantas en el campo para evitar restricciones y obtener, así, un óptimo desarrollo que repercuta en un aumento de las cosechas (Kramer, 1974). Al respecto, también es importante conocer el área de exploración radical del cultivo para el mejoramiento del diseño de las microcuencas de captación de agua de lluvia *in situ*, (Anaya *et al.*, 1976); este conocimiento ayuda a mejorar las prácticas agronómicas, principalmente la referente a la colocación del fertilizante.

Los estudios de raíces no son muy comunes debido, principalmente, a que los métodos existentes son minuciosos, laboriosos y tardados. Bohm (1979) hace una compilación de los métodos de estudio más importantes y los agrupa de la manera siguiente: método de excavación, método de monolitos, método de barrena, método de la pared del perfil del suelo, método de paredes de vidrio y métodos indirectos.

La información sobre estudios de raíces es muy escasa y, más aún, específicamente, sobre la distribución de éstas en microcuencas de captación.

Campos (1982), en un trabajo sobre captación de agua de lluvia en cultivo asociado maíz-frijol, realizó un muestreo de raíces a través del método de excavación en la etapa de floración y observó la profundidad de raíces mayores a 1 mm. De esto dedujo que hubo una tendencia a profundizar de la raíz de los dos cultivos conforme se aumentó la distancia entre hileras, este mismo resultado fue para el número de raíces.

Mengel y Barber (1974) observaron, en maíz, que durante el período de transición entre la etapa vegetativa y la reproductiva, el peso seco del follaje aumentó considerablemente, mientras que la raíz disminuyó su crecimiento. También mencionan que la distribución de las raíces se encuentran en los primeros 15 cm durante los primeros 70 días, mientras que dos semanas después, la mayor cantidad se encuentra después de los 15 cm de profundidad.

Barber encontró que la variación en longitud con la raíz por unidad de área para maíz guarda estrecha relación con la edad de la planta y que la máxima longitud ocurre durante la inflorescencia, la cual se incrementó en forma exponencial en las primeras tres semanas de crecimiento y en forma lineal durante el cambio vegetativo-reproductivo que sucedió a los 80 días. Durante las dos semanas que duró la inflorescencia, la longitud por unidad de área fue constante y después decreció rápidamente.

Duarte (1985), en Tecámec, Méx., efectuó un estudio de raíces en maíz durante la etapa de floración (50% de floración), con tres métodos de siembra (plano, surco y microcuenca), con diferente separación y con una densidad de población de 45,000 plantas/ha. La metodología consistió en usar palas rectas para sacar un monolito que contenía dos plantas (una mata), a una profundidad de 40 cm, y cuantificar el número de raíces y su distribución a esa profundidad. Los resultados mostraron que no hubo variación para los tratamientos estudiados, aunque se tuvo la tendencia de que a medida que aumentó la separación de hileras se aumentó el número de longitud promedio de las raíces mayores de 1 mm de diámetro; así mismo, la siembra en plano produjo menor número y longitud promedio de raíces en 9.6 y 11.5%, respectivamente.

Uno de los estudios de raíces más minuciosos y completos en cuanto a distribución en microcuencas ha sido el desarrollo por Sánchez (1986) en frijol. Este autor estudió la distribución radical en surcos tradicionales y microcuencas de captación bajo condiciones de temporal, con diferente separación de hileras y matas. El muestreo se realizó utilizando el método del monolito, con la variante de usar una tabla con clavos como cuadrícula de apoyo; la distribución de raíces se estimó en función del peso seco de éstas se observó que en los surcos modificados (microcuencas) hubo una marcada tendencia de distribución hacia el lado contrario del área de escurrimiento, lo cual se supone es debido al patrón de distribución de la humedad. No obstante esta diferencia en distribución, el peso seco total de raíces obtenido a diferentes distancias entre hileras y entre matas resultó ser igual estadísticamente a un nivel de significancia de 5%.

Como conclusión de estos trabajos se tiene que para realizar el muestreo de raíces en maíz, la época adecuada es la etapa de transición de floración a formación de grano.

En cuanto a los métodos existentes para el muestreo de raíces, el método utilizado por Sánchez (1986) es el más adecuado para validar las hipótesis de este estudio.

Como conclusión de los estudios realizados de muestreo de raíces en maíz, se tiene que el crecimiento se intensifica hacia los puntos con mayor humedad.

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en un Haplustolls de la estación experimental de Tecámac, Méx. La profundidad efectiva del suelo es de 120 cm, de textura arcillosa en los primeros 60 cm (21%

arena, 23% limo, 56% arcilla), alto contenido de materia orgánica (4%), 14% de humedad aprovechable, permeabilidad moderada (infiltración básica de 1.46 cm/h), pH neutro, capacidad de intercambio catiónico de 46 meq/100 g suelo y 46% de saturación de bases.

El período de realización abarcó el verano de 1988; se utilizó la variedad de maíz H-32. La evaluación se efectuó en plantas de las unidades experimentales de un experimento colateral en donde se evaluaron tres factores de estudio: tamaño de microcuencas (0.85, 1.10, 1.45 y 1.90 m), volumen de agua a captar por planta (50, 125 y 200 L) y cobertura de paja de cebada en el área de siembra (0, 25 y 0.5 kg/m<sup>2</sup>). Los tratamientos se distribuyeron en el campo asignando el tamaño de microcuenca (TM) en la parcela principal y la combinación completa de los niveles de volumen de agua por planta (V) y cobertura (C) en la subparcela.

### Muestreo de Humedad

Al terminar el ciclo de cultivo se muestreó gravimétricamente la humedad del suelo en sentido perpendicular a la longitud de las microcuencas, se consideró la microcuenca central de las parcelas experimentales con subtratamientos V<sub>0</sub>C<sub>0</sub>, V<sub>0</sub>C<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>C<sub>0</sub> y V<sub>2</sub>C<sub>2</sub> y con dos repeticiones. El muestreo se realizó tomando como punto central de referencia a la planta de maíz en dos posiciones (aguas arriba o hacia el área de escurrimiento (N) y aguas abajo o en posición contraria al área de escurrimiento (S) con dos separaciones en cada posición (0 a 20 y 20 a 40 cm) y con dos profundidades del punto medio de cada separación (0 a 15 y 15 a 30 cm).

### Muestreo de Raíces

El método utilizado fue el del monolito, con la variación de utilizar una tabla con clavos (cuadrículada a 10 cm y con un orificio en cada

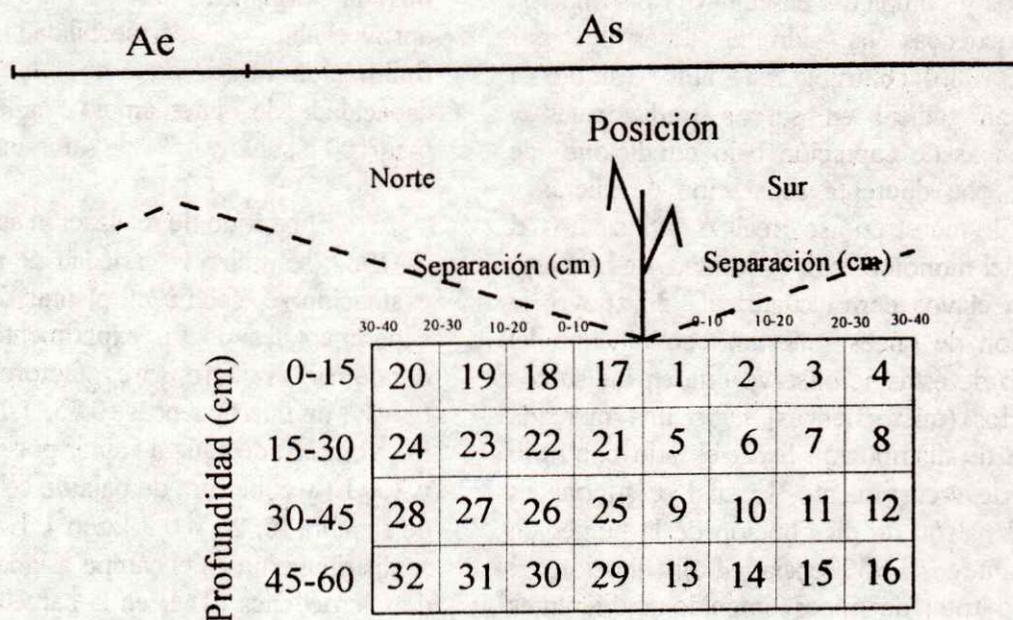


Figura 1. Representación esquemática e identificación de los puntos del muestreo de raíces en forma perpendicular a la microcuencia, en relación con la posición, separación y profundidad.

esquina de los cuadros). El muestreo consistió en excavar a 10 cm de la planta a ambos lados, hasta una profundidad de 60 cm y a una longitud de acuerdo con el tratamiento; posteriormente a un costado del monolito se colocó la placa de madera y se insertaron los clavos de alambón a través de ésta; enseguida se excavaron las partes extremas para sacar el monolito y transportarlo sobre la placa de madera hacia una pileta con agua, donde el suelo se eliminó agregando agua hasta dejar la raíz al descubierto; después se seccionó la raíz, de acuerdo con las cuadrículas presentadas en las Figuras 1 y 2, y cada muestra de raíz previamente identificada se colocó en la estufa de aire forzado hasta que ésta alcanzó un peso constante.

El muestreo de raíces se realizó en la etapa fenológica de grano lechoso, en sentido

perpendicular y paralelo a la microcuencia, en tres repeticiones, en los tratamientos resultantes de la combinación factorial de los niveles inferiores y superiores de los tres factores de estudio; es decir, de los tratamientos:  $TM_1V_0C_0$ ,  $TM_1V_0C_2$ ,  $TM_1V_2C_0$ ,  $TM_1V_2C_2$ ,  $TM_4V_0C_0$ ,  $TM_4V_0C_2$ ,  $TM_4V_2C_0$  y  $TM_4V_2C_2$ .

El muestreo perpendicular se realizó únicamente en la microcuencia de 1.90 m (TM), suponiendo que en los surcos normales de 0.85 cm (TM) la distribución de raíces es similar a ambos lados por carecer de un área de escurrimiento. Se seleccionó una planta en la parte central de la parcela, se tomó su tallo como referencia, se utilizó el monolito de una longitud de 80 cm (40 cm aguas abajo = posición sur y 40 cm aguas arriba = posición norte). La

representación esquemática del muestreo se observa en la Figura 1.

El muestreo paralelo a la microcuencia se efectuó seleccionando tres plantas equidistantes, de tal manera que la longitud del monolito muestreado correspondió a la distancia existente entre las plantas respectivas de cada tratamiento. En este muestreo se consideró, para la identificación de la muestra de cada tratamiento, únicamente la profundidad, de tal modo que se tuvieron cuatro muestras de raíces por tratamiento, correspondiente cada una a un estrato de suelo de 15 cm, considerando estratos de este espesor hasta una profundidad de 60 cm. Cabe aclarar que la cantidad de raíces de cada muestra, en este tipo de muestreo, correspondió a dos plantas ya que se tomó una planta completa (la del centro del monolito) y la mitad de cada una de las plantas ubicadas en los extremos del monolito. La representación esquemática del muestreo se aprecia en la Figura 2.

### Análisis Estadístico

La metodología consistió en un análisis de varianza para un diseño balanceado al azar,

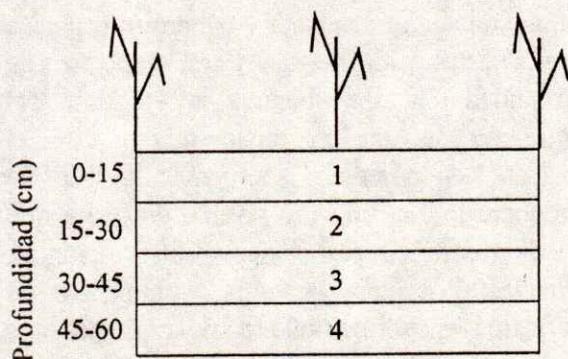


Figura 2. Representación esquemática e identificación de los puntos del muestreo de raíces en forma paralela a la microcuencia, en relación con la profundidad.

con número de repeticiones y arreglo de tratamientos de acuerdo con la variable de respuesta analizada. Posteriormente se realizaron pruebas de comparación de medias para efectos promedios e interacciones de los factores (Martínez, 1988).

La distribución de la humedad del suelo en sentido perpendicular a la microcuencia, se analizó con un arreglo de parcelas subdivididas, con dos repeticiones. Se consideró el tamaño de microcuencia (TM<sub>2</sub>, TM<sub>3</sub> y TM<sub>4</sub>) en parcela grande; el factorial 2 x 2, de la combinación de los niveles inferiores y superiores de cobertura y volumen de agua/planta (C<sub>0</sub>, C<sub>2</sub>, V<sub>0</sub>V<sub>2</sub>), en parcela mediana; y el factorial 2 x 2 x 2, formado por los niveles de posición (PO), profundidad (P) y separación (SP) de muestreo, en la parcela chica.

La distribución de raíces en sentido perpendicular a la microcuencia (TM<sub>4</sub>) se realizó en un arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones, se consideró en la parcela principal el factorial 2 x 2, resultante de la combinación de los niveles inferiores y superiores de la cobertura y volumen de agua/planta, y en la subparcela el factorial 2 x 4 x 4 formado por los niveles de posición, profundidad y separación de muestreo.

La distribución de raíces en sentido paralelo a la microcuencia se analizó en un arreglo de parcelas subdivididas con tres repeticiones; se consideró el tamaño de microcuencia (TM<sub>1</sub> y TM<sub>4</sub>) en la parcela grande, el factorial 2 x 2, de la combinación de los niveles inferiores y superiores de cobertura y volumen de agua/planta, en la parcela mediana; y la profundidad de muestreo en la parcela chica.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Humedad del suelo perpendicular a la microcuena

Partiendo del supuesto de que en los surcos normales (TM = 0.85 m) la humedad del suelo se distribuye igualmente a ambos lados de la hilera de plantas, únicamente se consideraron los TM restantes. El análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre tamaño de microcuena, volumen de agua/planta y nivel de cobertura orgánica; sin embargo, se puede apreciar en el Cuadro 1 que, para cualquier tamaño de microcuena, el contenido de humedad del suelo es más pronunciado aguas abajo (en contraposición al área de escurrimiento), lo cual proporciona un indicio de que la densidad de raíces es mayor en dicha posición.

### Muestreo de raíces perpendicular a la microcuena

Considerando el hidrotropismo que poseen las raíces (Kramer, 1983), se partió del supuesto de que en los surcos normales o en la microcuena de 0.85 m, por ser similar el contenido de humedad del suelo a ambos lados de la hilera de plantas, la distribución de raíces también lo es; por lo que se realizó el muestreo, en este sentido, únicamente en la microcuena de mayor tamaño (1.90 m).

Cuadro 1. Distribución de la humedad del suelo perpendicularmente a la microcuena de captación. Tecámac, Méx. 1988.

Tamaño de microcuena m	Humedad	
	Aguas arriba	Aguas abajo
1.10	30.52	31.49
1.45	30.73	31.84
1.90	29.26	29.34

El análisis de varianza, utilizando como variable dependiente el peso de raíces en materia seca, únicamente detectó significancia estadística para profundidad (P) y separación de muestreo (SP); esta respuesta es lógica dado que a mayor profundidad y separación, el peso de raíces disminuye significativamente (Figura 3).

Para la variable posición (PO), la de mayor interés en este análisis, no hubo un efecto significativo; no obstante, al observar la Figura 3, puede apreciarse que existe una tendencia del sistema radical a ser más denso en la posición sur o aguas abajo (posición contraria a la del área de escurrimiento); esto muestra que, aunque en este tipo de muestreo no haya evidencia significativa, la raíz tiende a crecer hacia los puntos con mayor humedad.

El resultado coincide con el obtenido por Sánchez (1986) en frijol; lo cual proporciona una mayor confiabilidad para tomar decisiones en cuanto a prácticas culturales relacionadas con la distribución radical.

### Muestreo de raíces paralelo a la microcuena

Este muestreo se realizó, como se señala en la metodología, para analizar el efecto de los factores de estudio: tamaño de microcuena, volumen de agua por planta y cobertura orgánica sobre la distribución de raíces con respecto a la profundidad. Es de esperarse la pregunta del porqué no se analizó dicho efecto con el muestreo en sentido perpendicular a la microcuena. Esto no fue posible debido a que las diferentes separaciones entre plantas, originadas por los distintos volúmenes de agua/planta, encubrirían tal efecto ya que para los monolitos de suelo correspondientes al menor nivel de agua/planta, el mayor acercamiento entre plantas hubiera originado una mayor densidad de raíces; en tanto, con el muestreo en sentido paralelo dicho problema se disminuye, ya que

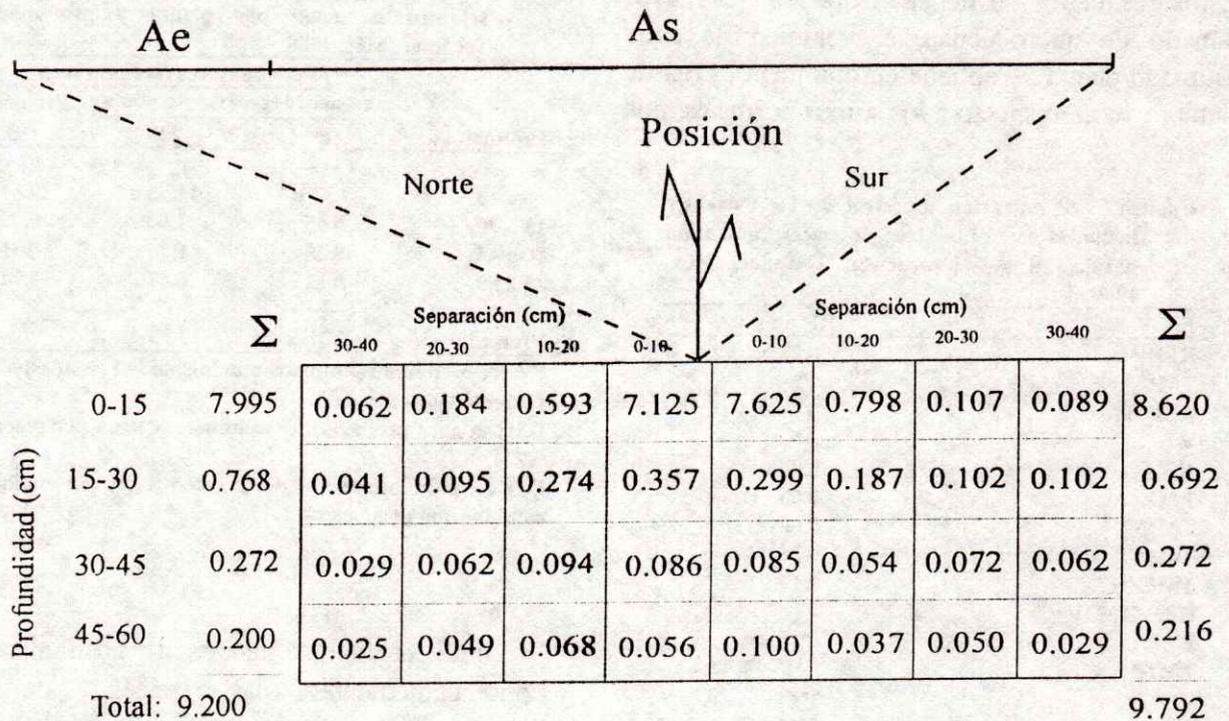


Figura 3. Representación esquemática de la distribución de raíces (g de materia seca) en sentido perpendicular a la microcuencia, en relación con la posición (PO), separación (SP) y profundidad (P). Tecamac, México, 1988.

aunque el volumen de suelo muestreado fue diferente para cada tratamiento de separación de plantas (volumen de agua/planta) esto se compensó al considerar la cantidad de raíces como producto de dos plantas, de tal forma que a un mayor distanciamiento entre plantas el monolito de suelo fue mayor pudiendo abarcar una mayor densidad radical para la planta central pero una menor para las dos plantas adyacentes, lo inverso sucedió con un mayor acercamiento entre plantas.

La significancia muestral para cada una de las variables incluidas en el muestreo, obtenida mediante el análisis de varianza, aparece en el Cuadro 2. Hubo un efecto significativo entre tamaños de microcuencia (TM), volúmenes de agua/planta (V), profundidades (P) y las

interacciones de profundidad con tamaño de microcuencia (TM x P), con volumen de agua por planta (V x P) y con cobertura (C x P) sobre el peso de raíces.

En el Cuadro 3 se presentan los promedios de raíces para profundidad, tamaño de microcuencia y su interacción. Se observa que con el tamaño de microcuencia de 1.90 m se obtuvieron los mayores pesos de raíces; esta diferencia se acentuó en el primer estrato de muestreo. Con relación a la interacción existente, se aprecia que en el mayor tamaño de microcuencia se incrementó la cantidad de raíces con respecto a los surcos normales (tamaño de microcuencia 0.85 m) en la mayoría de las profundidades, aunque estas diferencias no fueron significativas, a excepción del primer estrato.

Estos resultados se deben a que con el mayor tamaño de microcuencia, el volumen de agua estimado/planta se obtiene en una menor área de siembra, con respecto a los surcos normales, por

Cuadro 2. Significación muestral de las variables incluidas en el muestreo de raíces en sentido paralelo a la microcuencia. Tecámac, Méx. 1988.

F.V.	RP > F
REP	0.21
TM	*
REP*TM	*
V	*
C	0.96
V*C	0.65
TM*V	0.66
TM*C	0.26
TM*V*C	0.17
REP (TM*V*C)	
P	**
TM*P	*
V*P	**
C*P	0.66
V*C*P	0.91
TM*V*P	0.96
TM*C*P	*
TM*V*C*P	0.13

+, \*\* = Significativos al 5 y 1%, respectivamente.

REP = repetición; TM = tamaño de microcuencia; V = volumen de agua por planta; C = cobertura en la parcela; P = profundidad.

Cuadro 3. Peso promedio de raíces en las microcuencias de captación, a diferente profundidad. Tecámac, Méx. 1988.

Profundidad	Peso de raíces (materia seca)		Promedio
	Tamaño de microcuencia (m)		
	0.85	1.90	
cm	-----g-----		
0 a 15	8.85 b <sup>2</sup>	10.83 a	9.84
15 a 30	0.79 c	0.89 c	0.79
30 a 45	0.35 c	0.27 c	0.31
45 a 60	0.09 c	0.19 c	0.14
Promedio	2.50 B	3.04 A	

<sup>2</sup>Valores en una columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

DSH<sub>0.05</sub> para promedios de tamaño de microcuencia = 0.263

DSH<sub>0.05</sub> para promedios de profundidad = 0.979

DSH<sub>0.05</sub> para promedios de la interacción con cualquier combinación de niveles = 1.471.

Cuadro 4. Peso promedio de raíces en relación con volumen de agua por planta y profundidad. Tecámac, Méx. 1988.

Profundidad	Peso de raíces (materia seca)		Promedio
	Volumen de agua (L) por planta		
	50	200	
cm	-----g-----		
0 a 15	8.33 b <sup>2</sup>	11.35 a	9.84
15 a 30	0.55 c	1.04 c	0.79
30 a 45	0.25 c	0.37 c	0.31
45 a 60	0.12 c	0.17 c	0.14
Promedio	2.31 B	3.23 A	

<sup>2</sup>Valores en una columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

DSH<sub>0.05</sub> para promedios de volumen de agua por planta = 0.724.

DSH<sub>0.05</sub> para promedios de la interacción con cualquier combinación de niveles = 1.471.

lo que el agua tiende a profundizar y, consecuentemente, las raíces, por su hidrotropismo, aumentan su densidad con la profundidad.

La respuesta al volumen de agua por planta aparece en el Cuadro 4; como se esperaba, con el nivel superior de esta variable se obtuvo significativamente una mayor densidad de raíces, debido a que éstas se desarrollaron bajo mejores condiciones, propiciadas por un mayor espaciamiento entre plantas y una mayor disponibilidad de agua. En cuanto a la respuesta a los dos volúmenes de agua con respecto a la profundidad, se observa que al comparar volúmenes en un mismo estrato siempre es mayor la cantidad de raíces con 200 L de agua/planta, aunque esta diferencia fue significativa solamente en la primera profundidad; esto indica que el sistema radical, al desarrollarse en condiciones de mayor humedad tiende a un incremento más superficial y aún más si disminuye la competencia entre plantas por otros factores diferentes al del agua, es decir, si se aumenta el espaciamiento entre plantas como sucedió al proporcionar 200 L de agua por planta.

Cuadro 5. Peso de raíces en relación a la profundidad y cobertura orgánica.

Profundidad cm	Peso de raíces (materia seca)	
	Cobertura orgánica	
	0	0.05
0 a 15	9.55 a	10.13 a
15 a 30	0.91 b	0.67 b
30 a 45	0.42 b	0.20 b
45 a 60	0.17 b	0.10 b
Promedio	2.76	2.77

DHS0.05 para promedios de la interacción con cualquier combinación de niveles = 1.471.

Con relación al efecto causado por la cobertura, en la interacción significativa con tamaño de microcuenca y profundidad (TM x C x P), en el Cuadro 5 se muestran los promedios de raíces para los niveles de esta variable con referencia a la profundidad del suelo. Es observable que con la cobertura, aunque no en forma significativa, se presenta una tendencia a un menor incremento radical conforme aumenta la profundidad, lo cual se explica por el efecto causado de la cobertura sobre la conservación de la humedad en el primer estrato del suelo, de tal manera que en el suelo desnudo, al existir un menor contenido de humedad en la primera profundidad de muestreo, la raíz tiende a crecer a una mayor profundidad en respuesta a su acción hidrotópica.

## CONCLUSIONES

De este estudio se tiene como conclusión general que la densidad de raíces tiende a ser mayor en los puntos del suelo con mayor humedad.

Así, los resultados, aunque estadísticamente no significativos en algunos casos, muestran la tendencia hacia lo hipotetizado. En el muestreo perpendicular a la

longitud de la microcuenca hubo una mayor densidad de raíces en la posición contraria al área de escurrimiento en respuesta a la distribución del bulbo de humedad; este resultado coincide con el obtenido por Sánchez (1986), lo cual proporciona mayor confiabilidad para decidir sobre el cómo realizar algunas prácticas culturales relacionadas con la distribución radical.

En cuanto a la distribución radical en función de la profundidad y los factores de estudio, se obtuvo que la densidad de raíces fue mayor en la microcuenca, principalmente en los primeros 15 cm de profundidad; fue mayor en el nivel superior de volumen de agua captado por planta y bajo los niveles de cobertura; con 0.5 kg/m<sup>2</sup> la raíz tendió a acumularse en los primeros 15 cm de profundidad y a disminuir con la profundidad en contraste con el suelo desnudo.

En relación con el proceso metodológico del monolito apoyado en una placa cuadrículada y perforada, éste es laborioso como la mayoría de los demás métodos señalados en la literatura, pero permite cuantificar la distribución de raíces (en grosor, peso, etc.) en forma más real a la posición que guardan en el perfil de suelo ya que las raíces quedan confinadas por los clavos. Además, permite el conteo en varias dimensiones que pueden representarse en ejes de coordenadas para facilitar el análisis estadístico.

## LITERATURA CITADA

- ANAYA G., M.; J.L. TOVAR S.; A. MACIAS L. 1976. Métodos de captación de lluvia para zonas agrícolas con temporal deficiente. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- BOHM, W. 1979. Methods of studying root system. Springer Verlag, New York, USA.
- CAMPOS, S. de J. 1982. Efecto de la captación de lluvia, estiércol y rastrojo sobre la humedad del suelo y producción de la asociación maíz-frijol. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- DUARTE R., J.J. 1985. Captación de lluvia y su optimización para la producción de maíz bajo condiciones de temporal en la cuenca del Valle de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- KRAMER, P.J. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Edit. Eutec. S.A., México.

- KRAMER, P.J. 1983. Water Relations of plants. Academic Press, London, England.
- MENDEL, D.B., and S.A. BARBER. 1974. Development and distribution of the corn root system under field conditions. Agron. J. 66: 341-344.
- MARTINEZ G., A. 1985. Respuesta del maíz a cuatro tamaños de microcuencas y diferente arreglo topológico bajo temporal deficiente en Sandoval, Aguascalientes. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- MARTINEZ G., A. 1988. Notas del curso de Diseños Experimentales. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- OSORIO A., G. 1989. Optimización del agua de lluvia mediante captación *in situ*, cobertura orgánica y arreglo especial en maíz en función del volumen de agua por planta. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- ROCHA M., R. 1988. Efecto de coberturas orgánicas sobre el comportamiento de la humedad y temperatura del suelo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- SANCHEZ F., J. 1986. Estudio de la distribución radical de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en surcos tradicionales y microcuencas de captación bajo condiciones de temporal. Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

# EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN TRES SISTEMAS DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA CON ADICION DE ESTIERCOL EN MAIZ

Water Use Efficiency of Maize under Three Systems of Rainfall Water Trapping and Cattle Manure Use

J. L. Lara Mireles\* y L.M. Lasso Mendoza\*\*

\*Depto. de Suelos de la Escuela de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

\*\*Depto. de Suelos de la U.A.A.A.N., Escuela de Agronomía

*Palabras clave:* Híbrido, Microcuencas, Surcos modificados, Suelo migajon arcillo limoso.

*Index words:* Hybrids, Micro-watershed, Furrows, Sandy clay loam soil.

## RESUMEN

El presente estudio analiza conjuntamente los efectos de la adición de materia orgánica en los sistemas de captación de agua de lluvia para incrementar el agua disponible para la planta, con el objetivo de determinar un sistema que permita el óptimo aprovechamiento del agua de lluvia en zonas de temporal deficiente.

El experimento se desarrolló en el Campo Experimental "El Bajío" de la Universidad Agraria Autónoma Antonio Narro, de Saltillo, Coah., con un clima muy seco, semicálido, con invierno fresco,

extremoso, con lluvias en verano. El material genético utilizado fue el híbrido de maíz AN-310 de ciclo corto. El suelo es de textura migajón arcilloso limoso, con una pendiente de 4%.

Se utilizó un diseño experimental factorial 3 x 2, con arreglo en parcelas divididas y una distribución en bloques al azar, con cuatro repeticiones. La primera variable consistió en los siguientes sistemas de captación de agua de lluvia: siembra normal de 80 cm de separación entre surcos (SN), surco modificado de 160 cm de separación (SM) y microcuenca de seis surcos de 80 cm de separación con un área de escurrimiento de 4.8 m de ancho (M); la segunda variable correspondió a la aplicación de estiércol, 20 t/ha (CE), contra no aplicación (SE). La densidad de siembra para el testigo (SN) fue de 42000 plantas/ha y para los sistemas de captación fue de 21000 plantas/ha. La relación área de escurrimiento área de siembra fue de 1:1. La precipitación pluvial fue 349.2 mm durante el ciclo del cultivo.

Recibido 3-95.

Mediante el análisis de varianza no se encontró diferencia significativa en el rendimiento de grano del híbrido de maíz AN-310, en cuanto a la altura de planta y área foliar ( $\text{cm}^2/\text{planta}$ ) si se encontró diferencia en los tratamientos. El mejor sistema evaluado fue el surco modificado (SM), con relación 1:1, área de siembra -área de escurrimiento, con adición de estiércol (CE) de bovino. En general, la utilización de siembra con área de escurrimiento (21000 plantas/ha), superó a la siembra normal (testigo con 42000 plantas/ha), debido a que tuvieron mayor humedad disponible. Se obtuvieron los siguientes rendimientos promedio de grano de maíz: sistema tradicional (SN), 1330 kg/ha; microcuena (M): 1440 kg/ha y surco modificado (SM): 2040 kg/ha. En cuanto a la adición de estiércol, no se encontró diferencia en el rendimiento, altura de planta y área foliar, debido a que la dosis de 20 t/ha se considera una dosis baja.

### SUMMARY

This paper examines the joint effects of the application of cattle manure and water trapping systems on increasing water availability for the plants, trying to determine a system that would allow for the optimum use of rain water in areas with deficient rain regimes.

The experiment was conducted in the Experiment Station "El Bajío" of the Autonomous Agrarian University Antonio Narro from Saltillo, Coah., Mexico. The climate is dry semi-warm with cold winter and rains during the summer. The genetic material used was maize hybrid AN-310 of a short cycle. The soil is a sandy clay loam with 4% slope.

The experimental design used was a 3x2 factorial arrangement in randomized complete

blocks and four reps. The first variable was the water trapping systems with plantings with 80 cm between rows (SN), rows at 160 cm between them (SM), and micro-watershed of six rows at 80 cm with a draining area of 4.8 m width (M). The second variable was amount of cattle manure applied: 20 t/ha (CE) vs no manure applied (SE). Plant density was 42000 plants/ha for the check (SN), and 21000 plants/ha for the trapping systems. A relation 1:1 was kept between planting and draining areas. The amount of rain was 349.2 mm during the crop cycle.

The ANOV didn't show any significant difference for grain yield of hybrid AN-310, but there were significant differences for plant height and leaf area ( $\text{cm}^2/\text{plant}$ ). The best system was SM plus cattle manure (CE). The use of areas for planting of 21000 plants plus draining area were better than the check, due to the higher moisture availability. Manure application didn't show any effect on grain yield, plant height, and leaf area, probably due to the low dosis.

### INTRODUCCION

A pesar de que en los últimos años la agricultura mexicana se ha diversificado y de que se han creado nuevas variedades e híbridos de maíz y mejores técnicas de cultivo, aún no es posible contrarrestar el impacto que puede tener un ciclo de lluvias deficiente, por lo tanto se limita la incorporación de grandes extensiones de terreno a la producción agrícola y pecuaria del país (Muñoz y Castro, 1979).

Los períodos de sequía y mala distribución de las lluvias afectan la etapa vegetativa de las plantas ya que retardan su desarrollo y de manera indirecta disminuyen la cantidad de energía luminosa interceptada, la cual se relaciona en gran medida con la producción.

anterior no concuerda con la mejor obra para captar humedad debido a que en términos de obras y plantas/ha, por el tamaño de la obra en el microbacheo se tuvo la mayor cantidad. Lo anterior se considera también que es debido a las características de resistencia a sequía del cultivo, ya que en otras especies el comportamiento ha sido diferente, por lo cual se puede sugerir al agricultor el establecimiento de microbacheo con acolchado para incrementar, hasta con más de 400 kg/ha, el rendimiento de orégano.

### SUMMARY

The comarca Lagunera, specifically its rainfall area, is subjected to high evaporation and scarce rains poorly distributed in time and quantity and the evaporation being seven to eleven times the rainfall. For this reason any research made to maintain or increase production in these areas has to take these facts into consideration. This work is addressed to those plain or variable sloped regions where production has to be obtained with rainfall *in situ*.

The purpose of this work was to determine the degree of adaptability and the yield of oregano using water trapping works and black-plastic mulching in the area planted. This research was initiated in December 1987 with the gathering of oregano plants and sticks which were propagated for planting, and at the same time building of the works for water trapping to be compare was initiated. The works to be compared were:

a) micro-watershed 1, b) micro-watershed 2, c) potholeing, d) micro-potholeing, and e) micro-dam, with 1100, 417, 2700, 6923 and 666 ha, respectively. Studied variables were the response to soil moisture by work, measured weekly; plant height and foliage diameter, and dry matter yield per hectare. To this date, the results are clear with respect to the variables measured. In the

case of soil moisture a clear tendency was observed for a lower concentration in the first two strata 0 to 30 and 30 to 60 with respect to that of the 90 to 60 cm depth stratum. The best works were micro-dam, micro-potholeing and potholeing. With respect to dry matter yield/ha up to now there has been three harvests and higher yields corresponded to micro-potholeing and potholeing, respectively. This does not agree with the best work for water trapping due to the fact that in terms of work and plants/ha, there were more in the case of micro-potholeing. It is also considered that the characteristics of drought resistance of the crop had to do with these results, since other species have behaved differently. In consequence, it could be suggested to the farmers the use of micro-potholeing and mulching to increase oregano yields in more than 400 kg/ha.

### INTRODUCCION

México tiene una superficie total aproximada de 196 millones de hectáreas, de las cuales 52.13% son zonas áridas, 30.56% son semiáridas, 10.52% son zonas semihúmedas y 7.69% son zonas húmedas. Las zonas de temporal se localizan en la zona norte y centro del país, y se caracterizan por ser zonas áridas y semiáridas en donde las condiciones imperantes del medio son las bajas precipitaciones pluviales, altas temperaturas, erosión, etc. Debido a esto, son áreas de cultivo con bajos rendimientos, lo cual condiciona a los habitantes de estas regiones a una agricultura de subsistencia. En la Comarca Lagunera, año con año se presentan variaciones en el clima (temperatura y precipitación) muy marcadas, esto ocasiona deficiencias de agua para la producción de grano y forraje, tanto en la zona de riego como en las zonas de temporal. Esta zona presenta las características de las zonas áridas y semiáridas del país (bajas precipitaciones y altas temperaturas) en donde, además de las

deficiencias de humedad, se tiene una evaporación de casi 11 veces la precipitación pluvial que cae, lo cual ocasiona que el problema de producción agrícola sea más grave. Con el establecimiento de prácticas culturales para la captación del agua de lluvia *in situ*, es posible que los habitantes de estos pequeños ejidos pueden tener una alternativa para establecer algunos cultivos.

### OBJETIVOS

Determinar el grado de adaptabilidad y rendimiento del orégano a las obras de cosecha de agua de lluvia con acolchado.

### REVISION DE LITERATURA

Las técnicas para colectar agua de lluvia y para derivar los escurrimientos de las tormentas, son prácticas que han sido desarrolladas desde tiempos antaños por los antiguos agricultores de las regiones áridas antiguos.

Anaya y Tovar (1976) establecieron que cuando la demanda hídrica del cultivo es mayor que la precipitación pluvial promedio del área durante el ciclo vegetativo, se pueden estimar las diferencias de agua calculando el uso consuntivo del cultivo a establecer y obteniendo la relación UC-PP y que sólo cuando la demanda hídrica del cultivo es mayor que la precipitación pluvial, es necesario recurrir a las técnicas de captación *in situ* del agua de lluvia para obtener el volumen de agua faltante en el área de siembra que satisfaga las necesidades hídricas de los cultivos que en ellos se desarrollan.

Velasco (1980) implementó un sistema de microcuenca en el municipio de Dr. Arroyo, N.L., con sorgo album, las distancias entre bordos anteriores fueron aproximadamente de 30 m

(20 m, de Ae y 10 m de As) en donde el área de siembra (As) se barbechó y se sembró moteado con la semilla del pasto en proporción de 10 kg/ha, luego se cubrió con un poco de rastra la semilla; la producción obtenida con este sistema fue de 7800 kg de materia verde/ha. Dichos autores concluyeron que en las regiones semidesérticas de México las plantas nativas y pastos inducidos responden positivamente al sistema de microcuenca protegidos con bordeado antierosivo.

Salazar (1986) realizó un trabajo para la evaluación de prácticas culturales (microcuenca, bacheo, microrepresa, etc.) en la captación de agua de lluvia en los cultivos de girasol, pasto banderita y avena, utilizando un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, e indica que no hubo diferencia estadística en cuanto a producción de forraje verde y seco; el mejor tratamiento, en cuanto a obras estudiadas, fue la microrepresa.

### MATERIALES Y METODOS

El experimento se desarrolló en el ejido Francisco Villa, Ciudad Lerdo, Dgo.; el lugar presenta las siguientes características:

Localización geográfica. 24°46'40" de latitud norte y 103°21'00" de longitud oeste.

Características climáticas. Según Thornthwaite, el clima es árido, con lluvias escasas en todas las estaciones del año, con precipitación media anual de 248 mm y temperatura media anual de 20.7 °C y altitud de 1110 m.

Espacios de exploración. Se evaluaron cinco tipos de obras de cosecha de agua, a saber:

Obra M1, microcuenca; obra M2, microcuenca; obra M3, bacheo; obra M4,

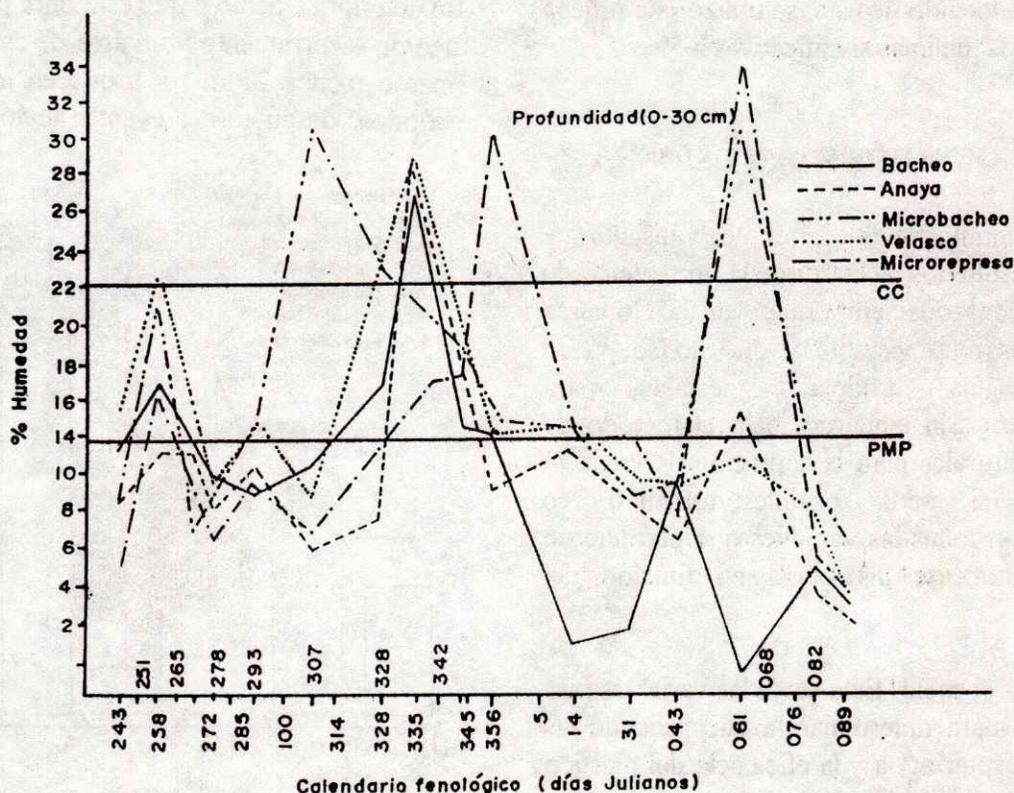


Figura 1. Distribución de la humedad en el suelo a través del tiempo por obras de cosecha de agua de lluvia en orégano en el ejido Francisco Villa, Municipio de la ciudad Lerdo, Dgo., F.A.Z. - U.J.E.D. 1988-1990.

microbacheo; y obra M5, microrepresa. Cultivo: Orégano (*Origanum vulgare*).

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar, con cinco repeticiones.

Tipo y características de las obras. Estas se diseñaron de acuerdo con los modelos establecidos por Velasco *et al.* (1980) y Anaya y Tovar (1976) diseñar la microcuenca.

El bacheo es un tipo de obra que se estudió en Dr. Arroyo, N.L., y presentó resultados excelentes con sorgo album. El microbacheo es una obra ideada por la Dixo Land Imprinter (Wilding M.F.G. Works P.O. Box 1053, Merced California 95431 (209) (722-4145) ya

igual que el bacheo, a esta obra se le modificaron sus dimensiones con la idea de tener una mayor área de captación y, como consecuencia, una mayor cantidad de agua disponible para la planta. Con la microrepresa se han trabajado experimentos en el rancho Los Angeles de la UAAAN y en Dr. Arroyo N.L. La modificación que se hizo a esta obra fue en cuanto a la superficie de captación con la idea de aumentar la superficie de siembra por unidad de superficie.

Se realizó un análisis gráfico de las condiciones climáticas y de la distribución de la humedad en el suelo para determinar su efecto en el desarrollo y producción del cultivo. Los resultados de altura y rendimiento (en kg/ha) se analizaron a partir de un modelo de bloques al

azar y, dependiendo de este, se utilizó una prueba de diferencias mínimas significativas a 5%.

### RESULTADOS Y DISCUSION

Es importante, antes de discutir y presentar resultados, aclarar que la producción de orégano en la zona temporalera de la Comarca Lagunera es muy variable y que no se puede garantizar una producción estable para industrializar. Sin embargo, bajo el método de prácticas culturales para la captación de lluvia *in situ* esto sí sería posible tomando en consideración todas las variables que permitieron evaluar claramente las obras en función del cultivo.

Humedad en el suelo. Esta es de las variables más importantes para determinar la eficiencia de las obras para captar agua y la eficiencia del plástico para reducir al máximo la evaporación y, así, conservar por periodos más prolongados la humedad en el suelo y su disponibilidad para la planta. Con respecto a la distribución de la humedad por obras, se observa en la Figura 1 que los que mayores contenidos de humedad se presentaron con microrepresa, bacheo, microbacheo y microcuena, en los tres estratos (9 a 39, 30 a 60 y 60 a 90 cm de profundidad), lo anterior se debió a que el área de captación es mayor en la microrepresa, sin embargo, aunque esta obra captó mayor humedad, la producción no fue mayor debido a que la superficie que ocupa es muy grande y al determinar el rendimiento por unidad de superficie, éste disminuyó fuertemente.

Rendimiento de orégano/planta. En la Figura 2, en donde se presenta el rendimiento por planta en cada obra y en los tres estratos, se observa que la microcuena 1 fue la que mayor rendimiento por planta presentó en el segundo y tercer corte, en los cuales se evaluó esta variable.

Lo anterior se debió a que esta obra presenta una área de escurrimiento y un área de cultivo mayor (más o menos 21 m<sup>2</sup>) y a que en los primeros periodos después del evento lluvioso se tiene

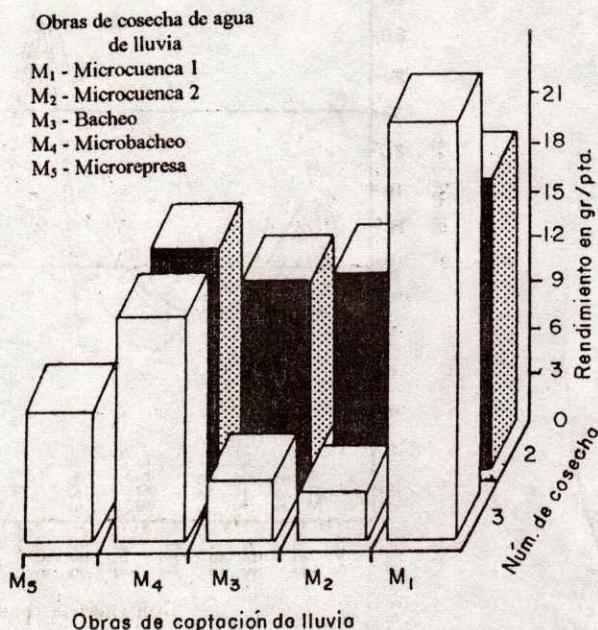


Figura 2. Distribución de rendimientos g/planta por obra de cosecha de agua de lluvia en diferentes cortes en el ejido Fco. Villa, municipio de ciudad Lerdo, Dgo. F.A.Z. - U.J.E.D. 1988-1990.

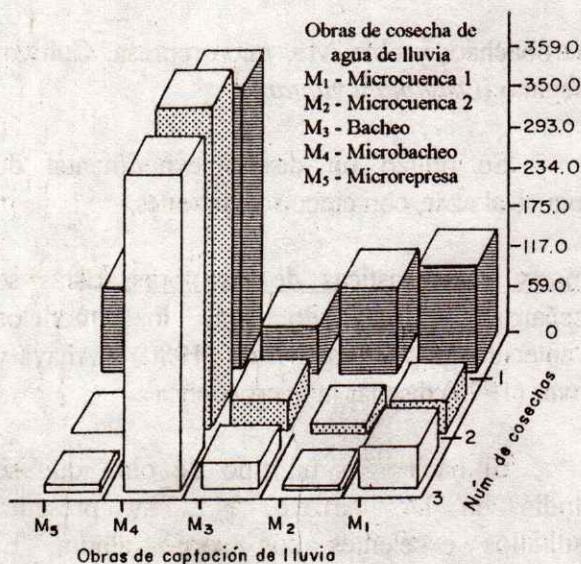


Figura 3. Distribución del rendimiento de orégano en kg/ha por obra de cosecha de agua de lluvia en diferentes cortes en el ejido Fco. Villa, municipio de ciudad Lerdo, Dgo. F.A.Z. - U.J.E.D. 1988-1990.

Cuadro 1. Análisis de varianza para peso de materia seca (verde) 1 Cosecha orégano. Agosto de 1989.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.
Total	19	505502		
Tratamientos	4	235070.7	58767.67	4.766046
Bloques	3	122465.4	40821.79	3.310639
Error	12	147965.9	12330.49	

C.V. = 68.13692 %

buena humedad y sólo tres plantas en el área de cultivo, a diferencia de las otras sobre en donde el número de plantas es mayor y el área de escurrimiento es menor. Al determinar el rendimiento por hectárea, se observa que la obra con mayor rendimiento fue el microbacheo, (Figura 3). Lo anterior debido a que en esta obra, por ser la que menos superficie ocupa, se tiene un mayor número de obras por hectárea; es importante también mencionar que en la determinación de obras/ha, se está considerando la superficie que ocupa el suelo extraído por obra, ya que esto también juega un papel importante en la retención de humedad dado que en terrenos con pendiente este suelo se deberá colocar en un lado del bordo, pero perpendicular a la pendiente para evitar al máximo la erosión y pérdida de agua de escorrentía en eventos lluviosos fuertes. El análisis estadístico realizado para la variable peso seco de hoja de orégano en las tres fechas de cosecha, muestran diferencias estadísticas y las obras en las cuales se observaron los mejores resultados fueron en orden de importancia como sigue:

1ra. Cosecha	2da. Cosecha	3ra. Cosecha
M4 a	M1 a	M1 a
M1 b	M4 a	M4 b
M2 b	M5 b	M5 b
M5 a	M2 b	M3 b
M3 b	M3 b	M2 b

En donde se aprecia, en forma general, que los mejores fueron:

M4 (microbacheo), M<sub>1</sub> (microcuenca 1), M<sub>5</sub> (microrepresa). Por lo que en futuros trabajos de validación se deberán utilizar las obras más eficientes, las mencionadas anteriormente (Cuadro 1).

Los coeficientes de variación obtenidos en la 2a. y 3a. Cosecha, estadísticamente son buenos y en lo que respecta a la 1a. cosecha el valor del C.V., es alto, pero válido para las condiciones en que se realizó el experimento.

Porcentaje de aceite. En forma global, esta variable se determinó por obra y repetición de la 2a. y 3a. Cosecha. No encontró diferencia significativa entre tratamientos (con variación de 8 a 13%), por lo que se considera que la variable hídrica en el suelo no afectó esta variable. Se sugiere considerar en futuros trabajos la calidad de este aceite para ver si hay alguna variación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza para porcentaje de aceite en orégano, (primera cosecha) ejido Francisco Villa, Municipio de Lerdo, Durango. 1989-1990.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.	
					0.05	0.01
Total	14	39.91608				
Tratamientos	4	18.99609	4.749024	3.233969	3.84	7.01 N.S.
Bloques	2	6.1721	3.086066	2.101535	4.46	8.65 N.S.
Error	8	11.74785	1.468482			

C.V. = 16.46%

## CONCLUSIONES

1. En cuanto a humedad en el suelo la tendencia de mayor a menor contenido es clara por estratos, el menor porcentaje se encontró entre 60 y 90 cm de profundidad.
2. Las obras que mayor contenido de humedad retienen son el bacheo y la microrepresa, respectivamente.
3. Considerando el rendimiento por planta, la mejor obra es la Microcuenca 1 en el segundo y tercer corte.

## BIBLIOGRAFIA

- ANAYA G.M. y J.L. TOVAR S. 1976. Harvesting water with different soil treatments for radish production in the Mexico Valley. In proceedings of the Water Harvesting Symposium Phoenix, Arizona, USA.
- SALAZAR S., E. 1986. Evaluación de sistema de producción agrícola en áreas beneficiadas con escurrimientos superficiales. Proyecto de investigación, FAZ-UJED. Venecia, Dgo., Gómez Palacio, Dgo.
- VELASCO M., H. 1980. Cosecha de agua de lluvia para consumo humano pecuario y agricultura de temporal, Departamento de suelos en Ingeniería Agrícola del ITESM, Facultad de Agricultura de U.A.N.L. y Comisión Nacional de Zonas Áridas, Monterrey, N.L., México.

# CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA EN DURAZNO DE TEMPORAL EN ZACATECAS

Rainfall Trapping in Peach Orchards under Dryland Conditions

Armando Legaspi Guzmán

Universidad Autónoma de Zacatecas  
Apartado Postal No. 584, Zacatecas, Zac. C.P. 98000

*Palabras claves:* Captación del agua de lluvia, Reductores de evaporación, Dinámica de humedad, microcuencas.

*Index words:* Rainfall collection, Evaporation reducers, Moisture dynamics, Micro-watershed.

no hubo diferencias de humedad, pero ambos superaron el testigo. De acuerdo con los análisis estadísticos, los reductores de evaporación no tuvieron efecto en el contenido de humedad del suelo y el comportamiento de la planta no se afectó por las diferencias de humedad inducidas por los tratamientos.

## RESUMEN

Con el objeto de reducir los efectos de la sequía en las plantas se han generado recomendaciones de uso de los métodos de captación de agua de lluvia. En Zacatecas, se estableció un experimento en durazno, donde se probaron dos tamaños de microcuenca (12.5 y 25 m<sup>2</sup>) combinados con reductores de evaporación (polietileno negro, piedras, paja de frijol y sin cobertura). Durante seis meses se registró la dinámica de humedad del suelo a dos profundidades 0 a 15 y 15 a 30 cm, así como la dinámica de recimiento de rama y de frutos. Entre los dos tamaños de microcuenca

## SUMMARY

In order to reduce the effects of drought on crops there have been recommended different methods for capturing rain. An experiment was established in Zacatecas in a peach orchard where two microwatershed sizes (12.5 and 25 m<sup>2</sup>) were tested in combination with evaporation reducers (black polyethylene, rocks, bean straw, and no soil cover). Soil moisture dynamics at 0-15 and 15-30 cm was registered, as well as the branch and fruit growth dynamics. The two watershed sizes didn't show any difference in moisture but both exceeded the check. The statistical analysis showed no effect whatsoever among evaporation reducers on soil moisture content and plant performance.

---

Recibido 3-95.

## INTRODUCCION

La aplicación de las técnicas de captación *in situ* del agua de lluvia, es una buena alternativa para reducir el problema de las deficiencias de agua que se afectan a los cultivos de las regiones áridas y semiáridas.

En la mayor parte del estado de Zacatecas, se tiene una precipitación escasa, errática, mal distribuida y, frecuentemente, con intensidades muy elevadas. Por ello, se generan escurrimientos superficiales que causan erosión hídrica, los que, al no ser aprovechados, agudizan el problema del déficit hídrico para las plantas.

Bajo estas condiciones de precipitación deficiente, una opción para la región duraznera del estado, es la aplicación de técnicas de captación *in situ* del agua de lluvia. Este sistema consiste en dejar una superficie del terreno dedicado a producir escurrimiento y otra, donde se establece el frutal, destinada a almacenar el agua de lluvia que no logra infiltrarse.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar dos tamaños de microcuena y tres reductores de evaporación con relación a la humedad del suelo y crecimiento de ramas y frutos.

Existen algunas experiencias que hablan de la bondad de las técnicas de captación en frutales; Rwaitz y Hillel (1975), observaron un mayor desarrollo en el almendro y pistacho con una relación Ae: As de 3:1. Spiegel-Roy *et al.* indican que la cantidad de agua en el suelo influyó en el crecimiento del tronco del pistacho, así como en la carga de frutos y número de flores masculinas (Martínez, 1985).

## MATERIALES Y METODOS

El experimento se estableció en el rancho "El Molino", propiedad de un productor de durazno de temporal. Se encontró una distancia entre plantas de 5 m, con base en la cual se diseñaron los tratamientos. Los factores estudiados fueron: 1) tamaño de microcuenas y 2) reductores de evaporación. El arreglo del tratamiento fue un factorial 4 x 2 más el testigo, para formar los nueve tratamientos que aparecen en el Cuadro 1.

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar, estratificando en función del perímetro del tronco, ya que el material genético fue reproducido por semilla y por lo tanto con una gran variabilidad genética, y dado que se ha encontrado que la característica de la estructura del árbol que más se correlaciona con los rendimientos es el área total del tronco.

Las repeticiones fueron tres, por lo que se tuvo un total de 27 unidades (una unidad estuvo representada por un árbol).

A partir del 19 de julio al 19 de noviembre de 1989, se hicieron 10 muestreos para determinar la humedad del suelo, por

Cuadro 1. Relación de tratamientos estudiados.

Tratamiento	Tamaño de microcuena	Reductor de evaporación <sup>1)</sup>
	m <sup>2</sup>	
1	0	Sin reductor
2	25	Plástico
3	25	Paja
4	25	Sin reductor
5	25	Piedras
6	12.5	Plástico
7	12.5	Paja
8	12.5	Sin reductor
9	12.5	Piedras

<sup>1)</sup>Área de cobertura igual a la zona de goteo del árbol.

gravimetría, a las profundidades 0 a 15 y 15 a 30 cm dentro del área de raíces. Para evaluar la respuesta de la planta, se seleccionó una rama secundaria a la que se le midió el crecimiento en diámetro, longitud, número de brotes y los diámetros polar y ecuatorial de frutos.

Para la interpretación de resultados se efectuó un análisis gráfico de la dinámica de humedad y un análisis estadístico de toda la información registrada.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Dinámica de humedad en el suelo

La Figura 1, muestra la variación del contenido de humedad del suelo en el estrato 0 a 15 cm. Para las tres primeras observaciones (19 julio a 8 de agosto), puede apreciarse que no hubo una diferencia clara entre el conjunto de tratamientos; esto se debe a que fue la humedad producida por las primeras lluvias, y como las microcuencas aún tenían el área de escurrimiento sin compactarse por el impacto de las gotas de lluvia, hubo, en consecuencia, poco volumen de agua escurrido y las diferencias entre los tratamientos no fueron notorias. Sin embargo, puede advertirse que los dos tamaños de microcuenca superaron al testigo en el contenido de humedad dentro del área de raíces.

Como un apoyo para examinar los demás resultados de la gráfica mencionada, se presentan en el Cuadro 2 los resultados de los análisis de varianza efectuados al porcentaje de humedad de las fechas en que se realizó el muestreo; puede observarse que el efecto principal de los tratamientos probados fue el tamaño de microcuenca puesto que fue el que presentó mayor frecuencia en las diferencias estadísticas

con respecto a los reductores de evaporación y la interacción tamaño de microcuenca con reductor.

Las pruebas de comparación de medias que se hicieron para los casos en que hubo diferencia estadística indican que los dos tamaños de microcuenca (12.5 y 25 m<sup>2</sup>) se comportaron igual pero ambos superaron al testigo.

En cuanto a la variación del contenido de humedad del suelo en el estrato 15 a 30 cm, puede observarse que el comportamiento fue muy similar con el estrato anterior. En la Figura 2 se muestra la dinámica de la humedad para esta profundidad, y puede comprobarse que es la misma tendencia observada para el nivel de muestreo 0 a 15 cm; en el Cuadro 3 se presentan los parámetros estadísticos, en ellos se corrobora que la principal fuente de variación fue el tamaño de microcuenca y, al igual que para el estrato 0 a 15 cm, que los dos tamaños de microcuenca superaron al testigo.

El escaso efecto de los reductores de evaporación y por lo tanto, casi nulo de la interacción reductor de evaporación por tamaño de microcuenca, puede entenderse en función de que fue muy estrecha el área cubierta por los materiales empleados.

### Respuesta de la planta

En el Cuadro 4, se presenta el resumen de los análisis de varianza de las mediciones efectuadas en la parte de la planta.

En la columna titulada como PT (perímetro del tronco) queda de manifiesto que las diferencias en esta característica de la planta fueron altamente significativas y, por lo tanto, es claro que fue correcto establecer el experimento efectuando el bloqueo en función de los intervalos de clase del perímetro del tronco. Con el objeto de precisar estas diferencias, en el Cuadro 5 se

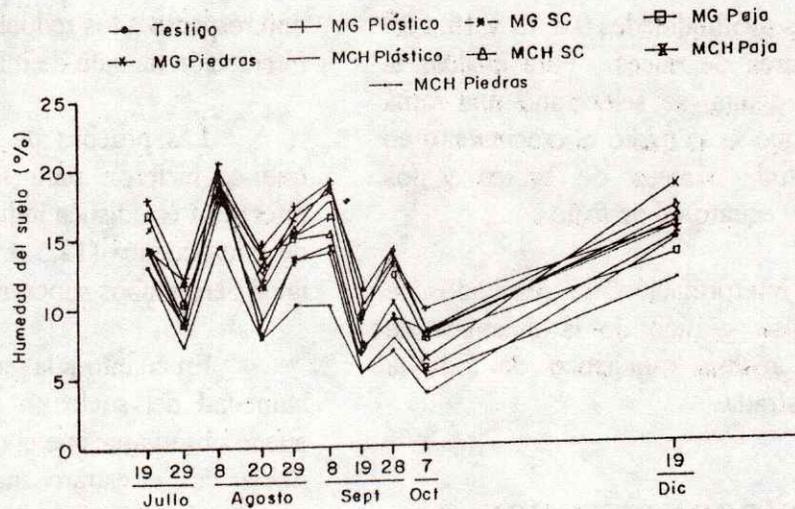


Figura 1. Dinámica de humedad del suelo (0-15 cm).

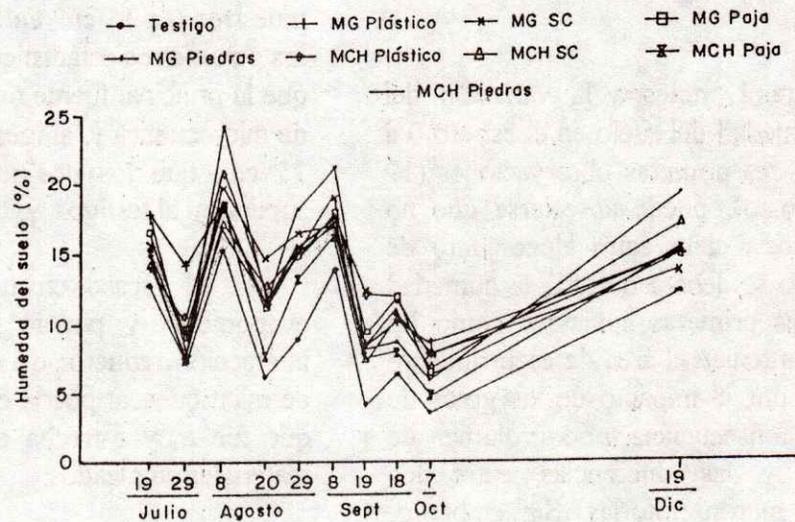


Figura 2. Dinámica de humedad del suelo (15-30 cm).

Cuadro 2. Resumen del análisis estadístico para el porcentaje de humedad a la profundidad 0-15 cm.

	Agosto		Septiembre			Oct.	Dic.
	20	29	8	19	28	7	19
X	11.6	14.32	17.13	8.64	10.06	6.42	15.29
GLE	16	16	16	16	16	16	16
CME	1.29	1.88	2.41	2.76	9.76	2.11	3.67
FcMod	13.32**	6.37**	2.26NS	5.94**	1.12NS	2.74*	1.51NS
Fc tmicro	37.75**	27.46**	8.84**	13.40**	3.04NS	7.78**	2.28NS
Fc revap	14.64**	1.83NS	0.72NS	9.56**	0.51NS	3.25*	1.39NS
Fc							
tmicro* revap	4.23*	0.63NS	0.6NS	0.26NS	0.65NS	0.49NS	1.45NS
CV (%)	10.21	9.58	9.07	19.20	31.02	22.28	16.88

\*, \*\*Significativos a un  $\alpha = 0.5$  y  $0.1$ , respectivamente.  
NS = no significativo.

Cuadro 3. Resumen del análisis estadístico para el porcentaje de humedad a la profundidad 15 a 30 cm.

	Agosto		Septiembre			Oct.	Dic.
	20	29	8	19	28	7	19
X	11.45	14.59	16.08	8.03	10.82	7.14	15.19
GLE	16	16	16	16	16	16	16
CME	6.51	0.98	5.84	3.92	10.73	3.13	5.33
FcMod	2.17NS	12.15**	3.49*	2.29NS	1.14NS	2.12NS	2.20NS
Fc tmicro	4.73*	39.58**	11.98**	4.00*	2.50NS	3.65*	4.28*
Fc revap	2.60NS	4.69**	2.45NS	3.25*	1.41NS	3.03NS	1.85NS
Fc							
tmicro*revap	1.34NS	1.15NS	0.44NS	1.55NS	0.67NS	0.70NS	0.92NS
CV (%)	2.28	6.79	15.06	24.64	30.28	24.80	15.20

\*, \*\*Significativos a un  $\alpha = 0.5$  y  $0.1$ , respectivamente.

NS = no significativo.

Cuadro 4. Resumen del análisis estadístico de las mediciones efectuadas en la parte aérea de la planta.

	PT	NB	DR	LR	CB	Crecimiento de fruto	
						DE	DP
	----- cm -----						
X	17.95	6.03	0.12	1.79	0.85	0.72	0.52
GLE	24	16	16	16	16	16	16
CME	4.53	41.03	0.01	0.01	0.33	0.19	0.09
FcMod	17.92**	1.26NS	0.95NS	0.95NS	1.77NS	0.49NS	0.78NS
Fc tmicro		2.53NS	0.82NS	0.82NS	2.53NS	0.87NS	1.75NS
Fc revap		1.02NS	0.60NS	0.60NS	2.47NS	0.41NS	1.09NS
Fc							
tmicro*revap		0.83NS	1.58NS	1.58NS	0.07NS	0.62NS	0.37NS
CV (%)	11.86	106.11	101.30	101.30	66.96	61.24	56.07
FC rep.	11.92	0.0001**					

\*, \*\*Significativos a un  $\alpha = 0.5$  y  $0.1$ , respectivamente.

NS = no significativo.

PT = Perímetro del tronco; NB = Número de brotes; DR = Diámetro de rama (crecimiento);

LR = Longitud de rama (crecimiento); CB = Crecimiento de brotes; DE = Diámetro ecuatorial;

DP = Diámetro polar.

presentan las pruebas de Tukey efectuadas para esta variable, se establece que los tres bloques fueron diferentes entre sí, con una probabilidad de 95%.

Cuadro 5. Prueba de Tukey para el perímetro del tronco.

Bloque	Perímetro de tronco	Grupo
	cm	
1	14.81	A
2	18.23	B
3	20.80	C

DMS = 2.51

 $\alpha = 0.05$ 

Las características a nivel planta no presentaron diferencias estadísticas en las variables: número de brotes, diámetro de rama, longitud de la rama, crecimiento de brotes y diámetro ecuatorial y polar del fruto (Cuadro 4). Además de la falta de diferencias, también es notorio que el coeficiente de variación es muy elevado y el valor medio, correspondiente a cada variable observada, es muy bajo. La falta de diferencias estadísticas, el elevado coeficiente de variación y la media registrada con valores tan reducidos, se le atribuyen a que la condición de manejo de la planta en el inicio del presente

experimento, fue muy deficiente en el sentido de que en tres años no habían sido podados y por lo tanto se trata de una población de árboles sumamente avejentada, que en consecuencia, no presentó respuesta a los diferentes contenidos de humedad de los tratamientos estudiados.

#### LITERATURA CITADA

- MARTINEZ G., M.A. 1985. Respuesta del maíz a cuatro tamaños de microcuena y diferentes arreglo topológico bajo temporal deficiente en Sandoval, Aguascalientes. Tesis de Maestría, CP.
- RAWITZ, E., and D. HILLEL. 1975. Water harvesting by runoff inducement for irrigation of an almond orchard in a semiarid climate. pp. 141-150. In: G.W. Frasier (ed.). Proceedings of the water harvesting symposium, U.S. Department of Agriculture, A.R.S. W-22. USA.

## COMENTARIOS Y CARTAS AL EDITOR

### Comentario sobre el uso correcto de algunas palabras

Es reconfortante ver que, pese a la crisis económica que vive el país, la cantidad de trabajos presentados en el XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo fue considerable. Sin embargo, después de leer algunos de éstos, es una pena notar que se presentan serias deficiencias de redacción, aun cuando la calidad científica de la investigación sea indiscutible. Esto puede ser producto de diversas causas, entre las que se me ocurren las siguientes: a) preparación deficiente en cuanto a las normas más elementales de gramática y b) atención insuficiente al escrito final.

En consecuencia, debemos tener claro que la escritura correcta forma parte de la investigación; ésta consiste de la elaboración de un proyecto, la experimentación o búsqueda de datos y la presentación de lo realizado (generalmente a través de un artículo científico). En este sentido, se dice que la investigación no termina sino con la elaboración de un artículo.

Una verdad es que el investigador no le da la misma importancia al escribir correctamente, que le da, por ejemplo, al diseño experimental de su trabajo. Lo anterior es un grave error que se comete, ya que el investigador debe preocuparse por redactar su trabajo de investigación y presentarlo de la forma más clara, coherente y concisa posible. Si se tienen conocimientos gramaticales deficientes, debemos buscar la forma de prepararnos para corregir tales deficiencias, de manera que podamos concluir nuestras

investigaciones con artículos bien escritos. A continuación comentaré algunos casos de errores de redacción comunes en los resúmenes del pasado congreso.

a. Uso de siglas poco conocidas, sin definir su significado. Por ejemplo, PROEDAF (Programa de Edafología).

b. Uso incorrecto de símbolos de unidades de medidas. Por ejemplo, Kg, ton, l, Ton, Km; en lugar de kg, t, L, t, km.

c. Símbolos pegados al valor numérico. Por ejemplo: 100g, 12481.48ha, 60cm, 2°C, 40mg; lo correcto es que los símbolos vayan separados de los números.

d. Empleo incorrecto de acentos. Por ejemplo, se omiten acentos en algunas palabras: calcareos, aquellos, domesticas, asi, solo, freatico, hidroponia, establecio, interactuan, tendio, mas, obteniendose, observandose, vario, explotacion, tecnologia, produccion, numero, area, estan, habitos, diferenciacion, diametro, laminas, subteraneo, aplico, concluyo, extraida, etc. En otros casos, se utilizan acentos cuando no se requieren: ésto, residuos, ciclo, fué, dió, ó, ésta manera, éstos tejidos, ésta región, éstos suelos, éste elemento, distribuidos, etc.

e. Uso inapropiado de mayúsculas. Se escriben con mayúsculas inicial palabras que no deben escribirse así; algunos ejemplos son los siguientes: Estado de Guerrero (lo correcto es estado de...), Otoño, Invierno, Primavera, Norte, Fertilizante, Nitrógeno, Fósforo, Hidrógeno, Aluminio, Fierro, Manganeso, etc.

f. Uso incorrecto de minúsculas. Cuando se habla de un cuadro o una figura en particular, estas palabras se escriben con mayúscula inicial. Por ejemplo, Cuadro 1 ó Figura 2. En la memoria del congreso pasado aparecen casos en los que se utiliza minúscula inicial al citar un cuadro o figura específicos, lo cual es incorrecto.

g. Falta de concordancia. A continuación se señalan algunos ejemplos; entre paréntesis se señala la forma correcta:

-..., lo cual constituye un factor limitativo asociados (asociado) a los existentes para...

- En otros lugares donde este ecosistema es más violentamente (?), la materia húmica puede desaparecer...

-..., es (el) estiércol incrementó la retención de humedad...

- La cal agrícola (El encalado) es una práctica económica para elevar el pH ácido...

Posiblemente en algunos de los casos anteriores el problema fue mecanográfico, pero no por esto se justifica, pues es responsabilidad del autor revisar su escrito.

He ejemplificado algunos problemas en los resúmenes del XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Existen más aspectos deficientes, entre los cuales podemos señalar: uso incorrecto del gerundio; empleo inadecuado de preposiciones; empleo de palabras que no aparecen en el diccionario (por ejemplo: transecto, eficientar, priorizar, etc.);

uso incorrecto de abreviaturas de revistas (por ejemplo: Jour. en lugar de J.); construcción deficiente de cuadros; escritura incorrecta de numerales (¿cuándo números?, ¿cuándo letras?).

Lo comentado invita a reflexionar sobre el punto principal de esta nota: las deficiencias de redacción de los informes; debemos trabajar arduamente para superarlas.

La siguiente es una relación de libros (hay muchísimos más) que sería recomendable consultar (tener) para corregir algunas de nuestras deficiencias en la redacción de escritos científicos.

ALVARADO L., J. 1995. Redacción y preparación del artículo científico. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.

CARBALLO Q., A. s/f. Escribir ciencia: un manual básico de estilo. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

MIGUEL S., A. 1990. Redacción: desde cuestiones gramaticales hasta el informe formal extenso. Diana, México, D.F.

RIO, F. DEL. 1990. En pocas palabras. Centro Universitario de Comunicación de la Ciencia, Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

ALARCOS LI., E. 1995. Gramática de la lengua española. Colección Nebrija Bello. Real Academia Española. Espasa-Calpe, Madrid, España.

*M.C. Jorge Alvarado López*

**INDICE DE AUTORES  
AUTORS INDEX**

- Aguilar S., A. 3, 49  
 Alcántar G., G. 49  
 Alcántar R., J.J. 174  
 Alvarado L., J. 107, 203, 338, 385, 505  
 Alvarez, G.M. 464  
 Anaya G., M. 389  
 Arias R., H.M. 448
- Bouvier, Ch. 17
- Cajuste, L.J. 338  
 Camacho C., R. 276, 299, 317  
 Campbell, D.J. 207  
 Catalán V., E.A. 155  
 Coronado R., E. 60  
 Cortés T., H.G. 400  
 Chávez C., X. 231
- De León G., F. 185
- Engel, P.G.H. 111  
 Escalante E., J.A. 376  
 Espinosa A., E. 264  
 Espinosa R., M. 299  
 Estrada A., J. 17
- Figueroa S., B. 400  
 Francisco N., N. 276, 299, 317  
 Flores V., J. 148
- Galindo G., G. 191  
 García G., M.M. 71  
 Godoy A., C. 165, 255  
 Gómez G., A. 207  
 González E., D.R. 81  
 Guzmán E., C. 96
- Herrera P., J. 126  
 Huitrón R., Ma. V. 165, 255
- Ibarra J., L. 148
- Landois P., L.L. 338  
 Lara M., J.L. 487  
 Lasso M., L.M. 487  
 Legaspi G., A. 499  
 Linares, C. 136  
 López A., O. 360  
 López M., J.D. 492
- Martínez B., E. 264  
 Martínez R., L.M. 216  
 Molina, R. 231
- Mora G., M. 470  
 Moreno D., R. 299  
 Moreno Z., P.E. 60, 71  
 Munguía L., J.P. 136  
 Muñoz V., A. 231
- Núñez P., G. 148
- Oleschko, K. 30  
 Oropeza M., J.L. 454  
 Orozco S., M. 368  
 Osorio A., G. 439, 476
- Peña C., J.J. 60, 71  
 Pérez Z., O. 360  
 Pimentel L., J. 400  
 Puente F., F. 96
- Quezada M., Ma. R. 136  
 Quintero S., R. 264
- Reyes G., V.M. 244  
 Robertson, E.A.G. 207  
 Rodríguez O., J.M. 400  
 Rubio G., E. 400  
 Ruiz C., A. 231  
 Ruiz P., M.E. 126
- Salazar S., E. 492  
 Sánchez B., C. 231  
 Sánchez Y., J.M. 60, 71  
 Sandoval L., J.J. 216  
 Sandoval V., M. 49
- Tapia V., L.M. 174, 231  
 Tirado T., J.L. 49  
 Tiscareño, M. 231  
 Tovar S., J.L. 439, 464, 470, 476  
 Trinidad S., A. 338  
 Turrent F., A. 276, 299, 317
- Uribe G., S. 276, 299, 317  
 Uribe M., H.R. 49  
 Utset S., A. 126
- Valenzuela Z., A.G. 81  
 Vega P., A. 174  
 Velasco M., H.A. 427  
 Venegas G., E. 231  
 Venegas G., J. 264  
 Villa C., Ma. M. 155
- Zetina L., R. 338

**REVISORES QUE HAN COLABORADO CON LA  
REVISTA TERRA DURANTE 1995**

DR. JORGE ACOSTA, México  
DR. ANDRES AGUILAR SANTELISES, México  
DR. GABRIEL ALCANTAR GONZALEZ, México  
DR. ENRIQUE BECERRIL ROMAN, México  
DR. JESUS CABALLERO MELLADO, Cuernavaca  
DR. LENOM J. CAJUSTE, México  
M.C. LENOM CAJUSTE BONTEMPS, México  
M.C. ROGELIO CARRILLO, México  
DR. JAVIER Z. CASTELLANOS, Guanajuato  
DRA. MA. TERESA COLINAS LEON, México  
DR. JOSE I. CORTES FLORES, México  
DR. ALFREDO ECHEGARAY ALEMAN, México  
DR. BENJAMIN FIGUEROA, México  
DR. JUAN GALLARDO, España  
M.C. CARMEN GONZALEZ CHAVEZ, México  
DR. ERIK S. JENSEN, Dinamarca  
DR. REGGIE J. LAIRD, México  
DR. VICENTE LEE, Tamaulipas  
DR. WALTER LUZIO, Chile  
DR. RAUL MANCILLA Y DIAZ INFANTE, Coahuila  
DR. ANGEL MARTINEZ GARZA, México  
DR. LEOPOLDO MENDOZA, México  
DR. ROBERTO NUÑEZ ESCOBAR, México  
DR. VICTOR OLALDE PORTUGAL, Guanajuato  
DRA. KLAUDIA OLESCHKO, México  
DR. VICTOR ORDAZ CHAPARRO, México  
DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA, México  
DR. JOAQUIN ORTIZ CERECERES, México  
M.C. CARLOS ORTIZ SOLORIO, México  
DR. ENRIQUE PALACIOS VELEZ, México  
DR. OSCAR L. PALACIOS VELEZ, México  
DR. DAVID JESUS PALMA LOPEZ, Tabasco  
DR. JUAN JOSE PEÑA CABRIALES, Guanajuato  
M.C. JESUS PEREZ MORENO, México  
DR. OCTAVIO PEREZ ZAMORA, Colima  
DR. CHRISTIAN PRAT, Francia  
DR. PAUL QUANTIN, Francia  
DR. JORGE RODRIGUEZ ALCAZAR, México  
DR. JOSE LUIS RODRIGUEZ ONTIVEROS, México  
DR. PROMETEO SANCHEZ GARCIA, México  
DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VELOZ, México  
DR. LEONARDO TIJERINA CHAVEZ, México  
DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS, México  
DR. JAVIER UVALLE BUENO, Sonora  
LIC. JOSE ALONSO VELAZQUEZ LEYVA, México  
DR. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTINEZ, México  
DR. IVAN VIDAL PARRA, Chile  
DR. RAFAEL VILLEGAS, Cuba  
DR. ANGEL VILLEGAS MONTER, México  
DR. VICTOR VOLKE HALLER, México  
DR. EDUARDO ZAFFARONI, Brasil

# NORMAS PARA PUBLICACION EN *TERRA*

## TIPO DE MANUSCRITO PARA PUBLICACION

La Revista *TERRA* acepta trabajos en español, inglés, francés y portugués (los idiomas que se hablan en América), sobre temas relacionados con la Ciencia del Suelo y el Agua. Estos pueden ser Artículos Científicos, Notas de Investigación, Ensayos o Revisiones de Literatura, Cartas al Editor, y Reseñas de Libros. Se entiende por Artículo Científico aquél basado en un trabajo de investigación en que se ha aplicado en forma rigurosa el método científico y se ha estudiado el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre la respuesta medible de un sistema, como metodología para comprobar o rechazar una hipótesis claramente establecida como objetivo del trabajo.

Las Notas de Investigación son artículos basados en trabajos experimentales que presentan aspectos metodológicos novedosos, o resultados que el autor quisiera publicar antes que finalice su investigación.

Los Ensayos o Revisiones de Literatura son artículos basados en una recopilación de artículos científicos o informes de investigación, en los que el autor aporta su opinión personal sobre el tema y establece conclusiones respecto al estado actual del conocimiento sobre el tema.

*TERRA* publicará en la sección Cartas al Editor, aquellas que juzgue convenientes, las cuales deben contener opiniones o comentarios debidamente argumentados. Esta sección tiene por objeto fomentar la discusión sobre temas publicados en sus páginas o de interés para la comunidad científica nacional. La

Reseña de Libros es una sección destinada a dar a conocer la obra, particularmente de autores mexicanos e iberoamericanos, que sea de interés para los científicos del suelo.

La Revista *TERRA* acepta colaboraciones de los miembros de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, así como de otras personas que deseen publicar sus trabajos en ésta. Los trabajos que se envíen deberán ceñirse a estas Normas para Publicación y estarán sujetos a revisión por el Comité Editorial o por quien éste designe, antes de su publicación.

## CONTENIDO DEL MANUSCRITO

Los Artículos Científicos y las Notas Científicas que se presenten deberán constar de las siguientes partes: 1) Título; 2) Autor(es); 3) Institución(es) responsable(s) del trabajo y dirección de los autores; 4) Resumen; 5) Palabras clave; 6) Summary; 7) Index words; 8) Introducción, la cual, aparte de la motivación e importancia de los objetivos, deberá incluir aquellos aspectos más importantes, relativos al tema central (revisión de literatura); 9) Materiales y Métodos, donde se indique claramente el (los) método(s) experimental(es) empleado(s) para dar respuesta a las hipótesis del trabajo; 10) Resultados y Discusión; 11) Conclusiones; y 12) Literatura Citada. El Comité Editorial podrá aceptar algunas modificaciones a esta estructura, cuando el tenor del texto así lo aconseje.

Los Ensayos o Revisiones de Literatura deberán constar de las siguientes partes: 1) Título; 2) Autor(es); 3) Institución donde se desarrolló el trabajo; 4) Resumen; 5) Palabras clave; 6) Summary; 7) Index

Nota: Los manuscritos deberán enviarse con original y dos copias, escritos a doble espacio, a:  
Editor de la Revista *TERRA*,  
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.  
Apartado Postal 45,  
56230 Chapingo, Edo. de México.  
México.

Versión revisada 07\*94.  
1,000 ejemplares.

words; 8) Introducción; 9) Desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes; 10) Discusión, cuando proceda; 11) Conclusiones; y 12) Literatura Citada.

Las Cartas al Editor y las Reseñas de Libros no tienen un formato definido, pero no deberán exceder de dos cuartillas a máquina y a doble espacio.

## FORMATO DEL MANUSCRITO

Los trabajos deben enviarse mecanografiados en papel tamaño carta a doble espacio dejando márgenes de 2.5 cm en los cuatro costados y con las líneas numeradas. Las páginas, incluyendo los Cuadros y las Figuras, se numerarán progresivamente. El texto no deberá exceder de 20 páginas, aunque la extensión ideal es de 15 para un **Artículo Científico** y de 8 para una **Nota Científica**. Cada Cuadro o Figura se incluirá en una hoja aparte con su correspondiente número de identificación con lápiz de grafito suave en el reverso. Las leyendas correspondientes se mecanografiarán en hojas aparte (una hoja para cada Cuadro o Figura). Los Cuadros y las Figuras contendrán sólo la información esencial y en ningún caso repetirán los datos que se presenten en otra forma. Las unidades que se empleen serán las del Sistema Internacional de Unidades.

## ESPECIFICACIONES PARA EL FORMATO

**Título.** El título se escribirá con mayúsculas, al inicio y al centro de la página. Se colocará su traducción al inglés, a dos espacios sencillos debajo del título en español. El título en inglés se escribirá con minúsculas, excepto la primera letra de cada palabra. El título deberá ser breve e indicar en forma precisa la naturaleza y contenido del artículo. Un título largo no es necesariamente el mejor. Así, por ejemplo: "Fijación de Fósforo en un Andosol de Colima" es mejor que "Determinación de la Cantidad de Fósforo Fijado en los Horizontes A y B de un Perfil Alterado en un Suelo Andosol del Estado de Colima".

**Autores.** Se incluirá el nombre del autor o autores en la manera en que éstos acostumbran escribirlo en sus publicaciones. Se sugiere adoptar una forma breve para toda la vida. Ejemplo: Roberto Núñez E., J. H. Miranda P. o R. Ferrera-Cerrato. Esto ayuda a evitar confusión y a identificar fácilmente a los autores. No se usarán títulos ni grados. La primera letra del nombre y apellidos se escribirán con mayúsculas. Los nombres de los autores se separarán por comas, se centrarán en la página y se escribirán a cuatro espacios debajo del título en inglés y centrados respecto de los márgenes.

**Institución(es) patrocinante(s) y dirección de los autores.** El objetivo de esta parte del artículo es dar el crédito respectivo a la institución que patrocinó el trabajo y que los lectores puedan contactar a los autores en caso necesario; la dirección postal debe quedar claramente especificada. Ejemplo: Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. o Departamento de Suelos, UACH, Chapingo, México. Esta identificación se escribirá con minúsculas, excepto las siglas, a dos espacios sencillos debajo de los autores.

**Notas al Pie de página.** Se podrán utilizar, cuando sea necesario, para identificar información adicional; se numerarán progresivamente a través de todo el texto. Deberán emplearse lo menos posible y sólo cuando sea imprescindible.

**De la forma de titular.** Los títulos tienen diversos órdenes y ellos señalan automáticamente la posición de una parte del artículo dentro de éste.

**Título de primer orden.** Es el título principal del artículo y siempre se escribe con mayúsculas, al inicio del artículo, centrado respecto a los márgenes.

**Títulos de segundo orden.** A este tipo corresponden las diferentes partes del artículo: Resumen, Summary, Introducción, etc. Se escriben con minúsculas, excepto las primeras letras de cada palabra. Se ubican a tres espacios simples abajo del último renglón escrito. El texto que le sigue se escribirá a dos espacios simples después del título.

**Títulos de tercer orden.** Se escriben al margen izquierdo, con minúsculas, excepto la primera letra de las palabras, y se subrayan. Se ubican a dos espacios sencillos debajo del último escrito. El texto comienza a escribirse a dos espacios sencillos después del título.

**Títulos de cuarto orden.** Se escriben al margen izquierdo con minúsculas, excepto la primera letra. Van subrayados y con punto final sin dejar sangría, como en el presente párrafo. Si hubiera necesidad de títulos de mayor orden, se seguirán las normas recién indicadas, pero éstos se colocarán con una sangría de cinco espacios contados a partir del margen izquierdo, para el de quinto orden, y mayor, para el de sexto orden.

**Resumen.** Esta sección debe sintetizar, en aproximadamente 300 palabras, los aspectos más importantes del trabajo, esto es, su motivación, importancia, método experimental (cuando corresponda) y las conclusiones más importantes. La palabra Resumen se escribe como título de segundo orden.

**Palabras clave.** A dos espacios sencillos abajo del texto anterior y al margen izquierdo y con minúscula, se escribe: Palabras clave, seguido de dos puntos y a continuación las palabras que el autor considere clave para su trabajo, las que deberán ser distintas de las empleadas en el título.

**Summary.** Se siguen las mismas normas que para el Resumen en español. Esta sección es básica para darle difusión internacional a la revista. La palabra Summary se escribe como título de segundo orden.

**Index words.** Se seguirán las instrucciones dadas para Palabras clave, pero estas últimas se escribirán en inglés.

**Introducción.** En esta sección se indica la motivación, la importancia y los objetivos del trabajo que llevan implícitas las hipótesis del trabajo. Contiene, además, los aspectos más relevantes del tema, tratados por otros autores e identificados en la Revisión de Literatura. La Introducción no debe exceder de tres cuartillas a doble espacio. La palabra Introducción se escribe como título de segundo orden.

**Materiales y Métodos.** Esta sección debe describir las características relevantes de los materiales usados en el estudio y los métodos experimentales empleados. Se le debe dar particular importancia a la descripción del método experimental utilizado para lograr los objetivos planteados. Debe mostrar concordancia plena con las hipótesis. Así por ejemplo, si el propósito de un trabajo es determinar el efecto de la adición de estiércol vacuno en la mineralización del nitrógeno del suelo, deberá describirse el experimento que permitió medir este efecto. Los revisores tendrán muy en cuenta la concordancia entre objetivos y los métodos experimentales empleados. Las palabras Materiales y Métodos se escriben como título de segundo orden.

**Resultados y Discusión.** Aquí se incluyen los resultados obtenidos en la investigación. Estos se presentarán en forma de Texto, Cuadros o Figuras, estos últimos no deberán duplicar la información presentada en el texto. La información presentada en Cuadros y Figuras tampoco deberá duplicarse, e incluirá resultados que puedan ser fácilmente calculables. Ejemplo: presentar en una columna el rendimiento en  $g/m^2$  y en otra en  $kg/ha$ . En la Discusión se resaltarán los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivadas del análisis de los resultados. Además, se deberá explicar, en función de las observaciones hechas, el porqué de lo observado. Los resultados obtenidos se compararán con los de otros investigadores y se señalarán las divergencias y las semejanzas. Los Resultados y la Discusión deben tener los mismos subtítulos, si es que los hay, de la sección de Materiales y Métodos.

Las palabras Resultados y Discusión se escriben como título de segundo orden.

**Conclusiones.** Las primeras conclusiones que se presenten deben ser aquellas correspondientes a los objetivos planteados. Se pueden incluir, además, otras conclusiones relevantes y recomendaciones que emanen del trabajo. La palabra Conclusiones se escribe como título de segundo orden.

**Citas en el texto.** Las citas en el texto se harán de acuerdo con la forma en que participan éstas en la oración. Se seguirán las siguientes reglas: a) se citará el apellido principal del (los) autor(es) y el año, cuando se trate de uno o dos autores, y el apellido principal del primer autor seguido de *et al.* y el año, cuando se trate de tres o más autores; b) las citas cuando más de una, se colocarán en orden alfabético; c) cuando el nombre del (los) autor(es) participa(n) en la oración se colocará el apellido principal seguido del año entre paréntesis, ejemplo: Martínez (1982) observó que..., Carrasco (1983) y Merino (1984) encontraron gran diferencia...; d) cuando la cita se agrega al final de la oración los nombres de los autores y el año se colocarán entre paréntesis, separados por una coma; ejemplo: ... al final de la cosecha (Martínez, 1982) o (Carrasco, 1983; Merino, 1984) o (Bravo *et al.*, 1979); e) cuando el autor tiene más de una publicación en un año se adiciona a éste a, b, c, ejemplo: (Moreno, 1984a) o (Moreno, 1984b) según sea el caso; f) las comunicaciones personales se citarán sólo en el texto, ejemplo: (R. Núñez E., 1984. Comunicación personal); g) las citas que no aparezcan en la Literatura Citada, por ser documentos de circulación restringida y no sean comunicaciones personales, se colocarán como notas al pie de página, siguiendo la numeración progresiva correspondiente.

**Literatura Citada.** Para confeccionar la lista de citas de la Literatura Citada se seguirán las normas que se detallan con ejemplos a continuación:

1) Caso de artículos en revistas seriadas, ejemplo:  
NUÑEZ E., R., A. TRINIDAD S., J.J. MARTINEZ H. 1984. Efecto del estiércol de vacuno en la producción de maíz. *Agropecuaria Técnica* 54: 385-388.

Obsérvese que la inicial del nombre propio se ha trasladado al final de los apellidos sólo para el caso del primer autor, y que se ha mantenido la inicial del segundo apellido y del nombre propio en el lugar que corresponde en el resto de los casos. Es común que los nombres ingleses se escriban con dos nombres personales y un apellido; ejemplo: L.J. Brown, el cual se citará en caso de ser primer autor como Brown, L.J. y como L.J. Brown en todos los demás. Los portugueses y brasileños acostumbran colocar el apellido paterno en segundo lugar y éste es el que se

debe citar; ejemplo: Antonio Amaro Filho, es Filho, A.A. o A.A. Filho según sea el primer autor o acompañante. Para el caso de los nombres árabes, orientales e hindúes se deberá consultar una guía para citas bibliográficas, como la del Council of Biological Editors o las Normas del IICA para citas bibliográficas.

2) Caso de artículos en una publicación colectiva no periódica con o sin editor, ejemplo:

a) con editor

TURRENT F., A. 1984. Los agrosistemas del trópico. pp. 315-328. In: E. Hernández X. (ed). Los sistemas agrícolas de México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

b) sin editor

CORTES F., J. I. 1984. El manejo de los frutales en zonas frías, pp. 181-192. In: La fruta y su perspectiva en México. CONAFRUT, SARH, México. CONAFRUT, SARH, México, D.F.

3) Caso de los boletines técnicos u otras publicaciones seriadas no periódicas, ejemplo:

CLEMENT, H.F. 1952. Factors affecting the growth of sugarcane. Univ. Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 18.

4) Caso de los libros, ejemplo:

JACKSON, M.L. 1964. Análisis químico de los suelos. Traducción al español de J. Huerta. Editorial Omega, Barcelona, España.

ZAMUDIO H., B. 1970. Las especies latifoliadas del Cono Sur. 2a. edición. Editorial Inca, Lima, Perú.

5) Otras publicaciones, ejemplo:

CAVAZOS L., A. 1971. Efecto de la pendiente en la pérdida de suelo por erosión hídrica. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

La lista de citas se confeccionará en orden alfabético. Sólo se incluirá en ella los trabajos citados en el texto.

## OTROS ASPECTOS DEL MANUSCRITO

A continuación se dan algunas indicaciones acerca de los cuidados y consideraciones que hay que tomar en cuenta para la elaboración de las figuras, cuadros, mapas, etc. Los cuadros y las figuras se emplean para reemplazar al texto, cuando el contenido de éstos no puede expresarse claramente con palabras o su uso contribuya a un ahorro importante de espacio. Los cuadros y las figuras deben ser claros, simples y concisos. Para ello es necesario seleccionar los datos de modo que se presenten sólo aquéllos que se emplearán para hacer énfasis en algún aspecto o que

expliquen otros. Los datos deben ordenarse en una forma tal que sean fáciles de interpretar.

En el pie de cuadro se incluirán las llamadas que sean pertinentes. Los asteriscos se reservarán para indicar significación a 5 (\*) y 1% (\*\*), respectivamente. Se recomienda el uso de numerales progresivos para las llamadas.

Los cuadros deben tener tres líneas horizontales sólidas: al inicio del cuadro, al inicio del campo del cuadro, y al final de éste. No se permitirá el uso de líneas verticales.

El encabezamiento del cuadro dará entrada a las columnas y a las líneas. Las unidades correspondientes a las columnas irán en el campo del cuadro, no en el encabezamiento. El campo y el encabezamiento de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor.

Los encabezamientos, de columnas y líneas, se describirán con minúsculas, excepto la primera letra de la oración.

Se empleará sólo el número de cifras significativas necesarias para destacar el punto que se desee. No tiene sentido hablar de 4,314,3 kg de maíz por hectárea, probablemente 4.3 ó 4.31 Mg ha<sup>-1</sup> sea suficiente.

Los cuadros no podrán ser mayores de una página tamaño carta, considerando los márgenes antes señalados.

Los Mapas y las Figuras deben dibujarse en tinta china sobre papel albanene o papel dibujo de buena calidad. No deben exceder las dimensiones de una página tamaño carta. La leyenda debe ser con letras y números de tamaño lo suficientemente grande, como para que puedan leerse al ser reducidos, al igual que el grosor de los ejes y líneas interiores. Para un gráfico del tamaño de una página carta se requieren letras y números de 0.8 a 1.0 cm de altura. Recuerde que en una figura lo que interesa destacar es el contenido y no los ejes. Consecuentemente, el grosor de estos últimos tiene que ser menor que el de las líneas interiores. Los puntos experimentales deben marcarse visiblemente. Para dividir los ejes se deben escoger intervalos constantes para cada uno.

Los mosaicos fotográficos deben entregarse montados en hojas de papel, totalmente terminados, con leyenda y numeración. El aumento de las microfotografías debe indicarse en la leyenda.

**Agradecimientos.** Podrán incluirse al final del texto, cuando sea necesario, esto es, después de las Conclusiones y antes de la Literatura Citada.

## ERRATA

En el Volumen 13, Número 3, 1995, se omitió en el trabajo: **HIDRODINAMICA DE SUELOS BAJOS EN ZONAS ARIDAS DEL NORTE DE MEXICO** del autor: *Victor M. Reyes Gómez*, los siguientes párrafos, después de la Figura 2 (página 247).

### Lluvias aplicadas

Trabajos como los de Asseline y Valentin (1978), Desconnets, (1990), Montoroi, (1984), Thebe (1984), Tarin y Viramontes (1990), todos realizados con el simulador de lluvia en zonas áridas y semiáridas, sirvieron de apoyo para aplicar tres intensidades de lluvia, procurando tener un valor mínimo, uno medio y uno máximo, para estados seco y húmedo del suelo. Los promedios de lluvia fueron 14.18, 48.92 y 108.8 mm/h.

### Comportamiento hídrico de suelos con la simulación de lluvia

#### Componentes de lluvia

La lluvia total aplicada, se divide en lluvia de imbibición y la eficaz. La de imbibición es el agua que se infiltra antes de que inicie el escurrimiento, mientras que la eficaz corresponde a la lluvia aplicada después de que inicia el escurrimiento. Esa división está representada por la siguiente relación:

$$Pu = Pi + Pe$$

donde:

Pu = lluvia total aplicada = intensidad de lluvia x tiempo de duración de la lluvia; Pi = lluvia de imbibición = intensidad de lluvia x tiempo de duración de la fase de imbibición; Pe = lluvia eficaz (Pe = Pu - Pi).

La lluvia de imbibición para una superficie elemental dada depende de déficit de saturación del suelo (particularmente en los primeros centímetros del suelo) y de la intensidad de la lluvia simulada (Valentin, 1981); así, se tiene

que la lluvia eficaz es el efecto de saturación de los primeros centímetros del suelo.

Todo evento de lluvia debe analizarse en magnitudes de infiltración y escurrimiento, y cada evento está representado por las siguiente relación general:

$$Pu - Lr - Li - Dr - Wf = 0$$

donde:

Pu = total de lluvia aplicada; Lr = lámina escurrida durante el evento; Li = lámina infiltrada durante el evento; Dr = escurrimiento después del fin de la lluvia; Wf = infiltración después del fin de la lluvia.

En una lluvia simulada de intensidad conocida, los registros de volumen escurrido e infiltrado, ilustran un hidrograma patrón de comportamiento (Figura 3) en función del tiempo (Lafforgué y Naah, 1976).

a) Fase de imbibición. Con el inicio del evento (Ti), la lluvia se infiltra en el suelo en su totalidad. Esta fase tiene una duración variable, según el estado hídrico inicial del suelo, y según la intensidad de lluvia aplicada en la simulación. Este período permite ver el efecto de humectación del suelo superficial hasta la saturación aparente, cuando se inicia el escurrimiento.

b) Fase de régimen transitorio. En el tiempo T1 (Figura 3) el escurrimiento se inicia, y aumenta su intensidad, la infiltración con relación al total de lluvia que se aplica disminuye. En esta fase, la humectación del suelo superficial finaliza y, según el hidrograma general de lluvias, la dinámica de esta fase se gráfica siempre en forma de una "S" mayúscula y alargada.

**DIVISION II**

Evaluación de microcuencas de captación de agua de lluvia *in situ*, distancia entre contras y densidades de población en la producción de maíz para grano de Tecamac, Edo. de México.

**M. MORA G. y  
J.L. TOVAR S. 470**

Distribución del sistema radical del maíz y de la humedad del suelo bajo la técnica de captación *in situ* del agua de lluvia.

**G. OSORIO A. y  
J.L. TOVAR S. 476**

Eficiencia en el uso del agua en tres sistemas de captación de agua de lluvia con adición de estiércol en maíz.

**J.L. LARA M. y  
L.M. LASSO M. 487**

Producción de orégano a través de prácticas culturales para la captación de agua de lluvia *in situ* en La Laguna.

**E. SALAZAR S. y  
J.D. LOPEZ M. 492**

Captación de agua de lluvia en durazno de temporal en Zacatecas.

**A. LEGASPI G. 499**

**COMENTARIOS  
Y CARTAS  
AL EDITOR**

**C**omentario sobre el uso correcto de algunas palabras.

**J. ALVARADO L. 505**