

MICROCAPTACIÓN, CULTIVOS ANUALES (DENSOS), MÉXICO

Hugo A. Velasco Molina

*Ing. Agr., M.S. Ciencias del Suelo, PhD. Química de Suelos
ITESM, Campus Monterrey, Monterrey, N.L. México*

Antecedentes históricos

La agricultura de escorrentías se practicó en el desierto del Negev muchos años antes de la era cristiana. Investigadores de este desierto, como Michael Evenari, Leslie Shanan y Naphtalí Tadmor, han encontrado explicación a los interesantes mecanismos que aquellos antiguos agricultores utilizaban para concentrar escorrentía de los desérticos lomeríos circundantes y que conducían hacia sus *wadis* (áreas bajas donde ubicaban sus parcelas), por medio de zanjas transversales excavadas sobre los taludes de los lomeríos a distancias equidistantes unas de otras.

Es importante agregar que los citados investigadores han logrado observar que las relaciones entre áreas de cultivo y áreas de escorrentía, de estas antiquísimas granjas, ordinariamente fluctuaban entre 17:1 y 30:1 dependiendo de la naturaleza del terreno pero que la proporción más común podía considerarse como 20:1 y que en esta región con 80 mm de lluvia anual, cada hectárea sobre terreno inclinado debe haber producido de 120 a 160 m³ de agua de escorrentía, puesto que ellos mismos han determinado actualmente que en estos lugares solamente escurre del 15 al 20% de la precipitación pluvial anual. Cabe agregar que dentro de los *wadis*, que eran superficies bajas pero que contaban con su propia pendiente, se construían bardas de piedra acomodada, perpendiculares a la dirección de la pendiente, de 60 a 80 cm de alto, que disminuían la velocidad del flujo con lo cual se estimulaba el proceso de infiltración y que en términos actuales no es otra cosa más que la función que desempeñan nuestras presas filtrantes.

Aspectos técnicos

Descripción

La tecnología con la cual se maneja este sistema básicamente consiste en el desmonte de terrenos con pendiente, localizados en regiones de escasa precipitación pluvial, en el trazo y construcción de bordos antierosivos (terrazas) y en la delimitación de una superficie para escorrentía y otra para siembra entre los bordos antierosivos, para hacer posible la producción agrícola y de praderas.

Objetivos

- ⊗ Aprovechar terrenos localizados sobre superficies inclinadas de regiones áridas, sin el riesgo de ser afectados por la erosión hídrica.
- ⊗ Utilizar volúmenes de aguas de escorrentía, provenientes de áreas cuya superficie ha sido previamente determinada, para satisfacer la demanda evapotranspirativa de cultivos y pastos.

- ☼ Conocer la relación área de escorrentía/área de siembra entre bordos antierosivos para el aprovechamiento *in situ* del agua de lluvia bajo condiciones de escasa precipitación pluvial.

Ubicación y selección del sitio

Los sitios más apropiados para desarrollar esta tecnología, son terrenos con pendientes que fluctúen entre 2 y 8%, con suelos cuya profundidad no sea menor de 15 cm para pastos y de 25 cm para cultivos anuales.

Diseño

Para este propósito, primeramente se procede a desmontar el terreno y luego se determina el porcentaje de pendiente (S) del terreno, para lo cual se puede emplear un nivel de ingeniero o un teodolito.

Una vez determinada la pendiente (S), se procede a calcular el intervalo vertical; o sea la diferencia de elevación que debe existir entre 2 bordos antierosivos consecutivos. Los bordos antierosivos al estar gobernados por un intervalo vertical, quedarán separados por una distancia que no permitirá la acumulación de volúmenes de agua con características erosivas.

Determinación del intervalo vertical (IV):

Para este propósito existen varios criterios (3). Sin embargo, en este caso sólo se presenta el criterio desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica, el cual se basa en la siguiente fórmula:

$$IV = (S + 2)15$$

Donde:

IV = intervalo vertical (cm)

S = porcentaje de pendiente (%)

2 y 15 = constantes de transformación.

Es importante aclarar que al darle un valor a S, por ejemplo 5%, IV resultará en centímetros y en este caso es de 105 cm.

Trazo

Para este propósito se requieren los siguientes materiales, implementos y personal: estacas (una por cada 20 m de bordo por construir), cinta métrica de 25 m, una mira topográfica (denominada estatal en México), un teodolito o un nivel de ingeniero, un tractor equipado con un cincel, un ingeniero, un tractorista, un estadalero y dos peones de campo.

Con el intervalo vertical determinado y con el nivel o teodolito colocado en la parte topográficamente más alta del terreno, se inicia el trazo de los bordos antierosivos utilizando el siguiente procedimiento:

1. Se manda al estadalero y al tractorista (cada uno con su respectivo implemento) a uno de los límites laterales del terreno.
2. El operador del aparato (nivel o teodolito) buscará en el estadal una lectura numéricamente igual a la altura del aparato (H_0). Lo cual logrará haciendo mover al estadalero pendiente arriba o pendiente abajo, hasta obtener la lectura deseada.
3. Se clava una estaca en el punto encontrado y a una distancia de 20 m, se localizará un segundo punto de la misma manera que el primero, el cual quedará también marcado por una estaca. Al marcar un tercer punto, el tractorista bajará el cincel y teniendo a la vista las estacas de los 3 primeros puntos, principiará a marcar en contorno la línea donde será construido el bordo antierosivo (**figura 11**).
4. Antes de pasar sobre el tercer punto de los inicialmente señalados, el tractorista detendrá el implemento para dar tiempo a que queden señalados 2 puntos más para continuar trazando la línea en contorno. De esta manera se procederá hasta el final de la distancia.
5. La huella que deja el cincel, deberá ser una línea curva (y no una línea quebrada) que une puntos de igual altura topográfica y a la vez representa el centro del ancho del bordo antierosivo que será construido allí.
6. Para trazar la línea donde quedará ubicado el segundo bordo antierosivo, a la altura del aparato (H_0) se le suma el valor del intervalo vertical (IV) y la cantidad resultante (H_0+IV) representará la altura que deberá leerse en el estadal, cada 20 m al colocarse pendiente abajo de la línea correspondiente al primer bordo.
7. Para trazar la línea donde quedará ubicado el tercer bordo antierosivo, a la altura del aparato (H_0) se le suma 2 veces el valor del intervalo vertical, resultando la cantidad (H_0+2IV), que representa la altura que deberá leerse en el estadal cada 20 m, al colocarse pendiente abajo de la línea correspondiente al segundo bordo.
8. Para trazar la línea donde quedará ubicado el cuarto bordo, se hará necesario determinar una serie de puntos con una altura (H_0+3IV), pero en caso de no poder leerlos, puesto que la longitud de los estadales generalmente es de 4 m, se cambiará el aparato pendiente abajo del tercer bordo.
9. Con el aparato nivelado en su nueva posición se hace una lectura atrás (LA) sobre el estadal, que ha sido colocado a escasos centímetros pendiente arriba de la marca dejada por el cincel para el tercer bordo (**figura 12**).

Figura 11. Con el estadalero y el tractorista en un extremo del terreno, se principian a determinar con el estadal los puntos donde quedará marcada con el cincel, la línea para la construcción del primer bordo. Pendiente abajo de la línea se da una idea del lugar donde quedarían los puntos para trazar el segundo y tercer bordo.

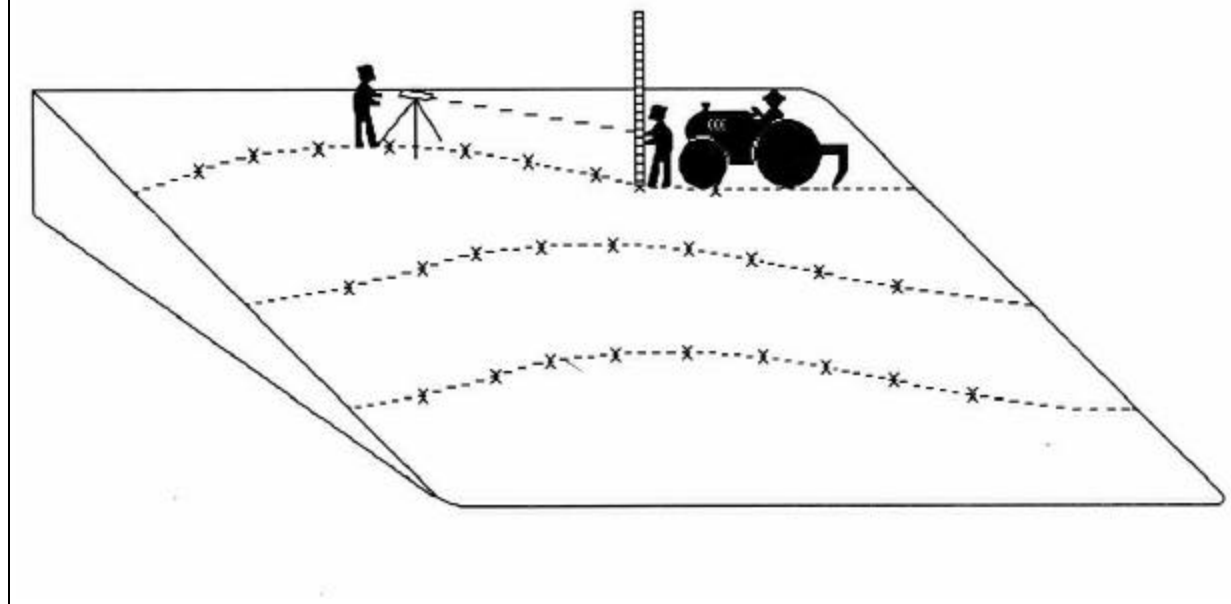
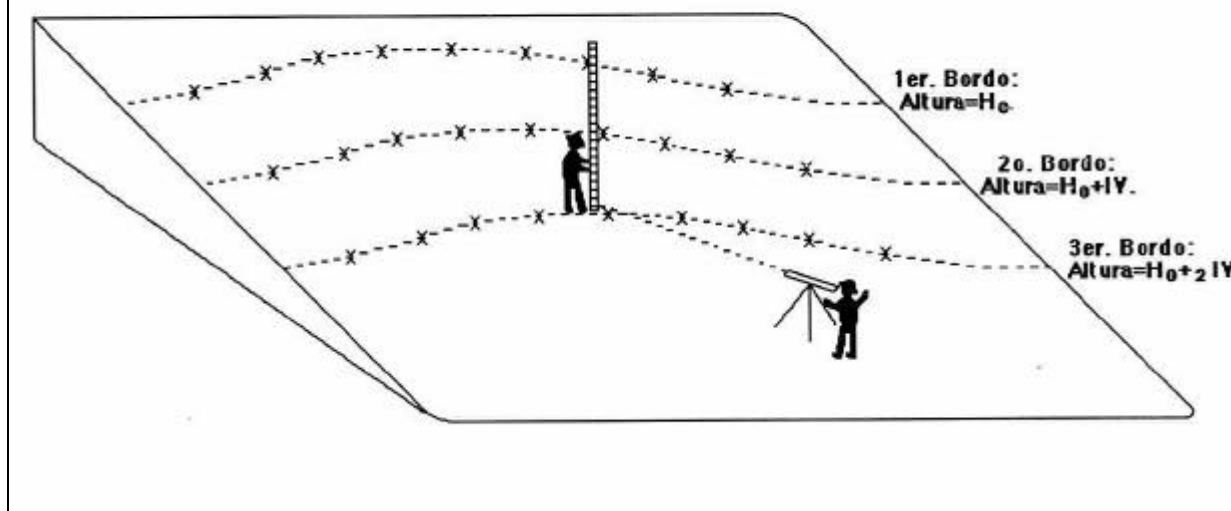


Figura 12. Si la longitud del estadal no alcanza para trazar un cuarto bordo, se verifica un cambio de aparato y se hace colocar el estadal ligeramente pendiente arriba de la última línea trazada. Se toma una lectura atrás (LA) y la altura a leer en el estadal para trazar el cuarto bordo será igual a la suma de (LA+IV).



10. A la lectura atrás (LA) recién obtenida, se le suma el intervalo vertical (IV) inicialmente calculado. Esto será válido siempre y cuando la pendiente del terreno sea la misma; de no ser así, tendrá que calcularse un nuevo intervalo vertical que sería el que se sumará a la lectura atrás.

11. El valor dado por la suma (LA+IV), será la lectura de estadal que deberá obtenerse en todos los puntos de la línea que marcará el cincel para el cuarto bordo.
12. Para trazar la línea donde quedará ubicado el quinto bordo, deberá leerse sobre el estadal una serie de puntos pendiente abajo del cuarto bordo, equidistantes 20 m uno de otro con una altura (LA+2IV) y así se procederá hasta cubrir todo el terreno.

Construcción

La construcción de bordos antierosivos perdurables requiere de las siguientes operaciones de campo:

1. Dos pasos de arado con un ancho de 2 m y una penetración de 30 cm; tomando como centro para esta operación la marca que dejó el cincel al trazar los bordos antierosivos. El objeto de esta operación es poder disponer de suficiente suelo suelto para construir el bordo antierosivo.
2. Dos pasadas de una bordeadora, tratando de que esta operación cubra los 2 m de la franja barbechada (suelo movido) y que los discos de la bordeadora penetren los 30 cm de tierra arada. El propósito de esta operación es acumular la mayor cantidad posible de suelo en el centro de la franja barbechada.
3. Reducir a 1,75 m o quizá a 1,50 m el cubrimiento de los discos de la bordeadora, para luego dar el número pasos que sean necesarios para dejar un bordo de 1,00 m de alto.

Delimitación del área de escorrentía y del área de siembra entre bordos antierosivos

Construidos los bordos antierosivos se procederá a dividir la superficie que existe entre éstos en 2 áreas: una que será destinada a escorrentía del agua pluvial (LT-L) y la otra que será utilizada para siembra (L). Lo anterior puede llevarse a efecto haciendo uso del criterio comprendido en el siguiente modelo:

$$CE[\% P(PP)(LT - L)A] + \% P(PP)LA = EvLA$$

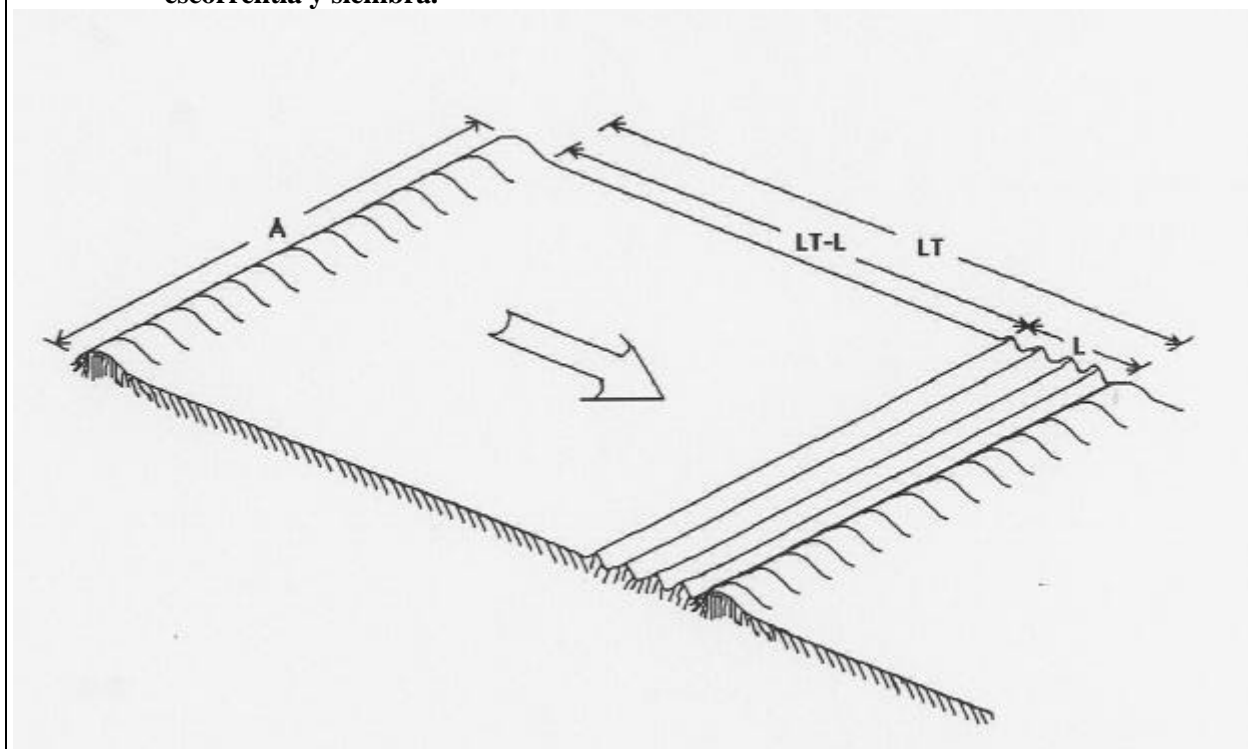
Donde:

- CE = Coeficiente de escorrentía (adimensional).
 %P = Porcentaje probable de precipitación pluvial que puede ocurrir durante el ciclo vegetativo (decimal).
 PP = Precipitación pluvial promedio anual, según isoyeta del lugar (m).
 LT = Longitud total entre bordos antierosivos (m).
 Ev = Uso consuntivo o evapotranspiración (m).
 L = Longitud del área de cultivo (m).
 A = Ancho del área de escorrentía y cultivo (m).
 Al despejar L del modelo anterior se tiene:

$$L = \frac{CE(\% P)(PP)LT}{(\% P)(PP)(CE - 1) + Ev}$$

Con lo cual puede calcularse la longitud del área de cultivo y al substraer L de LT, quedaría determinada la longitud del área de escorrentía (**figura 13**).

Figura 13. Sección entre dos bordos antierosivos, donde se muestra la superficie destinada a escorrentía y siembra.



Mantenimiento

Las labores de mantenimiento requeridas por este modelo, son enumeradas a continuación:

1. Conservar limpia la superficie destinada al área de escorrentía. Es decir deshierbar periódicamente con el propósito de que no se abate el volumen de agua necesario para cumplir con la demanda evapotranspirativa del cultivo que se tenga en pie.
2. De ser posible compactar periódicamente el área de escurrimiento después de cada lluvia con el propósito de ir incrementando el coeficiente de escorrentía (CE) y de esta manera ir también incrementando hasta un cierto límite la superficie de siembra y reduciendo la de escorrentía.
3. Tratar de estabilizar los bordos antierosivos con vegetación apropiada para este propósito. La plantación de xerófitas de los géneros *Agave* (magueyes) y *Opuntia* (nopales) son recomendables.
4. En caso de suelos de texturas pesadas (arcillosos), de baja velocidad de infiltración es recomendable subsolar el área de siembra con el propósito de acelerar la infiltración y evitar pérdidas por evaporación del agua que pudiera quedar estancada en esta área.

Potencial de producción

El potencial de producción de esta tecnología radica en que al destinar una parte de la superficie total exclusivamente para hacer escurrir el agua de lluvia hacia el área de siembra, se puede satisfacer la demanda evapotranspirativa de un cultivo y por lo tanto es posible garantizar que éste llegue hasta su fase de producción. La demanda evapotranspirativa o uso consuntivo de un cultivo es una constante fisiológica inviolable, que al no satisfacerse, el cultivo no podrá completar adecuadamente su ciclo vegetativo y por lo tanto no podrá haber producción o ésta será inferior a la potencialmente posible en cantidad y/o calidad. Cabe hacer notar que bajo condiciones de semidesierto, es decir considerando un rango de 250 a 500 mm. de lluvia anual, para cultivos de maíz, frijol, plantas caducifolias y pastos, las relaciones de áreas de siembra a áreas de cultivo pueden fluctuar desde 1:3 hasta 1:10. Lo anterior indica que una importante porción de tierra de los semidesiertos tendrá que destinarse a abastecer de agua a una reducida superficie para hacer posible la subsistencia de sus moradores.

Grado de complejidad

La información técnica requerida para este propósito básicamente consiste en conocer la magnitud anual de la precipitación pluvial y la cantidad que de ésta cae durante el ciclo vegetativo de un cultivo, lo cual probablemente podría ser el dato más laborioso de precisar. Se hace necesario también conocer la demanda evapotranspirativa del cultivo; la profundidad del suelo, la pendiente del terreno y su coeficiente de escorrentía.

Por lo que se refiere a la tecnología a emplear, solamente se hace necesario conocer los principios elementales de conservación de suelos para construcción de bordos antierosivos y la aplicación de la fórmula aquí incluida para delimitar las áreas de escorrentía y siembra, en la superficie disponible entre bordos antierosivos.

Finalmente y en lo que concierne a implementos, solamente se requieren aquellos comúnmente utilizados en las prácticas topográficas de conservación de suelos como son: un nivel montado o teodolito, estadal y cinta métrica. Además se necesita un tractor agrícola equipado con un implemento para marcar líneas a nivel sobre el terreno, un bordeador y un rodillo pesado para compactar áreas de escorrentía.

Limitaciones

La única limitación que podría tenerse con la aplicación de esta tecnología, sería aquella debida al comportamiento errático de la precipitación pluvial. Es decir, los riesgos de que ocurra un desfase de los ciclos lluviosos y variaciones en la cantidad de lluvia recibida aunque la precipitación pluvial ocurra durante la época esperada. Sin embargo, estos riesgos pueden reducirse a un mínimo, utilizando en los cálculos una magnitud prudente respecto al porcentaje probable de lluvia que pueda recibirse durante un ciclo vegetativo.

Impacto socioeconómico y ambiental

Costos y retornos

La implantación de la tecnología más las siembras del primer año, alcanzan un costo inicial de \$EE.UU. 525 por hectárea. El costo en los años subsecuentes se reduce a \$EE.UU. 225 por hectárea. Haciendo uso de la tecnología referida, los campesinos en el sur del Estado de Nuevo León producen 1 500 kilogramos de maíz/ha./año, con un ingreso bruto de \$EE.UU. 300 y 4 400 kilogramos de pastura seca de sorgo almuha/ha./año, con un ingreso bruto de \$EE.UU. 270. Cabe aclarar que el cultivo tradicional de maíz les produce un promedio de 500 kg/ha/año.

Generación de empleo

El establecimiento de esta tecnología por hectárea de terreno requiere de:

- Diez peones de campo durante 5 días para el desmonte manual del área (incluyendo desenraizado también manualmente).
Costo estimado actual de esta operación = \$EE.UU. 125.
- Un tractorista, un estadalero y 2 peones de campo, durante 3 días para el trazo y construcción del bordeo antierosivo. Considerando 5 bordos por hectárea, aproximadamente.
Costo estimado actual de esta operación = \$EE.UU. 100.
- Tres peones de campo, durante 10 días para la plantación de especies xerófitas (nativas de la región), en los bordos antierosivos para lograr su estabilización.
Costo estimado actual de esta operación = \$EE.UU. 75.
- Cinco peones de campo, durante 3 días a veces por año, para el deshierbe de las áreas de escorrentía. Considerando de 8 000 a 9 000m². de este tipo de superficie por ha de terreno.
Costo estimado actual de esta operación = \$EE.UU. 60.
- Un tractorista (con tractor equipado con un rodillo pesado), durante 2 días para compactar las áreas de escorrentía 2 veces por año, después de las lluvias.
Costo estimado actual de esta operación = \$EE.UU. 67.
- Un tractorista para barbechar (arar) y rastrear las áreas de siembra ubicadas entre bordos antierosivos considerando de 1 000 a 2 000 m² de este tipo de superficie por ha de terreno.
Costo estimado actual de esta operación = \$EE.UU. 25.
- Tres peones de campo, durante 3 días para la siembra de un cultivo anual (maíz), o bien el mismo número de trabajadores durante el mismo tiempo para la siembra de un cultivo perenne (pasto). Incluyendo en ambos casos el costo de la semilla.
Costo estimado actual de esta operación = \$EE.UU. 35.
- Dos peones de campo, durante 3 días para hacer un cultivo, y dos deshierbes durante el ciclo vegetativo del cultivo anual; o bien 3 deshierbes por año durante el cultivo perenne.
Costo estimado actual de esta operación = \$EE.UU. 15.
- Tres peones de campo durante 3 días para recolección de la cosecha, desgrane en caso de maíz o sorgo y empacado de los esquilmos (rastros).
Costo estimado actual de esta operación = \$EE.UU. 23

Sostenibilidad

La aplicación de esta tecnología hace posible la productividad agrícola de escorrentías porque dentro de lo que es práctico y posible, se están tomando en cuenta las características edáficas y pluviales del área de trabajo. Además se cumple con el requisito de sostenibilidad, porque

inmediatamente después del desmonte, se construyen bordos antierosivos que protegen al terreno contra la hidroerosión con lo cual se está controlando la acción de una de las principales causas de la desertificación.

Descripción de casos

Lugar y fecha

La tecnología descrita se ha utilizado en la producción de pasturas como Sorgo Almun *Sorghum almun* ; Maíz *Zea mays* y Girasol *Helianthus annuus* en el ejido Lagunita y Ranchos Nuevos del municipio de Doctor Arroyo, Estado de Nuevo León. México. Estos sistemas de producción se introdujeron en el medio rural semidesértico de México a partir de 1987 y en este lugar se siguen utilizando a nivel de autoconsumo (Velasco Molina et al, 1980).

Características del lugar y de las técnicas aplicadas

El núcleo de población donde se practica esta tecnología, tiene una superficie de 4 340 ha y una población de 257 habitantes. Está ubicado en el sur del Estado de Nuevo León. Su localización geográfica es de 24° 48' latitud Norte y 100° 07' longitud Oeste. Su elevación es de 1 750 m sobre el nivel del mar y su precipitación pluvial de 380 mm por año. El clima del lugar se clasifica como BSokw'', lo cual puede interpretarse como semiárido o estepario, con régimen de lluvias de verano y con una temperatura media anual que fluctúa entre 12 y 18°C.

La vegetación del área está dominada por **matorrales micrófilos** de Gobernadora *Larrea tridentata* y Hojasé *Flouencia cernua*; por **matorrales rosetófilos** de Lechuguilla *Agave lechuguilla*; por **matorrales crasicaulés** de Coyonoxtle *Opuntia imbricata*, Bisnaga colorada *Ferocactus pringlei*, Nopales *Opuntia spp.* así como Magueyes *Agave spp.* En los bajos de las depresiones aparecen los **matorrales espinosos** de Huizache *Acacia schaffneri* y Mezquite *Prosopis juliflora* y en los taludes de los lomeríos **izotales** de Palma china *Yucca filifera* y Palma samandoca *Yucca carnerosana*. Apareciendo también algunos pastos nativos de los géneros Boutelouá, Aristida, Festuca y Agropyron.

La topografía del área está formada por lomeríos suaves con pendientes que no exceden del 6%. La profundidad de los suelos en las áreas inclinadas generalmente fluctúa entre 10 y 25 cm y en las partes bajas que es donde están localizadas las parcelas (áreas de cultivo) de los campesinos, la profundidad de los suelos es mucho mayor. Los suelos derivan de rocas yesíferas y pueden considerarse de buena fertilidad.

Las fuentes de vida de este núcleo de población son: la agricultura de escorrentías generalmente en parcelas de 2 a 4 ha.; tallado (extracción) del ixtle (fibra) de la Lechuguilla y de la Palma samandoca; pastoreo de ganado caprino principalmente, aunque algunos de los campesinos tienen algo de ganado vacuno. Algunos de ellos tienen también modestos restaurantes carreteros como fuentes de vida, ya que la carretera federal 57 (Saltillo-Matehuala), pasa por los terrenos de este ejido. Finalmente, los pobladores de este lugar, emigran temporalmente a la ciudad de Monterrey y al vecino país del Norte donde desempeñan trabajos de mano de obra.

Resultados en la producción

La tecnología "Aprovechamiento de la precipitación pluvial entre bordos antierosivos. Utilización de microcuencas para huertas de semidesierto y construcción de sistemas recolectores de agua de lluvia para consumo humano y consumo animal" fue introducida con carácter experimental en el ejido Lagunita y Ranchos Nuevos (cuyas características se han incluido anteriormente). Terminada la fase experimental en 1981, se entregó a los campesinos cuatro exclusiones de 16 ha cada una, donde precisamente fueron construidos los bordos antierosivos; una huerta diseñada en base a microcuencas y ocho sistemas recolectores de agua de lluvia. A partir de la fecha indicada, los habitantes de este lugar utilizan la infraestructura establecida estrictamente a nivel de autoconsumo (Velasco Molina et al, 1980).

Dirección para consultas

Dr. Hugo A. Velasco Molina
Departamento de Ingeniería Agrícola
División de Agricultura y Tecnología de Alimentos
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Sucursal de Correos "J"
Monterrey, Nuevo León. México.
C.P. 64849.

MICROCAPTACIÓN, CULTIVOS ANUALES Y PERENNES, BRASIL

Aderaldo de Souza Silva, Ing. Agr. M.Sc. Investigador en Manejo de Suelo y Agua;
Everaldo Rocha Porto, Ing. Agr. Ph.D. Investigador en Manejo de Suelo y Agua;
José Barbosa dos Anjos, Ing. Agr. M.Sc. Investigador en Mecanización Agrícola;
María Sonia López da Silva, Ing. Agr. M.Sc. Investigador en Manejo de Suelo y Agua.
EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE, Brasil.
Saúl Pérez Arana, Ing. Agr. Especialista en Cosecha de Agua de Lluvia;
DIRYA-DIGESA, Guatemala.

Antecedentes históricos

En condiciones áridas y semiáridas, especialmente en el nordeste brasileño, son muy grandes los problemas relacionados con el manejo y conservación de agua y suelo, tomando en cuenta factores climáticos como ocurrencia de bajas precipitaciones, su irregularidad espacial y temporal, (concentrándose en períodos de 3 a 5 meses), suelos superficiales, pedregosos y con baja capacidad de retención.

Según Lal *et al.* (1984), en Brasil la idea del uso de técnicas para minimizar el efecto de la irregularidad de las lluvias sobre la producción agrícola, datan de la década de los años 30. En 1936, en el municipio de Pilar, Estado de Pernambuco, Brasil, fue confirmada, experimentalmente, la necesidad de utilizar técnicas de conservación del agua de lluvia, una vez que las áreas dejadas en reposo, retenían mayor porcentaje de humedad.

La primera técnica de captación de agua de lluvia *in situ* adaptada a las condiciones semiáridas brasileñas, fue desarrollada por el Instituto Nordestino para el Fomento del Algodón y Oleaginosas (INAFOL), denominado "Método de Guimaraes Duque de Lavoura Seca". Este método consistía en el arreglo de surcos y camellones a nivel, específico para el cultivo del algodón arbóreo, permitiendo un incremento en la productividad, superior al 100% (INFAOL, 1973).

En 1980, el Centro de Pesquisa do Trópico Semi-árido (CPATSA), introdujo e intensificó sus investigaciones en técnicas de captación de agua de lluvia *in situ*, adaptando algunos métodos, para la explotación agrícola, tanto de cultivos perennes como anuales (Silva & Porto, 1982).

Aspectos técnicos

Descripción

El sistema de microcaptación o recolección de agua de lluvia *in situ*, consiste en la modificación de la superficie natural del terreno, a manera de formar uno o más planos inclinados que induzcan la formación de escorrentía superficial, en el propio pie de la planta. En general, la captación *in situ* consiste en la formación de surcos y camellones sucesivos; también pueden ser pequeñas cuencas o fajas excavadas alrededor de la planta. Estableciendo una clasificación general, se pueden agrupar en función del cultivo: anual o perenne. Las **figuras 14 y 15** presentan respectivamente, un sistema para cultivos anuales y otro para cultivos perennes.

Objetivos

Aumentar la eficiencia de utilización del agua de lluvia en regiones de baja precipitación, a través de la inducción de escorrentía superficial y conservación de suelo y agua en áreas para cultivos.

Selección del área

A continuación, se presentan los requerimientos básicos para el establecimiento de un sistema de captación del agua de lluvia *in situ*.

Suelos

La capacidad de retención de agua en el suelo es factor determinante para la implementación de esta técnica; por eso, un suelo de textura media, con buena estructura y buen drenaje, sin obstáculos para el laboreo agrícola, con profundidad mayor de 0,5 m, es indispensable para el éxito de la misma.

Clima

Durante varios años de investigación en el CPATSA, se ha observado que el efecto de la técnica de captación de agua de lluvia *in situ* es inversamente proporcional a la cantidad e irregularidad de las lluvias; esto quiere decir, que en años de precipitaciones irregulares, el efecto de la técnica es significativo. Sin embargo, se sabe que es necesario un mínimo de precipitación para proporcionar condiciones de humedad al suelo. En estas investigaciones, se observó que con apenas 98,2 mm de precipitación ocurrida en el ciclo de cultivo de frijol caupí, se obtuvo un incremento del 50% en la productividad del cultivo, si se compara con un sistema de cultivo en terrenos planos. Estos resultados confirman la importancia de la técnica para la agricultura dependiente de lluvia en regiones áridas y semiáridas.

Topografía

Como los surcos y camellones de la captación de agua de lluvia *in situ* son a nivel, la topografía no representa un factor limitante. Sin embargo, no se recomiendan terrenos con pendientes mayores del 10% porque, como los surcos deben tener 0,3 m de profundidad promedio, la ocurrencia de precipitaciones intensas asociadas a pendientes pronunciadas, pueden provocar el desbordamiento del agua en alguno de los surcos y desencadenar un proceso continuo en los demás, damnificando la estructura del sistema. Para pendientes mayores del 10%, se sugiere la asociación de la captación del agua de lluvia *in situ* con un sistema de terrazas.

Figura 14. Sistema de captación *in situ* para cultivos anuales.



Figura 15. Sistema de captación *in situ* para cultivos perennes.



Diseño

Anaya et al (1976), desarrollaron una fórmula para el cálculo del espaciamiento entre hileras para la captación de agua de lluvia *in situ* (detalles sobre su desarrollo y aplicación ya fueron presentados en un capítulo anterior) cuya utilización se recomienda tanto para cultivos anuales como para cultivos perennes.

Trazo

El procedimiento para la implantación de la técnica de captación de agua de lluvia *in situ* en el campo es muy simple. Después de las prácticas de arado y rastreado del suelo, se marcan las curvas de nivel, las cuales deben ser en promedio, cinco por hectárea. Áreas de topografía irregular requieren mayor número de curvas a nivel.

Construcción

Son varias las maneras que hay para hacer la captación del agua de lluvia *in situ*; pero, en forma general, pueden agruparse de acuerdo al cultivo: anual y/o perenne.

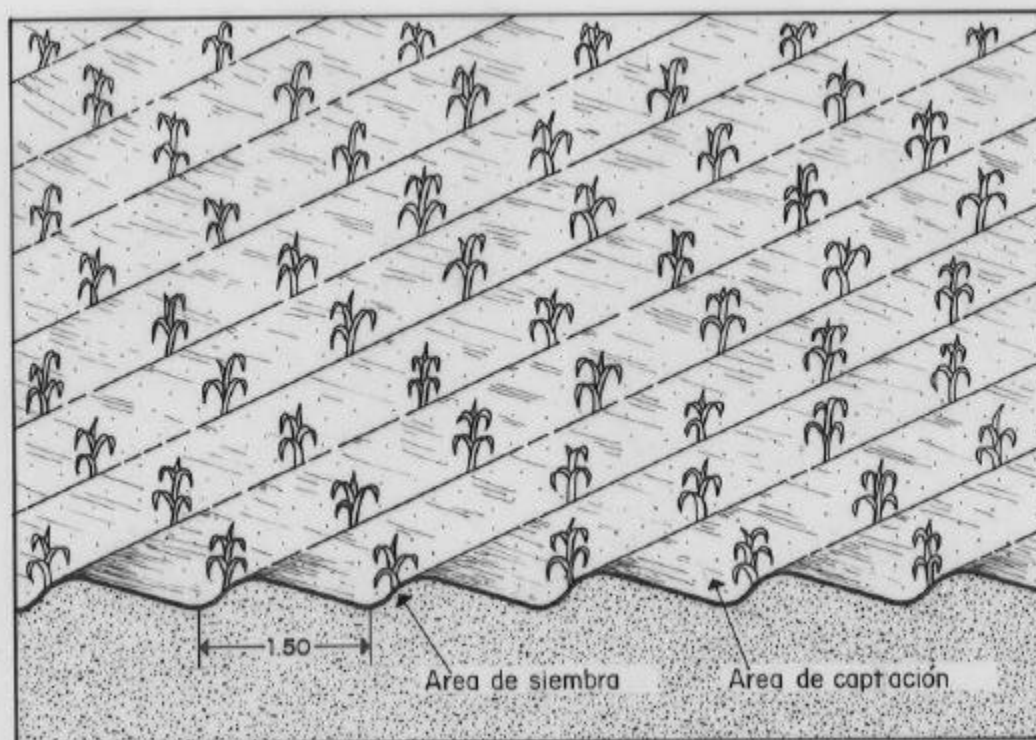
Cultivos anuales

Existen varias configuraciones de captación *in situ* para cultivos anuales, todas constituidas por una secuencia de surcos y camellones. Las investigadas en la región semiárida de Brasil son: el método Guimaraes Duque (GM); el método ICRISAT; el método en "W"; y, el método de surcos interceptados.

A. Método Guimaraes Duque (GM)

Consiste en la formación de surcos seguidos por camellones altos y largos. En la **figura 16** se presenta el esquema de este tipo de captación. El surco y el camellón son formados a través de cortes efectuados con un arado de disco reversible sobre la curva de nivel previamente trazada. Generalmente, estos arados son de tres discos. Para esta práctica, se recomienda retirar uno de los discos dejándolo sólo con dos. El disco que se retira es el más próximo a los neumáticos del tractor.

El surcado se inicia tomando como base las curvas de nivel, depositando el suelo arado, siempre en el sentido de la pendiente. Para hacer el surco siguiente, se debe tener cuidado al maniobrar el tractor para que los neumáticos circulen sobre el suelo no trabajado, bordeando el surco anterior, y así sucesivamente. Este procedimiento es el que permite la formación del área de captación entre los camellones.

Figura 16. Método de captación del agua de lluvia *in situ* Guimaraes Duque.

Con este método, los surcos alcanzan una profundidad media de 0,25 m y un espaciamiento de 1,5 m, igual al ancho del tractor de neumáticos.

Este sistema presenta dos inconvenientes: el primero con respecto al equipo, ya que sólo puede hacerse con arado de discos, lo que implica la utilización de tractor; y el segundo, que sólo permite una hilera de plantas por surco, en el área de siembra (As).

B. Método ICRISAT

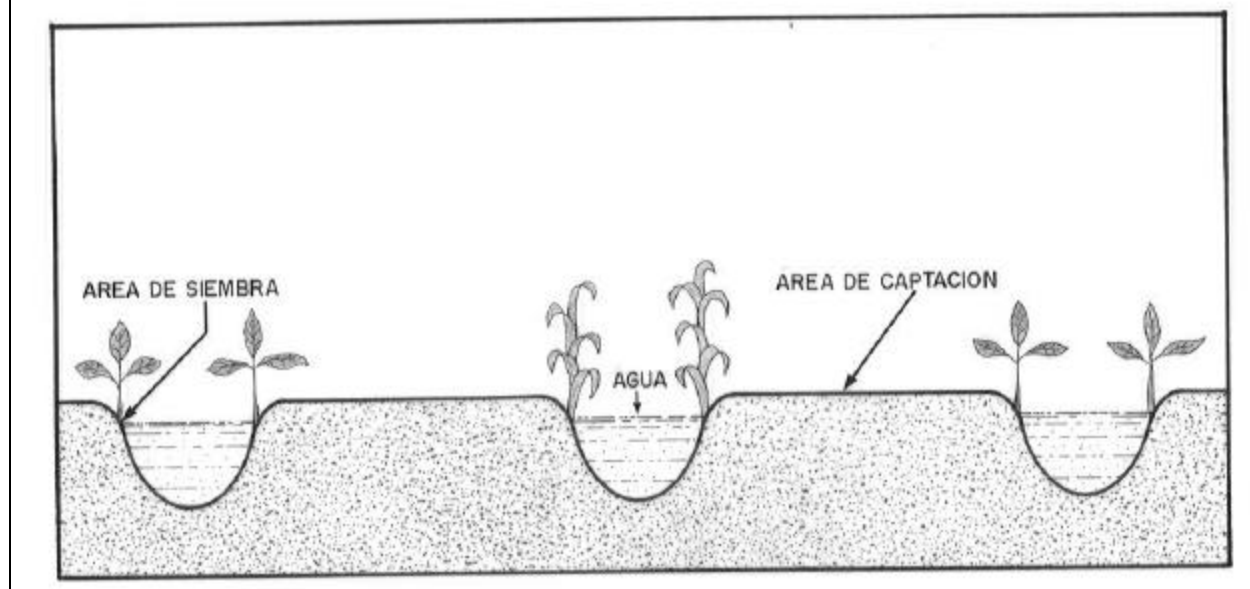
Este método es el más simple y práctico, pudiendo ser adaptado para casi todos los espaciamientos de los cultivos anuales. La denominación ICRISAT proviene de Internacional Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropic quienes estudiaron inicialmente el sistema. Consiste en la formación de surcos con profundidad de 0,20 m alternados por camellones un poco arriba del nivel normal de la superficie del suelo. El camellón se forma con el material retirado en la abertura del surco. Como la cantidad de suelo es pequeña, la altura del camellón también es pequeña. La **figura 17** presenta el modelo esquemático del sistema ICRISAT.

Además de poder adaptarse al espaciamiento de varios cultivos anuales, el sistema también presenta las ventajas de exigir poca fuerza de tracción en su confeccionamiento, y la colocación de dos líneas de cultivo en cada camellón. La utilización de poca fuerza de tracción, permite su implantación con animales.

La producción de escorrentía superficial es inferior a la de los otros sistemas debido a la poca inclinación que existe en el plano formado por el camellón que funciona como área de

captación. Los surcos son construidos con surcadores simples tradicionalmente utilizados en la preparación del suelo, principalmente en áreas irrigadas por surcos. Es importante que las bordas de los camellones tengan una forma redondeada, para lo cual se recomienda la colocación de una cadena, de aproximadamente 1,8 m de largo, en la parte trasera de los surcadores. Durante la preparación del suelo, la cadena arrastra el excedente depositado sobre el camellón configurando los bordes redondeados.

Figura 17. Técnica de captación de agua de lluvia a través del modelo ICRISAT.



C. Método en "W"

El método consiste en la formación de una secuencia alterna entre camellones largos y camellones estrechos (**figura 18**). Los camellones largos tienen sección triangular, la cual funciona como área de captación; los camellones estrechos tienen sección trapezoidal y conforman el área de siembra. Entre ambos, se forman los surcos que almacenan el agua captada; es decir que el método en "W" establece dos áreas de captación adyacentes que dirigen el agua de escorrentía hacia un camellón del lado izquierdo y hacia otro del lado derecho. La siembra del cultivo se hace en cada lado del camellón.

Este sistema presenta las siguientes ventajas: permite la mecanización, inclusive, para el manejo de los cultivos; facilita la incorporación de materia orgánica para el mejoramiento del suelo en el área de siembra y puede adaptarse a cualquier espaciamiento de siembra.

El sistema puede implantarse con tractor o con tracción animal. Los surcos se hacen con surcadores "pico de pato" a los que es necesario adaptar una plancha de hierro que da la forma triangular al área de captación. Para ello, se debe efectuar el siguiente procedimiento:

Trabajando con Tractor

Generalmente, las barras portaimplementos de los tractores tienen dos tamaños: 2,0 y 3,5 m. Cuando se utiliza la barra de 2,0 m se acoplan tres surcadores: uno en el centro y los otros dos espaciados 0,75 m a cada lado del primero. Se prevé la adaptación de una plancha metálica atornillada en el ala interna de los surcadores, tanto en el de la derecha como en el de la izquierda, las cuales llevan colocadas cadenas en sus otros extremos, a manera de tensores de ajuste.

Con esta adaptación, es necesario hacer dos pasadas del implemento para la confección del sistema; la **figura 19** presenta un modelo esquemático del proceso para diversos espaciamientos. En el primer paso, se acoplan solamente los tres surcadores a la barra portaimplementos, con espaciamiento de 0,75 m entre sí; en el segundo paso, se retira el surcador del centro y las planchas metálicas son adaptadas a las alas internas de los surcadores de los extremos para poder dar la configuración deseada al área de captación. Esto, presenta el inconveniente de disminuir la eficiencia de la operación.

Cuando se utiliza la barra portaimplementos de 3,5 m, se acoplan cuatro surcadores distanciados 0,75 m entre sí. En este caso, las planchas metálicas se colocan en los surcadores internos. Las cadenas se colocan de la misma manera como en el primer caso. A través de este montaje, el proceso es más eficiente porque sólo es necesario hacer un paso del implemento para la confección del sistema, pero presenta la limitante de requerir un tractor con fuerza mayor.

Figura 18. Técnica de captación de lluvia a través del modelo “W”.

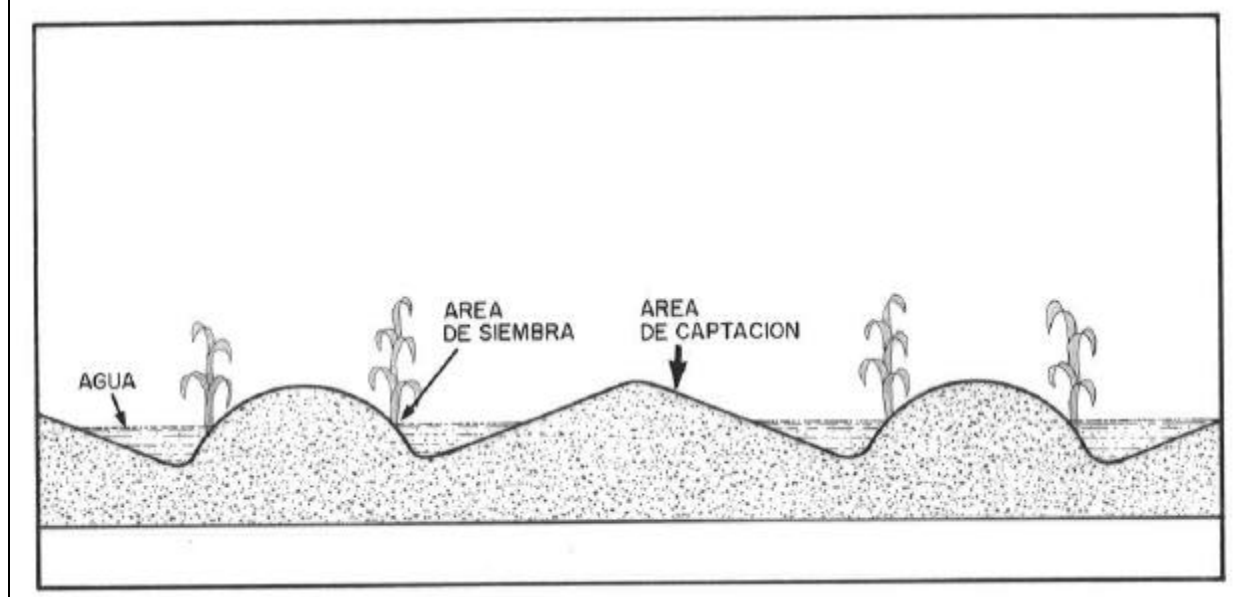
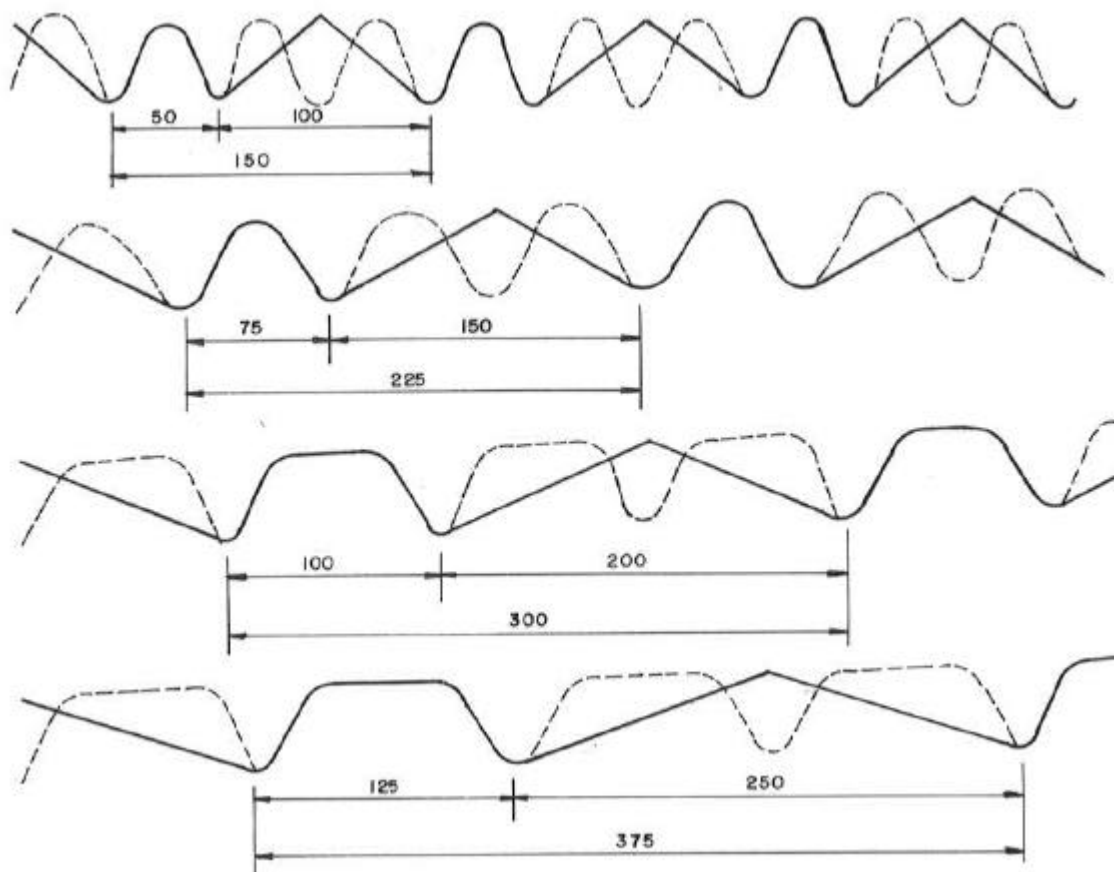


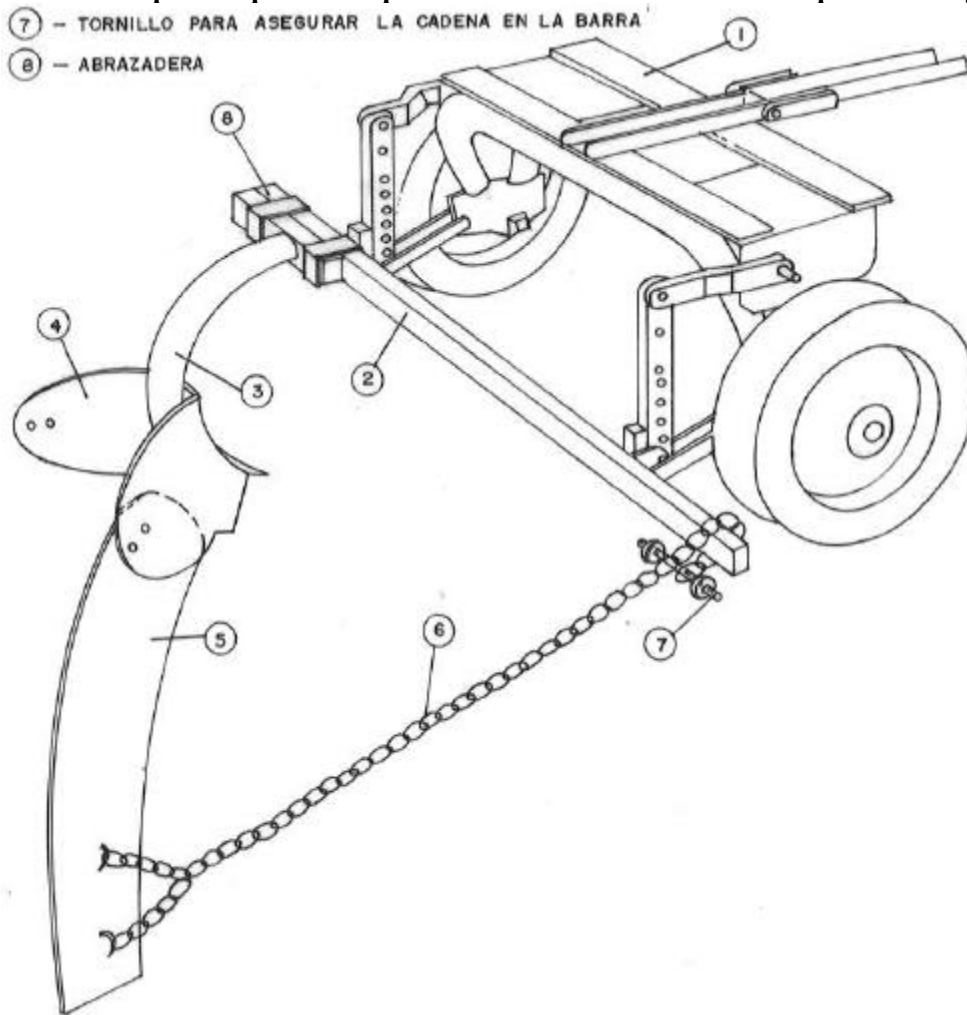
Figura 19. Modelo esquemático de la técnica de captación de agua de lluvia *in situ* tipo “W”, usando la plancha de hierro, para varios espaciamientos.



Trabajando con tracción animal

En este caso, solamente se acoplan dos surcadores a la barra portaimplementos del yunticultor (yunta de animales de tiro). El proceso es similar a cuando se usa la barra de 2,0 m con tractor, pero en este caso, se acopla sólo una plancha metálica (**figura 20**). Como consecuencia, el proceso de preparación del suelo es muy lento, porque se confecciona sólo un lado de la captación en cada paso del implemento.

Figura 20. Modelo esquemático del surcador con la plancha de hierro de acoplamiento al chasis portaimplementos para la confección del sistema de captación de agua de lluvia *in situ*.



- | | |
|---------------------------------|---|
| ① <i>Chasis</i> | ⑤ <i>Plancha de hierro</i> |
| ② <i>Barra portaimplementos</i> | ⑥ <i>Cadena</i> |
| ③ <i>Soporte del surcador</i> | ⑦ <i>Tornillo para asegurar la cadena en la barra</i> |
| ④ <i>Cuerpo del surcador</i> | ⑧ <i>Abrazadera</i> |

D. Método de surcos interceptados

El método consiste en la intercepción de los surcos con pequeñas tapadas construidas con parte del suelo removido del propio surco, a través de la utilización de equipo de tracción animal (**figura 21**), con el objetivo de impedir el escurrimiento del agua de lluvia en el surco, permitiendo de esta manera, una mayor oportunidad de infiltración en el perfil del suelo.

El surco puede taponarse antes y/o después de la siembra, recomendándose que la intercepción (tapón) sea de menor altura que los camellones para evitar el rompimiento de los surcos y, por consiguiente, la erosión en las líneas de cultivo.

Cuando en un evento lluvioso ocurren grandes precipitaciones que provocan encharcamientos, se recomienda la eliminación del taponamiento de los surcos con la ayuda de surcadores simples; cuando las lluvias han disminuido, se deben formar nuevamente.

Cultivos perennes

Son innumerables las configuraciones dadas al sistema de captación de agua de lluvia *in situ* para árboles. Las **figuras 21 y 22**, presentan algunas formas esquemáticas de estas configuraciones; en todas ellas la idea es crear, artificialmente, microcuencas hidrográficas de aproximadamente 10,0 m cuadrados.

Las microcuencas pueden ser continuas o individuales. Si son continuas, se pueden formar haciendo camellones de aproximadamente 0,30 m, aún con tractor; en este caso, dos de los cuatro lados de la microcuenca se construyen mecánicamente, los otros dos lados se construyen a mano, con azadón. En la mayoría de los casos, las microcuencas son formadas individualmente.

Mantenimiento

Datos experimentales del CPATSA, comprueban que el método Guimaraes Duque es semipermanente y su mantenimiento en los años siguientes a su implantación debe hacerse removiendo el área de siembra con arado de vertedera a tracción animal. La primera pasada de arado remueve el suelo en el sentido de la pendiente tirándolo hacia la parte interior del surco; la segunda pasada, tira el suelo removido para encima del camellón. Las limpiezas del área de captación deben hacerse también con implementos a tracción animal, complementándose con azadón.

Figura 21. Método de captación del agua de lluvia *in situ* a través del método de surcos interceptados.



En los otros métodos es posible hacer el mantenimiento siguiendo el mismo procedimiento del método Guimaraes Duque, pero resulta menos costoso rehacer todo el sistema con implementos a tracción animal, que hacer las limpias con azadón.

Potencial de producción

El método Guimaraes Duque sólo permite una hilera de plantas por surco. Para disminuir el efecto de esta limitante, se sugiere aumentar el número de plantas por área (densidad de siembra) una vez que el sistema induce una mayor disponibilidad de humedad en el suelo.

Datos experimentales comprueban que un cultivo de frijol caupí, con densidad de siembra alrededor de 50 000 plantas/ha, alcanzó una producción de 1 037,20 kg/ha, y con precipitación total en el ciclo del cultivo de 405 mm.

Estos resultados evidencian la importancia de la técnica de captación de agua de lluvia *in situ* en cultivos de secano en regiones de baja precipitación, una vez que la productividad media de la región para el cultivo de frijol caupí, está alrededor de los 400 kg/ha (Morgado y Rao, 1985; y Fundación IBGE, 1979).

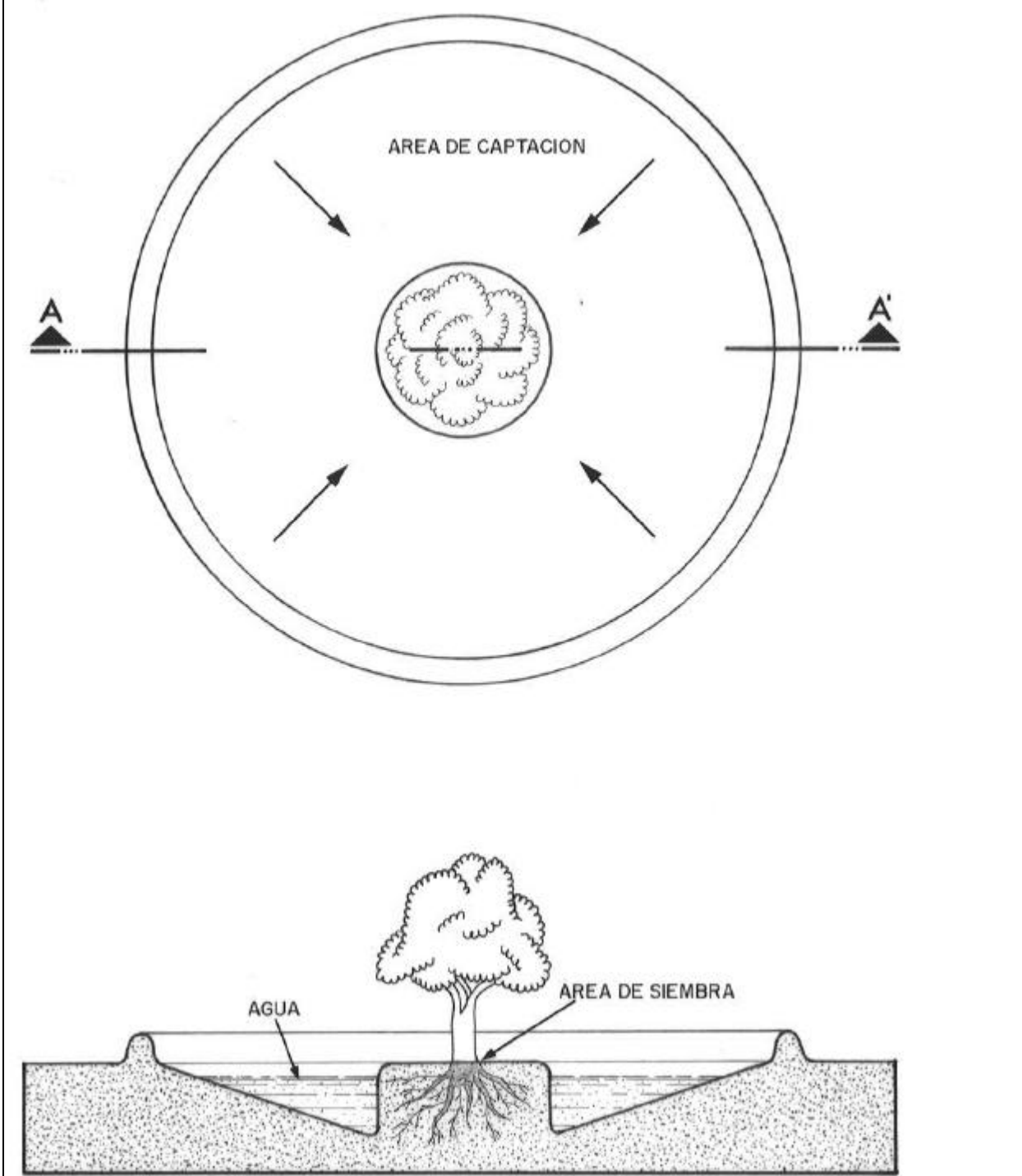
Grado de complejidad

La captación de agua de lluvia *in situ*, es una técnica simple y accesible a todos los niveles de productores, en vista de que, tradicionalmente, algunos ya efectúan prácticas de preparación del suelo como el arado y rastrado; demostrando así, la facilidad de acceso al conocimiento de los implementos necesarios para la captación de agua de lluvia *in situ*.

Limitaciones

La mayor limitación de la captación de agua de lluvia *in situ*, consiste en la disponibilidad de

Figura 22. Modelo esquemático de la técnica de captación de agua de lluvia *in situ* para frutales o cultivos perennes con microcuencas de captación individual para cada árbol.



equipos en el medio rural, donde el número de tractores o arados es limitado; el precio de la hora/máquina es elevado y los implementos a tracción animal y los animales no cubren la demanda; además de que la manutención de los animales es alta.

Estas limitaciones se acentúan más, debido a que las operaciones de preparación de los terrenos se concentran en un sólo período del año, provocando una mayor demanda de los mismos.

Otra limitación para la implantación de sistemas de captación del agua de lluvia *in situ*, con pequeños agricultores, es que la mayoría de ellos poseen tierras marginales no aptas para cultivos, es decir, con alto grado de pendiente, suelos poco profundos y con baja capacidad de retención de humedad. En este último caso, es importante incrementar la retención de agua en el suelo a través de la incorporación de materia orgánica.

Impactos socioeconómico y ambiental

Costo y retorno

El **cuadro 8** presenta la boleta de cálculo sobre los costos y retornos de un sistema de captación *in situ* para cultivos anuales constituido por la asociación de frijol y yuca. El costo total de las inversiones es de \$EE.UU. 135,00 por hectárea. Para un financiamiento bancario por un período de tres años, con interés del 8% anual, el costo total, incluyendo el costo de mantenimiento, es de \$EE.UU. 208,6 por hectárea.

La producción promedio conseguida en condiciones de 400 mm de lluvia por año, en el Nordeste de Brasil, es de 450 kg y 4 000 kg de frijol y yuca, respectivamente. Este resultado es un promedio de 10 años. Como se puede observar en el **cuadro 8**, la renta neta en esas condiciones es de \$EE.UU. 285,4 anuales por hectárea. Por lo tanto, es una actividad rentable.

Generación de empleo

Las técnicas de captación de agua de lluvia *in situ*, presentan diferentes grados de exigencia de mano de obra en función del tipo de sistema a implantarse y del tipo de suelo a trabajar. Para los sistemas de cultivos anuales la generación de empleo es baja porque son constituidos, en gran parte, mecanizadamente. Por otro lado, para los cultivos perennes, en general, el sistema consiste en microcaptación con cuencas individuales. Este sistema es construido manualmente por lo que requiere mucha mano de obra.

Sostenibilidad

La captación del agua de lluvia *in situ*, promueve la conservación de los recursos naturales, principalmente suelo y agua, tan limitantes en las regiones áridas y semiáridas además de proporcionar incrementos significativos en la productividad agrícola, una mayor oferta de alimentos y, por consiguiente, mejorar la calidad de vida en el medio rural.

Cuadro 8. Costo y rendimiento del sistema de captación *in situ* para cultivos anuales (Sistema ICRISAT)

Detalles:		
Cultivo: Asociación Frijol/Yuca	Area de cultivo	1,0 ha
Distancia entre surcos:	1,5 m	Produc. de frijol 450 kg/ha
Distancia entre filas de frijol:	1,5 m	Produc. de yuca 4 000 kg/ha
Distancia entre filas de yuca:	4,5 m	Valor dólar ,0
Distancia entre plantas de frijol:	,2 m	Valor dólar 1.0 RS
Distancia entre plantas de yuca:	,8 m	Período 3 años
Período de gracia:	,0 años	Intereses (año) 8,0 %

Actividad	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (R\$)	Valor Total (R\$)	Valor Total (\$EE.UU.)	Valor Total (-Q-)		
1. Costos de Inversiones:								
1.1 Mano de obra/uso de implementos:								
• Limpieza del área	hom./día	15,0	1,0	15,0	15,0	,0		
• Arado	hora/trat.	4,0	15,0	60,0	60,0	,0		
• Trazo de la curva de nivel	hom./día	,5	1,0	,5	,5	,0		
• Construcción de los surcos	hora/trat.	3,0	15,0	45,0	45,0	,0		
• Construc .de los surcos de retención	hora/trat.	1,0	15,0	15,0	15,0	,0		
1.2 Materiales		,0	,0	,0	,0	,0		
Costo total de inversión				135,5	135,5	,0		
2. Costos Anuales:								
2.2 Insumos:								
• Semilla del frijol	kg	20,0	1,0	20,0	20,0	,0		
• Semilla de yuca	kg	50,0	1,0	50,0	50,0	,0		
• Abono fosfatado simple	kg	,0	,2	,0	,0	,0		
• Cimbush	l	,0	7,0	,0	,0	,0		
• Nuvacron	l	1,0	9,0	9,0	9,0	,0		
Total anual insumo				79,0	79,0	,0		
2.3 Mano de obra/uso implementos:								
• Siembra/fertilización	hom./día	3,0	1,0	3,0	3,0	,0		
• Limpias	hom./día	20,0	1,0	20,0	20,0	,0		
• Aplicación de pesticida	hom./día	2,0	1,0	2,0	2,0	,0		
• Cosecha del frijol	hom./día	7,0	1,0	7,0	7,0	,0		
• Cosecha de la yuca	hom./día	4,5	10,0	40,0	40,0	,0		
• Beneficiamiento de la yuca	hom./día	5,0	1,0	5,0	5,0	,0		
Total anual insumo				77,0	77,0	,0		
3. Costo:								
3.1 Total (inversión + costo año 1)				291,6	291,5	,0		
3.2 Anual (inversión + costo año 1)				208,6	208,6	,0		
	Precio/kg			kg/área cultivada				
4. Rendimiento Anual:	R\$	\$EE.UU	-Q-	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
4.1 Producción								
Frijol	1,0	1,0	,0	450,0	450,0	450,0	450,0	450,0
Yuca	,05	,05	,0	4 000,0	4 000,0	4 000,0	4 000,0	4 000,0
4.2 Renta bruta total								
En R\$				650,0	650,0	650,0	650,0	650,0
En US\$				650,0	650,0	650,0	650,0	650,0

En moneda local -Q-	,0	,0	,0	,0	,0
4.3 Renta Neta					
En R\$	285,4	285,4	285,4	285,4	285,4
En US\$	285,4	285,4	285,4	285,4	285,4
En moneda local -Q-	,0	,0	,0	,0	,0
					Total Anual
5. Generación de empleo:					
5.1 Utilización de mano de obra					Area total
En la implant. del sistema	hom./día				15,5
En el mantenim. y labores culturales	hom./día				41,0

R\$ es la moneda oficial de Brasil

Descripción de casos

En el Nordeste de Brasil, los gobiernos de los estados de Sergipe y Río Grande do Norte han apoyado la aplicación de estas técnicas.

En el Estado de Sergipe existen muchas áreas explotadas con el sistema de captación *in situ*; en su mayoría son áreas con cultivos de subsistencia, es decir maíz y frijol. Los lugares donde más se han intensificado las técnicas son: Porto da Folha, Poço Redondo, Monte Alegre y Nossa Senhora da Glória. En esta región, los suelos son muy susceptibles a la erosión hídrica y presentan una pluviometría promedio anual alrededor de los 600 mm.

En el Estado de Río Grande do Norte, se ha creado un programa de difusión de tecnologías en el que la captación *in situ* es prioritaria. La región es más amplia, los suelos son muy pobres y poco profundos; la precipitación promedio en los municipios que constituyen esta región está entre 500 y 600 mm/año. La captación *in situ* está siendo utilizada en el cultivo de maíz, frijol y algodón.

Dirección para consultas

CPATSA-EMBRAPA
Caixa Postal 23
56300-000 - Petrolina-PE
BRASIL