

Sistemas de Inundación

*René van Veenhuizen,
Oficial Profesional Asociado en Suelos, FAO*

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe las técnicas de captación de agua de lluvia, denominadas como “Sistemas de Inundación” o también como “Captación de Agua de Inundación dentro del cauce” y de “Derivación de Aguas para Inundación”. Se las conoce en Inglés como “Spate Irrigation” y “Water Spreading”. La diferencia entre estos dos sistemas de inundación es que en el primero se utiliza el agua para producción en el área que está sumergida durante los flujos máximos, por ejemplo a través de bloquear este flujo, mientras en el segundo se fuerza el flujo de salir de su álveo natural (Reij, C. *et al.* 1988), por ejemplo a través de un sistema de canales o bordos a los campos cultivados. Obviamente debe evitarse el traslape entre los períodos de cultivo y los períodos del flujo en el sistema de captación de agua dentro del cauce y para ambos el control del agua es sumamente importante. Solamente se considera como sistemas de captación de agua de lluvia, los que utilizan corrientes efímeras o torrentes de corto período. Los sistemas de captación de agua de corrientes perennes o de torrentes de períodos mayores se consideran como formas de riego comunes.

En el Tomo I, se describen como características principales de los sistemas de inundación:

- ⊗ Captación y aprovechamiento de flujos turbulentos ya sea por: (a) derivación o (b) distribución desde el lecho del curso de agua hacia las tierras del valle.
- ⊗ Escorrentía superficial almacenada en el perfil del suelo.
- ⊗ Longitud del área de captación (puede ser de varios kilómetros).
- ⊗ Relación área de captación/área cultivada superior a 10:1
- ⊗ Vía preparada como aliviadero del exceso de agua

Los ejemplos típicos descritos en el Tomo I son: “Presas (diques) filtrantes de piedra” (para cultivos) y “Bordos esparcidores de agua” (para cultivos).

En este capítulo se describe experiencias de México y de Brasil. Además se presenta las dos últimas experiencias de CPATSA, Brasil, el “Embalse Subterráneo” y la “Agricultura de Humedad Residual” que son dos experiencias especiales de captación del flujo subterráneo y un ejemplo del método de depósitos o tanques para cultivar.

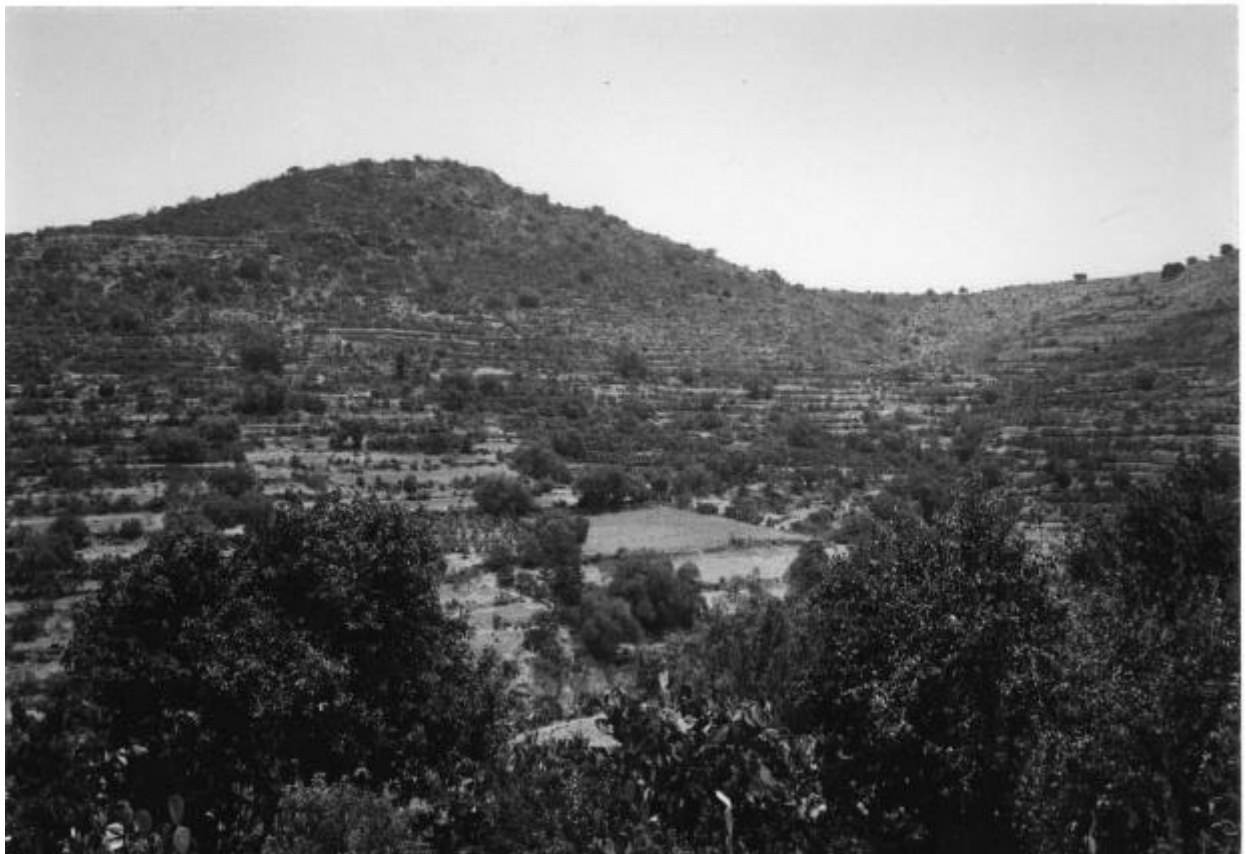
DERIVACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE TORRENTES, MÉXICO 1

*Manuel Anaya Garduño,
Director de Investigación, Instituto de Recursos Naturales,
Colegio de Postgraduados, Montecillo, México*

Antecedentes históricos

En las zonas áridas y semiáridas el hombre ha desarrollado tecnologías para sobrevivir ante condiciones ambientales tan adversas como la escasez de agua. Una de estas tecnologías se refiere al manejo y aprovechamiento de los escorrentías superficiales, técnica que data de miles de años. México es rico en tecnología tradicional relacionada con la conservación de suelo y el aprovechamiento del agua de lluvia; los aztecas y los mayas generaron tecnologías que aún persisten en forma exitosa (**figura 42**).

Figura 42. Terrazas tipo Netzahualcóyotl en el Valle de México.



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

De acuerdo a Herold (1965), las "trincheras" del Norte de México pertenecen al período 110 - 1450 años a.C. Se ha sugerido el siglo XI como el período de origen de las terrazas del sur oeste de los Estados Unidos (Donkin, 1979). Es posible que existan varios centros 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 riego con canales (Donkin, 1979).

Lo anterior muestra evidencias exitosas sobre el manejo de escorrentías superficiales y construcción de terrazas que han permitido a través de los siglos la producción de cultivos con sistemas de inundación sin disminuir la fertilidad de los suelos y sin causar daño ecológico; dando además, ventajas culturales y económicas que han sido extrapoladas a otras regiones del mundo.

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 pre-clásico 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 usos agrícolas combinado en algunos lugares con el riego comenzó en el período pre-clásico 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, tablones, terraplenes, bancales, y llanadas (llanos hechos a mano). Los Náhuatl 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 hileras de maguey (West, 1970). El vocablo "teopan", que equivale a montículo terracedo se encuentra incorporado en muchos nombres de lugares (Código Mendocino, 1964).

Se dan descripciones de las terrazas agrícolas en la Epoca Colonial en las relaciones geográficas (1579-81) para Chilchota, Michoacan., y para Ozolotepec, Oaxaca., (Paso y Troncoso y Vargas, 1947). Alva Ixtlilxochitl (1891-2) menciona las terrazas de Tetzcutzingo (Acolhuacán) y Burgoa (1934) señala la presencia de camellones, tanto en las laderas como dentro de los cauces entre Achiutla y Tilantongo en la Mixteca Alta.

Aspectos Técnicos

Descripción

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 la escorrentía, 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 sur este de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla (West, 1970; Donkin, 1979). Se han descrito también en la cuenca de Toluca, los estados de Veracruz y Puebla, y las laderas del Valle de México (Rojas, 1985). En el valle de Oaxaca y en la Mixteca Alta abundan, pero sin magueyes (West, 1970); **figuras 43 y 44**.

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 (secano), 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 (capa de subsuelo calcárea) o aún de sólo 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 escorrentías. En numerosas ocasiones estas terrazas contaban con riego proveniente de las avenidas de arroyos temporales. El segundo tipo de terraza es casi siempre regada 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 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 corresponde 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 (Lorenzo, 1968; Herold, 1965). 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 convirtiéndose en campos de cultivo al azolvarse.

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 post-clásico (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).

Figura 43. Manejo de escorrentías superficiales y construcción a mano de terrazas con estacas y ramas en Nochixtlan, Oaxaca.



Figura 44. Terraza tipo metepantle en pendientes leves en el Estado de Hidalgo.



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 de facilitar el riego con agua obtenida en alguna porción superior y que era distribuida por gravedad en la porción nivelada de la terraza (Donkin, 1979).

Objetivos

El manejo de la escorrentía superficial tiene como objetivo el suministrar agua adicional a los cultivos con técnicas de riego por inundación o avenidas, a veces conocido como "derramaderos" y se aplica lo mismo en los valles que en laderas montañosas de varias regiones áridas y semiáridas de México. Representan tecnologías tradicionales, muy antiguas y son la base para la sobrevivencia en condiciones adversas. Además, permiten asegurar la producción de alimentos, elevar el nivel de vida y mejorar el entorno ecológico.

Ubicación y selección del sitio

Los sistemas tradicionales y modernos sobre el manejo y aprovechamiento de los escorrentías superficiales se localizan, desde hace varios siglos en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de México. Estos se aplican tanto en laderas como en valles y representan una opción tecnológica para hacer que los sistemas de producción agrícola, pecuaria y forestal sean permanentemente productivos.

Diseño, trazo y construcción

Los aspectos tecnológicos susceptibles de mejoramiento pueden agruparse en los siguientes grandes rubros:

- Diseño ingenieril de las estructuras de toma, conducción y manejo de los escorrentías en la parcela.
- Mejoramiento del manejo de cultivos y de suelos en la parcela que recibe los volúmenes escurridos.
- Manejo de las áreas de captación (cuencas hidrográficas).
- Incremento de la productividad de la mano de obra mediante esquemas de mecanización adecuados a unidades de tamaño pequeño y de capital limitado.
- Integración de actividades frutícolas, de producción de forraje y ganaderas en los sistemas de cultivos.
- 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 bajo estudio existen numerosos intentos de formulación de esquemas de predicción de volúmenes escurridos y búsqueda de relaciones área de captación: área de siembra.

La combinación de estos procesos conlleva a 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) utilizando

un modelo paramétrico distribuyendo 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 determinando posteriormente los segmentos de los cauces formando así la red de cauces de la cuenca (Figuroa, *et al.* 1990).

En la determinación del hidrograma de salida se utiliza un esquema de cascada. El tránsito de la escorrentía se realiza aplicando la teoría de la onda cinemática y el principio de continuidad expresado en la ecuación del almacenamiento (Figuroa, *et al.* 1990)

Para el mejoramiento del manejo de cultivos y suelos se hace necesario introducir esquemas basados en el modelado del crecimiento de los cultivos utilizando parámetros del suelo, planta y clima. Ejemplo de este enfoque es 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 escorrentías en una región dada.

En el **cuadro 18** se describen los aspectos ingenieriles de algunos sistemas de manejo de escorrentías superficiales en el Altiplano Potosino-Zacatecano. El diseño de las principales técnicas de captación de agua de lluvia se refiere a obras de derivación que se utilizan en forma tradicional y se refieren a lo siguiente: bordos de tierra, bordos de piedra y bordos de mampostería, zanjas de derivación, presas derivadoras y diques filtrantes de piedra. Las obras de conducción se refieren a zanjas derivadoras, canales sin revestir, canales revestidos; estos trabajos generalmente se hacen a mano. La distribución del agua se realiza utilizando el método de inundación, buscando que en la mayoría de los casos se deposite tierra-lama para aumentar la fertilidad del suelo (**figuras 43, 44, 45 y 46**). El trazo de estas obras es similar al que se describe en el capítulo “Técnicas de Captación de Agua de Lluvia” en el Tomo I.

En el **cuadro 19** se describen algunos aspectos de manejo y producción de cultivos (granos básicos, hortalizas y frutales) en ocho diferentes localidades del Altiplano Potosino-Zacatecano que se refieren a lo siguiente: localidad, preparación del terreno, especies cultivadas, labores culturales, plagas y enfermedades.

Cuadro 18. Descripción de los sistemas de manejo de escorrentías del Altiplano Potosino-Zacatecano. Aspectos ingenieriles (Fortanelli, 1981; Charcas, 1984; Gallegos, 1985).

Sitios con sistemas establecidos	Obras de derivación	Obras de conducción	Construcción, estructuras y procedimientos de distribución del agua
Santiago, Pinos, Zacatecas	Bordos mediante 2 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 Moctezuma, San Luis Potosí	Bordos de mampostería y bordos con tendidos	Canales cavados con implementos manuales	Bordos de tierra y estacados conforman las terrazas. En los bordos se plantan especies nativas
Villa de Ramos, San Luis Potosí	Zanjas diagonales sobre las laderas.	Zanjas derivadoras	Derrame de agua sobre los terrenos de cultivo donde se hace el surcado perpendicular a la pendiente
Serranías Meridionales del Altiplano Potosino, San Luis Potosí	Zanjas diagonales sobre las laderas	Zanjas derivadoras	Mediante alargados diques de estacas y ramaje entretrejido, contruidos perpendicularmente a la pendiente del terreno, se contiene y dispersa el agua de los escorrentías. Los diques, canales derivadores y estacados se reparan anualmente
Planicie Occidental del Altiplano Potosino, San Luis Potosí			
Región Boreo-Central del Altiplano Potosino, San Luis Potosí	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. San Luis Potosí	Presas derivadoras a lo largo del río. (En esta zona se tiene una presa de almacenamiento de escorrentías superficiales)	Sistema de canales sin revestir de sección trapezoidal o semicircular	Bordos de tierra, palos y ramas y compuertas de concreto. Anegamiento o inundación de la parcela (enlamado). Esta práctica se realiza cuando el terreno de cultivo está en descanso o el cultivo esta muy desarrollado
Cañada del Río Las Enramadas-Santa María. San Luis Potosí	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 (enlamado). Esto se realiza igual que en el interior, además del riego, con la finalidad de que cuando se infiltre el agua quede una capa muy fértil de "tierra lama"

Cuadro 19. Descripción de los sistemas de manejo de escorrentías en el 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, Pinos, Zacatecas	Volteo	Maíz Frijol Calabaza	Deshierbes Escarda	Gusano cogollero, gusano de alambre, gusano elotero, gallina ciega, conchuela, mosquita blanca	Cenicilla (<i>Erysiphe polygoni</i>)
San José del Grito Moctezuma, San Luis Potosí	Volteo Arrope o paso de rastra	Maíz Cebada Trigo Frijol Garbanzo Haba Calabaza Girasol	Escarda Deshierbes Despunte	Gusano cogollero, gusano de alambre, gusano elotero, conchuela, mosquita blanca	Cenicilla (menos incidencia)
Villa de Ramos. San Luis Potosí	Volteo Arrope o paso de rastra 2o. paso de rastra	Maíz Cebada Frijol Calabaza	Deshierbe Escarda	Gusano cogollero, gallina ciega, gusano elotero	Cenicilla (menos incidencia)
Serranías Medionales del Altiplano Potosino. San Luis Potosí	Pasos de arado (volteo) Rastreo	Maíz Frijol Cebada Trigo Chícharo Haba Girasol	Escarda	Gusano cogollero, gorgojo del maíz, conchuela, mosquita blanca	Sin presencia
Planicie Occidental del Altiplano Potosino. San Luis Potosí	Paso de arado en el borde del surco Volteo Paso de viga (paso de rastra)	Maíz Frijol Calabaza Girasol	Escarda	Gusano cogollero, gorgojo del maíz, gusano de alambre, gallina ciega, conchuela, mosquita blanca	Sin presencia
Región Boreo-Central del Altiplano Potosino. San Luis Potosí	Volteo (aflojar y voltear el suelo)	Maíz Frijol Calabaza Girasol Cebada Trigo Garbanzo Lenteja Chícharo	Escarda	Gusano cogollero, gorgojo del maíz, gusano de alambre, gallina ciega, conchuela, mosquita blanca	Sin presencia
Planicie de inundación del Río La Presa-Justino Bocas. San Luis Potosí	Riego Volteo Rastreo (se dan varios pasos)	Maíz Cebada Avena Trigo Frijol Alfalfa Haba Lenteja Hortalizas Girasol	Deshierbe Aporques Escarda Rastreo	Gusano cogollero, gusano soldado, gusano elotero, pulgon de la col, gusano medidor	Chamuscado del jitomate, huitlacoche o carbón del maíz, cenicilla
Cañada del Río Las Enramadas-Santa María. San Luis Potosí	Desborde Barbecho o varias aradas Rastreo Terroneo (desbaratar terrones) Nivelación	Maíz Cebada Frijol Alfalfa Chícharo Haba Cacahuete Hortalizas Condimentos Ornamentales Frutales	Deshierbes Aporques Escarda 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 nematodo <i>Meloydogine incognita</i> . Secadera en Chile

Figura 45. Derivación y distribución de torrentes, para producción de frutales. San Luis Potosí.



Mantenimiento

Figura 46. Manejo de escorrentías superficiales para producción de frutales. San Luis Potosí.



Normalmente se hace una reparación anual de las estructuras y en la mayoría de los sistemas tradicionales donde 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, por lo que también se reparan anualmente.

En lo referente a las labores de preparación, estas incluyen el volteo o aradura, 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 aquellos con mayor disponibilidad de agua, trigo, cebada, garbanzo, haba, girasol, chícharo, lenteja, alfalfa y hortalizas. También se pueden encontrar plantaciones de árboles frutales y/o de uso forrajero en los bordos dentro de la parcela. Como labores culturales se realizan el deshierbe, las escardas y el despunte.

Potencial de Producción

Los sistemas de inundación a través de técnicas de derivación y distribución de torrentes permiten incrementar la producción de granos básicos, forrajes, hortalizas y árboles frutales hasta en un 300 por ciento, considerando períodos de 7 a 10 años ya que la variabilidad de la precipitación media anual es considerable. Además, estos sistemas permiten mitigar los efectos de la sequía, los cuales afectan seriamente a numerosas localidades de las zonas áridas y semiáridas de México.

Grado de Complejidad

Estas técnicas de derivación y distribución de torrentes representan niveles de grado intermedio a complejo, ya que requieren de personal técnico especializado o bien productores con gran experiencia en el diseño, trazo, construcción y mantenimiento de las obras.

Limitaciones

De acuerdo a Figueroa *et al.* (1990), los principales problemas a que se enfrentan estos sistemas además de aquellos de índole socioeconómica y que tienen que ver con la desigualdad de las relaciones entre sectores productivos de la economía nacional incluyen lo siguiente:

- Deficiente control del volumen de agua introducido en la parcela. Esto se traduce en volúmenes de escorrentía 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.
- Canales de conducción mal diseñados. Esto puede provocar deposición de sedimentos o erosión del lecho del canal, habiendo ocasiones en que el agua no fluye a la parcela en el volumen y dirección adecuada.
- Distribución irregular del agua en la parcela. Esto puede provocar frecuentes manchones con exceso o deficiencia de agua que se traducen en producciones muy irregulares.
- 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.
- Baja fertilidad de los terrenos y problemas de salinidad en algunos casos.

- Variedades con poco potencial de respuesta a la aplicación de insumos.
- Problemas de mano de obra para las labores de cultivos en las etapas críticas debido a un uso mínimo de equipos de mecanización agrícola.
- 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 limitantes son susceptibles de superarse mediante esquemas tecnológicos que se adecuen a las condiciones imperantes en cada uno de los sistemas de producción.

Impactos socioeconómico y ambiental

Costos y Retornos

Las técnicas de derivación y distribución de torrentes para la producción agrícola en zonas áridas y semiáridas tienen costos que varían de acuerdo al grado de complejidad de las estructuras y a los materiales que se utilizan (tierra, piedra, concreto, etc.). Sin embargo, los retornos permiten ganancias satisfactorias considerando períodos de 7 a 10 años. De este modo se pueden obtener relaciones beneficio costo de 1:2 a 1:3 dependiendo del tipo de cultivo. En el caso de frutales, los retornos son más altos por el valor comercial del producto. Sin embargo, los sistemas de comercialización siguen representando un factor limitante, dado que no hay seguridad permanente para lograr buenos precios de los productos (Salazar, 1986)

Generación de Empleos

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 equipos de bajo costo mejorados para tiro animal. Ejemplos de este esquema son los yunticultores y la multibarra desarrollados por el Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias para la zona centro-norte (Aguascalientes) de México (Sims, 1985). Este equipo cuenta con sus respectivos implementos entre ellos la rastra, sembradoras, cultivadoras, 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 de 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. Solo de esta manera el gasto suplementario que representa la adquisición de estos equipos podrá verse compensado en los rendimientos.

Los problemas de organización para la adquisición de insumos y venta de productos no deben ignorarse 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 sistema de producción (Figueroa, *et. al.* 1990).

Sostenibilidad

Las técnicas de derivación y distribución de torrentes en las zonas áridas y semiáridas conllevan a sistemas de producción permanentemente sostenibles ya que estas obras implican conservación de suelos, incremento de la fertilidad del suelo y una mejor utilización del agua de lluvia. Además, permiten mejorar el nivel de vida de los productores y mejorar las condiciones ambientales.

Descripción de casos

Lugar y fecha

La superficie dedicada a la producción agrícola y ganadera en las zonas áridas y semiáridas de México cubre más de 100 millones de hectáreas; las técnicas de derivación y distribución de torrentes han producido resultados satisfactorios, ya que éstas se practican desde hace varios siglos. Las localidades donde los resultados han sido más promisorios son las siguientes: Atilplano Potosino-Zacatecano, Comarca Lagunera (Durango-Coahuila), Chihuahua, Sonora, Zacatecas, Valle de México, Valle de Toluca, Valle de Puebla, Valle de Tehuacan (donde se utilizan las galerías filtrantes), Valles de Oaxaca, Tlaxcala, Hidalgo y Estado de México.

Durante los últimos 20 años, los productores han recibido asesoría de diversas instituciones tales como: Colegio de Postgraduados, Montecillo, México; Universidad Autónoma Chapingo; Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias; Comisión Nacional de Zonas Áridas; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; Universidad Autónoma de Nuevo León; Instituto de Investigaciones en Zonas Desérticas; Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, entre otras.

Características del lugar y de las técnicas aplicadas

Las características del lugar y de las técnicas aplicadas sobre derivación y distribución de torrentes en las zonas áridas y semiáridas de México, se registran en los **cuadros 18 y 19**, donde se presentan solamente ocho casos con el objeto de dar idea acerca de estos sistemas de producción con aprovechamiento del agua de lluvia.

Resultados en la Producción

Los resultados en la producción de granos básicos, forrajes, hortalizas y frutales han sido muy positivos ya que se han generado incrementos hasta en un 300 por ciento de la producción, lo cual ha propiciado mayores ganancias, un mejor bienestar de los productores y un mejoramiento del entorno ecológico.

Dirección para consultas

Colegio de Postgraduados

Instituto de Recursos Naturales

Montecillo, México

56 230 México

Teléfonos: (52 595) 4 57 01 / 5 07 17 / 5 07 12 / 5 07 21

Fax: (52 595) 4 57 23 / 4 57 01

Correo Electrónico: anayam@colpos.colpos.mx