



Sustento del uso justo
de Materiales Protegidos
derechos de autor para
fines educativos



UCI

Universidad para la
Cooperación Internacional

UCI
Sustento del uso justo de materiales protegidos por
derechos de autor para fines educativos

El siguiente material ha sido reproducido, con fines estrictamente didácticos e ilustrativos de los temas en cuestión, se utilizan en el campus virtual de la Universidad para la Cooperación Internacional – UCI – para ser usados exclusivamente para la función docente y el estudio privado de los estudiantes pertenecientes a los programas académicos.

La UCI desea dejar constancia de su estricto respeto a las legislaciones relacionadas con la propiedad intelectual. Todo material digital disponible para un curso y sus estudiantes tiene fines educativos y de investigación. No media en el uso de estos materiales fines de lucro, se entiende como casos especiales para fines educativos a distancia y en lugares donde no atenta contra la normal explotación de la obra y no afecta los intereses legítimos de ningún actor.

La UCI hace un USO JUSTO del material, sustentado en las excepciones a las leyes de derechos de autor establecidas en las siguientes normativas:

a- Legislación costarricense: Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos, No.6683 de 14 de octubre de 1982 - artículo 73, la Ley sobre Procedimientos de Observancia de los Derechos de Propiedad Intelectual, No. 8039 – artículo 58, permiten el copiado parcial de obras para la ilustración educativa.

b- Legislación Mexicana; Ley Federal de Derechos de Autor; artículo 147.

c- Legislación de Estados Unidos de América: En referencia al uso justo, menciona: "está consagrado en el artículo 106 de la ley de derecho de autor de los Estados Unidos (U.S, Copyright - Act) y establece un uso libre y gratuito de las obras para fines de crítica, comentarios y noticias, reportajes y docencia (lo que incluye la realización de copias para su uso en clase)."

d- Legislación Canadiense: Ley de derechos de autor C-11– Referidos a Excepciones para Educación a Distancia.

e- OMPI: En el marco de la legislación internacional, según la Organización Mundial de Propiedad Intelectual lo previsto por los tratados internacionales sobre esta materia. El artículo 10(2) del Convenio de Berna, permite a los países miembros establecer limitaciones o excepciones respecto a la posibilidad de utilizar lícitamente las obras literarias o artísticas a título de ilustración de la enseñanza, por medio de publicaciones, emisiones de radio o grabaciones sonoras o visuales.

Además y por indicación de la UCI, los estudiantes del campus virtual tienen el deber de cumplir con lo que establezca la legislación correspondiente en materia de derechos de autor, en su país de residencia.

Finalmente, reiteramos que en UCI no lucramos con las obras de terceros, somos estrictos con respecto al plagio, y no restringimos de ninguna manera el que nuestros estudiantes, académicos e investigadores accedan comercialmente o adquieran los documentos disponibles en el mercado editorial, sea directamente los documentos, o por medio de bases de datos científicas, pagando ellos mismos los costos asociados a dichos accesos.

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA
AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN**

MANUAL DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO

DEL AGUA DE LLUVIA

EXPERIENCIAS EN AMÉRICA LATINA

SERIE: ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS N° 13

**En colaboración con el
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente**

OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Santiago, Chile

2000

Para mayor información dirigirse a:

Oficial Principal de Desarrollo de Agua y Suelo
RLCA/FAO

Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe
Dag Hammarskjöld 3241, Vitacura
Casilla 10095
Santiago, Chile
Cables: FOODAGRI SANTIAGO
Tel : (56 2) 337-2100
Fax: (56 2) 337-2101/2/3
FAO-RLC@FAO.org

Las denominaciones empleadas y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene esta publicación, no implican juicio alguno por parte de la FAO o el PNUMA sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

AGRADECIMIENTO

La Oficina Regional de la FAO agradece a los colaboradores de este Tomo II del Manual de Captación de Agua de Lluvia, miembros de la Red de Cooperación Técnica en Zonas Áridas y Semiáridas: Sr. Hugo Velasco Molina de la Universidad Tecnológica de Monterrey; Sres. Everaldo Rocha Porto, Aderaldo de Souza Silva y colaboradores, de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria; Sr. Saúl Pérez Arana de la Dirección de Riego y Avenamiento de Guatemala; Sr. Néstor Cabas del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Chile; Sr. Raúl Roberto Morales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina; Sr. Guido Soto Alvarez de la Corporación Forestal Nacional de Chile; Sr. Manuel Anaya Garduño del Colegio de Postgraduados de Montecillo, México; Sra. Bárbara León Huaco y colaboradores de TECNIDES, Perú; a los coordinadores de la preparación de los dos tomos del Manual, Sres. Matías Prieto Celi ex-Oficial Principal de Desarrollo de Tierras y Aguas de esta Oficina Regional y René van Veenhuizen, ex-Oficial Profesional Asociado de FAO; a la Sra. Loreto Valencia de FAO quien hizo la diagramación y edición de los dos tomos del Manual y al Sr. Temístocles Maldonado, de la Universidad Nacional de Loja, Ecuador, quien hizo la última revisión técnica del Tomo II.

Se expresa un especial agradecimiento al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la que aportó fondos para la realización del taller que dio origen a este manual.



Miembros de la Red de Cooperación Técnica en Zonas Áridas y Semiáridas

Nominación de atrás hacia adelante y de izquierda a derecha:
Hugo Velasco, Aderaldo Silva, René Veenhuizen, Saúl Pérez, Matías Prieto
Manuel Anaya, Bárbara León, Néstor Cabas, Everaldo Porto, Raúl Morales.

PRÓLOGO

El *Manual sobre Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia en Zonas Áridas y Semiáridas en América Latina*, ha sido preparado con la intención de proveer a técnicos y a extensionistas de lineamientos generales prácticos para la implementación de sistemas probados sobre captación de agua de lluvia. Sin embargo, éste también puede ser de interés para una mayor audiencia, como especialistas en desarrollo rural y planificadores.

El enfoque del manual es aplicativo, presenta técnicas de captación o como también se denomina cosecha de agua de lluvia, que se utilizan para mejorar la producción de cultivos, árboles y pastizales en secano en zonas áridas y semiáridas que han sido utilizadas ó que han tenido satisfactorios resultados experimentales en la Región de América Latina y el Caribe

En las últimas 2 décadas han aparecido publicaciones sobre el tema de Cosecha de Agua de Lluvia (por ejemplo UNEP 1983, Banco Mundial, 1988 y FAO, 1991), en las cuales la mayoría de las experiencias descritas han sido aplicadas en la región del Sub-Sahara en Africa. Aunque las bases técnicas y las técnicas en general, pueden ser útiles para otras regiones áridas y semiáridas del mundo, en América Latina hay publicaciones describiendo experiencias locales tales como: Manual de Conservación del Suelo y del Agua, México (Anaya, et al 1977); Cosecha de Agua de Lluvia para Consumo Humano, Consumo Pecuario y Agricultura de Secano, México (Velasco y Carmona, 1980); Utilização e Conservação dos Recursos Hídricos em Areas Rurais do Trópico Semi-Árido do Brasil, Tecnologia de Baixo Custo (Silva y Porto, 1982); Estudio del Potencial de Captación de Agua de Niebla en el Litoral de la III Región de Atacama y su Relación con la Población Rural, Chile (Cereceda, 1987); Las Zonas Áridas y Semiáridas, sus Características y Manejo, México (Velasco, 1991); Captación y Aprovechamiento de la Niebla en las Zonas Áridas de América Latina, Perú (Cardich 1991). Sin embargo ninguna reúne experiencias de toda la Región Latinoamericana.

La Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe en colaboración con el Centro de Actividades de Combate a la Desertificación del PNUMA organizó un taller sobre Técnicas de Captación o Cosecha de Agua de Lluvia para la Agricultura, Ganadería y Producción Forestal en Zonas Semiáridas en Petrolina, Brasil, en septiembre de 1994. En el Taller participaron expertos de Brasil, Guatemala, Chile, México, Perú y Argentina, con experiencia en el tema de Captación o Cosecha de Agua de Lluvia, los cuales decidieron colaborar en la preparación de este Manual de dos Tomos:

El primero se titula "Bases Técnicas y Experiencias en Asia y Africa" y es una traducción, realizada por miembros de la Red de Cooperación Técnica en Zonas Áridas y Semiáridas, del documento "Water Harvesting" de la FAO, 1991.

La presente publicación constituye el Tomo II, "Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia, Experiencias en América Latina". Comienza con un resumen de las bases técnicas, que puede ser útil a quien no disponga del Tomo I; cada una de las prácticas descritas a

continuación, incluyen Antecedentes Históricos, Aspectos técnicos e Impactos Socioeconómico y Ambiental.

Los factores socioeconómico y ambiental, son los que han tenido menor atención en las publicaciones existentes y también en las descripciones técnicas en este manual. Por lo tanto, el capítulo de Bibliografía consultada, está tratando de informar los temas importantes disponibles en la literatura y conocidos de América Latina.

Se ha hecho un gran esfuerzo para hacer que el manual sea un documento de trabajo práctico, utilizando cuadros, diagramas, y fotografías tanto como ha sido posible. No se pretende que contenga todas las prácticas de captación de agua de lluvia que hayan tenido éxito en América Latina. Sí se espera que sea útil y que pueda ayudar a realizar más experiencias en el futuro.

ÍNDICE

Introducción: René van Veenhuizen y Matías Prieto-Celi, FAO	1
HISTORIA Y PERSPECTIVAS.....	2
TERMINOLOGIA Y CLASIFICACION.....	3
ESTE TOMO	5
Revisión de Bases Técnicas: René van Veenhuizen, FAO	6
INTRODUCCIÓN.....	6
PRECIPITACION (PLUVIAL).....	7
SUELOS	10
PLANTA.....	14
BALANCE HIDRICO.....	17
LA CUENCA HIDROGRÁFICA	18
INFORMACION PARA LA CAPTACION DEL AGUA DE NIEBLA	20
LABORES CULTURALES.....	23
Microcaptación: René van Veenhuizen, FAO	27
INTRODUCCIÓN.....	27
MICROCAPTACIÓN , CULTIVOS ANUALES Y PERENNES, MÉXICO	28
Manuel Anaya Garduño,	28
Antecedentes históricos	28
Aspectos Técnicos.....	28
Impactos socioeconómico y ambiental	45
Descripción de casos	45
MICROCAPTACIÓN, CULTIVOS ANUALES (DENSOS), MÉXICO	47
Hugo A. Velasco Molina	47
Antecedentes históricos	47
Aspectos técnicos.....	47
Impacto socioeconómico y ambiental.....	53
Descripción de casos	55
MICROCAPTACIÓN PARA CULTIVO ANUALES Y PERENNES, BRASIL	58
Aderaldo de Souza Silva, Everaldo Rocha Porto, José Barbosa dos Anjos,	
María Sonia López da Silva, Saúl Pérez Arana,	57
Antecedentes históricos	57
Aspectos técnicos.....	57
Impactos socioeconómico y ambiental	69
Descripción de casos	71
Captación externa: René van Veenhuizen, FAO	72
INTRODUCCIÓN.....	72
PEQUEÑAS OBRAS PARA CAPTAR AGUA LLUVIA Y UTILIZAR VERTIENTES EN EL SECANO INTERIOR DE LA VII REGIÓN, CHILE.....	73
Néstor Cabas, Chile	73
Antecedentes históricos	73
Aspectos Técnicos.....	73
Impactos socioeconómico y ambiental	83

Descripción de Casos.....	84
METODOLOGÍA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL EN MALLINES DE LA PATAGONIA, ARGENTINA	85
Raúl Roberto Morales, INTA	85
Antecedentes históricos	85
Aspectos Técnicos.....	85
Impactos socioeconómicos y ambientales.....	92
Descripción de casos	92
EMBALSE PARA RIEGO DE SALVACIÓN, BRASIL	95
Aderaldo de Souza Silva, Everaldo Rocha Porto, Francisco Pinheiro de Araujo, Saúl Pérez Arana,	94
Antecedentes históricos	94
Aspectos técnicos.....	94
Impactos socioeconómico y ambiental	113
Descripción de casos	114
GALERIAS FILTRANTES PARA SUBIRRIGACIÓN, BRASIL	118
Aderaldo de Souza Silva, Everaldo Rocha Porto, Henrique de Oliveira Lopes,	118
Antecedentes históricos	118
Aspectos técnicos.....	118
Impacto socioeconómico y ambiental.....	127
Descripción de casos	129
CAPTACIÓN DE AGUA DE LAS NIEBLAS COSTERAS (CAMANCHACA), CHILE 131	
Guido Soto, CONAF	131
Antecedentes históricos	131
Aspectos técnicos.....	132
Impacto socioeconómico y ambiental.....	135
Descripción de casos	138
Sistemas de Inundación: René van Veenhuizen, FAO	143
INTRODUCCIÓN	143
DERIVACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE TORRENTES, MÉXICO 1	144
Manuel Anaya Garduño,	144
Antecedentes históricos	144
Aspectos Técnicos.....	146
Impactos socioeconómico y ambiental	155
Descripción de casos	156
DERIVACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE TORRENTES, MÉXICO 2	158
Hugo A. Velasco Molina,	158
Antecedentes históricos	158
Aspectos técnicos.....	158
Impacto socioeconómico y ambiental.....	172
Descripción de casos	173
EMBALSE SUBTERRÁNEO, BRASIL	175
Aderaldo de Souza Silva, Everaldo Rocha Porto, Luisa Teixeira de L. Brito, Paulo Roberto Coelho López, Saúl Pérez Arana	175
Antecedentes históricos	175
Aspectos técnicos.....	175
Impactos socioeconómico y ambiental	184

Descripción de casos	186
AGRICULTURA DE HUMEDAD RESIDUAL A TRAVÉS DE SURCOS Y CAMELLONES EN CURVAS DE NIVEL, BRASIL.....	187
Aderaldo de Souza Silva, Everaldo Rocha Porto, María Sonia López de Silva, Paulo Roberto Coelho López, José Barbosa dos Anjos,	187
Antecedentes históricos	187
Aspectos técnicos.....	187
Impactos Socioeconómico y Ambiental.....	192
Descripción de casos	192
AGRICULTURA DE LADERAS A TRAVÉS DE ANDENES, PERÚ	195
Javier Blossiers Pinedo, Carmen Deza Pineda, Bárbara León Huaco, Ricardo Samané Mera,	195
Antecedentes históricos	195
Aspectos Técnicos.....	199
Impactos socioeconómico y ambiental	212
Descripción de casos	213
Bibliografía citada.....	217
Bibliografía consultada, por capítulos.....	224

Introducción

René van Veenhuizen,

Oficial Profesional Asociado en Suelos, FAO

Matías Prieto-Celi,

Oficial Principal de Desarrollo de Tierras y Aguas, FAO-RLAC

En las zonas áridas y semiáridas, las lluvias son escasas y de frecuencia irregular. Las lluvias intensas, que se producen particularmente en zonas tropicales, ocasionan grandes escorrentías eventuales que causan inundaciones y erosión sobre las tierras casi desprovistas de vegetación que atenúe estos efectos. Las recientes sequías ocurridas en diversas partes del mundo han destacado los riesgos para seres humanos y animales en las zonas rurales.

La agricultura bajo riego está limitada en las regiones áridas y semiáridas por la escasa disponibilidad de recursos hídricos y por la factibilidad económica de la sobras, muchas veces costosas. En América Latina y el Caribe, sólo el 10% de la agricultura cuenta con sistemas de riego. Los sistemas de captación de lluvia son útiles, por lo tanto, para las mayores extensiones agrícolas, ganaderas y forestales de las regiones áridas y semiáridas de la Región.

La circunstancia de que las prácticas y obras de captación de agua de lluvia sean poco costosas, las hace asequibles a los productores rurales de bajos ingresos que predominan en la agricultura de secano de las zonas semiáridas de la Región. Por ese motivo el aumento de rendimientos que pueden generar estas prácticas, debe considerarse no sólo como un medio realista y práctico para obtener el aumento de producción, sino también para lograr el alivio de la pobreza de los productores rurales de esas zonas.

A pesar de estas ventajas, las técnicas de captación de lluvia están poco extendidas entre los productores, lo que fundamenta la importancia de estos manuales.

La captación de agua de lluvia es considerada en esta publicación como la recolección o cosecha de la escorrentía superficial para propósitos de producción agropecuaria y forestal. Las prácticas de captación de lluvia además disminuyen el riesgo de erosión al disminuir la escorrentía libre del agua sobre las tierras.

En los últimos años han aparecido varias publicaciones sobre el tema según las cuales tanto los rendimientos como la rentabilidad de la producción pueden mejorarse significativamente con la captación de agua de lluvia. Por lo tanto, la captación de agua de lluvia podría ser una técnica importante para aumentar la producción en las zonas áridas y semiáridas. Sin embargo, muchas de estas publicaciones tratan los aspectos técnicos de la captación de agua sin tratar la importancia de la integración con otras prácticas conservacionistas dentro de los sistemas de producción.

Lamentablemente aún no se dispone de información suficiente (FAO, 1991; FAO, 1987; Banco mundial, 1988), sobre el efecto de la captación de agua sobre el aumento de la producción, sobre la adopción de las técnicas en la región de América Latina y el Caribe ni de otras regiones, ni tampoco del monitoreo de las obras en largo plazo.

La mayoría de los escritos sobre la captación de agua describen experiencias del Medio Oriente, Australia, Africa del Norte, India y el norte de México, sur este de EE.UU. Recientemente han aparecido más publicaciones sobre experiencias en Africa (Sub-Sahara y del Sur) y sobre América Latina. Estas publicaciones describen algunas experiencias en México, Brasil y (en menor cantidad) en los Andes; pero, aún no hay publicaciones sistemáticas sobre este tema.

Las publicaciones más importantes en que se trata la captación de agua de lluvia en una manera sistemática son (FAO, 1991; FAO, 1987; FAO,1990; Banco Mundial, 1988; UNEP, 1979 y Anaya M., 1994).

Esta publicación es el segundo manual de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe sobre la captación de agua de lluvia para la producción agropecuaria y forestal. En el primero se trató sobre los principios técnicos de la captación de lluvia y sobre las experiencias comprobadas en Africa y Asia. En el segundo se enfoca las experiencias comprobadas de América Latina.

HISTORIA Y PERSPECTIVAS

Diversas formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de los siglos. Pero estas técnicas se han comenzado a estudiar y publicar técnica y científicamente, sólo en época reciente.

Muchas de las obras históricas de captación de agua de lluvia para uso doméstico se originaron principalmente en Europa y Asia.

En base a la distribución de los restos de estructuras de captación de agua de lluvia y el persistente uso de estas obras en la historia, se puede asumir que las técnicas de captación de agua de lluvia desempeñaban un papel importante en la producción agrícola y la vida en general en las zonas áridas y semiáridas en diversas partes del mundo. Parte de la agricultura en el Medio Oriente, estaba basada en técnicas como derivación de torrentes (wadi). En el Desierto de Negev, en Israel, han sido descubiertos sistemas de captación de agua de lluvia que datan de 4 000 años o más. Estos sistemas consistieron en el desmonte de lomeríos para aumentar la escorrentía superficial, que era entonces dirigida a predios agrícolas en las partes bajas. En el sur este de Túnez se utilizaron técnicas de microcaptación para el crecimiento de árboles. Técnicas parecidas se practicaron por todo una vasta región del sur oeste de los Estados Unidos, noreste de México y en el Altiplano de México Central y Sur (FAO, 1987; FAO,1990; UNEP, 1979).

Las técnicas antiguas descritas en la literatura a menudo tratan de medidas simples de control del agua (PNUD). Eran técnicas utilizadas en diversos sistemas agrícolas especialmente los de producción marginal, están caracterizadas por los siguientes factores:

- ⊗ están vinculadas a diversos cultivos y otras prácticas, como las de conservación de suelos,
- ⊗ son flexibles, o sea que se integran fácilmente con otros sistemas de uso de los recursos naturales, y
- ⊗ son resistentes, ya que tienen la capacidad de adaptarse a los cambios sociales.

Aunque, las experiencias en captación de agua de lluvia de los países como Israel, Estados Unidos y Australia, pueden ser utilizadas con adaptaciones en América Latina y el Caribe, muchas de estas experiencias y últimas investigaciones tienen una limitada relevancia a áreas con productores pobres en las zonas áridas y semiáridas de la Región. En Israel, por ejemplo, el énfasis de la investigación está en los aspectos hidrológicos de microcaptación para árboles frutales como almendros y pistachos. En los Estados Unidos y Australia, la captación de agua de lluvia se aplica principalmente para abastecer de agua a la ganadería y al consumo doméstico; la investigación está dirigida principalmente hacia lograr incrementos en la escorrentía superficial a través de tratamientos en las áreas de captación.

No obstante, cabe mencionarse las experiencias de México (Anaya M., 1994), Brasil (Porto R. y Silva A., 1988), y las técnicas de captar agua de nieblas desarrolladas en Chile y Perú (Schemenauer S. y Cereceda P., 1993), como casos de técnicas muy bien descritas, las que son incorporadas a este manual.

Como temas importantes para investigar en el futuro y para considerar en la implementación de las técnicas de captación de agua de lluvia se mencionan (FAO, 1987; Banco Mundial, 1988):

- ⊗ uniformizar la terminología y técnica en el diseño de los sistemas de captación de agua;
- ⊗ establecer bancos de datos regionales y nacionales de información sobre nuevos y antiguos sistemas de captación de agua, así sobre clima, hidrología, geomorfología, uso de la tierra, etc., así como fortalecer las instituciones relacionadas;
- ⊗ desarrollar principalmente sistemas de captación de agua con la experiencia local de técnicas tradicionales;
- ⊗ integrar sistemas de captación de agua dentro el paquete de soluciones para contrarrestar problemas de medio ambiente, sequía y sobrepoblación; y,
- ⊗ dar atención a los aspectos sociales (adopción y participación), económicos (costos y beneficios) y ambientales en la planificación, implementación y en el monitoreo de los sistemas de captación de agua.

En este manual se presenta con la descripción de cada técnica, la información disponible respecto a algunas de estos aspectos, pero debido a la escasez de investigaciones y de estudios técnicos, éstas son generalmente incompletas. Debido a estas circunstancias, en “Referencias Bibliográficas” al final de este manual se presenta información bibliográfica complementaria.

TERMINOLOGIA Y CLASIFICACION

Como se mencionó anteriormente en esta publicación se considera a la captación de agua de lluvia como la recolección de la escorrentía superficial para propósitos productivos. El aumento de la disponibilidad de agua para cultivos en las zonas áridas y semiáridas puede mejorar los rendimientos de la producción así como la rentabilidad de esta producción o hacer posible la cosecha en zonas donde no existía esta posibilidad. La disponibilidad de agua para

los cultivos podría ser mejorada a través de varios tipos de manejo de plantas, del suelo y del agua, tales como labranza, prácticas conservacionistas, riego y captación de agua de lluvia (Banco Mundial, 1988).

Se conoce una amplia variedad de técnicas sobre captación de agua de lluvia de diferentes fuentes (precipitación, niebla, nieve), con diferentes técnicas y para diferentes usos. Existen diferentes opiniones sobre cómo considerar una técnica como de captación de agua de lluvia o no. Especialmente existen diferencias entre lo que consideran captación de agua de lluvia y conservación de agua y entre captación de agua de lluvia y riego. Hudson (1987), por ejemplo, distingue entre conservación de suelos (labranza, terrazas, bordos y surcos), conservación de aguas, definida como captar y almacenar agua donde cae (surcos, terrazas y derivación de agua e inundaciones) y captación de agua de lluvia, descrito con énfasis en el almacenamiento de agua para su utilización en otra parte.

Mientras estas diferencias, entre conservación y captación de agua, sirven para describir las técnicas, en las zonas áridas y semiáridas, donde se está practicando la captación de agua de lluvia, se tienen formas permanentemente productivas con conservación de suelos y conservación del agua *in situ*. El estudio del Banco Mundial (1988), presenta una excelente visión de conjunto sobre las diferentes definiciones. En este manual se trata de dar énfasis a las técnicas de captación de agua (por supuesto en conjunto con técnicas para aumentar la disponibilidad de agua para las plantas), en las zonas donde hay lluvias insuficientes; mientras que en zonas con suficiente precipitación pero insuficiente disponibilidad de agua, se necesita más énfasis en conservar el agua *in situ*. Una diferencia importante y obvia es que para conservar el agua se requiere prevenir la escorrentía, mientras que las técnicas para captar el agua necesitan un área con alta escorrentía. Mientras esta diferencia es obvia en las obras grandes de captación de agua de lluvia, por ejemplo las técnicas descritas en el capítulo “Microcaptación” de este manual, no se puede establecer una transición de una a otra técnica.

Por otra parte, la captación de agua de lluvia puede ser considerada como una forma rudimentaria de riego. La diferencia está en que con la captación de agua de lluvia, el productor no tiene control sobre la oportunidad de la aplicación del agua, ya que la escorrentía superficial puede ser solamente aprovechada cuando llueve. Otra diferencia podría ser que en la captación de agua de lluvia se utiliza solamente el agua que cae localmente, lo que se ve claramente en las técnicas de microcaptación o captación externa por bordos y surcos, pero será más difícil de diferenciar cuando se capta agua en embalses o de un caudal subterráneo para utilizar el agua posteriormente.

En el citado estudio del Banco Mundial, se discuten diferentes clasificaciones de los sistemas de captar agua, por diferentes autores, según la fuente de agua (ríos, pozos, aguas subterráneas y agua de lluvia -o niebla), tipo de escorrentía (por techos, dentro del campo, grandes o pequeños áreas de captación y grandes o pequeños caudales), tipo de almacenamiento (tanques, cisternas y el suelo) y uso principal (humano, animales, plantas, etc.). Entonces dentro del estudio se encierran a técnicas de *captar agua* (de lluvia) para *producción de plantas* que usan *el suelo* para almacenar el agua, agrupándolas como:

- ⊗ captación de agua en rampas pequeñas (también referido a “microcaptación”, “captación dentro del sistema de captación” o “captación de microcuencas”);
- ⊗ captación de agua en rampas largas (también referido a “captación externa” o “captación de macrocuencas”);

- ⊗ captación de agua de inundaciones dentro del cauce (solamente corrientes efímeras);
- ⊗ derivación de corrientes para control de inundaciones (de corrientes efímeras a otro lugar)

Se describe también el método de depósitos o tanques para almacenar agua para utilizar posteriormente, pero no se considera como de clase diferente porque en esta técnica se recibe la escorrentía de rampas así como de corrientes.

Según el análisis de la literatura hecho por Reij et al. (1988), existe un consenso general sobre las siguientes características:

- ⊗ Aunque en teoría se puede utilizar técnicas de captación de agua de lluvia en cualquier lugar del mundo donde haya escorrentía y posibilidades para captar. Las técnicas de captación de agua de lluvia se usan en las zonas áridas y semiáridas donde la escorrentía tiene un carácter intermitente, y en las cuales está integrado el almacenamiento del agua.
- ⊗ La captación de agua de lluvia está basada en el uso de la escorrentía, y entonces se caracteriza por tener un área para producir la escorrentía y un área para recibir esta escorrentía.
- La mayoría de los sistemas de captación de agua de lluvia, usan el agua captada cerca de donde cae y entonces no incluyen el almacenamiento de agua de ríos en tanques, ni el consumo de aguas subterráneas captada de pozos. Respecto al área de captación, volumen de almacenamiento e inversiones, los sistemas de captación de agua son de relativamente pequeña escala.

ESTE TOMO

En este manual, se sigue utilizando las descripciones y definiciones del Tomo I (FAO, 1996), que a su vez se han basado en las del estudio del Banco Mundial, en que la captación de agua de lluvia esta definida como la: "Colección de escorrentía superficial para su uso productivo", y que puede lograrse de las superficies de tejados, así como de corrientes de agua intermitentes o efímeras.

Las técnicas de captación de agua de lluvia se clasifican en tres categorías básicas: Microcaptaciones o captación dentro del sistema, Sistemas de Captación Externa y Sistemas de Inundación derivación y distribución, (FAO,1990). En este Tomo II, también se describe las diferentes técnicas bajo estos tres términos; y además se describe las técnicas de captación de agua de lluvia para la producción agrícola y forestal de diferentes regiones de América Latina.

Según la clasificación vigente y lo tratado anteriormente, las técnicas están descritas en los siguientes capítulos: Microcaptaciones, Sistemas de Captación Externa y Sistemas de Inundación.

Se presenta cada tecnología, siguiendo el índice: Antecedentes históricos; Aspectos técnicos; Impactos socioeconómico y ambiental; Descripción de casos en América Latina y Referencias Bibliográficas.

Revisión de Bases Técnicas

René van Veenhuizen,
Oficial Profesional Asociado en Suelos, FAO

INTRODUCCIÓN

En este texto se denomina captación de agua, sea de lluvia o de nieblas, a la recolección de la escorrentía superficial o de la niebla, para su utilización en la producción agropecuaria o forestal. La captación de agua puede ser considerada como una forma rudimentaria de riego. La diferencia está en que con la captación de agua de lluvia o de nieblas, el productor tiene poco o ningún control sobre la oportunidad de aplicación del agua ya que la escorrentía superficial generalmente se aprovecha cuando llueve y el aprovechamiento de las nieblas depende principalmente de las condiciones atmosféricas.

La ocurrencia y cantidad de la escorrentía superficial dependen de las características de la precipitación, clima, suelo, vegetación, pendiente y tamaño del área. La teoría general de captación de agua de lluvia/niebla es:

AGUA DE CONSUMO O DE RIEGO ADICIONAL = CAPTACIÓN DE AGUA

Captación de agua de lluvia = escorrentía inducida + precipitación recogida

$$AC = (PP * Ac * Ce) + (PP * As)$$

AC = Volumen de agua captado (litros)

PP = Precipitación (mm)

Ac = Área de captación de agua (m²)

As = Área de siembra/cosecha (m²)

Ce = Coeficiente de escorrentía

Captación de agua de niebla = niebla captada + precipitación recolectada

$$AC = R * (A * Vs * T) * V$$

AC = Volumen de agua captado (litros)

R = Eficiencia de la trampa/colector de nieblas

A = Superficie de intercepción (área de captación de nieblas)

Vs = Velocidad del viento

T = Tiempo (duración de las nieblas o de la captación)

V = Volumen de la masa del aire que pasa por el colector

Para determinar cuanto volumen de agua es necesario captar hay que evaluar el requerimiento de agua del cultivo seleccionado. A ese requerimiento se le llama también "uso consuntivo" de las plantas. El coeficiente de escorrentía depende de las características del suelo en el área de captación, el suelo más conveniente es el que facilita la escorrentía (compacto, impermeable, sin vegetación). En cambio en el área de cultivo los requerimientos de suelo (permeables, retentivos, fértiles), son diferentes. Las características del clima son importantes

para determinar tanto los requerimientos del cultivo como el volumen de agua que se puede captar.

Como se dijo anteriormente, todo sistema de captación de agua de lluvia consta de un área de captación (recolección) y de un área cultivada (de almacenamiento, de siembra, o de plantas). Para un diseño apropiado de un sistema, es recomendable determinar la relación entre el área de captación (A_c) y el área cultivada (A_s). Muchos sistemas de captación de agua de lluvia exitosos han sido establecidos sólo estimando la relación entre área de captación y área de cultivo. Este puede ser sin duda el único enfoque posible donde no se tenga información básica sobre lluvia, escorrentía superficial y requerimientos de agua por el cultivo. Sin embargo, el cálculo de la relación resultará ciertamente en un sistema más eficiente y efectivo, si se dispone de la información básica y ésta es confiable.

El cálculo de la relación A_c/A_s es principalmente útil para sistemas de captación de agua de lluvia donde se pretende el establecimiento de cultivos. Este tema se trata en las diferentes descripciones de las técnicas en este manual.

La cantidad de agua obtenida del área de captación es una función de la cantidad de escorrentía superficial producida por la lluvia en esa superficie. Esta escorrentía superficial, para un periodo de tiempo definido, se calcula multiplicando una lluvia de "diseño" por el coeficiente de escorrentía superficial. Como no toda la escorrentía superficial puede ser eficientemente utilizada (debido a filtración profunda, etc.), tiene que ser multiplicado adicionalmente por un factor de eficiencia.

La cantidad de agua requerida es obtenida multiplicando el tamaño del área cultivada por los requerimientos netos de agua por el cultivo, que representa el requerimiento total de agua (uso consuntivo), menos la supuesta lluvia de diseño.

En este capítulo se revisan las bases técnicas generales, es decir la información técnica que se necesita para determinar el potencial de la captación y para planificar las obras. Los temas que se tratan son precipitación, suelos, planta, balance hídrico, captación de las nieblas, cuenca hidrográfica y labores culturales.

PRECIPITACION (PLUVIAL)

La precipitación es uno de los factores que se debe analizar para definir si es, o no factible realizar obras de captación. Para un planificador en captación de agua de lluvia, la tarea más difícil es seleccionar el diseño apropiado de acuerdo a la lluvia. Los datos importantes se obtienen de las estaciones meteorológicas que cuenten con datos de precipitación mensual de por lo menos diez años (Anaya, 1994).

Las precipitaciones de las zonas áridas y semiáridas resultan en muchos de los casos de procesos convectivos que producen aguaceros de corta duración, intensidad relativamente alta y en una área limitada. Este, sin embargo, no es el caso de las áreas costeras del Pacífico, en Chile, Perú, Ecuador y Baja California (México), donde las precipitaciones son de tipo frontal. Pero, generalmente las precipitaciones tienen dos características que afectan adversamente la producción agrícola; la baja cantidad y el bajo nivel de confianza (incertidumbre). Además

estas características están vinculadas en las estadísticas, en el sentido que el bajo nivel de confianza aumenta cuando la cantidad de precipitación disminuye (Hudson, 1987).

Las características de la lluvia más importantes para determinar la **cantidad**, son la intensidad, la duración y la distribución de la precipitación. Para planificar obras de captación de agua de lluvia, puede utilizarse como base la precipitación anual ó mensual. Se podría mejorar la confianza de los datos calculando la probabilidad de la precipitación. Y, para comparar más exactamente con las necesidades de los cultivos, podría determinarse la porción del agua de lluvia que podría ser utilizada por las plantas calculando la precipitación efectiva.

Cantidad, intensidad y distribución

Reij et al (1988), indican que la precipitación en las zonas áridas es tan errática, que sería mejor utilizar como requisito mínimo para la captación de agua de lluvia una precipitación media anual de 100-200 mm para obras grandes y de 500-600 para obras pequeñas.

Sin embargo, más pertinentes que la suma total de la precipitación son sus características, como **frecuencia, duración e intensidad**.

La **frecuencia** de las lluvias es la periodicidad media estadística en años en que pueden presentarse eventos de características similares en intensidad y duración (Colegio de Postgraduados, 1991). Los requisitos mínimos relacionados a la frecuencia, en la planificación de la captación de agua de lluvia son muy difíciles de establecer y dependen también de otros factores.

La **duración** y la **intensidad** son importantes porque la escorrentía ocurre sólo después de exceder un cierto límite: o la intensidad de un chubasco excede la tasa de infiltración, o la intensidad y la duración de un chubasco exceden la capacidad de almacenaje de agua del suelo (véase precipitación efectiva). Este límite depende del suelo.

La **intensidad** de la lluvia se define como la relación entre la cantidad total de lluvia (lámina de agua) que cae durante un período dado y la duración del período, y se expresa en lámina de agua por unidad de tiempo, generalmente como mm por hora (mm/h). La intensidad de la precipitación generalmente se calcula para varios intervalos y diferentes períodos. Para registrar la intensidad y la duración de la lluvia se utiliza el pluviógrafo.

Los criterios más útiles para determinar la potencialidad de la captación de agua de lluvia son la frecuencia de los chubascos individuales y la probabilidad de una cierta cantidad e intensidad de lluvia (Reij et al, 1988).

Probabilidad

En la planificación y diseño de obras de captación de agua de lluvia es importante conocer la probabilidad de que ocurra una cierta cantidad de lluvia en una cierta fecha.

En climas templados, la desviación estándar de lluvia anual es del 10 al 20 por ciento; en 13 de cada 20 años las cantidades anuales están entre 75 y 125 por ciento de la media. En climas áridos y semiáridos la relación de máximas a mínimas cantidades anuales es mucho mayor y la distribución de la lluvia anual se hace creciente con un sesgo por la creciente

aridez. **Por ejemplo**, con una precipitación media anual de 200 a 300 mm, la lluvia en 19 años de cada 20 típicamente varía desde 40 a 200 por ciento de la media. Con una precipitación media anual de 100 mm/año, hay una variación de 30 a 350 por ciento de la media. En localidades más áridas no es difícil que se presenten varios años consecutivos sin lluvia.

La **lluvia de diseño** es la cantidad de lluvia estacional en la cual, o arriba de la cual, el sistema está diseñado para proveer escorrentía superficial suficiente para cubrir el requerimiento de agua de los cultivos. Si la lluvia es inferior a esta lluvia de diseño, hay un riesgo de fracaso del cultivo debido a estrés por humedad. Cuando la lluvia es superior, entonces la escorrentía superficial está en excedente y podría sobrepasar los bordos y pues resultar en un daño a las estructuras.

La lluvia de diseño se determina según una cierta probabilidad de ocurrencia. Si por ejemplo, se fuera a establecer con un 67% de probabilidad, la lluvia ocurrirá o estará excedida (como promedio), en dos de cada tres años y la lluvia captada será suficiente para satisfacer el uso consuntivo, también en dos de cada tres años. La lluvia de diseño se determina por cálculos o estimaciones.

Un diseño conservador estará basado en una probabilidad más alta (lo cual significa una lluvia de diseño baja), para hacer el sistema más "confiable". Sin embargo, el riesgo potencial sería una inundación más frecuente del sistema en años donde la lluvia ocurrida excede a la lluvia de diseño.

Un método gráfico sencillo para determinar la probabilidad o frecuencia de ocurrencia anual de lluvia estacional se describe en el Tomo I (FAO, 1996), capítulo "Análisis de la relación lluvia/escorrentía". Para el diseño de planes de captación de agua de lluvia, este método es tan válido como cualquier método analítico descrito en textos sobre estadística.

- El primer paso es determinar el total de lluvia anual que se necesita para el ciclo vegetativo en la localidad de interés. En localidades donde no existen registros de lluvia se podrán utilizar datos de estaciones cercanas. Es importante contar con registros de muchos años, porque la variabilidad de la lluvia en zonas áridas y semiáridas puede ser considerable. Un análisis de solamente 5 ó 6 años de observaciones es inadecuado ya que estos 5 ó 6 valores pueden pertenecer particularmente a un período seco o muy lluvioso y por lo tanto puede no ser representativo para el patrón de lluvias a largo plazo.
- El siguiente paso es asignar a los totales anuales $m = 1$ para el valor más alto y $m = N$ (N observaciones o años), para el valor más bajo y ordenar los datos en forma creciente. La probabilidad de ocurrencia P (%) para cada una de las observaciones ordenadas puede calcularse de acuerdo a la ecuación:

$$P(\%) = \frac{m - 0,37 \times 100}{N + 0,25}$$

Donde:

P = probabilidad en % de la observación del rango m
 m = rango de la observación

N = número total de observaciones utilizadas

- El siguiente paso es construir un gráfico con las observaciones ordenadas contra las probabilidades correspondientes. Para este propósito puede utilizarse el papel de probabilidad normal.
- Finalmente, se adapta una curva de modo tal que la distancia de observaciones por arriba o por debajo de la curva estén tan cerca de la curva como sea posible. Esta curva puede ser una línea recta. De esta curva es posible obtener la probabilidad de ocurrencia o excedencia de un valor de lluvia de una magnitud específica. Inversamente, es también posible obtener la magnitud de la lluvia que corresponde a una probabilidad dada.
- El período de retorno T (en años), puede calcularse fácilmente una vez que la probabilidad de excedencia P (%) sea conocida, utilizando siguiente relación:

$$T = \frac{100(\text{años})}{P}$$

Precipitación efectiva

No toda el agua de lluvia que cae sobre la superficie del suelo puede realmente ser utilizada por las plantas. Parte del agua de lluvia se infiltra a través de la superficie y parte fluye sobre el suelo en forma de escorrentía superficial. Cuando la lluvia cesa, parte del agua que se encuentra en la superficie del suelo se evapora directamente a la atmósfera, mientras que el resto se infiltra lentamente en el interior del suelo. Del total del agua que se infiltra, parte percola por debajo de la zona de raíces, mientras que el resto permanece almacenada en dicha zona y podría ser utilizada por las plantas.

El agua de lluvia evaporada, la de percolación profunda y la de escorrentía superficial no pueden ser utilizadas por el cultivo, o sea no son efectivas. A la porción restante, almacenada en la zona de raíces se le denomina precipitación efectiva.

En otras palabras, el término "precipitación efectiva" es utilizado para definir esa fracción de la lluvia que estará realmente disponible para satisfacer al menos parte de las necesidades de agua de las plantas. Este parámetro puede determinarse por experimentos o se estima por medio de ecuaciones empíricas (FAO, 1993), que para áreas con pendientes inferiores al 4-5% se tiene:

$$\begin{aligned} Pe &= 0.8 \times PP - 25 \quad \text{si } PP > 75 \text{ mm/mes} \\ Pe &= 0.6 \times PP - 10 \quad \text{si } PP < 75 \text{ mm/mes} \end{aligned}$$

SUELOS

La diversidad de suelos en las zonas áridas y semiáridas es muy grande. Las propiedades físicas del suelo afectan la escorrentía del agua. Idealmente el suelo en el área de captación debería tener un coeficiente de escorrentía superficial alto, mientras el suelo en el área cultivada debería ser profundo, fértil y suficientemente permeable. Donde las condiciones para las áreas de captación y de cultivo se contraponen, los requerimientos del área cultivada deberán tener prioridad.

A continuación se resume los aspectos importantes del suelo que afectan el desarrollo de la planta bajo sistemas de captación de agua de lluvia.

*La **textura** de un suelo se refiere a su composición en tamaños de las partículas minerales que lo componen, lo que tiene influencia sobre diversas características importantes, incluyendo la velocidad de infiltración y la capacidad de retención de agua disponible.*

*La **estructura** del suelo se refiere a la forma y consistencia del agrupamiento de las partículas de suelo en agregados y al arreglo de estos agregados.*

*Junto con la estructura, la **profundidad** del suelo es particularmente importante para el sistema de captación de agua de lluvia. Los suelos profundos tienen la capacidad de almacenar más escorrentía superficial captada, mientras que los suelos con menos de un metro de profundidad son poco apropiados para la captación de agua de lluvia.*

*En muchas de las áreas donde los sistemas de captación de agua de lluvia pueden ser introducidos, la baja **fertilidad** del suelo puede ser una restricción igual ó más importante como la carencia de humedad para el crecimiento de la planta. Por lo tanto es indispensable prestar también atención al mantenimiento del nivel de fertilidad.*

*Los suelos con problemas de **salinidad** o **sodicidad** pueden reducir la disponibilidad de humedad directamente, o indirectamente, así como ejercer una influencia dañina sobre el crecimiento de la planta.*

*Una tasa de **infiltración** muy baja puede ser perniciosa debido a la posibilidad de inundación en el área cultivada. Por otra parte, una tasa de infiltración baja conduce a mucha escorrentía superficial en el área de captación. La formación de costras es un problema especial en zonas áridas y semiáridas, ya que provocan altas escorrentías superficiales y bajas tasas de infiltración. Considerando que los suelos del área de cultivo deberían ser suficientemente permeables para permitir una humedad adecuada en la zona de las raíces, los requerimientos en el área cultivada deberán tener siempre prioridad.*

*La capacidad del suelo para formar bordos de tierra **resistentes** como un componente del sistema de captación de agua de lluvia, es muy importante.*

*La capacidad de los suelos para mantener y liberar niveles adecuados de humedad a las plantas, es vital para la captación de agua de lluvia. La **capacidad de agua disponible** es una medida de este parámetro, y está expresado como la lámina de agua en mm fácilmente disponible para las plantas después de que un suelo ha sido humedecido a "capacidad de campo". La capacidad de agua disponible también tiene consecuencias para el diseño técnico de cálculo.*

Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP)

El agua es retenida por el suelo de dos maneras: una por adsorción de la arcilla o de la materia orgánica (humedad adherida) y otra la que rellena los poros entre las partículas sólidas (humedad libre). Aquella humedad adherida no está disponible para las plantas porque se necesita una energía de succión muy alta para extraerla. La humedad libre se determina en el laboratorio y se expresa como el porcentaje por peso de suelo secado al horno, llamado porcentaje de saturación. Para determinar el **porcentaje de humedad por volumen** de suelo se necesita la **densidad aparente** del suelo:

porcentaje de humedad por volumen del suelo = porcentaje de humedad por peso * densidad aparente

Para propósitos agrícolas el porcentaje de humedad por volumen está expresado como profundidad de humedad en mm:

1 % (vol.) de humedad = 1 mm de agua dentro de una capa de suelo de 10 cm

Toda el agua dentro los poros del suelo está sometida/expuesta a fuerzas capilares que causan una succión negativa, o tensión de la humedad del suelo, expresada como la altura de una columna de agua h en cm, o como el logaritmo negativo de la tensión de humedad del suelo, **pF**. Cada tipo de suelo puede ser caracterizado por su **curva de pF**, mostrando la relación entre los valores de pF y el contenido de humedad. Los valores pF más importantes son:

- pF=0: **Punto de Saturación (PS)**, en que todo el espacio de los poros está lleno con agua
- pF=2: **Capacidad del Campo (CC)**, la tensión de la humedad del suelo después de 1 a 1,5 días de drenaje libre de un suelo saturado (generalmente utilizan valores de CC de 2,1; 2,2 ó 2,3 de pF)
- pF=4.2: **Punto de Marchitez Permanente (PMP)**, a partir del cual la fuerza de succión de las plantas no puede vencer la fuerza con que es retenida el agua en el suelo, y por lo tanto se marchitan.

Algunos valores útiles de los parámetros CC, PMP y Densidad aparente (D_a) en la planificación de los sistemas de captación *in situ* son (Anaya, 1994):

	Textura Gruesa	Textura Media	Textura Fina
D_a	1,6	1,3	1,1
CC	12%	25%	47%
PMP	5%	12%	25%

La humedad disponible para las plantas es igual a la diferencia entre el contenido de la humedad a Capacidad del Campo y el contenido de la humedad a Punto de Marchitez Permanente, y se expresa como el porcentaje en volumen (% V), o como profundidad de la humedad (mm por dm de suelo).

Lámina de agua aprovechable

La ecuación para obtener los valores de lámina de agua aprovechable es (Anaya, 1994):

$$L = (CC - PMP) * D_A * Prof / 100$$

Donde:

- L = Lámina de agua aprovechable almacenada (cm)
- CC = Contenido de humedad a capacidad de campo (%)
- PMP = Contenido de humedad a punto de marchitez permanente (%)
- Da = Densidad aparente del suelo (g/cm^3)
- Prof. = Profundidad del suelo (cm)

(1mm de lámina de agua = 1 litro/m² = 10 m³/ha)

Relieve

La pendiente media del área de captación se obtiene por medio de la siguiente relación:

$$S = H / L$$

Donde:

- S = Pendiente media de la cuenca/área de captación (%)
- H = Diferencia de nivel entre el lugar donde se construye la obra y el sitio más alejado del área de captación
- L = Distancia entre estos dos puntos

Coefficiente de escorrentía

Es la proporción de lluvia que fluye superficialmente sobre el terreno como escorrentía. Depende entre otros factores, de la pendiente, del tipo de suelo, de la cubierta vegetal, de la humedad del suelo previa a la lluvia, así como de la intensidad y duración de la lluvia.

Debería también considerarse que las condiciones físicas de un área de captación no son homogéneas. Hasta en el nivel micro hay gran variedad de diferentes pendientes, tipos de suelo, cubiertas de vegetación, etc. Cada área de captación tiene por lo tanto su propia respuesta de escorrentía superficial y responderá de distinto modo a diferentes eventos de precipitación.

El diseño de sistemas de captación de agua de lluvia requiere del conocimiento de la cantidad de escorrentía superficial que será producida por un aguacero en un área de captación dada. Se supone comúnmente que la cantidad (volumen) de la escorrentía superficial es una proporción (porcentaje) de la lámina de agua de lluvia.

$$\text{Escorrentía superficial (mm)} = K \times \text{lámina de agua de lluvia (mm)}$$

En captaciones rurales donde ninguna o solamente partes pequeñas del área son impermeables, el **coeficiente K**, que describe el porcentaje de la escorrentía superficial resultante de una lluvia, no es un factor constante. Su valor es altamente variable y depende de

los factores específicos del área de captación descritos anteriormente y de las características de la lluvia.

En el Tomo I se describe como determinar el Coeficiente de Escorrentía con datos meteorológicos, como intensidad de la lluvia, duración de los eventos y condiciones de humedad del suelo. En general, el **coeficiente de escorrentía superficial** está definido como la escorrentía superficial total observada en un año (o estación), dividida por la lluvia total caída en el mismo año (o estación).

$$K = \text{escorrentía superficial total (mm)} / \text{lluvia total (mm)}.$$

Cuando se analiza la información medida, es posible notar que una cierta cantidad de lluvia es requerida siempre antes de que ocurra cualquier escorrentía superficial. Esta cantidad, que generalmente se refiere a una lluvia umbral, representa la interceptación debido a pérdidas iniciales y almacenamiento en depresiones, así como para cubrir las pérdidas por la alta infiltración inicial.

La lluvia umbral depende de las características físicas del área y varía de una cuenca de captación a otra. En áreas con poca vegetación y donde el terreno es muy regular, la lluvia umbral puede encontrarse solamente en el rango de 3 mm, mientras en otras cuencas este valor puede exceder fácilmente los 12 mm, particularmente donde los suelos dominantes tienen una alta capacidad de infiltración. El hecho de que la lluvia umbral tenga primero que ser sobrepasada explica por qué no toda tormenta produce escorrentía superficial. Es importante conocer cuando evaluar el coeficiente de escorrentía anual de un área de captación.

Otra manera de determinar la escorrentía es por medio de lotes o parcelas de escorrentía superficial. Estos lotes son utilizados para medir la escorrentía superficial bajo condiciones controladas. Las parcelas deben ser establecidas directamente en el área o cuenca para la cual se requiere el coeficiente. Sus características físicas, como tipo de suelo, pendiente y vegetación tienen que ser representativas de los sitios donde los planes de captación de agua de lluvia serán llevados a cabo.

El coeficiente varía generalmente entre **0,1 y 0,5**. Cuando no se dispone de información, el coeficiente puede ser estimado en base a la experiencia. Sin embargo, este método debe ser evitado siempre que sea posible por los riesgos que implica.

Factor de Eficiencia

Este factor tiene en cuenta la ineficiencia de la distribución desigual del agua dentro del campo, así como las pérdidas por evaporación y percolación profunda. Donde el área de cultivo es nivelada y suavizada, la eficiencia es más alta. Los sistemas de microcaptación tienen eficiencias más altas cuando el agua es generalmente almacenada a menos profundidad. La selección del factor de eficiencia se deja a criterio del diseñador basándose en su experiencia y en la técnica seleccionada. Normalmente los rangos del factor están entre **0,5 y 0,75**.

PLANTA

Para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia, es necesario evaluar el requerimiento de agua por el cultivo seleccionado. El consumo de agua por un cultivo (ETc o Uso Consuntivo) se definen como la cantidad de agua necesaria para reponer las pérdidas de agua producidas en el proceso de evapotranspiración. Siempre se refieren a las necesidades de un cultivo que crece en condiciones óptimas.

Las necesidades de agua de los cultivos dependen principalmente del:

- **clima** (como principales factores: luz solar, temperatura, humedad y velocidad del viento);
- **tipo de cultivo; y,**
- **estado de desarrollo**

La influencia del clima sobre las necesidades hídricas de los cultivos se refleja en la evapotranspiración (ET), que se compone de dos sumandos, evaporación (desde la superficie del suelo) más transpiración (de las plantas). La evapotranspiración se expresa usualmente en mm, sea por día, mes, ciclo o estación.

Se han desarrollado diversos métodos para determinar el uso consuntivo de plantas específicas. Unas excelentes guía para estos cálculos por diferentes métodos es el Estudio de Riego y Drenaje No. 24 "Necesidades de Agua de los Cultivos" (FAO, 1977), y el manual "Necesidades de Agua de los Cultivos. Manual de Campo No. 3. (FAO, 1986). Sin embargo, debe observarse que las fórmulas para dar buenos resultados requieren de datos y que en muchos de los lugares donde se practica la captación de agua de lluvia no están disponibles.

Uso Consuntivo

El cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos (**Uso Consuntivo**), es relativamente simple. La ecuación básica para el cálculo es la siguiente:

$$ET_{\text{cultivo}} = K_c \times ET_o$$

Donde:

- ET cultivo = Es el (Uso Consuntivo), requerimiento de agua de un cultivo dado en mm por unidad de tiempo (mm/día, mm/mes o mm/estación).
- Kc = Factor del cultivo, depende de la especie o variedad cultivada y de la etapa de crecimiento de la planta
- ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia en mm por unidad de tiempo
(Ver Tomo I: FAO,1996)

La evapotranspiración del cultivo de referencia ET_o (llamada a veces evapotranspiración potencial, ETP) está definida como la tasa de evapotranspiración de una gran área cubierta de pasto que crece activamente, cubre completamente el suelo y no sufre de deficiencia de agua. La tasa de agua evapotranspirada depende del clima. El valor más alto de ET_o se encuentra en

áreas calurosas, secas, ventosas y soleadas; mientras que los valores más bajos son observados en áreas frías, húmedas y nubladas o sin viento.

En muchos casos es posible obtener estimaciones de ET_0 para el área de interés, desde áreas cercanas con condiciones climáticas similares; sin embargo, donde esto no es posible, los valores para ET_0 tienen que calcularse.

En el **cuadro 1** se encuentran valores aproximados para ET_0 , que pueden ser utilizados en ausencia de datos medidos o calculados.

El **cuadro 2** contiene factores de cultivo **Kc** para las especies comúnmente cultivadas bajo sistemas de captación de agua de lluvia.

Cuadro 1. Valores aproximados de necesidades de agua de cultivos estacionales

Cultivo	Necesidad de agua de los cultivos (mm/total período vegetativo)
Frijol	300 - 500
Cítricos	900 - 1200
Algodón	700 - 1300
Cacahuete (maní)	500 - 700
Maíz	500 - 800
Sorgo/mijo	450 - 650
Soya	450 - 700
Girasol	600 - 1000

Cuadro 2. Factores de cultivo (Kc)

Cultivo	Etapa Inicial		Etapa de crecimiento del cultivo		Pleno desarrollo del cultivo		Etapa de madurez		Promedio del cultivo
	Kc	días	Kc	Días	Kc	días	Kc	días	
Algodón	0,45	(30)	0,75	(50)	1,15	(55)	0,75	(45)	0,82
Maíz	0,40	(20)	0,80	(35)	1,15	(40)	0,70	(30)	0,82
Mijo	0,35	(15)	0,70	(25)	1,10	(40)	0,65	(25)	0,79
Sorgo	0,35	(20)	0,75	(30)	1,10	(40)	0,65	(30)	0,78
Granos pequeños	0,35	(20)	0,75	(30)	1,10	(60)	0,65	(40)	0,78
Leguminosas	0,45	(15)	0,75	(25)	1,10	(35)	0,50	(15)	0,79
Maní	0,45	(25)	0,75	(35)	1,05	(45)	0,70	(25)	0,79

BALANCE HIDRICO

Una vez obtenido los datos de precipitación y consumo de agua por los cultivos considerados, el siguiente paso es determinar si hay necesidades de agua de riego, o sea si son necesarias las obras de captación de agua de lluvia, para lo cual se debe analizar las deficiencias o excesos de agua, por medio del **balance hídrico**. La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca (o cualquier masa de agua) indica los valores relativos de entrada y salida, flujo y variación del volumen de agua.

En general, las entradas en la ecuación del balance hídrico comprenden la precipitación (lluvia o nieve) realmente recibida en la superficie del suelo (**P**), y las aguas superficiales y subsuperficiales recibidas dentro de la cuenca (**Q**). Las salidas en la ecuación incluyen la evaporación y transpiración (**ET**) y la salida de las aguas superficiales, o sea la escorrentía (**ES**), y las aguas subterráneas (**ST**).

$$P + Q = ET + ES + ST$$

Para su aplicación en ciertos cálculos, la ecuación del balance hídrico podrá simplificarse o hacerse más compleja, dependiendo de los datos disponibles, del objetivo del cálculo, y las dimensiones de la masa de agua (por ejemplo diferentes cálculos para microcaptación, captación externa ó inundaciones). La ecuación simplificada del balance hídrico es:

$$P = ET + ES$$

Los componentes de la ecuación del balance hídrico se pueden expresar como una altura media de agua sobre la cuenca (mm), como un volumen (m³), o en forma de caudal (m³/s):

$$V(m^3) = 1/1000 \times A(m^2) \times ES(mm)$$

Necesidad de Agua de Riego

Las necesidades de agua adicional, por ejemplo la que se necesita obtener por captación de lluvia, pueden resultar de la diferencia entre las demandas de agua del cultivo (uso consuntivo) por mes durante el ciclo de desarrollo y la parte o porción de agua de lluvia caída en esos meses.

Normalmente se utiliza la probabilidad de lluvia al 50%, o la precipitación efectiva (Pe), de forma que se pueda analizar las deficiencias o excesos de agua (Anaya et al, 1994).



$$NA = ETc + SAT + PERC + LA - Pe$$

Donde:

NA	=	Necesidades de agua de riego
ETc	=	Evapotranspiración del cultivo
SAT	=	Cantidad de agua necesaria para saturar el suelo
PERC	=	Pérdidas por percolación y filtraciones
LA	=	Agua para establecer la lámina de agua superficial
Pe	=	Precipitación efectiva

La ecuación simplificada, donde UC es Uso Consuntivo, es:

$$NA = UC - Pe$$

En que básicamente existen tres situaciones:

UC = Pe	NA = 0	Situación actual, el agua de lluvia es suficiente
UC > Pe	NA = ETc - Pe	Se necesita contribución del riego. Si no llueve en absoluto NA = ETc
UC < Pe	NA = 0	Hay exceso agua de lluvia, drenaje es necesario.

No obstante, debe tenerse en cuenta que los cálculos están siempre basados en parámetros con alta variabilidad. La lluvia y la escorrentía superficial son característicamente erráticas en regiones donde se practica la captación de agua de lluvia. Por lo tanto, a veces es necesario modificar un diseño original a la luz de la experiencia y frecuentemente será útil incorporar medidas de seguridad.

Los datos del balance hídrico se utilizan para determinar si es necesario captar agua de lluvia (o regar) y para calcular la suma total del agua que necesitan las plantas. También se puede calcular para cada mes (o para cualquier período durante el crecimiento de las plantas) las necesidades de agua de los cultivos, para determinar si se debería regar. Con la suma de estas necesidades se obtiene datos para calcular la cantidad total a captar.

LA CUENCA HIDROGRÁFICA

En los cálculos para las áreas más grandes de captación de agua de lluvia, además de los datos de la precipitación y del requerimiento de agua de las plantas, es necesario tener datos sobre las variaciones del volumen de agua almacenada en la cuenca.

Como se ha discutido en el párrafo anterior, el balance hídrico es muy útil para determinar el agua disponible. La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca indica los valores relativos de entrada y salida del agua, o sea:

$$\text{flujo de entrada} = \text{flujo de salida} \pm \text{cambio en el almacenaje del perfil.}$$

Este balance se puede aplicar a diferentes partes del ciclo hidrológico.

Agua Subterránea	<i>entrada</i>	Percolación profunda e infiltración
	<i>salida</i>	Flujo subterráneo, ascenso "capilar" y evapotranspiración
	<i>diferencia</i>	Cambio en el almacenamiento
Una Cuenca	<i>entrada</i>	Precipitación
	<i>salida</i>	Evapotranspiración y escorrentía total
	<i>diferencia</i>	Almacenamiento en micro-depresiones, agua subterránea, canales, etc.

El agua almacenada en las cuencas hidrográficas comprende:

- Agua superficial almacenada sobre la superficie de la cuenca.
- Agua subsuperficial almacenada en el suelo, en la zona no saturada.
- Agua subterránea.

En las zonas áridas la acumulación más importante de agua tiene lugar durante la estación de lluvias. La captación del agua superficial y subsuperficial ocurre principalmente durante esta estación; mientras la captación del agua subterránea puede ocurrir en la estación después de la lluvia (ver artículo de Néstor Cabas, en Captación Externa de éste Manual).

La precipitación efectiva (P_e), fluye por diferentes caminos hacia la red de drenaje y se evalúa en algún sitio de interés del cauce (donde se planifica poner la obra de captación) como **escorrentía, escurrimiento o caudal**. El caudal se define como el volumen de agua que atraviesa la sección del cauce en una cantidad de tiempo y se expresa en m^3/s o l/s .

Los componentes del caudal son de los siguientes tipos:

- **Escorrentía superficial** (flujo superficial)
- **Escorrentía subsuperficial** (interflujo)
- **Escorrentía subterránea** (flujo base)
- **Precipitación que cae sobre el cauce** (sin contactar ni entrar en el suelo)

El registro de la escorrentía se hace en términos del caudal medio diario, obtenido ordinariamente mediante la medición de niveles de agua dos o tres veces al día y transformados a caudales mediante una curva de descarga. Muchas estaciones están equipadas con instrumentos (limnógrafos) para proporcionar información sobre los eventos extremos y los caudales máximos y mínimos.

El hidrograma es la representación gráfica de alguna característica de la escorrentía o caudal a lo largo del tiempo en una estación específica.

Para determinar si es factible planificar captación de agua de lluvia, se requiere conocer el **caudal mínimo** dentro de una cierta posibilidad, mientras en el diseño de obras hidráulicas pequeñas, como de la captación de agua de lluvia, normalmente sólo se requiere del

conocimiento del **caudal máximo** para un determinado período de retorno. Además, es importante conocer el **caudal en estiaje** (en la época seca), que es cuando más se necesita el agua.

El método racional de estimado de la escorrentía es el que se utiliza para determinar el caudal de diseño de pequeñas obras en cuencas de hasta 500 hectáreas, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Q = 0,278 * C * I * A$$

Donde:

- Q = Caudal de diseño (m³/s)
- C = Coeficiente de escorrentía
- I = Intensidad de la precipitación (mm/h)
- A = Area de la cuenca de captación (Km²)

El análisis de **frecuencia** es un método analítico para determinar el caudal de diseño para períodos de retorno deseados. Las curvas de frecuencia son una expresión de los datos hidrológicos sobre una base probabilística, ya que sirven para estimar la frecuencia con que una variable de cierta magnitud es igualada o excedida. Estas curvas pueden ser desarrolladas para cualquier variable hidrológica.

El término **aguas subterráneas** se refiere en general a la ocurrencia del agua por debajo de la superficie del suelo. Sin embargo, comúnmente se relaciona sólo con la que se encuentra en la zona saturada de agua. El límite de separación entre la zona de aireación y la de saturación se conoce como **nivel freático**, donde el agua se mantiene a presión atmosférica (agua libre). Un **acuífero** se define como un estrato del subsuelo que contiene y conduce agua.

INFORMACION PARA LA CAPTACION DEL AGUA DE NIEBLA

En las zonas donde la lluvia es muy escasa, la captación y almacenamiento de la precipitación no es factible. Aparte de las fuentes de agua en las zonas áridas y semiáridas tales como ríos, lagos o la lluvia, existe un gran depósito natural de agua bajo la forma de vapor de agua, sea vapor de la atmósfera, de la evaporación desde el suelo o transpiración de las plantas, o más frecuentemente: rocío y niebla. La diferencia con aquellas fuentes de agua, es que esta forma de agua es difícil de captar, es decir relativamente sólo un pequeño porcentaje de rocío o niebla puede ser captado, pero puede significar un aporte suficiente como para considerarlo. En algunos lugares la combinación de condiciones meteorológicas y la topografía crean la existencia de nieblas persistentes. En estas zonas, se podría captar agua de nieblas.

Una definición de niebla o neblina es: "una nube baja que cubre o envuelve al observador y es lo suficientemente densa para reducir la visibilidad horizontal a menos de 1 km. Si la visibilidad es mayor que 1 km, pero menos de 10 km estamos ante una neblina, (Cardich, 1991)".

La diferencia entre la lluvia y la niebla es el diámetro de las gotas y la velocidad de caída subsiguiente. Generalmente la niebla es el resultado de un enfriamiento del aire húmedo al contacto con la superficie terrestre. El fenómeno de las nieblas como recurso hídrico se presenta especialmente en zonas áridas cercanas a océanos, tal como Baja California en México, en el Norte de Chile, y en el centro y sur del Perú. En el capítulo Captación Externa, se describe una técnica para captar agua de niebla en Chile.

En la práctica cualquier objeto o superficie que entre en contacto oponiéndose a la dirección del viento que arrastra la niebla es un captador. La forma de captación más eficaz es aquella que de manera natural proporciona un bosque y también los arbustos densos y la vegetación herbácea en orden decreciente. La captación artificial se está llevando a cabo mediante diferentes artefactos con resultados diversos.

Intervienen en el proceso de la captación de agua de niebla factores topográficos, meteorológicos y estacionales.

Topografía del sector

En primer lugar, para elegir lugares apropiados para captar agua de nieblas, se necesita de montañas con altitud suficiente para interceptar las nubes. Es importante elegir la altura del lugar que conviene para captar las nubes con la cantidad más alta de agua. Schemenauer y Cereceda (1994), mencionan una altura deseada como dos tercios de la densidad de la nube desde su base.

Cuando se trata de montañas de la costa, es importante que el eje longitudinal de la sierra sea aproximadamente perpendicular a la dirección de los vientos dominantes que traen las nubes desde el mar. En este caso la distancia a la costa debería ser lo más próxima posible, idealmente menos de 5 km, pero hay ejemplos de captación de hasta 25 km al interior. En otros lugares, con ocurrencia de nieblas frecuentes no se toma en cuenta la distancia al mar.

Es importante considerar que no haya obstáculos grandes para el viento en el sitio elegido y que haya suficiente espacio para las obras de captación. Hay que considerar también la pendiente y microtopografía. En general son ideales pendientes suaves para el viento y la posición de las obras en las cimas de las lomas u ondulaciones del terreno.

Frecuencia, intensidad y dirección de los vientos

El viento es un factor importante en la determinación y planificación de obras para abastecimiento de agua de niebla. Schemenauer y Cereceda (1994), también recomiendan adaptaciones en las obras de captación de agua de lluvia considerando el efecto del viento.

El potencial de la captación de agua de niebla está influido por la dirección y fuerza de los vientos predominantes.

El viento resulta del movimiento causado por diferencias en la presión atmosférica de las masas de aire. Es influenciado por el contacto con la superficie de la tierra, produciendo un movimiento desordenado. Este movimiento de aire aumenta el transporte de la materia, calor y

agua. La información sobre el viento se utiliza para calcular la tasa de evaporación y evapotranspiración potencial.

La **dirección** del viento es importante para optimizar la orientación (en grados) y ubicación de las obras de captación. La dirección media mensual del viento se mide durante los meses importantes, o sea cuando llueve o cuando hay nieblas importantes. En general vientos persistentes en una dirección son ideales para captar agua de niebla. Por ejemplo la circulación cerca de áreas con alta presión en la parte oriental del pacífico produce vientos con dirección sur oeste y vientos con dirección sur hasta Perú (Schemenauer y Cereceda, 1994).

La frecuencia y velocidad de los vientos son importantes para evaluar la potencialidad de la captación de agua de niebla. La **velocidad** del viento influye sobre el volumen del aire (que contiene agua en forma de niebla) que pasa el colector o trampa. La **velocidad** del viento influye entonces en el volumen del agua de lluvia para captar, mientras más fuerte es el viento, el ángulo de caída de las gotas es más horizontal, y demanda entonces adaptaciones en la posición vertical del colector. La **dirección** del viento determina la ubicación de las obras.

La **velocidad** del viento está influenciada por las irregularidades de la superficie de la tierra. El movimiento desordenado resultante implica que la determinación de la velocidad y la dirección media del viento es difícil porque ocurren cambios rápidos. La velocidad del viento aumenta con la altitud. Para medir la velocidad del viento se utiliza el anemómetro que calcula la velocidad media del viento en metros por segundo.

Las gotas de lluvia y de llovizna tienen un diámetro de aproximadamente 5 mm a 40 micrones y velocidades de caída de 9 a 2 m/s, mientras las gotas de la niebla tienen un diámetro de menos de 40 micrones y velocidades de caída inferiores a 5 m/s (principalmente menores de 1 m/s). El viento entonces influye en el ángulo de caída, tanto para la lluvia como para la niebla, pero la velocidad de caída de las gotas de la niebla es tan pequeña que el movimiento de estas gotas es casi horizontal. Esto implica que el colector tiene que ser vertical.

Las mediciones meteorológicas relevantes son **temperatura, humedad relativa, radiación solar, presión;** y especialmente **velocidad y dirección del viento**. Para evaluar la potencialidad de la captación de agua de niebla, es recomendable medir la velocidad y dirección del viento cada 5 ó 15 segundos, para calcular promedios diarios y después visualizar la distribución de frecuencias, velocidad y dirección del viento.

Para determinar la **duración** del viento, se puede observar la velocidad del mismo cada hora durante varios días.

Determinación del potencial hídrico

Con las mediciones meteorológicas mencionadas anteriormente, podría evaluarse los volúmenes de agua de niebla que pueden ser colectados. Estos volúmenes dependen de la superficie del colector, la eficiencia de la captación del colector o trampa y la velocidad del viento.

No obstante, Gischler (1991) encontró que las variables más importantes son la duración de las nieblas y la temperatura durante la intercepción. La velocidad del viento, la visibilidad

(como indicador de la densidad de la nube) y la humedad relativa no fueron significativas. Este autor comentó que probablemente la velocidad del viento en su caso no fue importante porque en la investigación estadística la cantidad de agua en la nube y el tamaño de las gotas fueron más importantes.

Para evaluar la captación potencial de agua de niebla, Schemenauer y Cereceda (1994) recomiendan un colector estandar, de 1 x 1 m, midiendo así litros de agua por metro cuadrado por hora, por día, u otro período.

LABORES CULTURALES

Idealmente el área de captación debería tener una escorrentía superficial alta, mientras en el área cultivada las condiciones deberían ser favorables para la infiltración y el aprovechamiento del agua. Entonces, las labores para aumentar la escorrentía superficial incluyen despejar la vegetación o aplicar materiales impermeabilizantes (artificiales) para las áreas de escorrentía.

Las labores culturales a que se hace referencia son los aspectos agronómicos, o sea los tratamientos para mejorar el almacenamiento del agua en el suelo y el aumento de la producción de las plantas. Estas labores pueden ser comparadas, hasta cierto punto, con las prácticas conservacionistas del suelo, tales como labranza, mulching y barbecho.

Labranza

Los sistemas de labranza tienen como objetivos fundamentales: **preparar la cama** para las semillas y las raíces, **controlar las malezas**, establecer condiciones superficiales en el suelo que favorezcan la **infiltración** y **controlar la erosión**.

Es importante aplicar las labores culturales en el momento oportuno. Respecto a la aplicación del agua, los períodos en los que la humedad extra puede ocasionar una diferencia significativa son:

- ⊗ Sembrando cuando la germinación y el establecimiento puede mejorarse;
- ⊗ A mediados de la estación seca, cuando el cultivo puede sostenerse hasta las siguientes lluvias;
- ⊗ Mientras los cultivos están en las etapas vitales de floración y llenado del grano.

La forma más práctica de proteger el suelo de la erosión (y aumentar la infiltración), es manteniendo una cobertura vegetal densa en forma permanente. En una labranza de conservación se aplica **mulch residual** y/o se incrementa la **rugosidad de la superficie**. Un aumento en la rugosidad se logra mediante labranza en fajas, sistemas de labranza en surcos y métodos de labranza que ocasionan la inversión del perfil del suelo. En el capítulo sobre Microcaptación se trata más sobre este tema.

Mulching

El “mulching” se utiliza mucho conjuntamente con técnicas de labranza mínima y de cero labranza. Consiste en una cobertura de desechos orgánicos, que forma una cubierta protectora, facilitando la infiltración y reduciendo la velocidad de escorrentía. La dificultad que puede presentarse es la falta de disponibilidad de residuos de plantas.

Barbecho

El barbecho (tierra que no se siembra durante uno o más años), es empleado en algunas zonas para aumentar la cantidad del agua en el suelo antes de sembrar. El efecto positivo depende de las precipitaciones durante el período del barbecho y del crecimiento de las plantas (Hudson, 1987). También tiene un cierto riesgo de desarrollo de malezas y de erosión.

Incorporación de materia orgánica

Es importante mantener un nivel suficiente de materia orgánica en el suelo para una mayor infiltración y almacenamiento de agua en el mismo, así como para el aumento de la fertilidad.

La fertilidad de los suelos en áreas secas es generalmente el segundo factor más limitante de la producción después del estrés de humedad. La mejora en el suministro de agua disponible con captación de agua de lluvia puede conducir al agotamiento de nutrientes del suelo. Por lo tanto, es muy importante mantener el nivel de materia orgánica añadiendo estiércol o abono animal al suelo. Los fertilizantes inorgánicos son rara vez económicos para la producción de cultivos bajo captación de agua de lluvia.

Algunos sistemas de captación de agua de lluvia también extraen, con el agua, materia orgánica del área de captación y por lo tanto “incrementan” la fertilidad del área cultivada.

Control de malezas

La maleza es un problema donde se utiliza la captación de agua de lluvia, debido a las condiciones de crecimiento favorable donde se concentra el agua. Las malezas se presentan especialmente al comienzo de la estación y por lo tanto el deshierbe temprano es muy adecuado. Las malezas compiten con los cultivos por el agua.

Las malezas se presentan también cuando se utiliza “mulching”, cero labranza y labranza mínima.

AGRICULTURA DE LADERAS A TRAVÉS DE ANDENES, PERÚ

Javier Blossiers Pinedo, Ing. Agr. Sistemas de Riego no Convencional;
Carmen Deza Pineda, Ing. Forestal, Ecología Botánica;
Bárbara León Huaco, Ing. Industrial, Tecnologías Apropriadas al Ambito Rural;
Ricardo Samané Mera, Ing. Agr., Conservación de Suelos y Aguas..
TECNIDES.

Antecedentes históricos

La agricultura en los sistemas de terrazas o andenes, es una tecnología agrícola ancestral que se ha desarrollado en muchos lugares del mundo como respuesta económica, social y técnica a un medio adverso, encontrándose particularidades de acuerdo al lugar y al nivel de desarrollo de las culturas (**figura 60**).

En el Perú existe una superficie aproximada de un millón de hectáreas de andenes (Masson 1984), de los cuales aproximadamente el 10% está en uso permanente, 20% en uso temporal o estacionario y el 70% abandonado o destruido, representando el 4,0, 8,0 y 28,1% respectivamente del área agrícola total cultivada en el Perú (2 490 000 has). En la **figura 61** y **cuadro 23**, se presentan los resultados de la evaluación del estado de conservación de los andenes en 10 Departamentos.

En el Perú, el andén es una práctica conservacionista que los antiguos pobladores dominaron ampliamente llegando a construir verdaderos complejos agrícolas de alta técnica hidráulica, utilizando para los muros piedras y para el relleno de la plataforma material acarreado y seleccionado (grava, suelo y materia orgánica). Con los andenes se logra utilizar racionalmente las laderas, minimizar el riesgo de heladas, lograr una mayor exposición al sol, controlar la escorrentía del agua, incrementar la infiltración, mantener un buen drenaje y mejor aireación del suelo agrícola.

En la actualidad es una práctica en desuso, salvo en ciertos lugares (mayormente en las partes bajas de las laderas) donde aún se conservan andenes bajo cultivo permanente o temporales. Lamentablemente la mayor parte de andenes que todavía pueden usarse están descuidados, abandonados y/o derruidos.

Los andenes son conocidos como “pata pata” en quechua o “takwana” en Aymara. Se estima que su construcción fue iniciada hace aproximadamente 3 000 años a.C., desarrollándose junto a la expansión del cultivo de maíz.

Andenes y terrazas en el mundo.

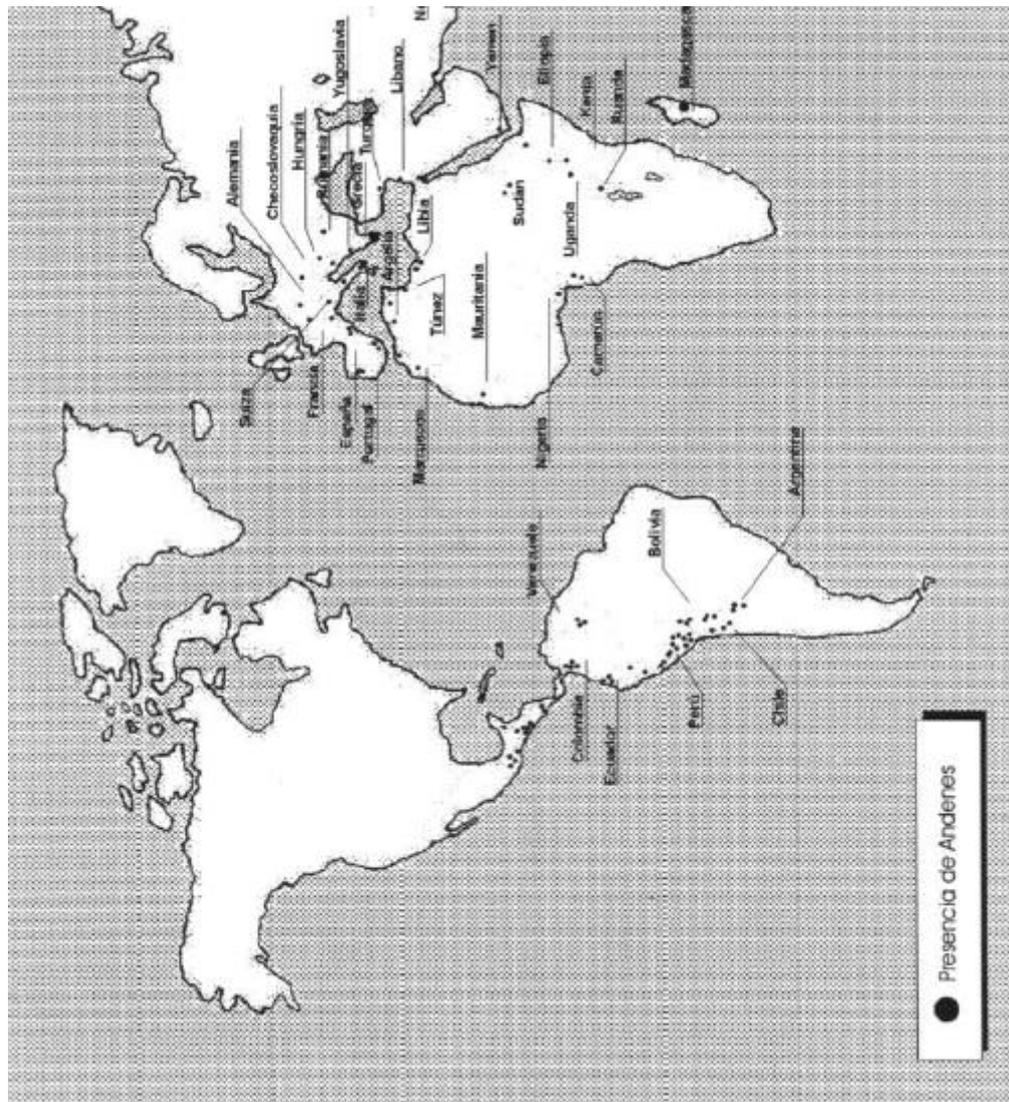
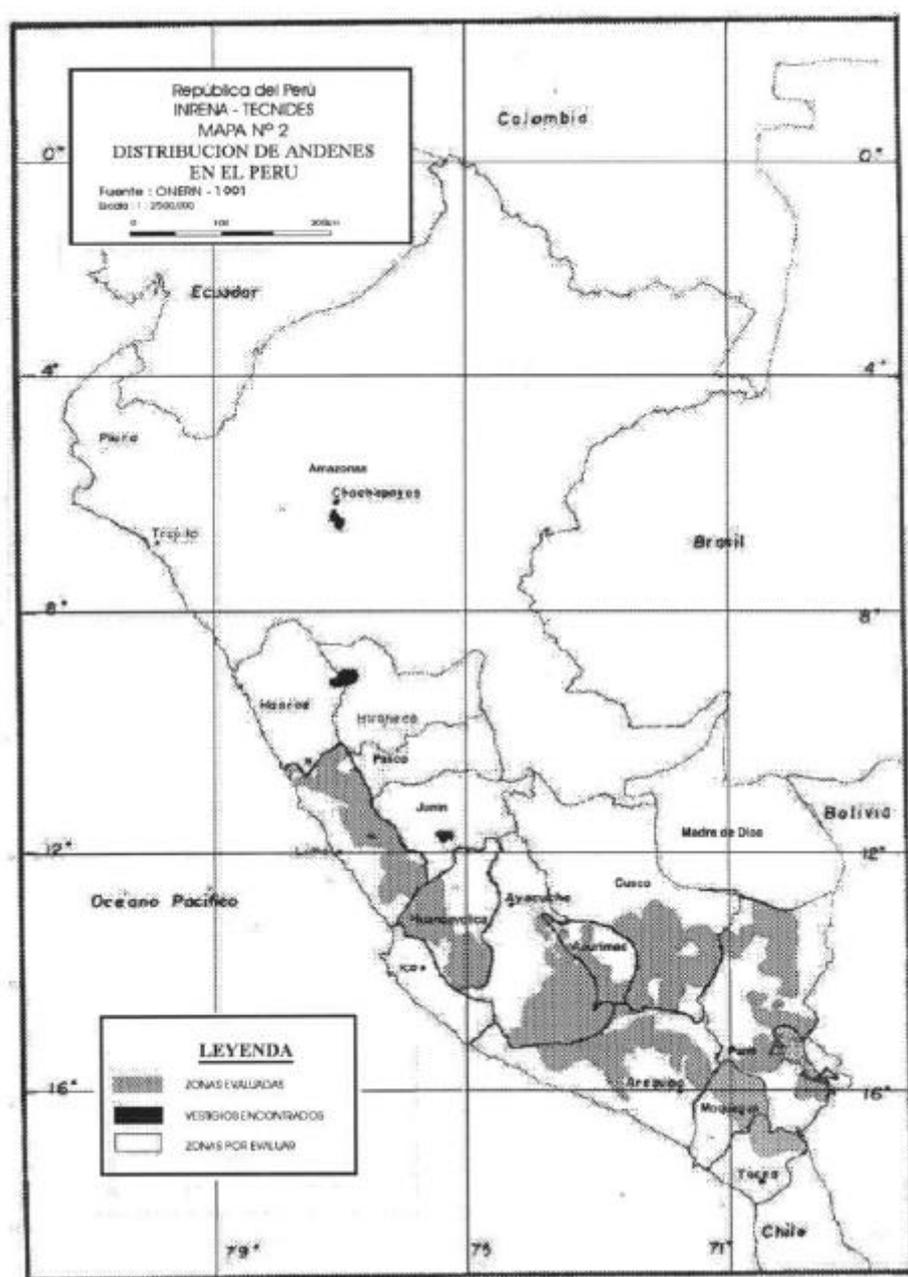


Figura 61. Distribución de andenes en el Perú.



Zonas de andenes evaluadas en el Perú (1991).

Estado de Conservación y Uso	Apurímac		Arequipa		Ayacucho		Cuzco		Huancavelica		Ica		Lima		Moq	
	ha	ha	ha	ha	ha*	ha**	ha**	ha**	ha***	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha
• Conservados con uso Permanente		3260		435		810		465						3055		4
• Conservados con uso Temporal		6775				410								945		
• Semi-Conservados con uso Permanente		10145		8675		4015		3305		160				4970		4
• Semi-Conservados con uso Temporal	6335	11855		4740		2790		6055		915				26315		2
• Derruidos con uso Permanente				7105		90		6520		310						
• Derruidos con uso Temporal	13740	6120		7310		13210		10490		960				26405		
• Derruidos sin Uso	1190	10110		8950		970		6315		1000				13710		5
TOTAL DEPARTAMENTAL	21265	48265	37215	22295	33150	3345	79400	15								
%	6,56%	14,89%	11,48%	6,88%	10,23%	1,03%	24,45%	5,								

* Evaluadas solamente en las Provincias de Parinacochas, Paucar de Sarasara.

** Falta evaluar la Provincia de Urubamba.

*** Evaluadas solamente en las Provincias de Huaytará y Castrovirreyna.

FUENTE: PRONAMACHCS, INRENA (EX-ONERN), UNALM (1991)

Aspectos Técnicos

Descripción

La agronomía en andenería es un sistema ancestral de cultivo en terrazas, que se aplica en laderas con pendientes del 4 al 60%; se caracteriza por la construcción de plataformas continuas escalonadas en las laderas de los cerros y superficies inclinadas de las quebradas, logrando así el aprovechamiento óptimo del agua. La cultura Andina en el transcurso de casi 3 000 años, ha perfeccionado la construcción de este sistema, diversificándola según su uso: para la producción agrícola, manejo del recursos hídrico, viviendas, experimentación y domesticación de plantas entre otros. Los andenes continúan siendo la tecnología agrícola que mejor utiliza el recurso humano y el medio más adecuado para evitar la erosión de los suelos de laderas.

La agricultura en andenería es muy diversificada. Actualmente se conducen cultivos de alfalfa y papa en rotación con maíz, oca y olluco; del mismo modo se producen flores y frutales como manzanos, paltos y chirimoyos en andenes de dos metros de ancho que sólo admiten un surco. Esto se puede observar en el Valle del Rímac (Lima), donde el 90% de los andenes son irrigados. Es importante mencionar que cada andén tiene un boquerón de ingreso para el agua y un boquerón para el desagüe de los excedentes.

Los andenes generalmente tienen una longitud que oscila entre 4 y 100 m, por un ancho que va desde 1,5 a 20 m; la terraza se encuentra sostenida normalmente por tres muros de piedra, de los cuales el de mayor longitud tiene la sinuosidad de la curva de nivel de la ladera y los otros dos en los extremos del andén, van paralelos con la máxima pendiente adyacente a la acequia y el camino empedrado o sólo a la acequia. Los muros miden normalmente entre 0,5 y 2 m de altura llegando ocasionalmente a 3 m. La estructura interna del andén consta de tres estratos, donde la capa del fondo es de piedras grandes, seguido de una capa intermedia de ripio o gravas y una capa superficial de hasta 0,7 m de tierra agrícola, que a veces es transportado de otro lugar. La estratificación por capas de tamaños diferentes permiten un mejor drenaje y una mayor estabilidad a la plataforma, disminuyendo así las fuerzas sobre el muro.

Objetivos

- Disponer de áreas agrícolas en regiones de fisiografía muy accidentada, donde el espacio horizontal existente es escaso o extremadamente árido para su desarrollo socioeconómico (zonas muy deprimidas).
- Estabilizar los taludes de laderas y reducir la velocidad de escorrentías de aguas a un régimen no erosivo que permita mantener y conservar la biodiversidad existente.

Ubicación y selección del sitio

Los andenes se ubican en laderas de montañas desde los 300 msnm hasta los 4 200 msnm y pueden ser irrigados con agua canalizada de ríos, lagunas manantiales, nieblas y lluvias estacionales sobre los 200 mm/año.

Diseños

Criterios de diseño de un andén

Para el establecimiento de un sistema de andenes hay que tener en cuenta lo siguiente:

- La pendiente de la ladera debe estar comprendida entre 4 y 60% , preferentemente por razones de costo.
- La disponibilidad y caudal de las fuentes de agua para riego: manantiales, ríos, lagunas, lluvias, neblinas, etc.
- La precipitación estacional anual en zonas de secano no debe ser menor a los 200 mm.
- Obtener y analizar los registros hidrológicos de la máxima precipitación y máxima avenida para el cálculo de caudales máximos y problemas de erosiones.
- Estudio geológico y edafológico de la zona para la descripción del perfil de la ladera.

Parámetros de diseño

A continuación se detallan los principales parámetros a tomarse en cuenta en el diseño de un andén (**figura 62**).

Pendiente longitudinal de la terraza (S). Se define como la pendiente paralela a la curva de nivel de la ladera; dicho parámetro define la velocidad del flujo de agua (depende también del material de la rizósfera), para no ser erosivo y los valores fluctúan entre 0,1 y 0,3%.

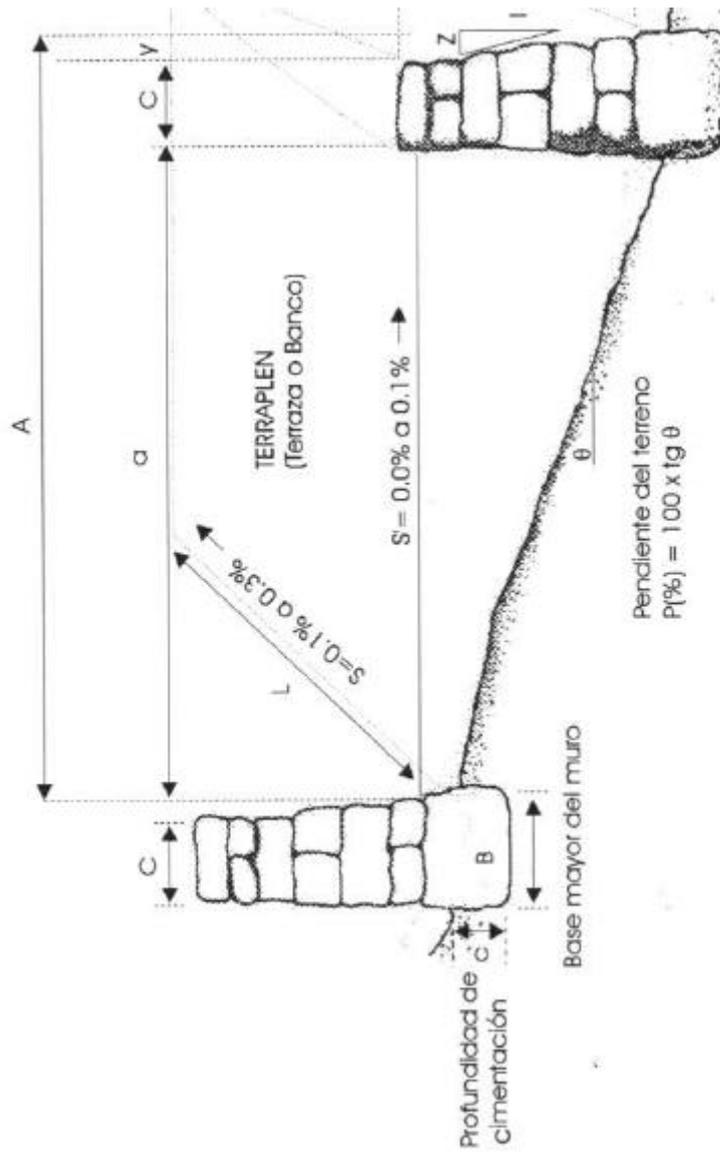
Pendiente transversal de la terraza (S'). La plataforma o terraplén constituye técnicamente el banco del andén y está formado artificialmente por diferentes estratos del suelo. Este relleno de la terraza, no siempre es completamente horizontal, por lo general mantiene una ligera inclinación exterior que viene a ser la pendiente transversal de la terraza que absorbe la precipitación normal de las lluvias y del agua de riego permitiendo una mayor infiltración. Los valores de la pendiente transversal fluctúan entre 0,0 y 0,1%.

Talud del muro de contención (Z). El muro nunca es vertical, se construye una pirca con ligera inclinación hacia adentro de la terraza; los valores del talud del muro fluctúan entre 0,05:1 y 0,15:1. El talud define la estabilidad del muro como soporte del perfil del suelo, tal estabilidad también depende de la forma, tamaño y peso de la roca empleada en la piedra.

Altura del muro (H)

El muro de contención puede tener entre 0,5 y 3 m de altura dependiendo mucho del tipo de material, pendiente de la ladera y límite de la fuerza humana para edificar los muros de piedra pircada; en promedio esta altura alcanza 1,5 m, ocasionalmente llega a los 3 m de altura.

Parámetros de diseño de un andén.



a = Ancho de la terraza.
H = Altura del muro.
B = Base mayor.

y = Proyección horizontal de la inclinación.
c = Profundidad de cimentación.

A = Ancho de andén.
L = Longitud de andén.
S = Pendiente de terraplén.

θ = Grado de inclinación de terraplén.
Z = Inclinación del muro de contención.
C = Ancho de la corona del muro.

El tamaño y forma de la roca son importantes para asegurar una buena estabilidad del muro; por ejemplo los cantos rodados y las piedras pequeñas no aseguran una buena estabilidad, lo que obliga a disminuir la altura del muro; en cambio las piedras grandes de formas regulares garantizan mayor estabilidad, permitiendo construir muros mucho más altos. La altura del muro de contención depende de la textura y profundidad de los suelos de la ladera.

El ancho mínimo de la base mayor del muro (B), debe estar comprendido entre 0,34 a 0,45 H; el ancho del muro en la parte superior (C) debe estar entre los 0,2 y 0,4 m; la profundidad de cimentación mínima (c) debe estar los 0,30 a 0,35 H, generalmente en la base del muro debe emplearse piedras grandes (0,4 a 1 m de diámetro).

Ancho del andén (A)

Es la distancia horizontal entre los muros longitudinales de dos andenes consecutivos. Su dimensión está en razón directa a la altura del muro y en razón inversa a la pendiente original del terreno según la siguiente relación:

$$A = H / \operatorname{tg} \theta$$

Donde:

- A= Ancho del andén (m)
- H= Altura del muro (m)
- θ = Angulo de inclinación del terreno (ladera)

Cuando el valor de (θ) crece, el distanciamiento entre muros es definido por el valor de H, que para los casos de suelos superficiales o poco profundos, obliga por seguridad a disminuir la altura del muro y consecuentemente el ancho del andén (A).

El ancho del andén está determinado por la siguiente relación:

$$A = a + C + Y$$

$$Y = Z \times H$$

Donde:

- A= Ancho del andén (m)
- a= Ancho del banco o terraplén (m)
- C= Ancho de la corona del muro (m)
- Y= Proyección horizontal del talud del muro
- Z= Talud del muro de contención (0,05 a 0,15)
- H= Altura del muro (m)

Largo de la terraza

La longitud de la terraza está limitada por la presencia de obstáculos como afloramiento de rocas, presencia de cárcavas, cambios bruscos en la orientación de la ladera, presencia de

cauces naturales o por excesiva pedregosidad; es por ello que en la determinación de L, interviene la configuración natural de la ladera que será tratada con andenería.

Dimensiones de la acequia de riego y partidores

Se trazan las acequias de riego a máxima pendiente aprovechando los cauces naturales del terreno o construyendo acequias protegidas con piedras y selladas con champa a lo largo de los caminos o en los extremos de los muros de contención; también estos canales son usados para el drenaje.

Las acequias de riego deben ser de sección rectangular con altura de 0,1 a 0,5 m, plantilla de 0,2 a 0,4 m.

Las acequias de riego siguen la pendiente de las terrazas y pasan de un andén a otro mediante caídas verticales, en cada cambio de pendiente existen pozas disipadoras de energía también construidas de piedra labrada o piedra tipo laja. La capacidad aproximada de los canales debe estar entre 30 a 40 l/seg.

El reparto del agua entre dos o más terrazas se hace por medio de partidores de agua contruidos generalmente de forma cuadrada con pozos de 0,6 x 0,6 m y 0,15 m de profundidad. En el funcionamiento de estos partidores se emplea a modo de compuertas, piedras grandes selladas con champas. Las bocas de captación y de desagüe son dependientes del agua disponible para el riego o la precipitación.

Ancho y pendiente de los caminos

Generalmente los senderos o caminos de acceso a los andenes tienen anchos que varían de 1,0 a 2,0 m; son contruidos de piedra a manera de escalinatas que van a máxima pendiente o paralelamente a las acequias de riego. Dichos caminos en época de lluvia sirven como sistemas de drenaje para evacuar el agua de los andenes y no causar erosión a las terrazas: en época de cosechas se utilizan para la extracción de productos y también para el pastoreo del ganado.

En algunos casos cuando los muros son mayores a 1 m de altura, se colocan piedras salientes empotradas a manera de peldaños o gradas y en otros casos se les dota de escalientes de piedra semitalladas, contruidas paralelamente al muro de contención.

Riego del andén

La terraza del andén por tener una gradiente reducida, permite aplicar el agua de riego con eficiencia, ya sea para regar sembríos de gran densidad de plantas como cereales (melgas), o maíz, papa y haba, que se cultivan en hileras distanciadas a 0,6 o 0,8 m (surcos), donde el agua se aplica haciendo llenar cada melga o surco con una lámina de 0,03 a 0,1 m, y se clausura antes que haya desbordamiento por escorrentía.

Construcción del andén

Consiste en realizar movimientos de tierra de corte y relleno para formarlos escalonadamente de arriba hacia abajo. Su construcción, debe realizarse antes de los períodos de lluvias, nunca durante lo mismos.

El proceso de construcción de un andén comprende los siguientes pasos:

Paso 1

Trazar dos curvas de nivel consecutivas a partir del costado del terreno que tenga la mayor pendiente. Se establece el distanciamiento entre las curvas de nivel, en función al ancho promedio que se quiere dar a la terraza, teniendo en cuenta de no exceder los límites para la altura del talud recomendados en los trabajos de campo y gabinete; luego se marcan bien las líneas de nivel procediéndose a remover el suelo superficial de la capa arable hacia un costado (figura 63).

Los trabajos antes indicados se pueden realizar usando un nivel de ingeniero o una manguera transparente, caballete de madera o el nivel en "A" (figura 64).

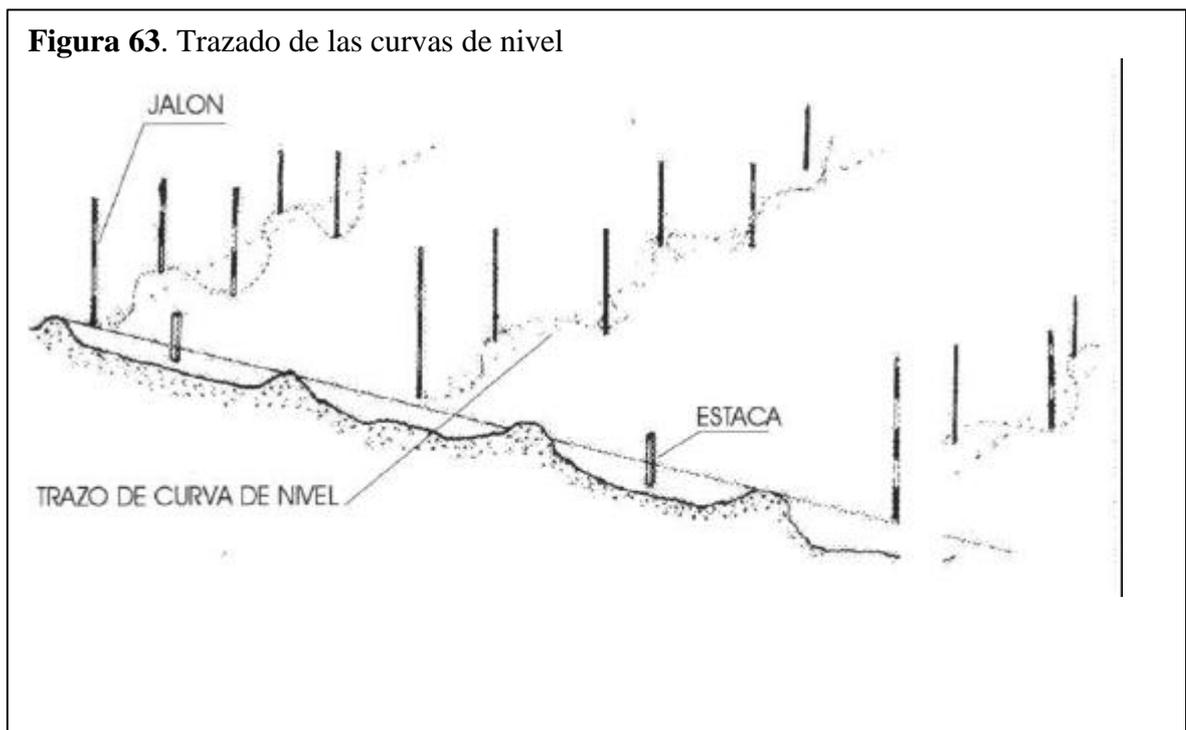
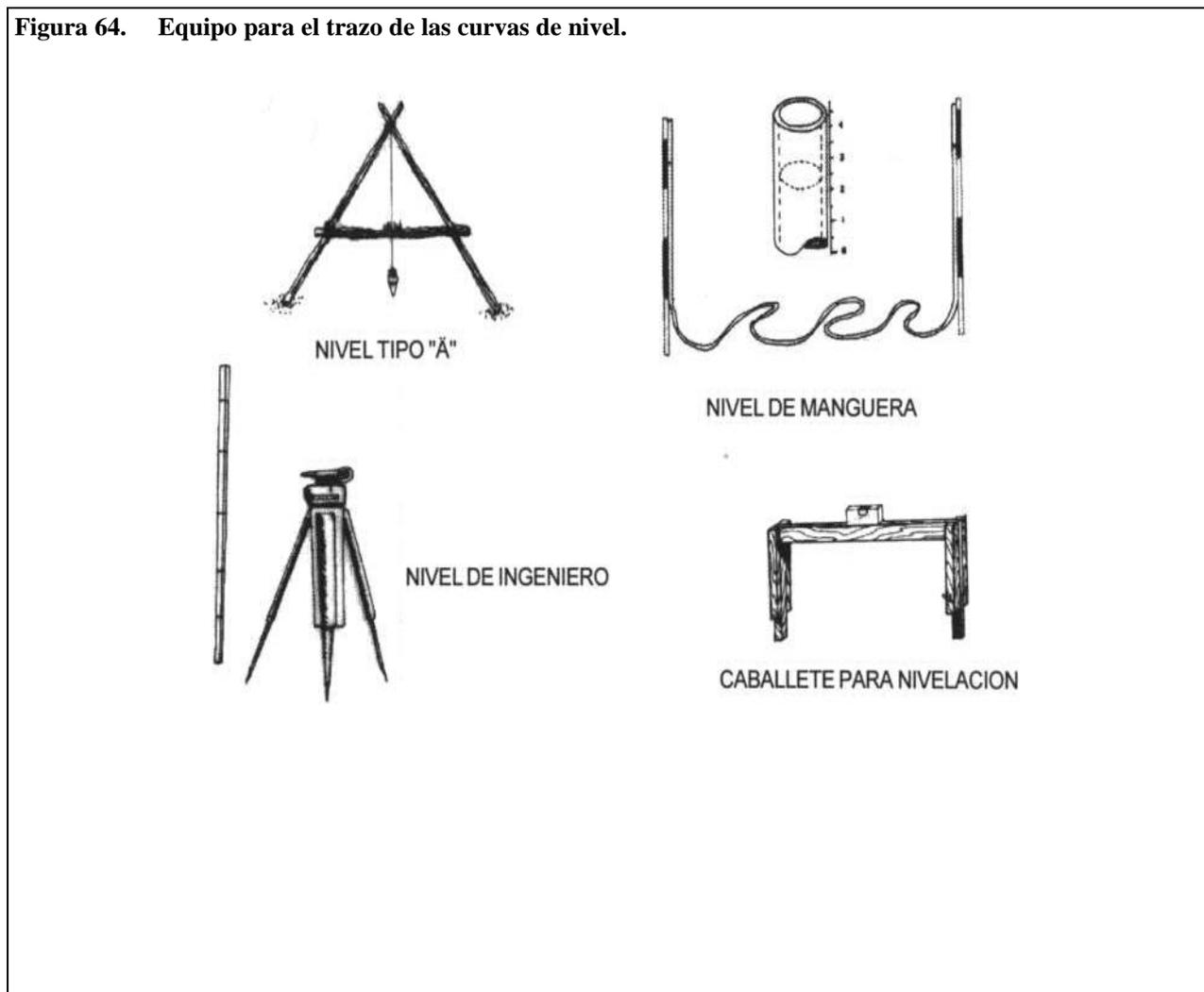


Figura 64. Equipo para el trazo de las curvas de nivel.

**Paso 2**

Ablandar las curvas muy sinuosas promediando altos y bajos para obtener curvaturas amplias y uniformes.

Paso 3

Abrir zanjas para el cimiento en el terreno de contención, teniendo en cuenta el tipo de perfil de la ladera y los volúmenes de tierra que hay que mover; cuando el perfil del suelo es profundo, cavar hasta $1/2$ a 1 de H , luego remover el material separando la capa fértil hasta dejarlo a $1/3$ de H , como máximo y $0,5 H$ como mínimo (**figura 65**).

Paso 4

Iniciar la construcción de la pirca por una de las esquinas del andén, colocando las piedras de mayor tamaño en la cimentación debidamente acomodadas, acuñadas y alineadas; las piedras deben ir superpuestas y entrecruzadas pero sin amalgama. Dejar los espacios u orificios para los drenes (boquerones) y los peldaños de acceso en los muros altos (**figuras 66 y 67**).

Figura 65. Excavación y cimentación de piedra

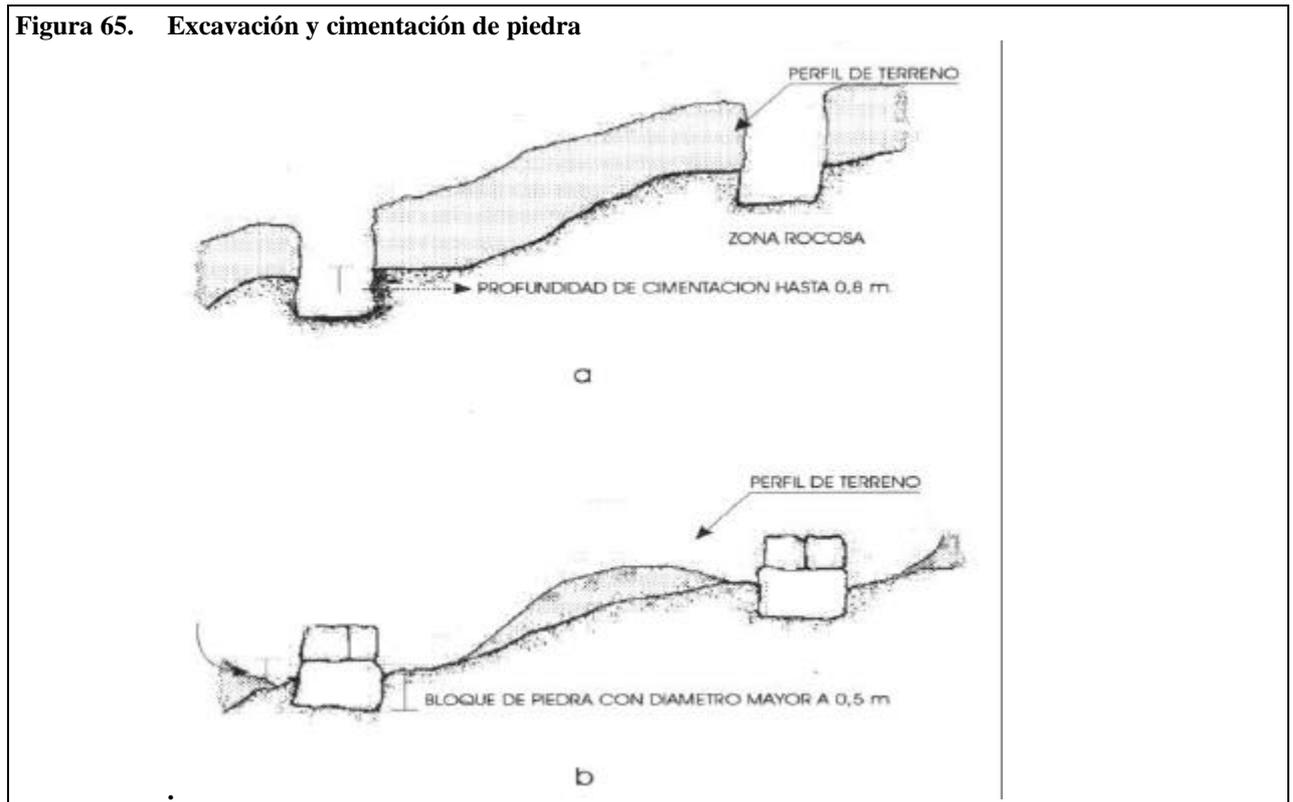


Figura 66. Construcción del andén.

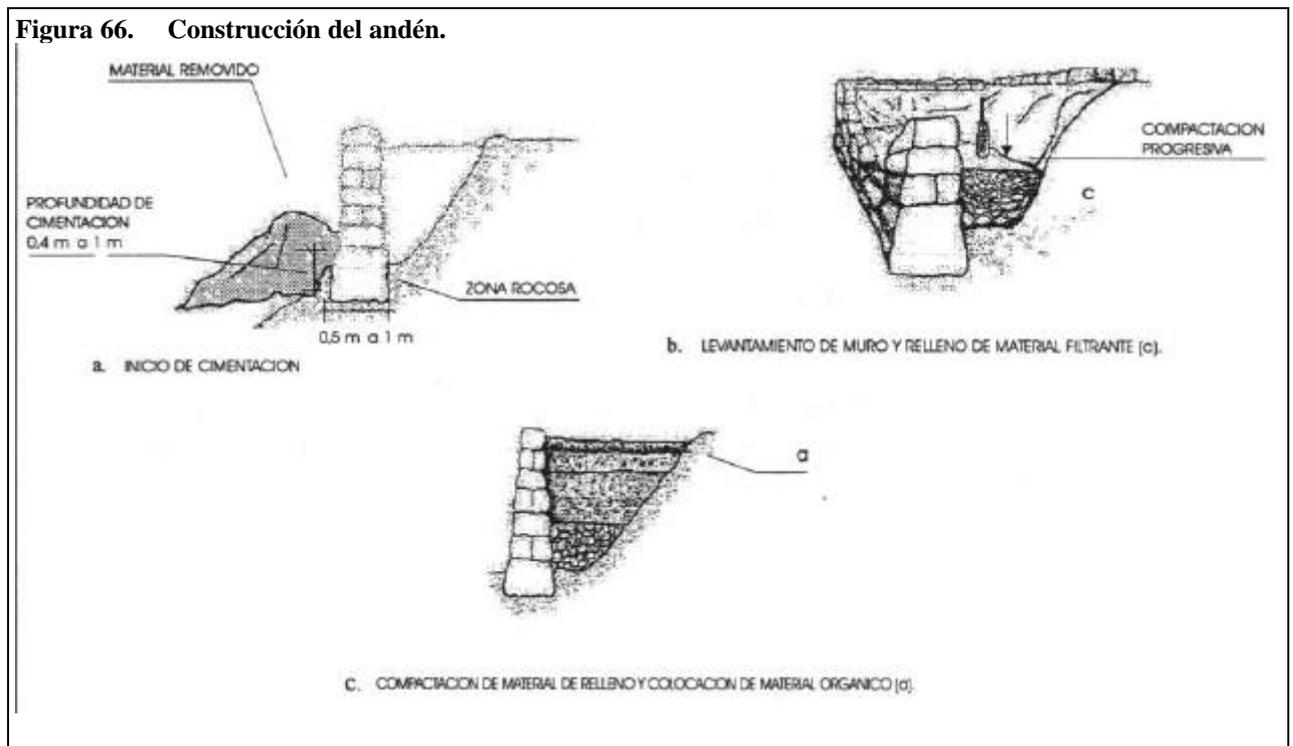
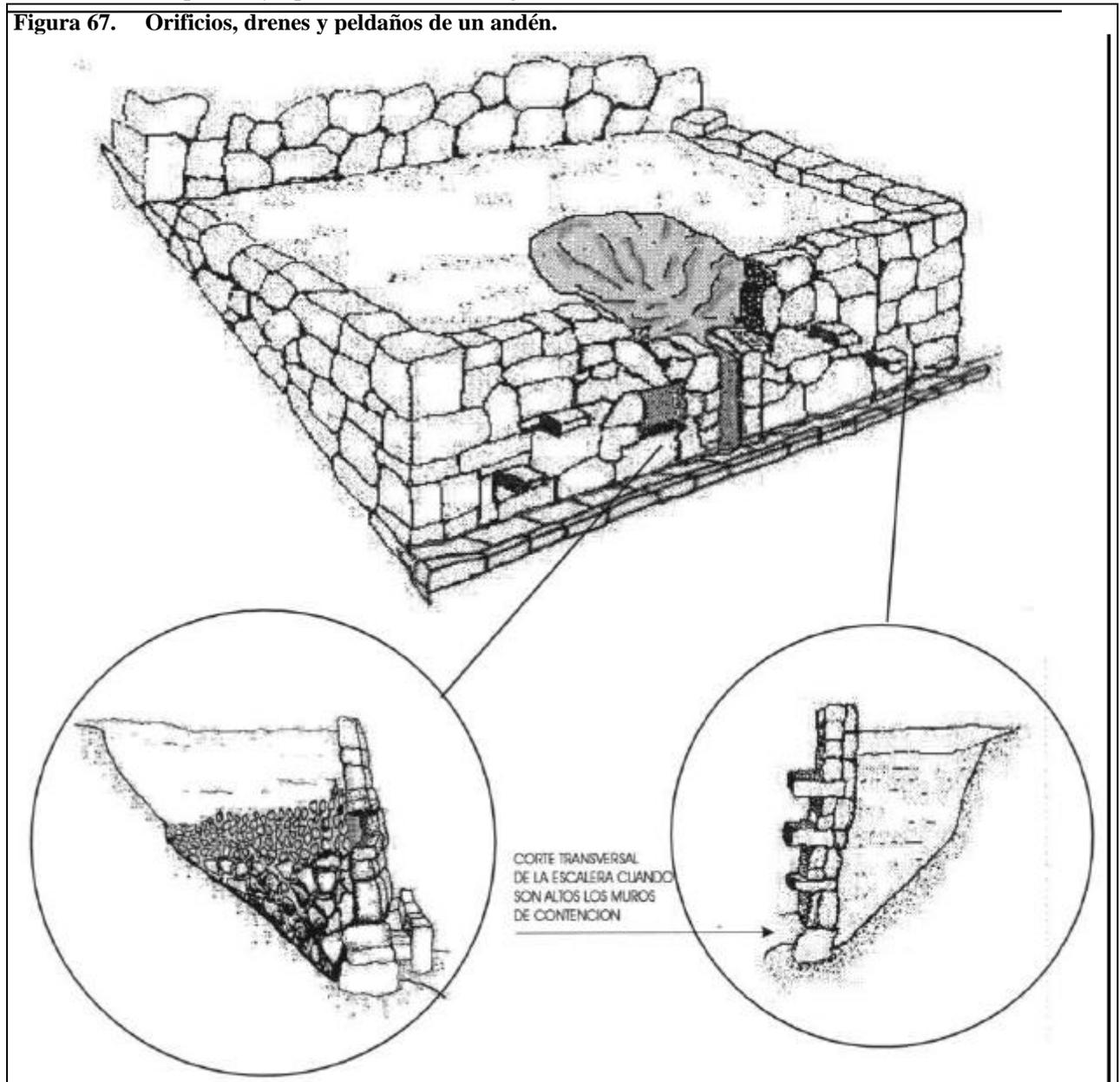


Figura 67. Orificios, drenes y peldaños de un andén.

**Paso 5**

Eliminar los afloramientos rocosos y los fragmentos. Estos se colocarán junto con las piedras no utilizadas en la pirca como relleno permeable compactándolo en capas de 0,15 m en el lado interno del muro y manteniendo una pendiente hacia dentro; sobre esta capa reposará la rizósfera.

Paso 6

Rellenar la rizósfera compactándola por capas de 0,15 m hasta un espesor de 0,7 m para evitar el sifonamiento del muro (**figura 68**).

Figura 68. Estructura final del andén.

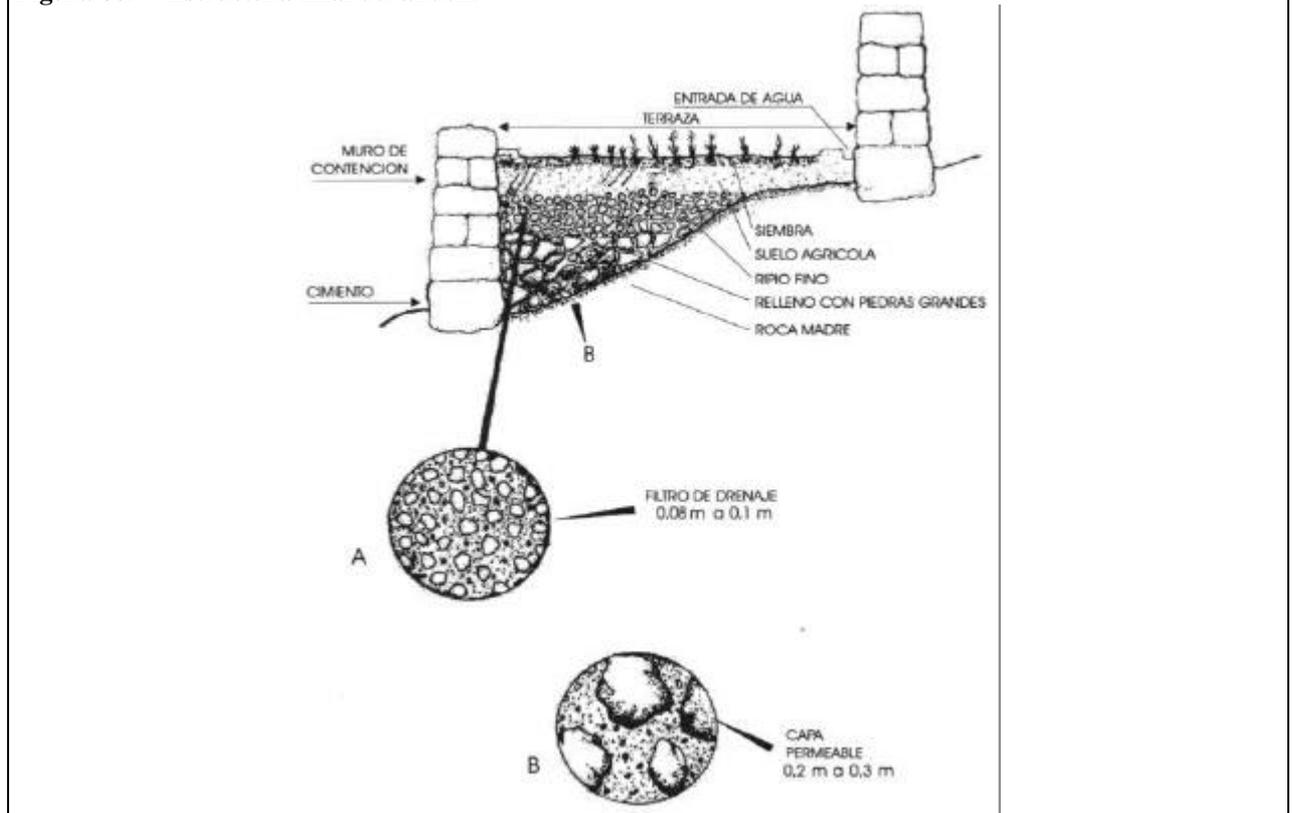
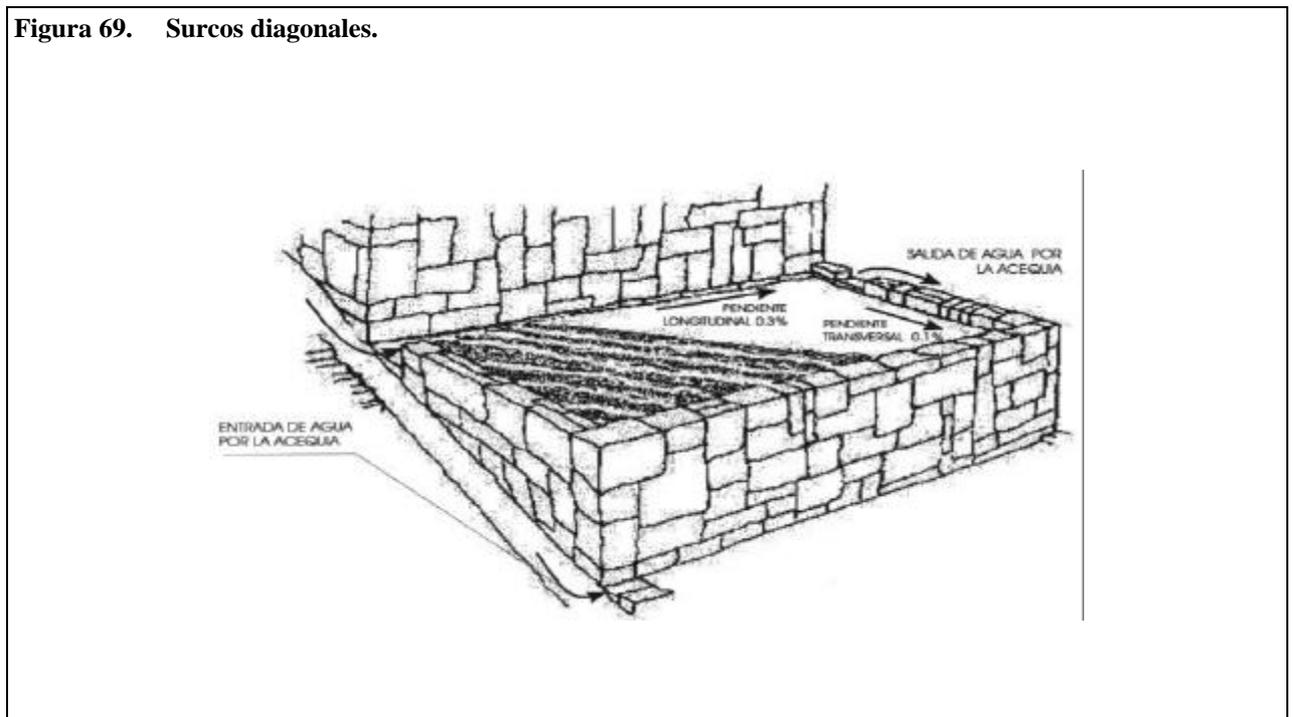
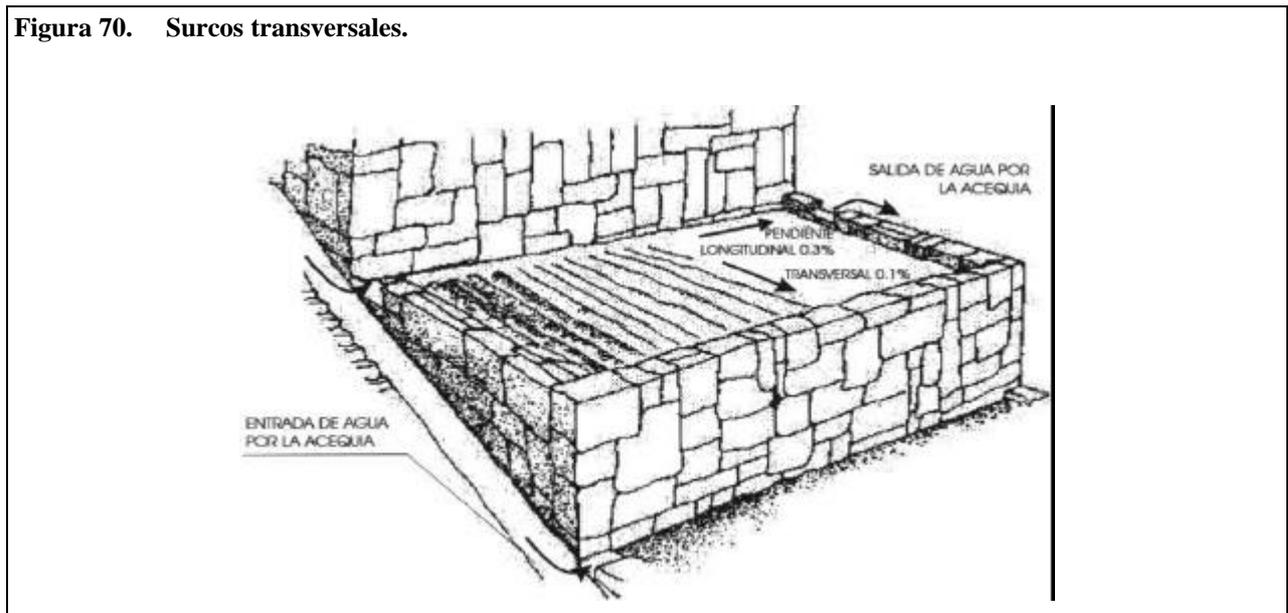
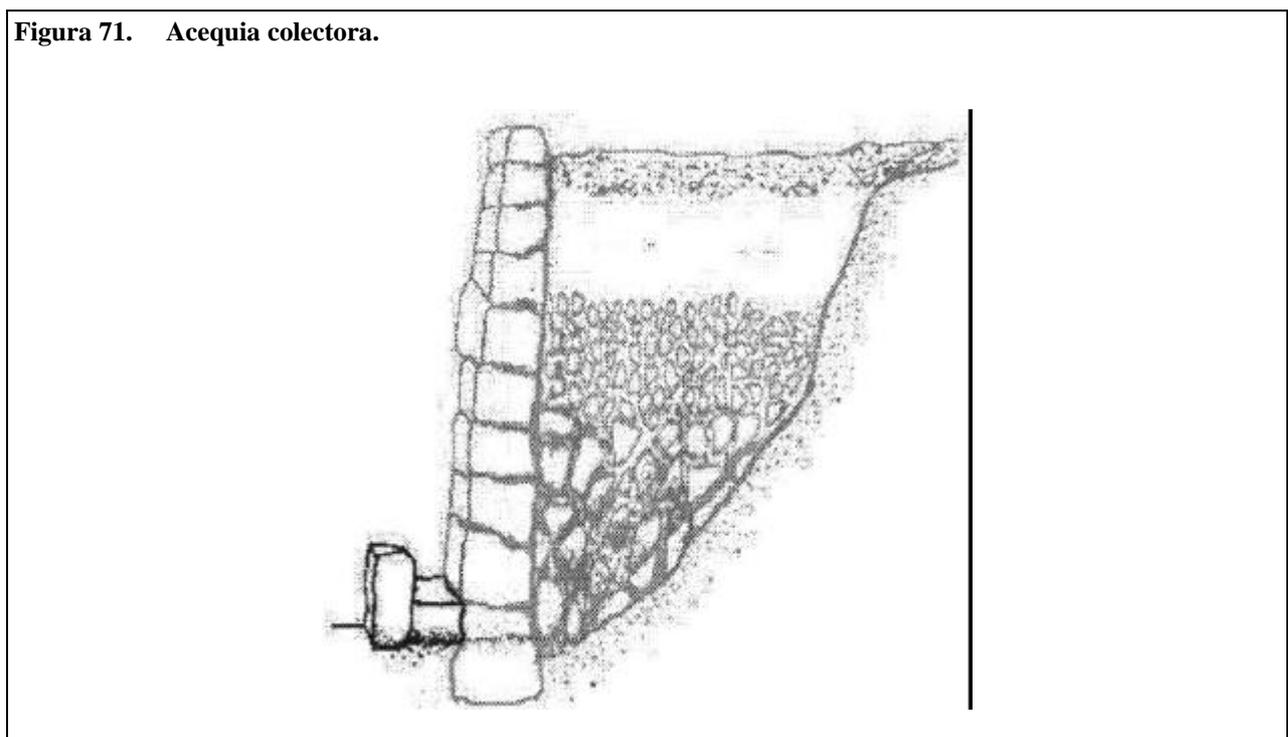


Figura 69. Surcos diagonales.



Paso 7

Nivelar la terraza o plataforma utilizando un tablón de madera accionado por dos personas; darle la pendiente longitudinal hasta 0,3% y pendiente transversal hasta 0,1% hacia afuera, necesaria para que discurra el agua de riego; finalmente se trazan los surcos transversales o diagonales (figuras 69 y 70).

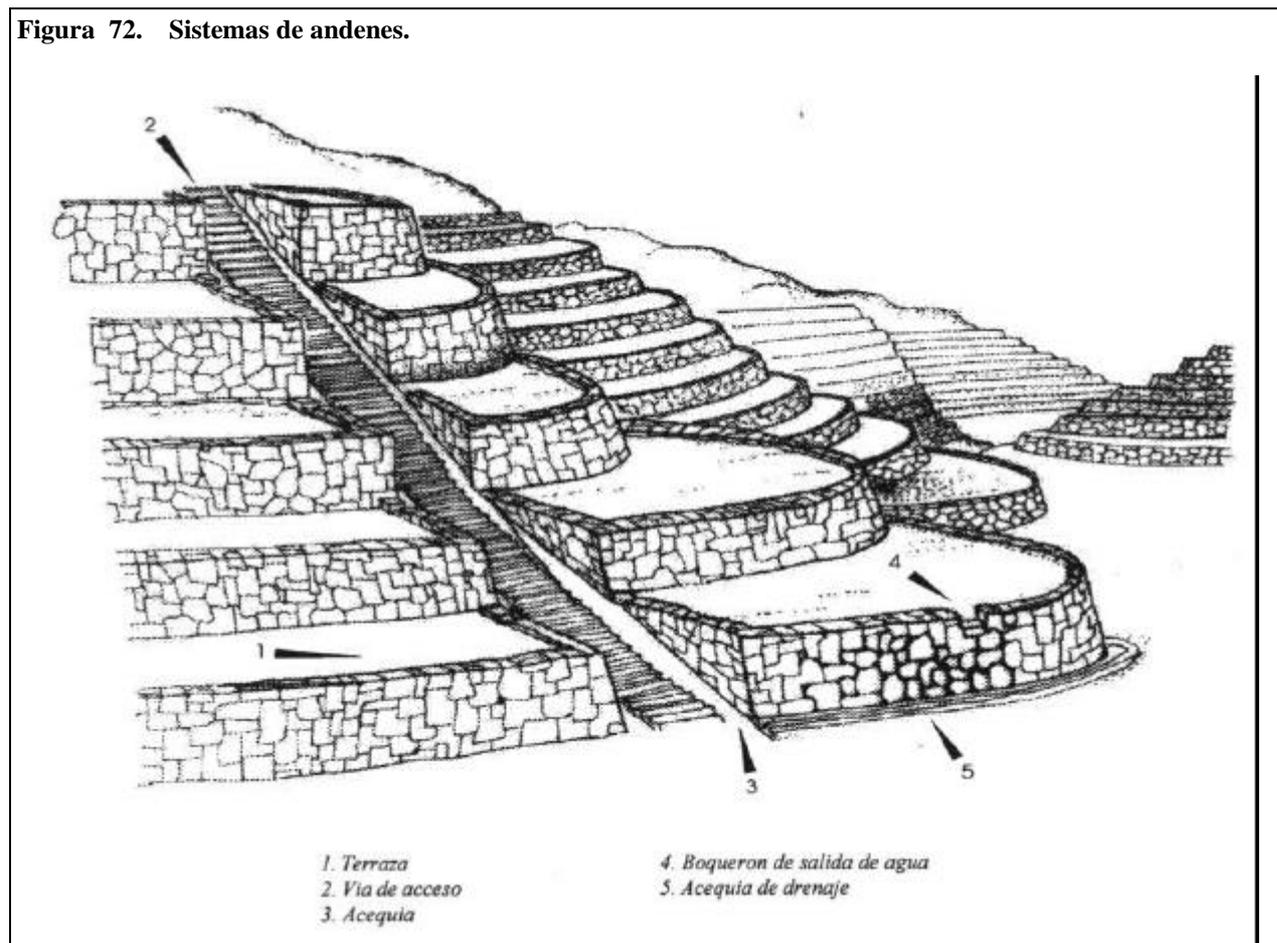
Figura 70. Surcos transversales.**Figura 71. Acequia colectora.****Paso 8**

Construir las acequias de riego empedradas con sus respectivos partidores y pozos de disipación de energía (**figura 71**).

Paso 9

Acondicionar los caminos de acceso (**figura 72**).

Figura 72. Sistemas de andenes.



Paso 10

Probar el buen funcionamiento del andén teniendo cuidado al aplicar los primeros riegos para evitar infiltraciones, asentamientos bruscos y encharcamientos; de presentarse el caso repararlo inmediatamente.

Mantenimiento

Los andenes son estructuras frágiles que requieren de un adecuado manejo y mantenimiento permanente, a fin de asegurar su funcionamiento como sistema de producción agrícola. A continuación se describen algunas medidas para el mantenimiento y conservación de los andenes:

a. Prevención de derrumbes:

Cuando hay fuertes y/o frecuentes lluvias, clausurar el boquerón de entrada de agua al andén y abrir el boquerón de evacuación.

b. Reconstrucción de muros:

Debe realizarse inmediatamente para evitar una destrucción mayor, recogiendo separadamente los materiales de cada perfil; luego se deshace la parte del muro que presenta signos de inestabilidad para su reconstrucción, siguiendo los pasos antes descritos.

La zona reconstruida debe estar bajo observación durante más de un mes, manteniendo el riego alejado del muro unos 0,6 m. Asimismo, deben retirarse las malezas que crecen entre las piedras del muro, pues resienten su estabilidad.

c. Conservación del nivel:

Para este fin se aplican 1 ó 2 riegos por inundación al año, (Kkollupo o aniego). Aquellas partes de tierra visibles serán niveladas con la ayuda de un rastrillo, palo, etc.

Potencial de Producción

Por medio del sistema de andenería se puede controlar la erosión del suelo, contribuir a la formación de suelo edafológico, manejar adecuadamente el recurso hídrico, aumentar la producción de cultivos alimenticios y medicinales; organizar y dar ocupación a poblaciones de las zonas deprimidas de Perú.

Estudios realizados por el Proyecto Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos de Perú, reportan que la papa, maíz, trigo, cebolla y rabanito cultivados en andenes frente a una parcela testigo, usando sólo abono orgánico, presentan un incremento de producción del 142,1% para la papa, 13% para el maíz, 53% para el trigo, 57% para la cebolla y 199% para el rabanito; el mismo experimento se repitió utilizando fertilizantes químicos observándose un incremento de la producción en andenes de 42, 65, 47, 7 y 89% respectivamente (**Cuadro 24**).

Grado de Complejidad

Esta tecnología agrícola al inicio de su instalación es ligeramente compleja, porque es rica en detalles de perfeccionamiento buscando la eficiencia del sistema, pero con la práctica y comprensión de su funcionamiento se vuelve sencilla, pues no utiliza equipos sofisticados.

Limitaciones

Desde el punto de vista de la tecnología moderna y del mercado no se adecua a la realidad de la agricultura a gran escala, pero esta limitación es superada por los tipos de cultivos que sólo se producen en los ecosistemas altoandinos, como son entre otros las variedades de papa, quinua, kiwicha, etc., que constituyen un aporte de la agricultura de andenería al mundo moderno.

En lo que se refiere a la estructura de un andén observamos las siguientes limitaciones:

- 1) Altura de muro

- La fuerza humana necesaria para levantar cada piedra.
- El tamaño de la piedra disponible.

2) Material de la capa arable

- Distancia y transporte hasta el lugar de construcción de los andenes de la tierra fértil.

Impactos socioeconómico y ambiental

La construcción y principalmente la recuperación de las terrazas o andenes están llamadas a cumplir un papel fundamental en la conservación del medio ambiente y en el incremento de la producción agrícola, al ampliarse con una mínima inversión las áreas de cultivo tan escasas en nuestro país, debido a la presión demográfica, uso irracional de los recursos suelo y agua que anualmente hacen que las tasas de desertificación se incrementen significativamente.

Así mismo permitirá dinamizar la participación de las comunidades campesinas y poblados rurales organizados, en recuperar y adecuar las tecnologías propias que han hecho posible una vida mejor en civilizaciones pasadas.

Costo y Retorno

Los costos se han calculado en base a los trabajos experimentales realizados en la Comunidad Campesina de Coporaque - Cailloma (Arequipa). En el **cuadro 25** se presentan los costos promedios de construcción de una hectárea de andén para una ladera con una pendiente del 22%, suelo franco arcilloso de 0,35 m de profundidad, lecho rocoso del tipo gravilla y/o cascajo arcilloso, terraplén de 4,15 m y altura de muro 2,1 m, que asciende a \$EE.UU. 6 500,00 y en el **cuadro 26**, los costos promedio de rehabilitación de una hectárea de andén en las mismas condiciones, considerando un deterioro del 50%, que asciende a \$EE.UU. 2 200,00.

Cuadro 24. Rendimientos comparativos de producción en andenes reconstruidos vs una parcela testigo

Cultivos	Rendimientos por hectárea según tipo de cultivo					
	Con abono orgánico			Con fertilizantes químicos		
	Parcela testigo kg/ha	Andén reconstruido kg/ha	Incremento prod. %	Andén reconstruido kg/ha	Parcela testigo kg/ha	Incremento prod. %
1. Cultivos andinos						
Papa	11 091	4 581	142	17 436	12 206	42
Maíz	490	432	13	2 982	1 807	65
2. Cultivos introducidos						
Trigo	1 113	723	53	3 603	2 442	47
Trigo	8 644	5 500	57	20 867	19 333	7
Cebolla	10 409	3 471	199	18 700	9 890	89
Rabanito						

Fuente: Proyecto Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos
Encuesta 1984

Elaborado: TECNIDES

El monto de la inversión se recupera al tercer año de construido o primer año de rehabilitado el andén. La alta productividad de los cultivos en andenes con respecto al cultivo en grandes extensiones permite amortizar rápidamente los costos de inversión inicial durante los primeros años, aumentando la renta neta después.

Los costos de rehabilitación calculados se encuentran muy cercanos a las experiencias desarrolladas en San Pedro de Casta (Lima) por Luis Masson (1984), cuyo costo de una hectárea fue de \$EE.UU. 1 750,00.

Generación de Empleo

Según cálculos realizados por TECNIDES, los requerimientos de mano de obra para la construcción de una hectárea de andén bajo las condiciones indicadas en el **cuadro 25**, ascienden a 3 220 jornales y para la rehabilitación de una hectárea según lo indicado en el **cuadro 26** ascienden a 1 005 jornales.

Experiencias realizadas por Lorenzo Chang-Navarro L., indican que para construir las terrazas se requieren en promedio 742 jornales/ha, siendo el mínimo 336 jornales/ha y el máximo de 1 181 jornales/ha.

En la rehabilitación de andenes realizada en la Comunidad de San Pedro de Casta (Lima) fueron necesarios entre 525 jornales/ha a 790 jornales/ha.

Sin embargo, en la Comunidad de Pusalaya (Puno), se ha estimado para la rehabilitación de una hectárea de andén 2 499 jornales; lo que demuestra una gran variabilidad debido a las diferencias de pendientes de laderas, tipo de suelo, disponibilidad de piedras grandes, escasez de suelo agrícola, disponibilidad de mano de obra, etc., que imposibilita generalizar los requerimientos de jornales para la construcción y/o rehabilitación de una hectárea de andén.

Sostenibilidad

El sistema de andenería una vez establecido es sostenible, porque permite la reposición del recurso suelo con los sedimentos que trae el agua de la acequia y los va depositando en cada andén; además brinda una mayor retención del recurso hídrico contribuyendo con el ciclo hidrológico del lugar y permite cultivar especies diferentes en cada terraplén. Los excedentes de agua de los andenes tienen utilidad en las partes bajas, por lo que debe evitarse el uso de agroquímicos y difundirse las prácticas conservacionistas tradicionales.

Descripción de casos

Lugar y Fecha

Evidencias de la utilización de andenes las encontramos en México, El Salvador, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, destacando aquellas sociedades altamente organizadas pertenecientes a civilizaciones superiores: Los Mayas y Aztecas en México; Chimú, Chavín, Tiahuanaco e Incas en el Perú.

Cuadro 25. Análisis de costos unitarios para la construcción de una hectárea de andén

Especificaciones Técnicas: Suelo con $S = 22\%$

Textura suelo: Franco arcilloso
Roca: Arenisca, distancia de acarreo 100 m
Profundidad de suelo: 0,35 m.

Actividades	Unidad	Cantidad	P.U. \$ EE.U.U.	TOT.\$EE.UU.
Trabajos preliminares				57,50
Limpieza, trazo y replanteo	ml	2 875	0,02	57,50
Movimiento de tierras				4461,50
Excavación de terraplén	m ³	5 000	0,56	2800,00
Excavación de zanjas de cimentación	m ³	500	0,57	285,00
Voladura de roca	m ³	250	1,95	487,50
Preparación y acarreo de piedra	m ³	700	0,37	259,00
Selección y acarreo de material filtrante	m ³	1 800	0,35	630,00
Obras de arte				1981,00
Construcción de muro de piedra	m ³	750	0,54	405,00
Relleno y compactación de terraplén	m ³	2500	0,56	1400,00
Construcción de acequias de riego	ml	1500	0,05	75,00
Construcción de caminos peatonales	ml	500	0,04	20,00
Construcción de escaleras	ml	150	0,54	81,00
TOTAL				6500,00

Fuente: TECNIDES, 1994

Cuadro 26. Análisis de costos unitarios para la rehabilitación de una hectárea de andén

Especificaciones Técnicas: Rehabilitación del 50% de la estructura
Suelo tipo Franco arcilloso, altura de muro 2,1 m.
Recursos propios de la zona

Actividades	Unidad	Cantidad	P.U. \$EE.UU.	TOT. \$EE.UU.
Trabajos preliminares				20,10
Limpieza, trazo y replanteo	ml			20,10
Movimiento de tierras				153,90
Excavación de terraplén	m ³			
Excavación de zanjas de cimentación	m ³			153,90
Voladura de roca	m ³			
Materiales de construcción				654,50
Preparación y acarreo de piedra	m ³			129,50
Selección y acarreo de material filtrante	m ³			525,00
Obras de arte				1371,50
Construcción de muro de piedra	m ³			405,00
Relleno y compactación de terraplén	m ³			840,00
Construcción de acequias de riego	ml			62,00
Construcción de caminos peatonales	ml			10,00
Construcción de escaleras	ml			54,00
TOTAL				2200,00

Fuente: TECNIDES, 1994

El perfeccionamiento de los detalles particulares observados en los andenes del Perú fue alcanzado por la sociedad incaica. Así tenemos andenes en uso, entre otros, en las

comunidades de Cabana, Collagua y Coporaque en el Valle del Colca en Arequipa; Pusalaya en Puno; San Pedro de Casta en Lima; etc., donde se observa la perfección de sus trazos lineales. Existe en abandono una gran extensión de andenes en casi toda la zona árida y semiárida de la Costa, Sierra y Ceja de Selva (Chachapoyas, Quillabamba, etc.) de Perú.

Resultados en la Producción

Las ventajas comparativas de producción observadas en el **cuadro 24** son consecuencia de un manejo racional de la trilogía agua-suelo-planta, que proporciona el sistema de andenes y son:

- La tierra agrícola no es arrastrada.
- Retiene el agua y de ser mucha permite la eliminación de los excedentes.
- Crea un microclima más abrigado que las áreas abiertas.
- Hace de la agricultura un sistema ingenieril de jardineras de alta diversidad y producción agrícola.

Dirección para Consultas

TECNIDES
Calle 1, N° 735
Lima, 27
Perú
Telefax: 423391

Bibliografía Citada

- Anaya M. y Tovar S.** 1976. Métodos de captación "in situ" de agua de lluvia para frutales. pp. 126-127. En: Avances de la Enseñanza y la Investigación 1975-1976. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., p 15. En: Resúmenes. Avances Metodológicos de la Enseñanza e Investigación de campo 1970, del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Anaya M.** 1977. Optimización del aprovechamiento del agua de lluvia para la producción agrícola bajo condiciones de temporal deficiente. E. Hernández, E. ed. Agroecosistemas de México, contribución a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Anaya M., Martínez M., Trueba A., Figueroa B., y Fernández O.** 1977. Manual de conservación del suelo y del agua. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Anaya M. y Tovar S.** 1977. Métodos de captación "in situ" y aprovechamiento del agua de lluvia para la producción de maíz forrajero. p. 180. En: Avances en la Enseñanza y la Investigación, Chapingo, México.
- Anaya M.** 1981. Research Methodologies for "in situ" rainfed agriculture. Proceedings of a Workshop "Rainfall Collection for Agriculture in arid and semiarid regions. Edited by G.R. Dutt, C.F. Hutchinson and M. Anaya Garduño. Commonwealth Agricultural Bureaux.. London, U.K. Pag. 43-48.
- Anaya, G.M.** 1988. Research on rainfall collection for agricultural purposes in Mexico. Proceedings of the International Conference on Dryland Farming. Amarillo-Bushland. Texas, U.S.A. Pag. 245-248.
- Anaya M.** 1994. Bibliografía sobre captación y aprovechamiento de la lluvia. Montecillo, México: IRN-CP.
- Anaya M.** 1994. Captación *in situ* del agua de lluvia para la agricultura de temporal, México.
- Alva Ixtlilxochitl, F. de.** 1891-1892. Obras históricas (c.1640), ed. A. Chavero, 2 Volúmenes, México.
- ASOCIACION TECNOLOGICA Y DESARROLLO, TECNIDES.** 1994. Proyecto de rehabilitación de andenes. Comunidad Campesina de Coporaque, Perú.
- Brouwer C. y Heibloem Y.** 1987. Necesidades de agua de los cultivos; Manejo del Agua de Riego, Manual de Campo no 3. FAO, Roma. 62 p.

- Ballivian G.** 1979. Modificación del microambiente para la producción de maíz forrajero bajo condiciones de temporal en Chapingo. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- BANCO MUNDIAL.** 1988. Water harvesting for plant production. World Bank Technical Paper, 91
- Campos 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 en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Carranza, 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 en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- COLEGIO DE POSTGRADUADOS.** 1991. Manual de Conservación del Suelo y del Agua. Chapingo, México
- Cardich E.** 1991. Captación y Aprovechamiento de la Niebla en las Zonas Áridas de América Latina, Sociedad Pachamama, Perú.
- Campos L.** 1986. Implementos de tracción animal y otros equipos para la economía campesina. Proyecto ONUDI-SPP. Productividad y Cambio Tecnológico en la Cadena Alimentaria. 140 p.
- Códice M.** 1964. En José Corona Núñez, ed. Antigüedades de México, México, D.F. Secretaría de Hacienda y Crédito Público, T.1:1-149.
- Charcas 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. 113 p.
- De Souza A. y Anaya M.** 1979. Algunas consideraciones sobre el manejo del suelo y agua para el desarrollo de la agricultura tradicional en el Noreste de Brasil, Petrolina, Pe., EMBRAPA-CPATSA, 128 p.
- Donkin A.** 1979. Agricultural Terracing in the Aboriginal New World. The University of Arizona Press. Tucson, Az. 196 p.
- Evenari M., Shanan L., Tadmor N. y Abaroni Y.** 1961. Ancient Agriculture in the Negev. Science 133: pp: 979-996.
- FAO.** 1986. Irrigation water needs. Training manual N°3. Rome
- FAO.** 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio Riego y Drenaje N° 24. Roma
- FAO.** 1990. Manejo de Suelos en Regiones Semiáridas. Casas R. y Glave E. (eds). Santiago, Chile. 74 p.

- FAO.** 1991. Water harvesting: a manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. Critchley W., Siegert K. AGL/MISC/17/91. Rome. 133 p.
- FAO.** 1993. CROPWAT. Programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Estudio Riego y Drenaje N° 46. Roma.
- FAO.** 1995. Water Harvesting for Improved Agricultural Production. Water Reports 3. Rome. 424 p.
- FAO.** 1996. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, Tomo I: bases técnicas y experiencias en Africa y Asia. Serie: zonas áridas y semiáridas N° 11. Santiago, Chile.
- FUNDACAO IBGE.** 1979. Produção agrícola municipal 1977. Culturas temporarias e permanentes. Rio de Janeiro, Brasil . v 4, t 8, 61 p.
- Figueroa B.** 1990. Los sistemas de manejo de escorrentías de la zona árida de México. En: Primer Simposium Nacional sobre Captación "*in situ*" del Agua de Lluvia y Manejo de Escorrentía Superficial a Nivel Parcela. Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. Pág. 277-328.
- Fortanelli J.** 1981. Sistemas de producción de cosechas de riego en cañadas y planicies de inundación aledañas a San Luis Potosí. Tesis de Licenciatura. UASLP. Escuela de Agronomía. San Luis Potosí, SLP. 289 p.
- Finkel y Finkel Ltda.** 1978. Consulting Engineers. Barragens submersas em leito de rio de zonas áridas. Tradução de Antonio Joaquim Monteiro Sampaio. Sao Paulo, IPT, 8p.
- Gallegos C.** 1985. Contribución al conocimiento de los sistemas de producción de cosechas de secano del área de estudio del CREZAS-CP. Tesis de Licenciatura UACH. Departamento de Zonas Aridas. Chapingo, México. 207 p.
- Gischler C.** 1991. The Missing Link in a Production Chain, UNESCO.
- Herold C.** 1965. Trincheras and physical environment along the Río Gavilán. Chihuahua, México. Department of Geography, University of Denver, Publication in Geography, Technical Paper Num. 65-1.
- Hopkins W.** 1968. Prehispanic Agricultural Terraces in Mexico, unpublished M.A. thesis. University of Chicago.
- Hernández J.** 1981. Captación del agua de lluvia para fines agrícolas en áreas de temporal. PATUACH Dpto. de Zonas Aridas U.A.CH. Boletín Técnico No.2 Chapingo, México.
- Hudson W.** 1987. Soil and water conservation in semi-arid areas. Soils Bulletin, 57. FAO-SWC. Rome. pp 49-125.

- INFAOL.** 1973. Instituto Nordestino para Fomento de Algodão e Oleaginosas. Recife, PE. A lavoura seca e sua importancia para o desenvolvimento de regioes semi-áridas. Recife, PE. 12p.
- IPT.** 1981. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. "Levantamento das potencialidades para implantação de barragens subterraneas no Nordeste brasileiro": Bacias dos rios Piranhas - Acú (RN) e Jaguaribe (CE). Sao Paulo, SP. 56p. il. (IPT. Relatório, 14887).
- INRENA.** 1984. Instituto Nacional de Recursos Naturales (ex ONERN). Proyecto Nacional Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos. Manual Técnico de Conservación de Suelos. Convenio Perú-AID. N° 527-0220.
- Johnson 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.
- Loredo C., Villanueva J. y Beltrán S.** 1992. Relación área-siembra-escurrimiento y producción de zacate buffel. Informe de Investigación. Documento Interno. SARH-INIFAP-CIRNE, SLP
- Lal H., Silva de S., Porto R. y Costa M.** 1984. Lâmina enleiradora a tração animal e seu uso em novo sistema de captação de água de chuva "in situ". *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 19 (11): 1385-93. Nov.
- Lorenzo L.** 1968. Clima y agricultura en Teotihuacan, en J.L. Lorenzo, ed., *Materiales para la Arqueología de Teotihuacan*, México, D.F. INAH. Serie Investigaciones N° 17: 51 - 72.
- Martínez M., Anaya M. y Tovar J. L.** 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.
- Muñoz S. y Castro M.** 1979. Mejoramiento de agostaderos mediante microcuencas y siembra parcial de pastos. Centro Nacional de Investigación para el desarrollo de Zonas Aridas. CNIZA. Boletín Técnico No. 1. Saltillo, Coah., México.
- Monteiro R., Silva de S., Brito de L. y Porto R.** 1989. Captação de água de chuva "in situ" III: densidade de milho. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido, Petrolina, PE, Captação de água de chuva "in situ": comparação de métodos e densidade de plantio. Petrolina, PE., p.39-53. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa,35).
- Morgado B. & Rao R.** 1985. População e plantas e níveis de água no consórcio milho x caupi. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, DF, 20 (1): 45-55, jan.
- Myers E.** 1967. Recent advances in water harvesting. *Journal of Soil and Water conservation.* 22(3): 95-97.

- MacNeish S.** 1958. Preliminary archaeological investigations in the Sierra de Tamaulipas, México. Transactions of the American Philosophical Society. 48(6), Philadelphia.
- Mickelson H.** 1966. Level Pan System for Spreading and Storing Watershed Runoff. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30. pp: 388-392.
- Masson L.** 1984. Proyecto experimental de recuperación de terrazas agrícolas (andenes), para una Región Meso-andina de Perú. NCTL.
- Núñez R.** 1982. Captación de lluvia y conservación de la humedad del suelo en la producción de cebada bajo condiciones de temporal. Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES.** 1974. More water for arid lands. Promising Technologies and Research Opportunities. Washington, DC. USA. 154p.
- Ortíz 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 en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Orev Y.** 1980. Prolonging water-flow in Negev wades; preliminary report on a modest experiment. Kidma, 5 (4): 8-11.
- PUBLIC WORKS DEPARTMENT OF WESTERN AUSTRALIA,** 1956. Roaded catchments for farm water supplies. Western Australia Department Agricultural Journal 5(6): 667 - 679. (Ver Water Harvesting Symposium (Pag. 25)).
- Porto R. y Silva de S.** 1988. Small-scale water management in farming systems in the Brazilian arid zones. In: International Research and Development Conference on Arid Lands: Today and Tomorrow, 1985, Tucson, Arizona. Proceedings. Boulder: Westview Press, 1988. Cap. 16, p.943-957.
- Porto R., Silva de S., Brito, de L. e Monteiro R.** 1989. Captação de água de chuva "in situ" II: densidade de caupi. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido, Petrolina, PE, Captação de água de chuva "in situ": comparação de métodos e densidade de plantio. Petrolina. p.25-37. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 35).
- Palerm A. and Wolf R.** 1957. Ecological potential and cultural development in Mesoamerica. In: Studies in Human Ecology. Pan American Union. Washington, 1-37.
- Paso y Troncoso F. y L. Vargas Rea (eds).** 1947. Papeles de Nueva España: suplemento. 2 Vol. México.
- Pimentel J.** 1989. Modelo matemático para simular la escorrentía en una red de cauces. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Centro de Hidrociencias. Montecillo, México. 71 p.

- Rojas R., T.** 1985. La tecnología agrícola mesoamericana en el Siglo XVI. En: Rojas R.T. y W.T Sanders. Historia de la Agricultura. Epoca Prehispánica-Siglo XVI. 129-231 pp.
- Reij C., Mulder P. y Begemann L.** 1988. Water harvesting for plant production. World Bank Technical Paper, N° 91.
- Robles C.** 1988. Captación "in situ" del agua de lluvia por medio de microcuencas en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L) P-V 1983. Tesis profesional. UASLP Escuela de Agronomía, México .
- Schemenauer S. and Cereceda P.** 1993. Meteorological Conditions at a Coastal Fog Collection Site in Peru, In: *Atmósfera*, pp. 175-188.
- Schemenauer S. and Cereceda P.** 1994. The Role of Wind in Rainwater Catchment and Fog Collection, In: *Water International*, 19, pp. 70-76.
- Schemenauer S. and Cereceda P.** 1994. Fog Collection's Role in Water Planning for Developing Countries, In: *Natural Resources Forum*, 18, pp. 91-100
- Silva de S. e Porto R.** 1982. Utilização e conservação dos recursos hídricos em áreas rurais do Trópico Semi-árido do Brasil: tecnologías de baixo custo. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 128p.II. (EMBRAPA-CPATSA, Documentos, 14).
- Salazar E.** 1986. Evaluación de sistema de producción agrícola en área beneficiadas con escorrentías superficiales. Proyecto de investigación, FAZ-UJED. Venecia, Dgo. Gómez Palacio, Dgo.
- Sanders T. and Marino J.** 1970. *New World Prehistory*. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Sims B.** 1985. El yunicultor (equipo y uso). Campo Agrícola Experimental Cotaxtla. INIA-SARH.
- Spores R.** 1969. Settlement, farming technology, and environment in the Nochixtlán Valley. XXXVII. Estocolmo, Suecia.
- Sauermann B.** 1966. Water storage in sand-filled dams. Stellenbosch, National Mechanical Engineering Research Institute, 3p. II. (R. MEG, 226).
- Stocker M., et al.** 1954. Range Improvement Through Water Spreading. Superintendent of Documents. U. S. Government Printing Office. Washington 25, D. C.
- Tovar L. y Anaya M.** 1979. Captación y aprovechamiento de la lluvia como una alternativa para la producción de grano y forraje de maíz en zonas de temporal deficiente. Agrocienca, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pag. 113-128.
- Tovar L. and Anaya M.** 1981. Designing farm machinery for rainfed agriculture Proceedings of a workshop "Rainfall Collection for agriculture in arid and semiarid regions" Edited

by G. R. Dutt, C. F. Hutchinson and Anaya, G. M. Commonwealth Agricultural Bureaux. London, U.K. Pág. 49-52.

Taltasse P. y Stretta E. 1959. Os problemas hidrogeológicos do polígono das secas. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, Sao Paulo, 8(1): 43-50. Maio.

Tigre B. 1949. Barragens subterraneas e submersas como meio rápido e económico de armazenamento d'agua. An. Inst. Nordeste, Fortaleza, CE, 13-29.

UNEP. 1979. Rain and Stormwater Harvesting in Rural Areas, A Report by the United Nations Environment Programme. Water Resources Series, Volume 5. UNEP, Nairobi. 238 p.

UNEP. 1983. Rain and Stormwater Harvesting in Rural Areas. Water Resources Series, Volume 5, p.195; design and evaluation of rainwater harvesting schemes.

Velasco A. y Carmona G. 1980. Cosecha de Agua de Lluvia para Consumo Humano, Consumo Pecuario y Agricultura de Secano. Primer reporte de evaluación. ITESM, UANL y CONAZA. México.

Velasco A. 1991. Las Zonas Aridas y Semiáridas, sus Características y Manejo. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México. pp: 519- 523.

WORD BANK. 1988. Water harvesting for plant production. World Bank Technical Paper N° 91

West C. 1970. Population densities and agricultural practices in Pre-Columbian México, Nith special emphasis on semi-terracing. XXXVIII International Congress of Americanists (Stuttgar-Munchen, 1968). Proceedings. Munich, 2, 361-69.

Wipplinger O. 1974. Sand storage dams in South West Africa. Die Siviele Ingenieur in Suid Africa, Stellenbosch, p.135-136.

Bibliografía Consultada, por Capítulos

Capítulo 1: introducción

Barrow J. 1987. Water resources and agricultural development in the Tropics. Longman Development Series, Longman Group UK.

Bouwer H. 1988. Water conservation. Agricultural Water Management, Amsterdam, Netherlands, v.14, p.233-241.

Capítulo 2: revisión de bases técnicas

Barrow J. 1987. Water resources and agricultural development in the Tropics. Longman Development Series, Longman Group UK.

Bateman H. 1979. A Bibliography of Low-cost Water Technologies (3ra.ed). Intermediate Technology Publications, 9 King Street, London WC2E 8HW.

Critchley W. and Siegert K. 1991. Water Harvesting; A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. FAO, AGL/MISC/17/91, Rome.

Elsevier. 1981. Agricultural Compendium for Rural Development in the Tropics and Subtropics. Compendium

Velasco A. 1991. Las zonas áridas y semiáridas, sus características y manejo. Ed. Limusa, S.A. México.

Capítulo 3: microcaptación

Evenari M., Shanan L. y Tadmor N. 1982. The Negev, the challenge of a desert. Editorial: Harvard University Press. 2ª edición. Cambridge Massachusetts. U.S.A. pp. 1-28.

Silva de S., Porto R., Brito de L. e Monteiro R. 1989. Captação de água de chuva "in situ" I: Comparação de métodos da região semi-árida brasileira. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido, Petrolina-PE, Captação de água de chuva "in situ": comparação de métodos e densidade de plantio. Petrolina,. p.5-24. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 35).

Velasco A. 1983. Uso y Manejo del Suelo. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México. pp. 143-146.

Velasco A. 1991. Las Zonas Áridas y Semiáridas, sus características y manejo. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México. pp. 570-571.

Capítulo 4: captación externa

Artículo de Cabas N., Chile

Hinds J. 1956. Canales, acueductos, conducciones cubiertas, túneles y tuberías. In Davis, C.V. Tratado de hidráulica aplicada. Trad. de la 2ed. norteamericana por I. Lana Sárrate. Barcelona. pp 435-507.

King W. 1962. Manual de hidráulica para la resolución de problemas de hidráulica. Trad. de la 4ed. En inglés por Rafael García Díaz. México D.F. UTHA. Pp 536.

Torres F. 1983. Obras hidráulicas. Ed. Limusa. México. Pp 278

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. BUREAU OF RECLAMATION. 1980. Diseño de presas pequeñas. Compañía Editorial Continental, S.A. México. Pp 639.

Artículo de Morales R., Argentina

Amigo A. 1965. El Sobrepastoreo de la Región Patagónica, causas que lo originan y soluciones que se proponen . CONADE. Proyectos Especiales Nro.14.

Auer V. 1951. Consideraciones científicas sobre la conservación de los recursos naturales de la Patagonia. IDIA (40-41):1-36. Dirección General de Investigaciones Agrícolas, Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Black A. 1965. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin .

Boelcke O. 1957. Comunidades herbáceas del norte de la Patagonia y sus relaciones con la ganadería . Revista de Investigaciones Agrícolas, Tomo XI, Nro.4 .

Braun B. 1932. Plant Sociology. Mc. Graw-Hill. Boock Company. Inc. First Edition.

Bray J. and Curtis J. 1957. An ordination of the explant forest communities of southern Wisconsin. Ecology. Monograph, 27:325-349.

Castro M. 1983. Manual para la recuperación de áreas erosionadas en la Patagonia. E.E.A. Trelew. Chubut. INTA.

Chapman y Pratt. 1979. Métodos de análisis de suelo, plantas y agua. Ed. Trillas .México.

- Duranona G.** 1980. Evaluación de la producción forrajera de mallines a través de la producción animal. Informe Final. Plan de Trabajo Nro. 1655. E.E.A. San Carlos de Bariloche. INTA.
- Fiorio D.** 1979. Aprovechamiento de recursos hídricos. Informe Técnico Nro.3 A.E.R. San Martín de los Andes .INTA.
- Gorgas A., et al.** 1973. Reconocimiento de suelos en la Terraza Intermedia del Valle Inferior del Río Chubut. Corfo Chubut-INTA-Agua y Energía. Trelew. Chubut.
- Horne F. y Morales R.** 1977. Recuperación de los suelos en el Valle Inferior del Río Chubut. Congreso Nacional del Agua. Viedma . Río Negro. Argentina.
- Horne F., Morales R. y Horne H.** 1981. Impacto ecológico de la transformación de zonas áridas en zonas bajo riego. IX Reunión Argentina de Ecología. San Carlos de Bariloche. Río Negro. Argentina.
- Horne F., Morales R., et al.** 1982. Plan piloto de recuperación de suelos salinos-alcalinos en el Valle Inferior del Río Chubut. Congreso Nacional del Agua. Corrientes. Argentina.
- Morales R.** 1980-3. Proyectos y diseño de obras de riego a nivel parcelario en las Provincias de Chubut, Santa Cruz y Territorio nacional de la Isla de Tierra del Fuego. Informes Técnicos. E.E.A. Trelew. Chubut.
- Morales R.** 1986. Areas bajo riego. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Rev. Nro. 1, Unidad Experimental Cañadón León. Santa Cruz.
- Papadaksi J.** 1969. En suelo y flora, Cap. 2, Sec. 1, pág. 22 . Evaluación de los recursos naturales de la Argentina. Primera parte. Tomo 3. Consejo Federal de Inversiones.
- LOS RECURSOS HIDRÁULICOS DE ARGENTINA.** 1969. Comisión Económica para América Latina. Consejo Federal de Inversiones.
- ESTADÍSTICAS E HIDROLOGÍA HASTA 1980.** 1981. Agua y Energía . Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Buenos Aires.
- Paz C.** 1976. Ecosistema templado-frío y frío: Patagonia Argentina..A E. R. Río Gallegos.INTA.
- Soriano A.** 1956. Los distritos florísticos de la Provincia Patagónica. Revista de Investigaciones Agrícolas. Tomo 10 , Nro.4.
- Vallerini J.** 1980. Fertilización de mallines con superfosfato en distintas dosis. Informe Final Plan de Trabajo Nro.0775. E.E.A. San C. de Bariloche.
- Wijnhoud S. y Sourrouille A.** 1972. Suelos del área de Río Gallegos- Río Turbio. Proyecto FAO-INTA. Informe inédito.

Artículo de Silva de S., Brasil

- Aragão P.** 1980. Alternativa para estabilização da agricultura de sequeiro. Petrolina, EMBRAPA/CPATSA, 6p. (EMBRAPA/CPATSA. Documento, 5).
- Evenari M., Shanan L. & Tadmor H.** 1971. The Negev; the challenge of a desert. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 345p.
- Guerra de B.** 1975. Agricultura de Vazantes - um modelo agrônômico nordestino. In: SEMINARIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., Fortaleza, CE., Anais. Fortaleza, MINTER-DNOCS/ABID, 1976. v.4. p.325-30.
- Santos D.** 1975. Topografia aplicada na pequena irrigação; curso de irrigação para extensionistas. Belém do São Francisco, PE., ANCARPE, 16p.
- Silva de S., Porto R. & Gomes F.** 1981. Seleção de áreas e construção de barreiros para uso de irrigações de salvação no Trópico Semi-Árido. Petrolina, PE., EMBRAPA/CPATSA, 43p. (EMBRAPA/CPATSA. Circular Técnica, 3).
- Silva de S. y Porto R.** 1982. Utilização e conservação dos recursos hídricos em áreas rurais do Trópico Semi-Árido do Brasil; tecnologia de baixo custo. Petrolina, PE., EMBRAPA-CPATSA, 128p. II. (EMBRAPA-CPATSA, Documentos, 14).
- Artículo de Soto G., Chile
- Burgos, Corina y otros.** 1972. Destilación. Solar en el Desierto de Atacama (Seminario de Título). Universidad del Norte - Antofagasta.
- Cereceda, T. Pilar, y otros.** 1987. Estudio del Potencial de Captación de Agua de Neblina en el Litoral de la III Región de Atacama y su Relación con la Población Rural. Instituto de Geografía. Universidad Católica de Chile. 18p.
- Canto, W. y Soto, G.** 1990. Abastecimiento de Agua Potable a la Localidad de Chungungo Mediante la Captación de Neblinas. XXII Congreso AIDIS CONAF IV Región. 31p.
- CONAF IV Región.** 1983. Estudio Evaluación de las Neblinas Costeras (Camanchaca) en el Sector El Tofo. Propuesta Técnica, 28p.
- CONAF IV Región.** 1987. Análisis del Proyecto abastecimiento de Agua Potable a la Localidad de Chungungo. 4p.
- CONAF-SERPLAC IV Región.** 1985. Evaluación de las Neblinas Costeras (Camanchaca) en el Sector El Tofo. 129p.
- Correa C., Héctor.** 1990. Caracterización y Evaluación del Fenómeno de la Camanchaca en la III Región de Atacama. Tesis Univ. de Chile. 259p.
- Cruzat, A. y Osandon, J.** 1995. Manual de Construcción de Captadores de Neblina. CIID. Documento en elaboración.

Fuenzalida, P. H.; Rutllant C. José y Rossenblüch. 1995. Estudio de la Capa Límite Atmosférica del Litoral Arido de Chile. Informe Final. Proyecto N°1156. Dpto. de Geología y Geofísica. Universidad de Chile. 20p.

Gischler Christiaan. 1991. The Missing Link in a Production Chain. Vertical obstacles to catch Camanchaca. Unesco. 197p.

Larraín B., Horacio y otros. 1983. Aprovechamiento de la Camanchaca - Informe Final a SERPLAC IV Región. Instituto de Estudios y Publicaciones Juan Ignacio Molina.

López M., Juan; Canto V., Waldo y Meneses R., Raúl. 1989. Construcción de Atrapanieblas. Revista la Platina N°56. 41-47p.

Masson C.; Cerda J. y Canto V. 1982. Cosechando Las Nubes. XXIII Congreso AIDIS. CONAF IV Región 18p.

Masson C. 1992. Jefe proyecto Camanchaca CONAF IV Región. Entrevista personal.

Schemenauer, R.; Cereceda, O. y Carvajal, N. 1987. Measurements of Fog Water Deposition and their Relationships to Terrain Features. Separata del Journal of Climate and Applied Meteorology. Vol.26, N°1285-1291 pp.

Schemenauer, R.; Fuenzalida, H. y Cereceda, P. 1988. A Neglected Water Resource: The Camanchaca of South América. Separata del American Metereological Society Vol.69, N°2 138-146pp.

Schemenauer, R. y Cereceda, P. 1991. Fog as a Permanent Water Resources in Arid Lands. VII World Congress on Water Resources. Rabat, Marocco. 8p.

Soto, G.; Elicer, Luis. 1984. Proyecto Camanchaca Pre-Estudio Económico Comparativo. CONAF IV Región. 14p.

Soto, G.; Elicer, R. 1984. Estudio de Prefactibilidad Técnico Económico. Conducción del Agua de Camanchaca hacia la Caleta de Chungungo CONAF-SERPLAC IV Región. 30p.

Soto, G. 1992. Camanchaca. Alternativas de Utilización y Selección de lugares en el Norte de Chile. Corporación Nacional Forestal. 22p.

Tapia, O. y Zuleta, R. 1980. Veinte Años de Camanchaca y dos del Proyecto Mejillones. Antofagasta. Chile. 109p.

Capítulo 5: sistemas de inundación

Artículo de Anaya M., México 1

Arias M. 1987. Manejo de escorrentías para producción agrícola en zonas áridas. III Congreso Nacional de Irrigación. Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación. Noviembre 22-25, Los Mochis, Sin. pp 124-130.

Martínez L. y Cepeda S. 1970. Aprovechamiento de aguas de escorrentía 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.

Artículo de Velasco H., México 2

Figueroa B., Pimentel L. y Rodríguez O. 1991. Instructivo para la operación y mantenimiento de módulos campesinos para manejo de escurrimientos superficiales. Serie Documentos Técnicos del CREZAS 5. Colegio de Postgraduados. Salinas, S.L.P. México.

Artículo de Silva de S., et al, Brasil

Brito de L., Silva de S., Maciel L., Monteiro R. 1989. Barragem subterrânea I: construção e manejo. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 8p. il. (EMBRAPA-CPATSA, Boletim de Pesquisa, 36).

Duque G. 1973. Algumas sugestoes da exploração de acudes Públicos. In: Solo e água no polígono das secas. 4.ed. Fortaleza, CE, DNOCS. p.129-56. (DNOCS. Publicacao 154. Série I-A).

Monteiro C. 1984. Barragem subterranea: uma alternativa para suprimento de água na região semi-árida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUAS SUBTERRANEAS, 3, Fortaleza, CE, 1984. Anais... Fortaleza, ABAS, v.1, p.421-30.

PLASTICOS POLYFILM. 1985. Carta GVLC/046/85, 29 de novembro, Sao Paulo, S.P., para Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2p. Assinada por Juan Berenguer.

Porto R., Vivallo G., Williams O., Silva de S. y Lopes de O. 1990. Pequenos Agricultores V: Métodos de execução de sistemas integrados de pequena produção agropecuária (SIP). Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA. 70p. 11.(EMBRAPA-CPATSA, Documentos, 66).

Santos P. dos & Frangipani A. 1978. Barragens submersas - uma alternativa para o Nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, Sao Paulo, SP, 1978. Anais. Sao Paulo, ABGE., v.1, p.119-26.

Silva de S., Brito de L., Rocha M. 1988. Captação e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro; Cisternas Rurais II: água para consumo humano. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 79p. il. (EMBRAPA-CPATSA, Circular Técnica, 16).

Silva L. da, Lopes C., Anjos B. dos, Silva de S., Brito de L., Porto R. 1994. Barragem subterranea - uma alternativa para pomares. In: X Reunião Brasileira de Manejo e

Conservação do solo e da Agua, Florianópolis, SC. Resumos. Florianópolis, SBCS, 1994. v1, p.286-287.

Artículo de Silva de S., et al, Brasil

Barbosa R., Lyra A. de, Freitas L. de & Holanda M. de. 1980. As vazantes e a tecnologia de produção. Natal, RN., EMATER. 17p.

BRASIL. 1973. Ministério do Interior. Comportamento dos principais sistemas de produção da zona Semi-Árida. In: Plano integrado para o combate preventivo aos efeitos das secas do Nordeste. Brasília, DF., MINTER. Cap. 3., p.111-12. (Desenvolvimento Regional -Monografias, 1).

Duque G. 1973. Algumas questões da exploração de açudes públicos. In: Solo e Água no polígono das secas. 4. Ed. Fortaleza, CE., DNOCS. p.129-56. (Publicação, 154, Série I-A).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1979. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, Petrolina, PE. Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, 1977-1978. Brasília EMBRAPA-DID, 133p.

Guerra de B. 1975. Agricultura de Vazantes - um modelo agronômico nordestino. In: SEMINARIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., Fortaleza, CE., Anais. Fortaleza, MINTER-DNOCS, ABID, 1976. v.4 p.325-30.

Artículo de Pinedo J., et al, Perú

Cotleravalos H. 1986. Inventario, evaluación y uso de los andenes en la sub-cuenca del Río Rimac (Tesis Profesional).

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA, CONCYTEC. 1986. Andenes y camellones en el Perú Andino.

Chang-Navarro L., Vásquez A. y Arledge J. 1988. Manual técnico de conservación de agua y suelos.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA-EX ONERN). 1982. Clasificación de las tierras del Perú.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, REGION AGRARIA 21 – PUNO. 1985. Proyecto 500020-a. Construcción de andenes.

Salas D. y Vásquez A. 1987. Andenes. Univ. Nac. Agraria La Molina, UNA, Perú.

Microcaptación

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

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe las técnicas de captación de agua de lluvia, para las cuales se utilizan varias expresiones como “microcaptación”, “captación de agua de rampas pequeñas”, “captación dentro del sistema de captación” o “captación de microcuencas”.

En el Tomo I se definió las siguientes características como las principales de la microcaptación:

- δ Captación de flujo superficial para distancias cortas del área de escorrentía;
- δ La longitud del área de captación varía generalmente entre 1 y 30 metros;
- δ Escorrentía superficial almacenada en el perfil del suelo;
- δ Relación área de captación/área de plantas, generalmente 1:1 a 3:1;
- δ Normalmente, sin previsión para flujos considerables;
- δ Crecimiento regular de la planta.

Los ejemplos típicos de microcaptación descritos en el Tomo I son el “negarim” (para árboles), microcuencas en contorno (para árboles), surcos en contorno (microcuencas) y bordos semicirculares (para pastos y forrajes).

El documento técnico del Banco Mundial (Reij, Mulder y Begemann, 1988) se refiere a descripciones de técnicas con una longitud del área de captación entre 1-2 metros y 100-150 metros y con una relación área de captación/área de plantas entre 1:1 a 10:1 (depende de la precipitación y de otros factores). La diferencia con los sistemas de captación externa es que los sistemas de microcaptación no reciben agua externa y normalmente consisten en una serie de unidades en conjunto, aunque cada microcaptación está separada de la otra. Generalmente se utilizan las microcaptaciones conjuntamente con técnicas auxiliares como labranza y prácticas de conservación del agua en el suelo. La gran ventaja de las técnicas de microcaptación es que es posible combinarlas con las de conservación del agua y las de control de erosión y además que son relativamente sencillas, baratas y de alta efectividad. Siendo estas obras pequeñas, a menudo se utilizan para cultivar árboles.

En este capítulo se describe experiencias de México y de Brasil, siendo técnicas de microcaptación para cultivos anuales y perennes.

MICROCAPTACIÓN , CULTIVOS ANUALES Y PERENNES, MÉXICO

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

Antecedentes históricos

Mientras la agricultura de riego produce en México hasta dos cosechas por año, la de secano presenta pérdidas en un 25% del total anual sembrado debido a las sequías, lo escaso y errático de la precipitación pluvial y otros fenómenos agrometeorológicos como son el granizo y las heladas.

La producción agrícola, bajo condiciones de secano o 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.

Para establecer un sistema de captación *in situ* del agua de lluvia, es necesario obtener información sobre algunos factores tales como la cantidad y distribución de la lluvia en el año, la capacidad de almacenamiento de agua por el suelo, las necesidades hídricas del cultivo que se ha seleccionado para la zona donde se trabaje y finalmente, con qué recursos se cuenta para establecer los diferentes sistemas de captación *in situ* que mejor puedan adaptarse a las condiciones del área de trabajo.

Las técnicas de microcaptación involucran conservación del suelo, aumento de la disponibilidad de agua para los cultivos, mitigan los efectos de la sequía y mejoran el entorno ecológico (Ballivian, 1979; Anaya, 1981 y Anaya, 1988).

Aspectos Técnicos

Descripción

Los sistemas de captación del agua de lluvia, dedican una parte del terreno a la escorrentía del agua (área de escorrentía ,Ae) y otra parte del terreno para almacenar el agua que previamente escurrió (área de almacenaje ,As). Ambas áreas deben estar acondicionadas para que cumplan eficientemente con sus objetivos.

La microcaptación *in situ* del agua de lluvia, para nuestro caso, se diferencia de la captación general básicamente en tres aspectos:

1. Porque el sistema de captación se realiza exclusivamente para emplearlo en cultivos básicos, forrajeros, industriales, vegetación nativa, árboles, arbustos y frutales.
2. Porque el área de escorrentía (Ae), está formada por microcaptaciones que aportan cantidades adicionales de agua y no tienen que conducirla a grandes distancias, ya que dicha área (Ae) está adyacente al área destinada al almacenamiento (As).
3. Porque el área de almacenamiento (As) incluye el mismo suelo, en el cual se desarrollan las raíces de los cultivos.

Con estas consideraciones, es importante buscar la manera como:

- δ Aumentar la eficiencia en la esorrentía del Ae; es decir, que escurra más agua para que aumente el volumen que llega al área de almacenamiento.
- δ Aumentar la capacidad de retención de humedad del suelo, para que almacene mayor cantidad de agua aprovechable en la zona de raíces.
- δ Reducir las pérdidas del agua aprovechable que ha sido almacenada en el suelo, sean éstas, pérdidas por evaporación del propio suelo o por transpiración de plantas indeseables.

Selección de Cultivos

Para seleccionar los cultivos que se producirán mediante los sistemas de microcaptación, hay que tomar en cuenta su aptitud al ecosistema de la zona y la importancia tanto económica como social de estos cultivos en el área de trabajo.

Una vez seleccionado los cultivos, se determinan las necesidades mínimas de agua que requieren para su desarrollo; de esta manera se define si es necesario establecer obras de microcaptación, o si la cantidad de agua que llueve es suficiente para el cultivo, al comparar la demanda de agua de éste con el aporte de humedad de las lluvias.

Estimación del Uso Consuntivo

El agua que los cultivos necesitan para su desarrollo se puede estimar a través del Uso Consuntivo (UC), el mismo que se define como la cantidad de agua que la planta requiere para transpirar y formar tejido celular, más el agua que se evapora del suelo.

Uno de los mejores métodos, por su aproximación y facilidad para determinar el UC de los cultivos es el de Blaney y Criddle (**Ver Tomo I, necesidades de agua de los cultivos**).

Un ejemplo práctico para determinar el UC mensual es el siguiente:

Cultivo: Maíz para grano; ciclo vegetativo: 150 días; variedad criollo amarillo
Fecha de siembra: 1 de Abril
Zona: Huamantla, Tlaxcala
Latitud norte: 20°

Para facilidad en el manejo de los datos, se puede elaborar un cuadro como el **cuadro 3** que muestra cómo se van obteniendo los factores a partir de los datos señalados.

Primeramente se procede a obtener las temperaturas promedio para cada uno de los meses en que se tiene establecido el cultivo (columna 1).

A continuación se obtiene el porcentaje de horas-luz en el día para cada mes del período abril – agosto en relación al número total en un año (factor P) para la latitud de Huamantla, Tlaxcala.

Posteriormente se calcula el coeficiente Kt que depende de la temperatura media mensual (columna 3).

El valor mensual dado por la temperatura y el porcentaje de horas-luz (valor de f), se obtiene al multiplicar las columnas 2 y 3.

Finalmente se obtiene el coeficiente de desarrollo Kc del maíz para el cálculo del uso consuntivo. Para este fin, debe fraccionarse el 100% del desarrollo entre los meses que tarde el cultivo en alcanzarlo, en este caso cinco meses, por lo cual cada mes representa el 20% del desarrollo total del cultivo. En el cuadro 3 se obtienen los valores de Kc para maíz correspondientes a 20, 40, 60, 80 y 100% del desarrollo del cultivo, los cuales se colocan en la columna 5 del cuadro.

En la **figura 1**, se ha preparado un gráfico con los valores de probabilidad de lluvia al 50% y uso consuntivo, donde se aprecia que el área achurada indica necesidades de agua.

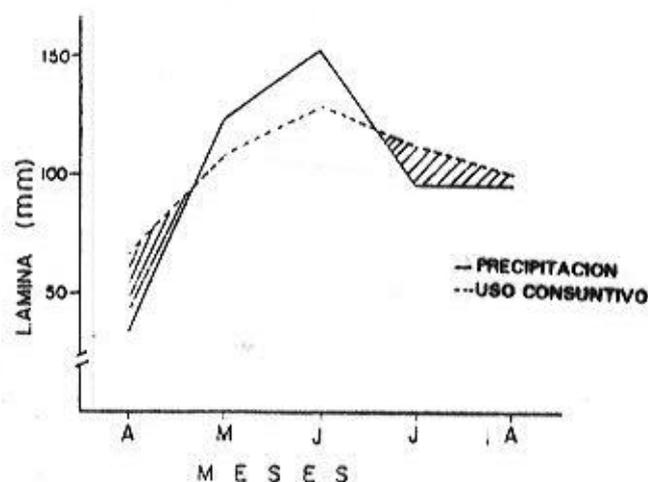
Cuadro 3. Secuencia para calcular el uso consuntivo del maíz con un ciclo vegetativo de 150 días para la zona de Huamantla, Tlaxcala.

Mes	(1) Temp. Media/C	(2) Valor de P	(3) Factor Kt	(4) Valor f P X Kt (2) x (3)	(5) Valor Kc	(6) Uso consuntivo (cm) (4) x (5)	(7) Uso consuntivo Acumulado (cm)
Abril	18,0	8,53	1,313	11,20	0,60	6,72	6,72
Mayo	18,1	9,14	1,322	12,08	0,90	10,87	17,69
Junio	18,1	9,00	1,322	11,90	1,08	12,85	30,44
Julio	16,9	9,23	1,219	11,25	1,00	11,25	41,69
Agosto	18,0	8,95	1,313	11,75	0,85	9,99	51,68

Cuadro 4. Evaluación del déficit y excedentes de agua al comparar el uso consuntivo mensual con la lluvia mensual para la zona de Huamantla, Tlaxcala. (Probabilidad de lluvia del 50%).

Mes	Lluvia media (mm) (1)	Uso Consuntivo (mm) (2)	Balance hídrico (mm) (3)
Abril	33	67	-34
Mayo	123	109	+14
Junio	152	129	+23
Julio	95	113	-18
Agosto	95	100	-5
Total	498	518	-20

Figura 1. Balance hídrico entre la lluvia mensual con una probabilidad del 50% y el uso consuntivo del maíz para la zona de Huamantla, Tlaxcala.



Con el objetivo de ilustrar mejor todos los puntos anteriores, se seguirá en forma completa el procedimiento general para diagnosticar la necesidad de la obra de captación, en el ejemplo siguiente:

Datos:

Cultivo: Frijol

Ciclo: 3 meses

Fecha siembra: 1 de junio

Lugar: Pachuca, Hidalgo.

Latitud Norte: 25 15'

En el **cuadro 5**, se ha encontrado la lluvia mensual que se espera con una probabilidad de ocurrencia del 50 %.

Cuadro 5. Se obtienen de la estación meteorológica de Pachuca, Hidalgo, datos de cuando menos nueve años de precipitación mensual, se determina la lluvia con probabilidad del 50% para esos meses en un cuadro como el siguiente:

Mes	Probabilidad de lluvia al 50% para nueve años de la lluvia media mensual en Pachuca, Hidalgo. (1951-1959) (mm)
Enero	Inap
Febrero	1
Marzo	Inap
Abril	25
Mayo	37
Junio	53
Julio	47
Agosto	37
Septiembre	69
Octubre	22
Noviembre	5
Diciembre	1
Total	297

El uso consuntivo mensual se obtiene al multiplicar el K_c (columna 5) por el valor de f (columna 4). Este producto se coloca en la columna 6 de un cuadro similar al cuadro 3.

Si se desea conocer el UC del cultivo en diferentes etapas de desarrollo, entonces puede elaborarse una última columna (7) con el UC acumulado.

Del ejemplo se deduce en primer lugar, que las necesidades de agua para el maíz en esa zona son aproximadamente de 517 mm (516.8), durante el ciclo de cultivo (abril – agosto).

Una vez realizado el análisis de la precipitación y el análisis del consumo de agua por el cultivo seleccionado, el siguiente paso es determinar si son necesarias las obras de captación, para lo cual se puede hacer un cuadro de las demandas de agua del cultivo por mes, durante el ciclo de desarrollo¹ y de la precipitación en esos meses,² de tal forma que se puedan analizar las deficiencias o excesos de agua, como se observa en el cuadro 4.

En la columna (3) del cuadro 4 se muestra que en la etapa de desarrollo del cultivo se tienen deficiencias de agua, y éstas son del orden de 18 mm, lo que indica que es necesario realizar obras de captación para destinar áreas adicionales a la escorrentía y así poder satisfacer las demandas del cultivo.

Objetivos

Los objetivos de la microcaptación de agua de lluvia se refieren a aumentar la disponibilidad de agua para las plantas, mitigar los efectos de la sequía, propiciar una producción sostenible y mejorar el entorno ecológico.

Ubicación y Selección del Sitio

La ubicación y selección del sitio para establecer obras de microcaptación de agua de lluvia debe considerar que el suelo tenga cuando menos 70 cm de profundidad. En México se ha tenido éxito con microcaptaciones con una precipitación media anual de cuando menos 400 mm.

Diseño, Trazo y Construcción. Métodos de captación in situ utilizando la fórmula de Anaya et al., (1976) para determinar el tamaño de las microcaptaciones

Conociendo las cantidades de agua que necesita un cultivo y que no pueden ser satisfechas por la lluvia, se puede utilizar una fórmula de fácil aplicación encontrada por Anaya y colaboradores, con la que es posible determinar las superficies que deben dedicarse a escorrentías y a almacenaje dentro de un sistema de captación *in situ*.

Se considera que el tamaño de la microcaptación (TM) es la superficie que los agricultores tradicionalmente dedican a cada cultivo en particular (cuando no se ha realizado una obra de captación). Ejemplo: en Puebla acostumbran sembrar el maíz a 90 cm entre hileras y a 50 cm entre matas, lo que da una superficie de microcaptación de $90 \times 50 = 4\,500$ cm²/mata. Se puede decir entonces que dentro de estos 4 500 cm² están consideradas tanto el As como el Ae.

¹ El UC mensual se obtiene de la columna 6 del cuadro 3.

² Si se cuenta con registros pluviométricos para varios años del área de estudio, debe trabajarse con la precipitación mensual con una probabilidad del 50%.

Otro ejemplo es en el caso del frijol, el cual lo siembran a 70 cm entre hileras y a 15 cm entre matas, lo que da una superficie de captación de 1050 cm²; ahora bien, si a estos cultivos se les realiza obras de captación *in situ*, probablemente la distancia entre hileras aumente por ejemplo a 112 cm para el maíz y a 82 cm para el frijol, quedando la misma distancia entre matas que se tenía antes de efectuar la obra de captación (Martínez, *et. al.*, 1985).

La fórmula es la siguiente:

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

$$Ae = \frac{1}{C} \left(\frac{UC - P}{P} xAs \right)$$

Donde:

TM = Tamaño de la microcaptación.

As = Area de siembra, se consideran 50 cm de explotación del sistema radical para cultivos en hilera.

Ae = Area de escorrentía.

C = Coeficiente de escorrentía en el Ae.

UC-P = Total de deficiencias mensuales de agua durante el ciclo vegetativo del cultivo.

P = Total de la lluvia que cae en el tiempo que dure en desarrollarse el cultivo, con un 50% de probabilidades.

Un ejemplo de aplicación de la fórmula de Anaya *et al.*, para determinar el tamaño de la microcaptación se describe a continuación:

Cuadro 6. Del ejemplo del procedimiento general para diagnosticar la necesidad de la obra de captación que para el caso del frijol se incluye en este capítulo, se tiene lo siguiente:

Mes	Lluvia (50% Probabilidad) (mm)	Uso Consuntivo del Frijol (mm)	Balance Hídrico (mm)
Junio	53	93	-40
Julio	47	97	-50
Agosto	37	60	-23
Total	137	250	-113

Donde se tiene que el déficit hídrico durante el ciclo del cultivo es de 113 mm, siendo necesario por lo tanto la obra de captación del agua de lluvia.

Valores a sustituirse en la fórmula:

UC-P = 113 mm

P = 137 mm

As = 50 cm

C = 0,50 (textura media con menos del 5% de pendiente y compactada)

Aplicando la fórmula se tiene:

$$TM = 50 + \frac{1}{0,50} \left(\frac{113}{137} \times 50 \right)$$

$$TM = 50 + 2,00 (0,82 \times 50)$$

$$TM = 50 + 2,00 \times 41$$

$$TM = As + Ae$$

$$TM = 50 + 82$$

$$TM = 132 \text{ cm}$$

Esto quiere decir que en lugar de sembrar el frijol a una distancia de 70 cm entre hileras, como acostumbran en Puebla, deberá sembrarse a una distancia de 132 cm para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. La distancia entre matas permanece inalterada.

A. Aplicación de la fórmula de Anaya et al., para cultivos en hilera

Diseño

Dentro del sistema de captación de lluvia *in situ*, para cultivos de escarda, el método más recomendable es el del distanciamiento entre hileras, el cual consiste en sembrar el cultivo seleccionado en surcos cuya separación se calcula mediante la fórmula antes mencionada, sin olvidar la topografía del terreno en que se va a trabajar ni la disponibilidad de implementos agrícolas con los que cuente el agricultor.

Para utilizar la fórmula de Anaya *et al.*, las unidades de As deben estar dadas en cm para que el TM obtenido esté dado en esa misma unidad.

Trazo

Para el trazo de cultivos en hilera se debe considerar, en primer término, el valor de la distancia calculada para la separación entre hileras que se debe emplear para la región y el cultivo seleccionado. Como paso inicial, se trazan sobre el terreno curvas a nivel que servirán como guía para la construcción de los surcos.

Cuando se dispone de maquinaria, la separación de los arados sobre la barra portaherramienta debe ser igual a la distancia calculada para la separación entre hileras de plantas. Si se dispone únicamente de arados de tracción animal se debe tener cuidado de trazar los surcos sobre el terreno a la distancia calculada, siguiendo el trazo en sentido transversal a la pendiente, de tal manera que los surcos adopten la forma que se observa en la **figura 2**.

Construcción

Para facilitar la infiltración del agua en el área de siembra (As) se recomienda subsolar y dar un paso de arado, cincales u otro implemento para propiciar un mejor desarrollo de las raíces.

Figura 2. Aplicación de la fórmula de Anaya *et al.* (1976) para calcular la distancia entre hileras de acuerdo a los factores suelo-planta-precipitación (Valle del Mezquital, Hidalgo)



Posteriormente, con un arado de vertedera, una pequeña bordeadora o un arado modificado, se construyen los surcos, siguiendo las curvas a nivel.

Una sugerencia para la construcción es el empleo de un arado de reja modificado. Esta modificación consiste en agregar una solera de metal o de madera al ala del arado, la función de este implemento es que al construir los surcos, la solera colocada al lado del ala, extienda de manera uniforme la tierra que voltea la vertedera del arado, dándole la pendiente adecuada al talud superior del surco superior.

El largo de la solera debe ser igual a la distancia que existe entre el fondo del surco y la parte más alta del mismo, considerando el talud más ancho del surco. En la **figura 5**, se muestra un implemento de tracción animal, consistente en un arado de doble vertedera y en una de ellas se observa la adaptación de una solera.

El método de siembra que se debe emplear en este sistema debe adaptarse a las condiciones de suelo y precipitación principalmente. Si las lluvias son de alta intensidad y el suelo es de textura pesada, se recomienda sembrar en el talud o en lo alto del surco para evitar el efecto de la inundación y que el sistema radical no esté bien aireado, sobre todo en las primeras etapas del cultivo. Si se trata de lluvias de baja intensidad o bien si el suelo presenta una alta permeabilidad, se recomienda sembrar en el fondo del surco para tener la máxima concentración de agua. Lo anterior se aplica a cultivos asociados, por ejemplo maíz-frijol (Campos, 1982).

Figura 3. Cultivo de Girasol a los 80 días y con un tamaño de Microcaptación de 140 cm Valle de México.



Figura 4. Cultivo de Maíz a los 80 días con un tamaño de Microcaptación de 140 cm Valle de México (Ortíz, 1975; Anaya y Tovar, 1977; Tovar y Anaya 1979).



Otra forma de efectuar la siembra bajo este sistema, consiste en seguir el método tradicional, o sea el de preparar el terreno mediante subsolado, barbecho (si es que lo requiere) y uno o dos pasos de rastra; posteriormente a esta preparación, se siembra el cultivo en hileras, a la distancia calculada. Llegado el momento de la primera escarda, se utiliza una cultivadora para eliminar las malas hierbas y aflojar ligeramente la superficie del suelo entre las

hileras; una vez realizada esta operación, se procede a construir el talud del surco, requiriéndose para ello de un arado de doble vertedera modificado (**ver figuras 5 y 6**). Una ventaja que presenta este sistema es que se puede eliminar la hierba en forma mecánica, se propicia una mejor aireación del suelo y se da un aporque a la planta para prevenir el acame (vuelco, tendadura, tumbado, caída), además de que los surcos después de esta labor, están en condiciones de concentrar el agua en una zona vecina al área de raíces, lo que reduce las posibilidades de que puedan ser afectadas por efectos de inundación.

Figura 5. Arado de doble vertedera, modificado para la construcción de bordes, puede utilizarse con tracción animal o mecánica.

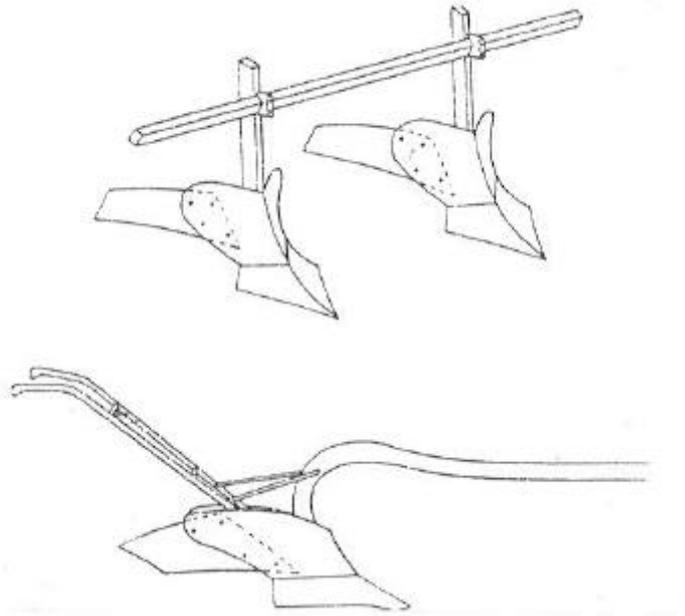


Figura 6. Arado "Xolox" para la construcción de surcos modificados (microcaptaciones), también puede ser usado con tracción animal (Tovar y Anaya, 1981).



B. Aplicación de la fórmula de Anaya *et al*, para cultivos densos

Diseño

El diseño para cultivos densos se debe ajustar a las condiciones topográficas del terreno, y a la cantidad y distribución de la precipitación (Muñoz y Castro, 1979; Núñez, 1982 y Robles, 1988).

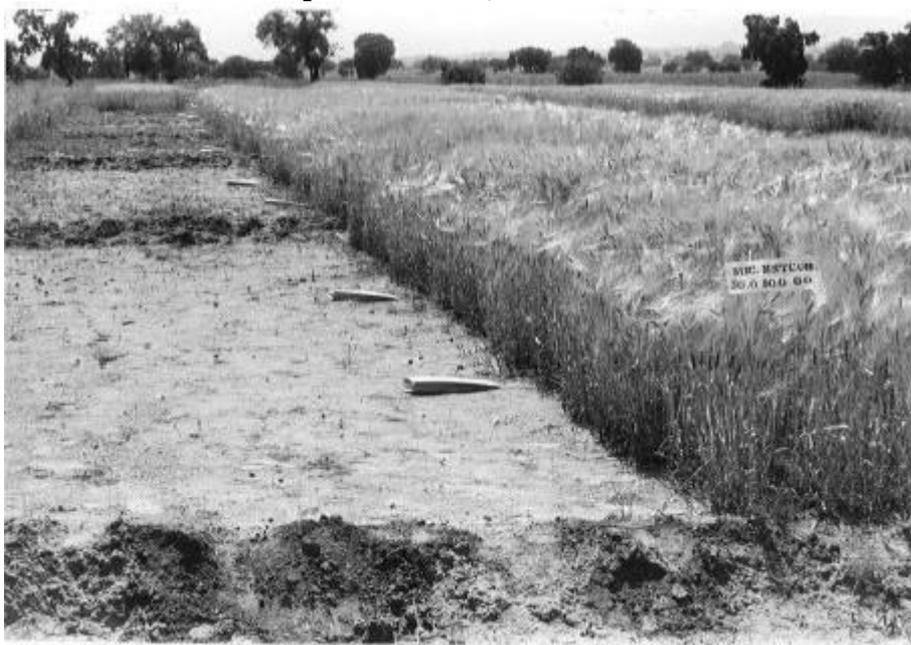
El ancho de la microcaptación, se calcula considerando como área de siembra el ancho de la faja que se desee sembrar, el cual deberá ser un múltiplo del ancho de los implementos agrícolas a usar, bien sean de tracción mecánica o de tracción animal. En este caso, al aplicar la fórmula de Anaya *et al.*, el As debe estar en metros para que el TM calculada esté dada también en esas unidades.

Trazo

Para el trazo de las microcaptaciones para cultivos tupidos, se deben seguir los siguientes pasos:

- Trazar curvas a nivel, cuya separación entre sí sea igual a la distancia calculada.
- Delimitar el área de esorrentía y el área de siembra.

Figura 7. Aplicación de la fórmula de Anaya *et al*, (1976) para calcular el área dedicada a escorrentía en cultivos tupidos Tecamac, México.



Construcción

La construcción se hará de acuerdo a los siguientes pasos:

- Sobre las curvas a nivel se construyen bordos, cuya altura sea capaz de retener el volumen de agua que escurra dentro de la microcaptación. Para este fin, pueden utilizarse las dimensiones de los bordos para la construcción de la terraza de base angosta.
- El área destinada a escorrentía se debe localizar en la parte superior de la microcaptación, a esta área se le deben hacer las labores siguientes:
 1. Eliminar de la superficie toda clase de objetos que impidan el libre escorrentía, tales como piedras, ramas y arbustos.
 2. Emparejar la superficie para uniformizarla.
 3. Compactar la superficie, si es necesario, con un rodillo de metal o de concreto.

Los pasos 2 y 3 pueden omitirse si no se cuenta con los recursos necesarios.

- El área destinada a la siembra se debe acondicionar mediante las labores siguientes:
 1. Preparación del suelo para la siembra.
 2. Dar un paso de subsuelo o con cinceles, para propiciar la infiltración y reducir la evaporación. Esta labor se realizará siempre y cuando la textura y la estructura del suelo lo requieran.

3. Nivelación o emparejamiento de la superficie del suelo para una mejor distribución del agua.
4. Aplicar materia orgánica para aumentar la capacidad de retención de la humedad.

C. Aplicación de la fórmula de Anaya *et al.*, para frutales

Diseño

El diseño de las microcaptaciones para frutales debe adaptarse a las condiciones topográficas del terreno, y como en los dos casos anteriores, dependerá de los factores siguientes: tipo de frutal, cantidad y distribución de la precipitación y de las características del suelo, los cuales al conjugarse en la fórmula de Anaya *et al.*, determinan el tamaño y las características que debe tener la microcuena (Anaya y Tovar, 1976; Anaya, 1977).

El As inicial se obtiene de las recomendaciones generales dadas para frutales. Por ejemplo, las plantaciones de aguacate normalmente se realizan a distancias entre plantas de 10 m, lo que implica al utilizar la fórmula de Anaya *et al.*, un $As = 100 \text{ m}^2$; con lo que el TM calculado también estará dado en m^2 .

El TM resultante puede acomodarse en el campo de diferentes formas de acuerdo a las necesidades de manejo del huerto. Por ejemplo, un $TM = 25 \text{ m}^2$ puede formarse de varias maneras, 5×5 , $6 \times 4,15$, etc.; de modo que la disposición a seleccionar sea aquella que permita mayor facilidad en la operación del huerto (**figura 8**).

Trazo

Para hacer el trazo definitivo de las microcaptaciones para frutales, es de suma importancia considerar el uso consuntivo de ese frutal cuando llegue a su máximo desarrollo, y utilizar este dato en la fórmula, para calcular el tamaño de la microcaptación. Este método es aplicable a frutales aislados o bien en el establecimiento de un huerto, bajo un sistema de microcaptación.

En el trazo del huerto en áreas planas se debe seguir, de preferencia, los métodos tradicionales de distribución de árboles tales como el marco real, tresbolillo, etc., aunque en huertos en terrenos inclinados, el más conveniente es el de tresbolillo; en cualquier caso debe tenerse cuidado que la distancia entre árboles y la distancia entre hileras se ajusten a las dimensiones previamente establecidas, para que la superficie dedicada a cada frutal corresponda al tamaño de la microcaptación.

El trazo de las microcaptaciones deberá considerar también algunas condiciones del terreno. Por ejemplo, si se trata de un terreno plano, el trazo se deberá hacer, de acuerdo a las características del viento o bien de la disponibilidad de luz solar.

Si se trata de un terreno con pendiente uniforme, el trazo se deberá hacer, siguiendo curvas a nivel que se deberán trazar previamente.

Si el terreno es accidentado, se deberán trazar, hasta donde sea posible, curvas a nivel y distribuir a los árboles de acuerdo al método antes mencionado, de tal forma que la construcción de las microcuencas no implique un movimiento excesivo de tierra.

Cuando el terreno presente una topografía accidentada, las microcaptaciones deberán adaptarse conforme se presenta el relieve.

Construcción

Cuando se ha delimitado el tamaño de las microcaptaciones y se ha hecho el trazo de las mismas sobre el terreno, se procede a su construcción.

En la construcción de la microcaptación se deben considerar tres aspectos:

- Preparación del área de siembra.
- Construcción de los bordos.
- Acondicionamiento del área de escorrentía.

Preparación del área de siembra

Cuando se trate de suelos profundos (1 m o más), la plantación se puede hacer en dos formas:

1. Si se dispone de maquinaria, se usa un arado zanjador, el cual abre una zanja de 50 a 70 cm de profundidad en la hilera donde se colocarán los árboles, después se marca la distancia que deberá existir entre cada árbol y en este sitio se agregará estiércol o composta, recomendándose que cubra una longitud aproximada de 2 m, lo ancho de la zanja y una profundidad de 20 a 30 cm, sobre esta capa se coloca una capa delgada de suelo, se coloca el árbol y se rellena con suelo; con el tractor, se llena el resto de la zanja.
2. Otra forma de plantación de los frutales es hacer cepas; en este caso, éstas se harán de 1 m² y de 60 cm de profundidad, el relleno se hará al igual que se explicó para la zanja. Cuando se trate de suelos superficiales o de “tepetate” (capa calcárea, dura, a poca profundidad) se recomienda hacer cepas de 2 x 2 m y de 60 cm de profundidad, el relleno de la cepa se hace igual que en el caso anterior.
Las cepas se deben construir en la parte más baja de la microcaptación, para facilitar la escorrentía del agua. El relleno de la cepa se debe hacer, de preferencia, con material fino y rico en materia orgánica para que tenga una alta capacidad de retención y almacenamiento del agua.

Construcción de los bordos

Los bordos se pueden construir a mano o bien con implementos agrícolas, tales como arados bordeadores, cuchillas niveladoras o escrepas, estos implementos pueden ser de tracción mecánica o bien de tracción animal.

Cuando la topografía es irregular, la construcción de los bordos se debe hacer, hasta donde sea posible, con la cuchilla o escropa y después, cerrar y afinar a mano los bordos y emparejar el área de escorrentía.

Acondicionamiento del área de escorrentía

Habiéndose construido los bordos, se procede a emparejar la superficie interior para que la escorrentía del agua tenga la máxima eficiencia, esta labor es manual y se hace principalmente con el azadón y el rastrillo, como se observa en la **figura 8**.

Figura 8. Vista del tamaño de microcaptaciones para frutales calculadas mediante la fórmula de Anaya *et al*, (1976), Chapingo, México



En el caso de la topografía irregular, para evitar el movimiento excesivo de tierra dentro de la microcaptación, se construyen en ella surcos colectores, cuya función es concentrar y conducir el agua de lluvia hacia la zona de raíces.

Al quedar constituido un huerto bajo este sistema, se debe tomar en consideración que algunas veces se presentan lluvias de alta intensidad, las cuales podrían causar problemas de inundaciones y llegar a romper los bordos, para ello se debe adaptar la superficie del bordo inferior, de tal manera que ésta funcione como un vertedor de demasías. El vertedor se recubre con pasto, con piedra o con cualquier otro material. En la parte más baja del huerto se debe construir un canal que las conduzca a un almacenamiento. Además, a este almacenamiento se le puede adaptar un sistema de bombeo, para riego suplementario a los frutales en tiempo de sequía.

Para huertos en terrenos inclinados, el principio de las microcaptaciones puede adaptarse también a los sistemas de zanja y bordo y de terrazas.

D. Manejo de las microcaptaciones

Debido a que el tamaño de la microcaptación se calcula considerando los requerimientos de agua del frutal en su estado de madurez, en los primeros años de establecido el huerto es conveniente manejarlo de forma tal que los árboles pequeños no tengan problemas por exceso de agua, para ello se sugiere durante el primer año destinar tan sólo la cuarta parte de la microcuenca a captación y el resto se puede utilizar con otro cultivo que puede ser maíz, avena, frijol, etc. A medida que transcurre el tiempo y que las necesidades de agua son mayores para el frutal, se aumenta el área de escorrentía y se reduce la superficie dedicada al otro cultivo, hasta que finalmente se utilice en su totalidad la microcaptación para abastecer al árbol con la cantidad de agua requerida, tal como se observa en la **figura 9**.

La operación de las microcaptaciones de esta forma, a la vez de optimizar el manejo del agua, permite al agricultor obtener utilidades extra con los cultivos anuales mientras el frutal es joven y no genera cosecha alguna.

Para que los sistemas de microcaptaciones operen adecuadamente, es necesario mantener el área limpia de malezas, reconstruir los bordos destruidos por tormentas inesperadas. La figura 9 muestra un cultivo perenne (nopal) asociado con un cultivo anual, a medida que crece el cultivo perenne se va reduciendo la superficie dedicada al cultivo anual.

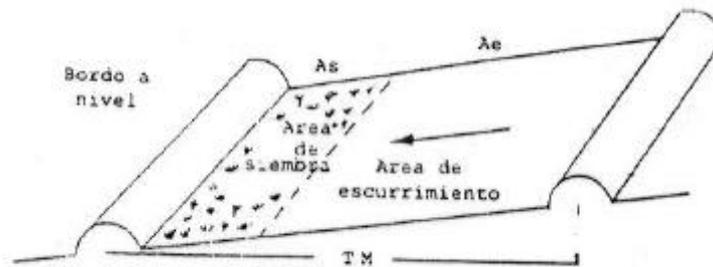
Figura 9. Utilización eficiente del terreno en las primeras etapas de desarrollo de un frutal (asociación cultivo perenne-cultivo anual). Chapingo, México.



E. Evaluación de modelos para el diseño de microcaptaciones

Loredo *et al.*, (1992), evaluaron cuatro modelos para el diseño de microcaptaciones y encontraron que el que se ajusta mejor a las condiciones del Altiplano Potosino es el propuesto por Anaya y colaboradores (**cuadro 7 y figura 10**).

Figura 10. Esquema de un sistema de captación de lluvia para pasto buffel (cultivo perenne).



Cuadro 7. Producción de zacate (pasto) buffel con diferentes relaciones área de siembra: área de escurrimiento en San Luis Potosí.

Relación A-S-E	Modelo	Cobertura (m ² /ha)	Producción de forraje (kg de materia seca/ha)
1:2	Smith	544	411
1:3	Sin Modelo	1 208	857
1:5	Anaya	1 961	2 498
1:6	Sin Modelo	2 167	2 356
1:7	Sin Modelo	1 638	1 227
1:9	Villanueva	1 237	1 743

Mantenimiento

El mantenimiento de las microcaptaciones es fundamental para obtener significativos aumentos en la producción de cultivos. Las microcaptaciones deben mantener su forma, prevenir rupturas y eliminar las malas hierbas tanto en el área de escurrimiento como en el área de siembra. Además, se pueden complementar con el uso de coberturas (rastrajo y piedra) para reducir la evaporación del agua del suelo en el área de siembra (As), (Carranza, 1973).

Potencial de producción

El sistema de microcaptación favorece el incremento de rendimientos unitarios de los cultivos debido a la humedad extra acumulada en el perfil del suelo. Sin embargo, es necesario evaluar el potencial de producción en períodos de cuando menos 7 a 10 años, ya que la variabilidad en la precipitación pluvial anual es considerable. En México, ha sido posible obtener incrementos de 200 a 300% en el sistema de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, para la

producción de cultivos en hilera, densos e individuales (arbustos y árboles frutales). Lo anterior se aplica para cultivos anuales y perennes.

Grado de complejidad

Las tecnologías de microcaptación de lluvia tienen un mínimo grado de complejidad, son perfectamente entendibles por los productores y adaptadas de inmediato a las condiciones locales. Además se pueden hacer a mano, con tracción animal y con tracción mecánica.

Limitaciones

Estas tecnologías no se recomiendan en suelos delgados (menores de 70 cm de profundidad) ya que la capacidad de almacenamiento del agua en el perfil del suelo, es muy reducida. Los mejores rendimientos de cultivos anuales se obtienen con una precipitación pluvial anual de alrededor de 500 mm. (De Souza y Anaya, 1979; Hernández, 1981 y Gallegos, 1985).

Impactos socioeconómico y ambiental

Costos y retornos

Los costos y retornos anuales registrados durante varios ciclos vegetativos, en diferentes localidades y con diferentes cultivos anuales y perennes indican que es posible obtener una relación costo/beneficio de 1:2 a 1:3. Lo anterior es posible de obtener en localidades donde la precipitación media anual es de cuando menos 500 mm. Los cultivos evaluados han sido los siguientes: maíz para grano, maíz forrajero, frijol, sorgo para grano, sorgo forrajero, girasol, soya, orégano, pastos, arbustos y árboles frutales.

Generación de empleo

La utilización de microcaptación es de agua de lluvia para cultivos anuales y perennes indica una necesidad promedio de mano de obra de 40 a 160 días/hombre por hectárea, dependiendo de la duración del ciclo vegetativo y del tipo de cultivo.

Sostenibilidad

Los sistemas de producción con microcaptación de agua de lluvia representan la infraestructura básica (conservación de suelos y aprovechamiento integral del agua de lluvia) para lograr un desarrollo sustentable. Si esta técnica se complementa con el mejoramiento de la fertilidad del suelo, se asegura una mejor producción a través de los años y la mitigación de los efectos de la sequía con el consecuente mejoramiento del entorno ecológico.

Descripción de casos

Lugar y fecha

La agricultura de temporal (secano) en México cubre una superficie de alrededor de 16 millones de hectáreas; las técnicas de microcaptación de agua de lluvia han producido

resultados satisfactorios en cultivos anuales y perennes en regiones con más de 500 mm de precipitación anual y en suelos con más de 70 cm de profundidad. las localidades donde mayores éxitos se han obtenido son las siguientes: Valle de México, Querétaro, San Luis Potosí, Oaxaca, Valle del Mezquital, Comarca Lagunera y Valle de Tehuacán.

Durante los últimos 20 años, los productores han sido asesorados por diversas instituciones: 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 Investigación en Zonas Desérticas, entre otras.

Resultados en la producción

Los resultados en la producción obtenidos con las técnicas de microcaptación del agua de lluvia en diversas localidades de México y en diferentes cultivos indican la bondad de la tecnología ya que conllevan al desarrollo sustentable, mejoran la producción de alimentos y el nivel de vida y además, generan un impacto positivo en la ecología.

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: anaya@colpos.colpos.mx

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.

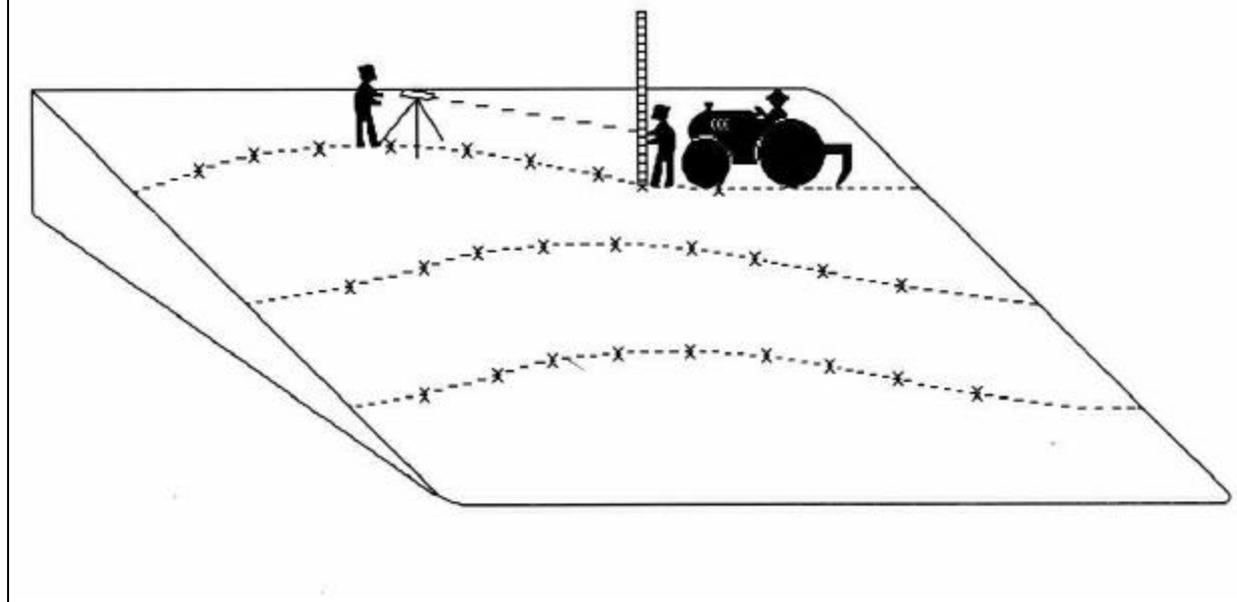
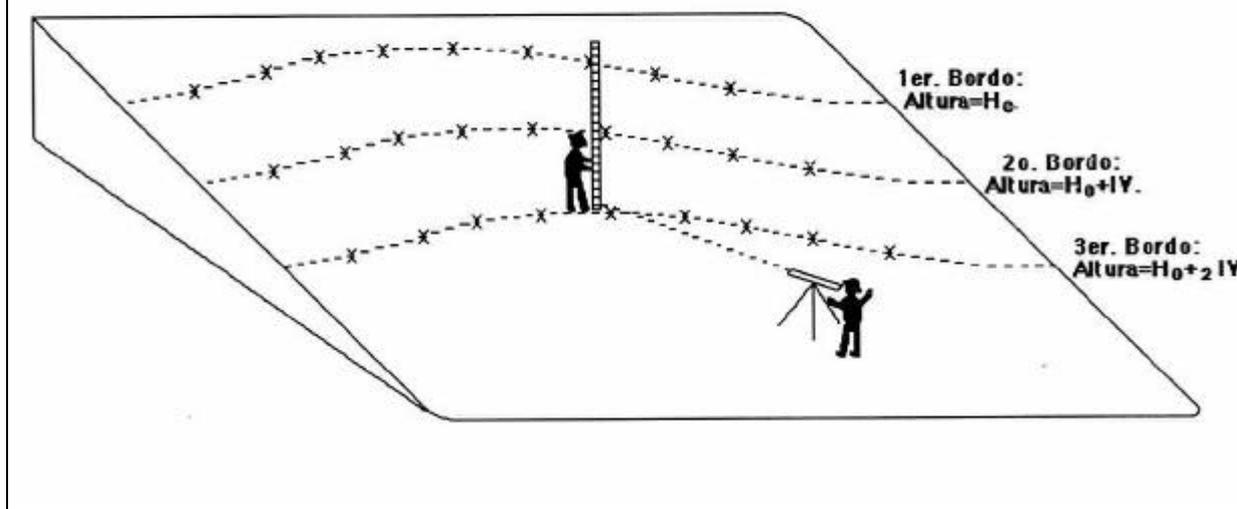


Figura 12. Si la longitud del estadal no alcanza para trazar un cuarto bordo, se verifica un cambio de aparato y se hace colocar el estadal ligeramente pendiente arriba de la última línea trazada. Se toma una lectura atrás (LA) y la altura a leer en el estadal para trazar el cuarto bordo será igual a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

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

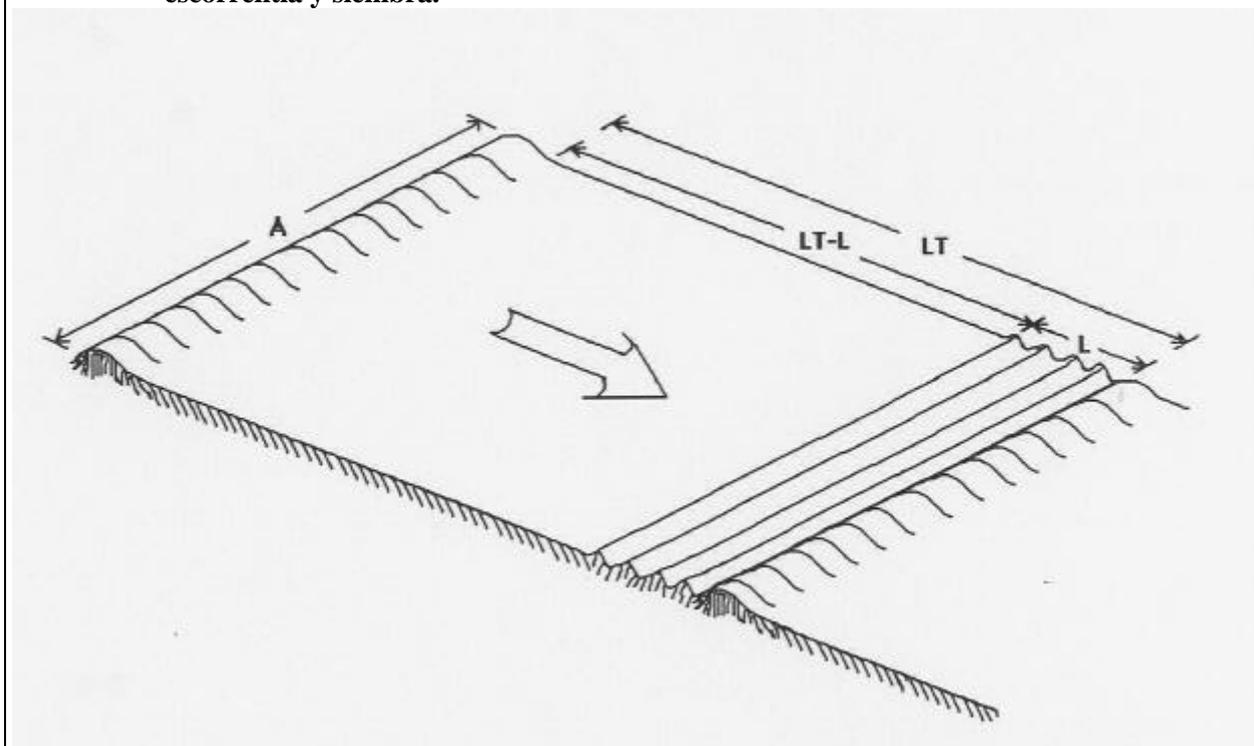
Donde:

- 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 escurrentía y siembra.



Mantenimiento

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

1. Conservar limpia la superficie destinada al área de escurrentía. 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 escurrentía (CE) y de esta manera ir también incrementando hasta un cierto límite la superficie de siembra y reduciendo la de escurrentía.
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.

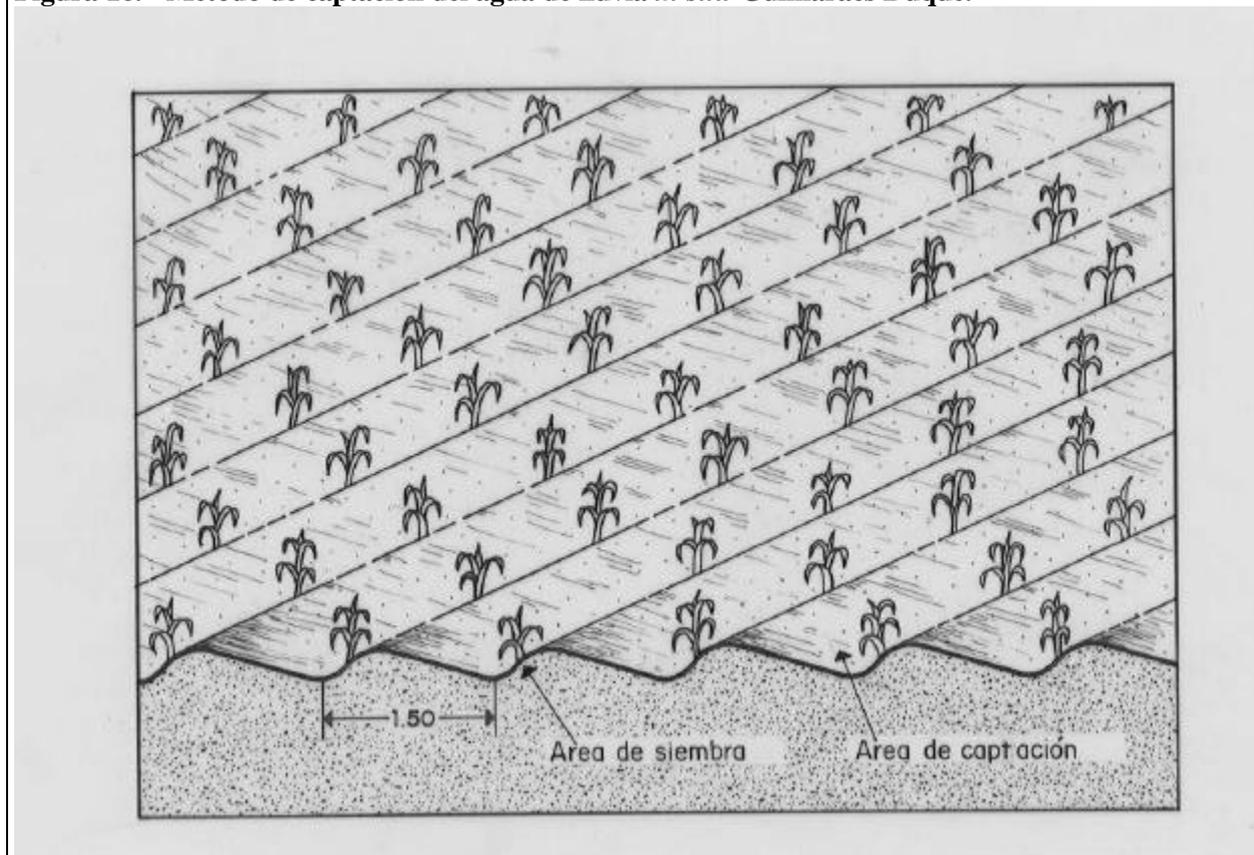
Cultivos anuales

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

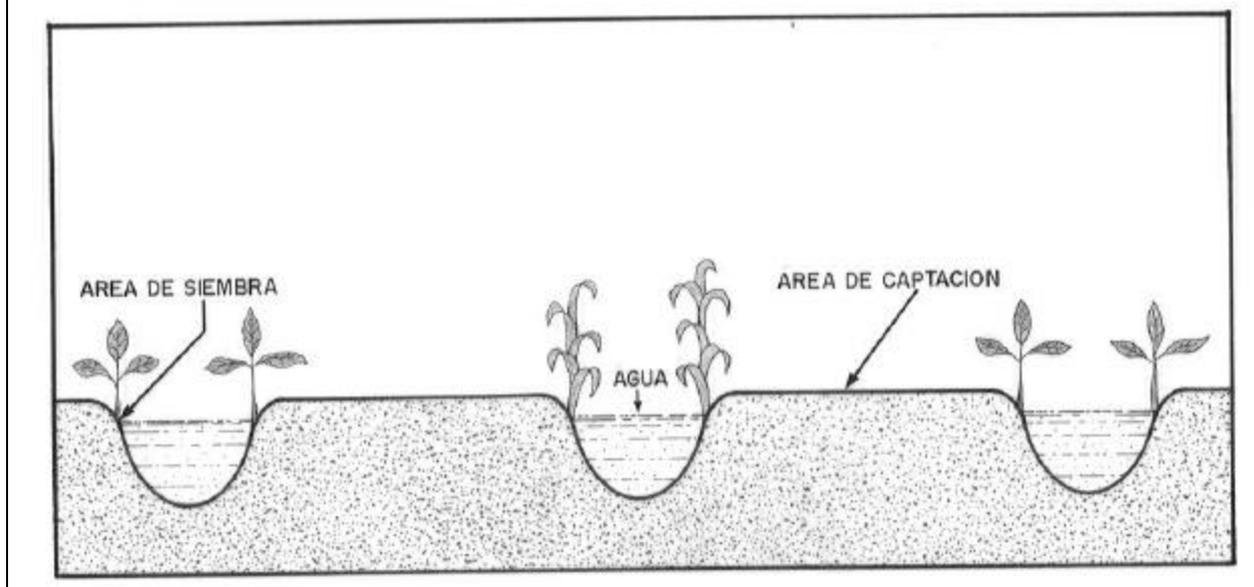
Este método es el más simple y práctico, pudiendo ser adaptado para casi todos los espaciamientos de los cultivos anuales. La denominación ICRISAT proviene de Internacional Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropic quienes estudiaron inicialmente el sistema. Consiste en la formación de surcos 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”.

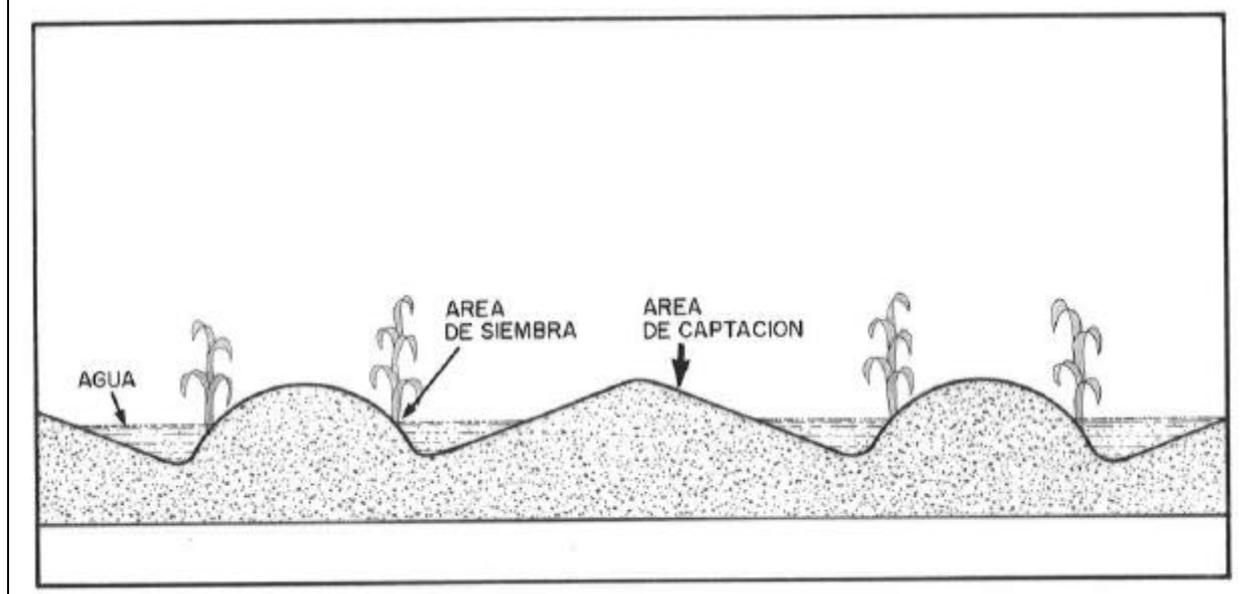
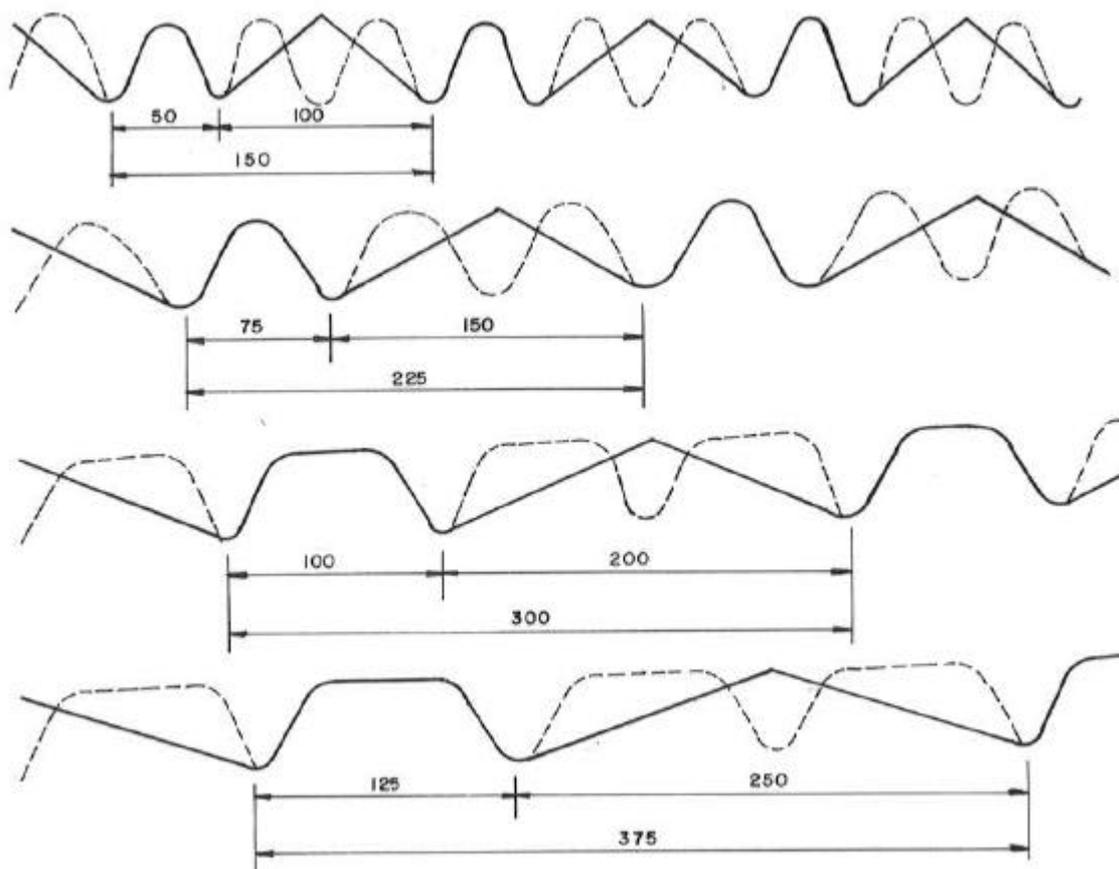


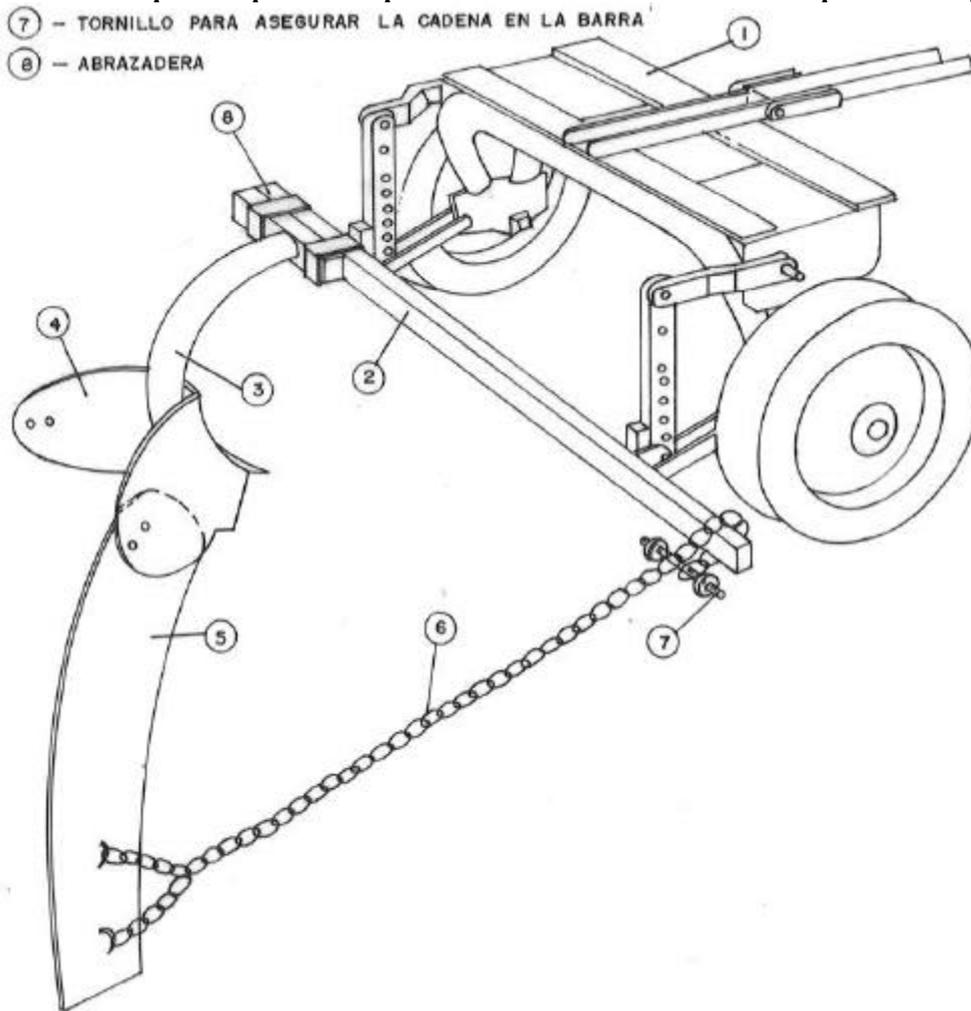
Figura 19. Modelo esquemático de la técnica de captación de agua de lluvia *in situ* tipo “W”, usando la plancha de hierro, para varios espaciamientos.



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).

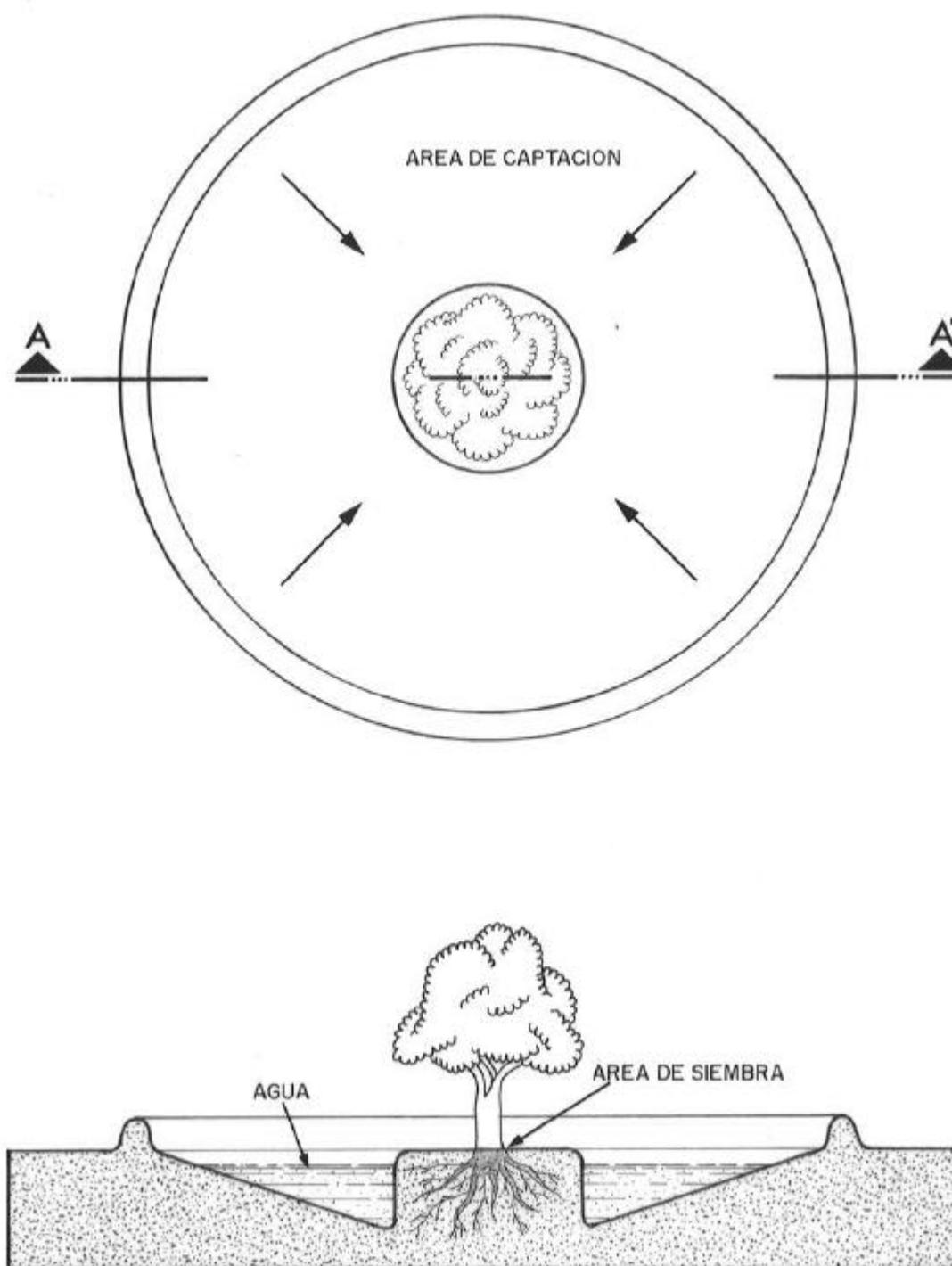
Grado de complejidad

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

Captación externa

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

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe las técnicas de captación de agua de lluvia generalmente referidas como “Captación Externa”, “Captación de Agua de Rampas Largas” o “Mayores Longitudes en el Área de Captación” o “Captación de Microcuencas”.

En el Tomo I se definió las características principales de los sistemas de Captación Externa:

- ❑ Captación de aguas de escorrentía superficial, laminar y de arroyos.
- ❑ Escorrentía superficial almacenada en el perfil del suelo.
- ❑ Área de captación, generalmente de 30 a 200 metros de largo.
- ❑ Relación área de captación/área de plantas usualmente de 2:1 a 10:1.
- ❑ Vía preparada para aliviadero del exceso de agua.
- ❑ Crecimiento irregular de las plantas a menos que se nivele el terreno.

Los ejemplos típicos descritos en el Tomo I son: “Bordos Trapezoidales” (para cultivos) y “Bordos de Piedra en Contorno” (para cultivos).

El documento del Banco Mundial (1988), describe sistemas de captación de lluvia con una longitud del área de captación de 50 a 150 metros (depende de la precipitación y de otros factores importantes), trata sobre el cálculo de la proporción área de captación/área de plantas y recomienda realizar las obras en laderas con una pendiente menor a 2-3%, para evitar construir bordos demasiado altos. Estos sistemas comúnmente se usan para cultivos. Generalmente necesitan inversiones de mano de obra y de capital en la implementación y en el mantenimiento.

En este capítulo se describe experiencias en Chile, Argentina, Perú y Brasil. Además se incluye la captación de nieblas con experiencias de Chile y Perú. Un caso especial es el que Néstor Cabas describe de una experiencia de Chile sobre la “Derivación temporal de torrentes y sus álveos”, a continuación.

PEQUEÑAS OBRAS PARA CAPTAR AGUA LLUVIA Y UTILIZAR VERTIENTES EN EL SECANO INTERIOR DE LA VII REGIÓN, CHILE

*Néstor Cabas,
INIA Cauquenes, Chile*

Antecedentes históricos

En Chile existen numerosas zonas geográficas en las cuales se han establecido obras de captación de agua desde tiempos inmemoriales. Actualmente algunas de las obras de captación tienen fines industriales de producción de energía eléctrica y otros fines de riego, pero a menudo cuentan con un alto costo de construcción.

El promedio anual de precipitaciones para Cauquenes es de 660,8 mm (**cuadro 9**), concentrada en los meses de mayo a agosto. Estas precipitaciones ocasionan fuertes caudales de escorrentía, con arrastres de ramas, piedras y otros materiales. Los arrastres son los principales limitantes para obras de almacenamiento de agua otorgándoles una escasa vida útil por la acumulación de sedimentos en la hoyo o por la destrucción de su muro debido a los violentos golpes del flujo de agua. La finalidad de las obras que se va a describir es regar superficies promedio de 1 ha, por lo general, con cultivos tradicionales como porotos (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.) y papa (*Solanum tuberosum* L.) etc, de baja rentabilidad por su llegada al mercado en fechas no favorables en precio.

Cuadro 9. Precipitación promedio mensual, anual y valores máximos y mínimos registrados en la estación meteorológica de la subestación experimental de Cauquenes, 1959-1991.

MESES													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Prom.	7,6	4,2	10,3	38,2	117,8	148,7	144,6	83,0	84,0	29,1	16,8	9,5	660,8
Máx.	42,0	60,3	55,2	178,8	380,3	416,9	341,0	231,3	139,3	101,3	71,2	82,4	
Min.	0,0	0,0	0,0	6,4	24,9	27,8	16,3	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	

Aspectos Técnicos

Descripción

La obra de captación de agua diseñada permite captar el agua de la escorrentía inmediata producida por la lluvia del período de primavera y el agua de vertientes durante primavera y verano. Durante el invierno se desarma su muro formado por paneles de metal de 3 mm de espesor, de un metro de ancho por una altura no superior a tres metros, soportados sobre fierros tubulares de 100x100x4 mm de espesor. Así la construcción permite el libre escurrimiento de los caudales invernales mayores, armándose nuevamente la estructura en primavera. Lo anterior asociado con cultivos de rentables trabajados en una superficie no superior a una hectárea que permita trabajar durante todo el año al grupo familiar, genera producción y trabajo para el núcleo familiar. La tecnología de riego empleada se basa en sistemas presurizados de bajo costo que funcionan gravitacionalmente, como es el caso del riego por cintas.

Objetivo

- Captar agua de vertientes y de lluvia, con estructuras de bajo costo y que puedan retirarse cuando ocurren los caudales mayores de invierno, para regar en primavera-verano cultivos rentables en una superficie promedio de una hectárea, con la mano de obra del grupo familiar.
- Asegurar la multiplicación de las obras, a través del sistema de asistencia técnica normal, que tiene el pequeño agricultor en el secano.

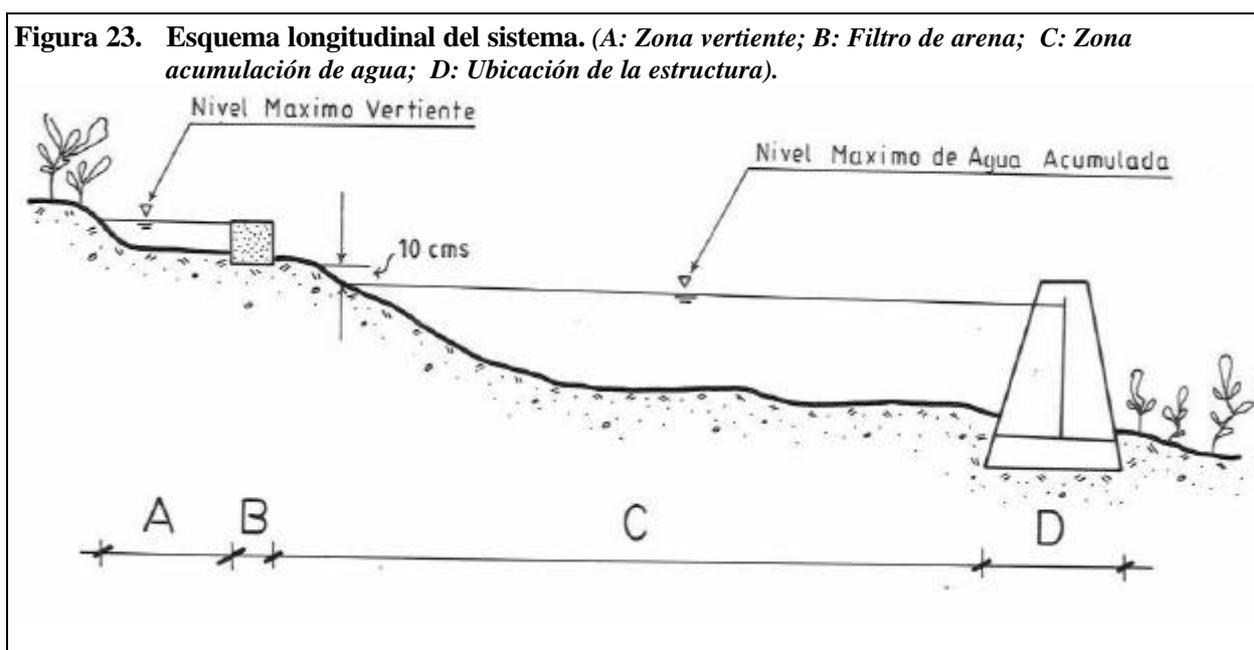
Ubicación

Las obras, al necesitarse, pueden ser ubicadas en pequeñas microcuencas, con pendientes suaves y fuertes, considerando una diferencia de altura entre la ubicación de la obra y el área de riego, para poder utilizar sistemas de riego presurizado que funcionen gravitacionalmente.

Trazo

Se efectúa un levantamiento topográfico del área de la microcuenca que será utilizada, para cuantificar el volumen de agua a almacenar. La altura de la lámina del muro debe ser proporcional a la capacidad de recuperación de la vertiente en un período máximo de 48 horas.

Trazado el nivel de aguas máxima acumulada en la estructura de acumulación, este debe estar ubicado 10 cm. más bajo que el lecho de la vertiente de tal forma de permitir un flujo entre la vertiente y la zona de acumulación de agua, para ubicar entre ambos, una estructura que contenga arena para filtrar el agua de las partículas más gruesas provenientes del área de la vertiente y, en especial, para controlar un alto porcentaje de bacterias que asegure la calidad del agua de riego (**figura 23**).



Construcción

La obra se ubica en sectores del cauce o cárcava, dónde se utiliza la vegetación natural para disminuir las pérdidas por evaporación causadas por la acción del viento y el sol, tratando de no alterar la vegetación existente en torno a la obra y fuente de agua.

Se seleccionan microcuencas que permitan acumular agua de la escorrentía inmediata producida por la lluvia durante la primavera y tengan la capacidad de almacenar el volumen de agua aportada por los álveos de los cauces o vertientes, durante un período máximo de 48 horas de flujo continuo.

El principal aporte de agua para la obra lo constituyen los álveos o las vertientes. El agua de escorrentía se considera en forma secundaria, por la poca capacidad de almacenaje de la obra en el cauce y la baja precipitación en los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero que constituyen el período de riego.

El aprovechamiento de agua de un álveo o vertiente puede ser tan simple que no requiera de una estructura de almacenaje de agua, si se requiere, el diseño de la estructura, debe ser proporcional al caudal de agua que ésta capta así como a la capacidad de almacenamiento del vaso, luego, a un mayor volumen de agua a almacenar, mayor la dimensión de la obra, con una altura de muro máxima de 2,5 metros.

Las estructuras pueden ser de varios tipos, con el principio común de armarse antes del período de riego y desarmarse antes de las lluvias de invierno, para evitar el daño y el azolve o embancamiento que ocasiona el material arrastrado por la escorrentía superficial. Poseen un vertedero comprendido por el espacio entre el límite superior de la lámina y la parte superior del muro de concreto armado, ubicándose muro y vertedero en la misma zona.

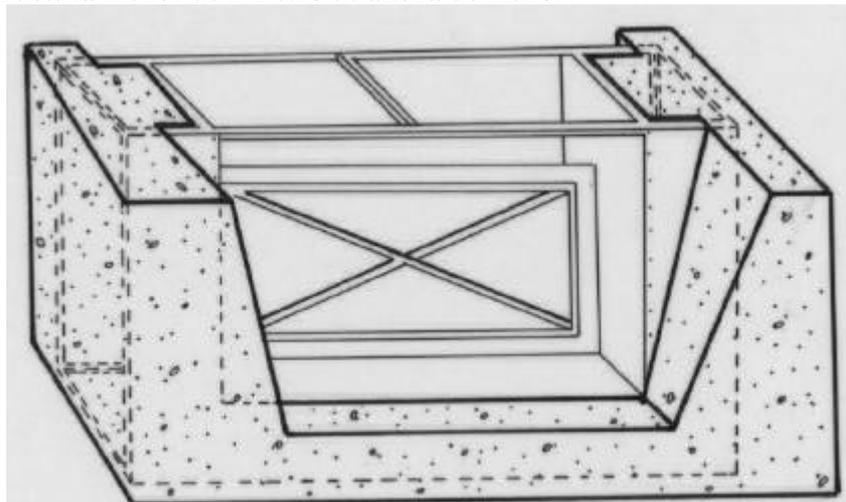
En el diseño de la obra, se plantea una relación mínima de 1,0 metros de base por cada metro de altura de muro, para dar una adecuada resistencia a la estructura ante las eventuales escorrentías de primavera.

Tipos de estructuras

A. Estructura menor a 1 metro de altura de muro

Se instala sobre el concreto armado, el cual va anclado al estrato impermeable del lecho del cauce. Es una estructura simple soportada por pernos sobre el concreto a través de fierro angular 30x30x3 mm, laminado (**figura 24**).

Figura 24. Estructura menor de 1 metro de altura de muro.



B. Estructura de 1 a 2 metros de altura de muro

Es una estructura de mayor complejidad requiere una lámina de fierro de 1,5 - 2,0 mm de espesor y fierro angular de 50x50x3 mm que sustenten las láminas centrales, cimentadas sobre concreto armado (**figuras 25 y 26**).

Figura 25. Estructura para 1 a 2 metros de altura de muro.

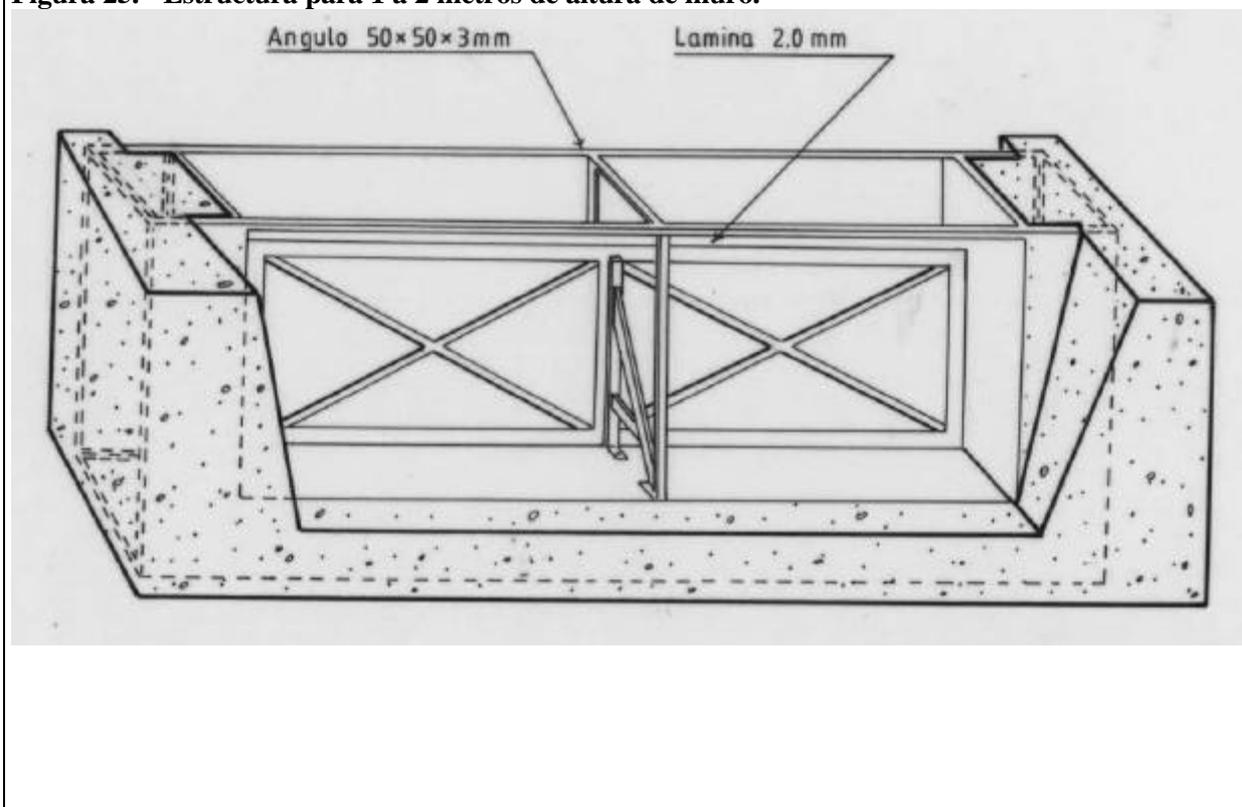
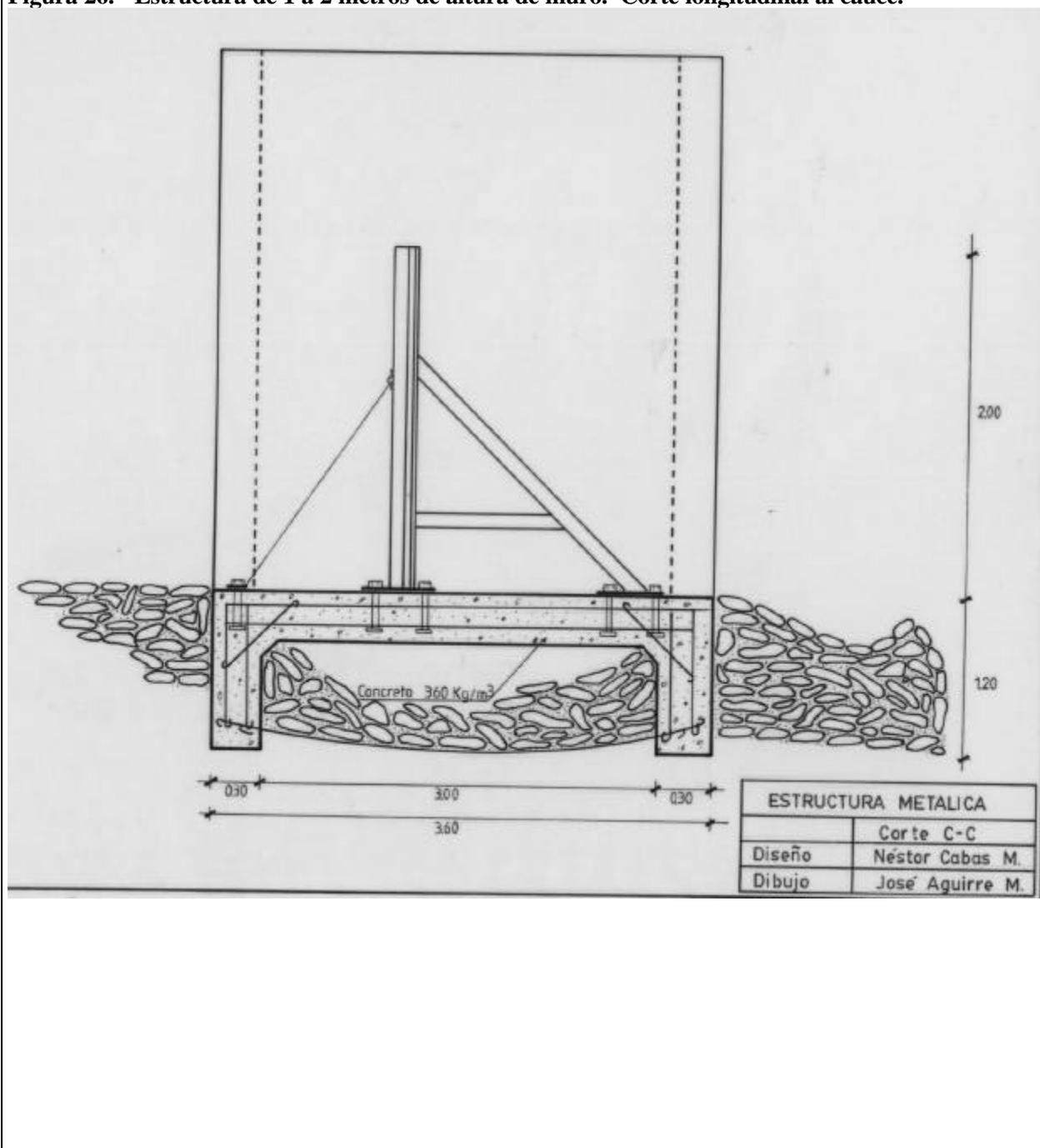


Figura 26. Estructura de 1 a 2 metros de altura de muro. Corte longitudinal al cauce.



C. Estructura de 2 a 2,5 metros de altura de muro

Formada por láminas de metal de 2,5 - 3 mm de espesor, con un metro de ancho por 2,5 metros de altura máxima, soportada entre pilares de fierro tubular 100x100x3 mm, anclados por pernos de 3/4 de pulgada sobre el concreto armado (**figura 27 y 28**).

Figura 27. Estructura de 2 a 2,5 metros de altura de muro.

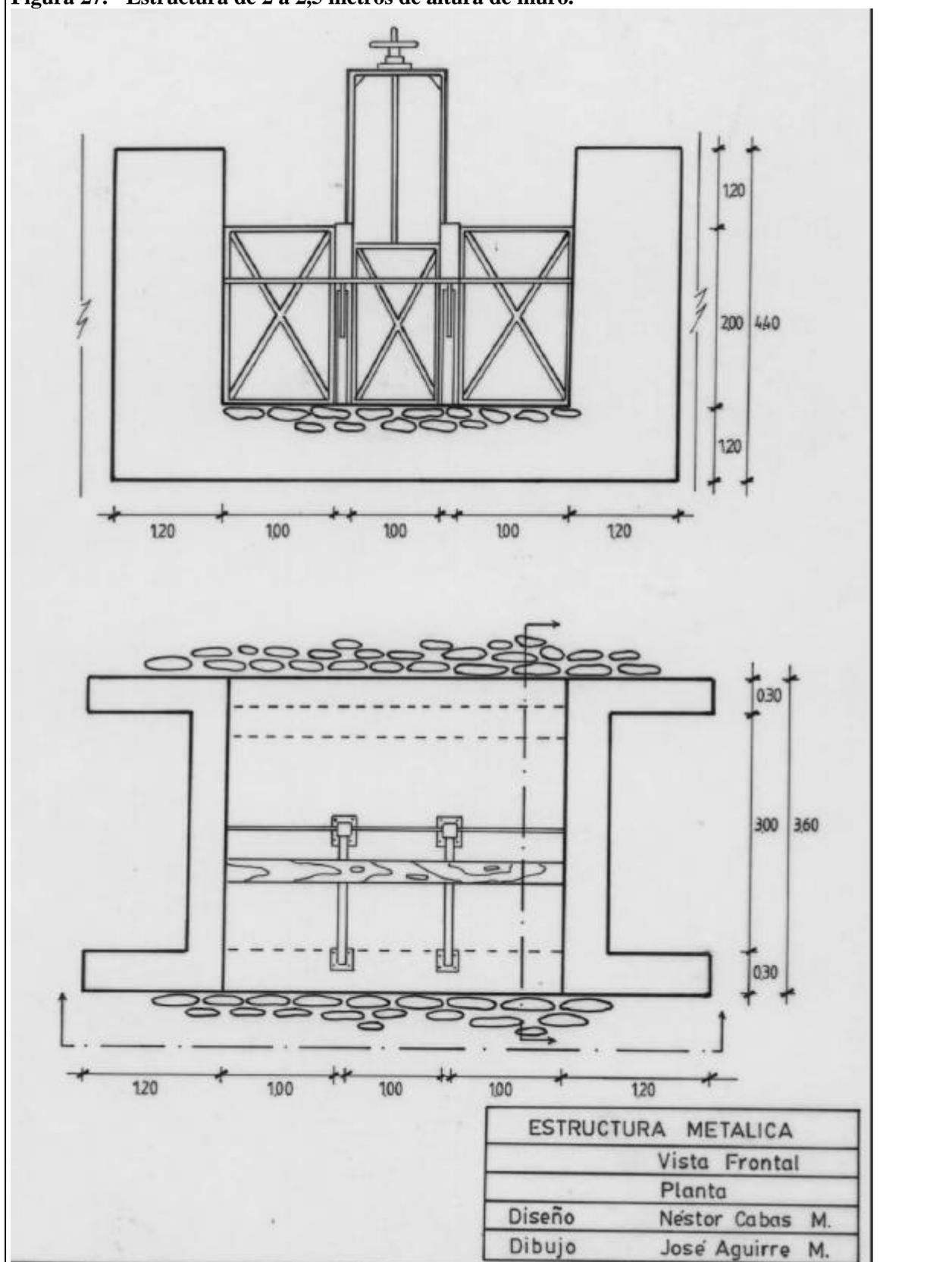
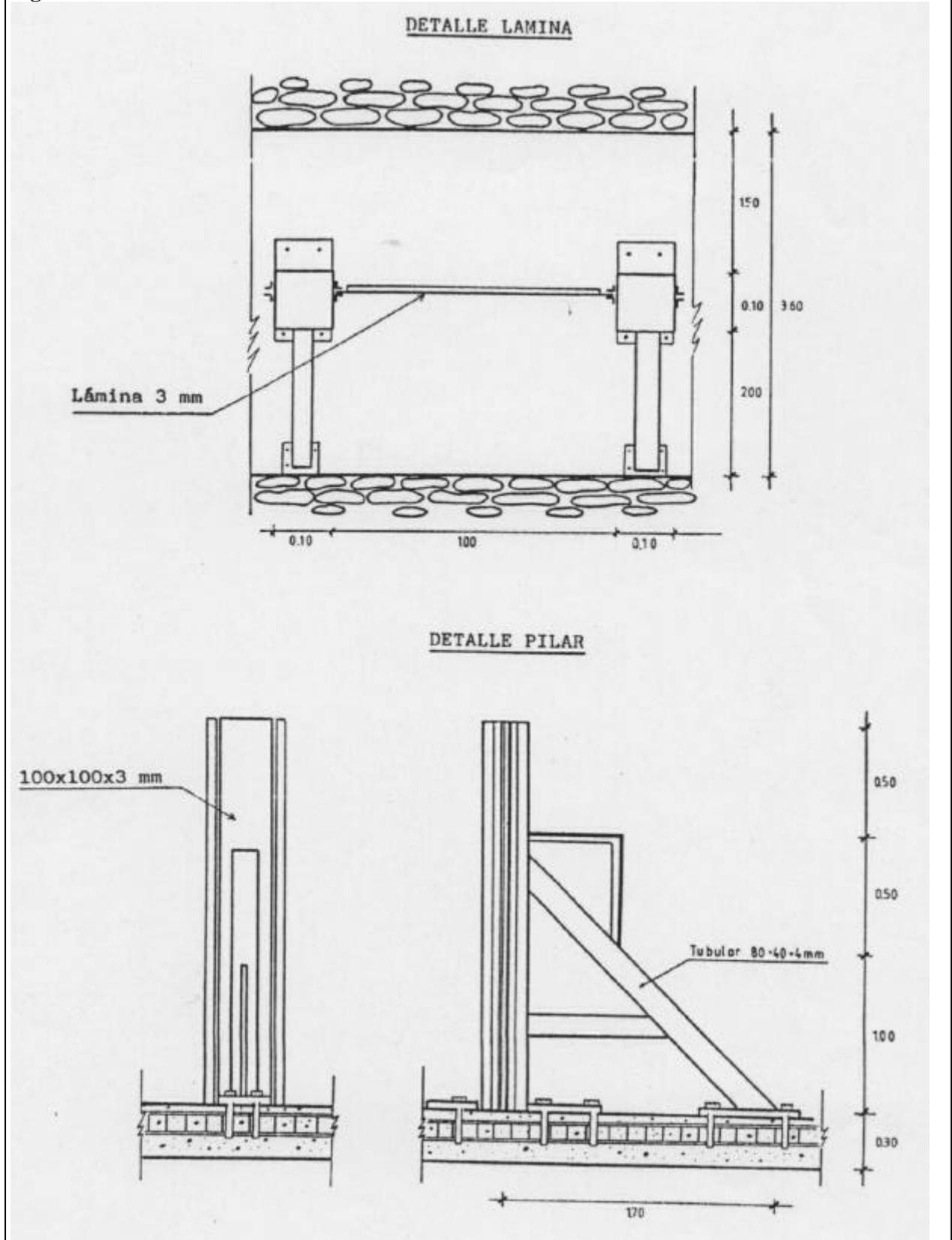


Figura 28. Detalles de la estructura.



D.El ancho de la estructura está determinado por el ancho de la microcuenca, adicionándose los paneles de 1 metro, tantas veces como se requiera (**figuras 29 y 30**).

Figura 29. Vista frontal de una estructura ancha.

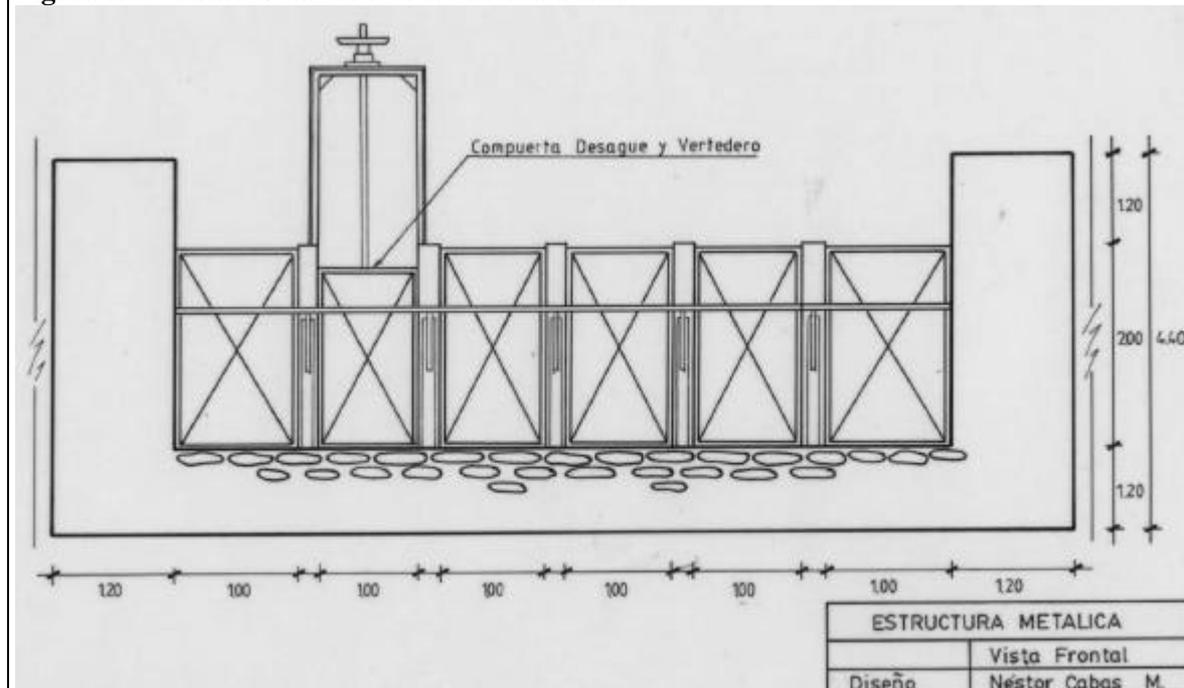
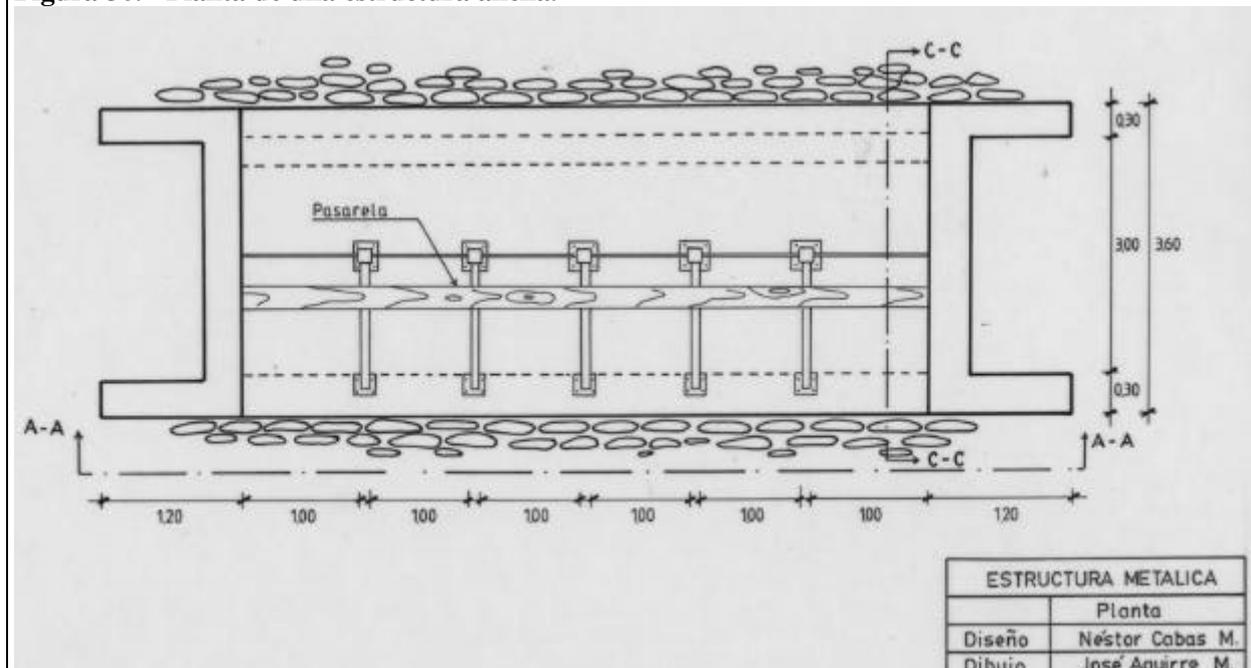
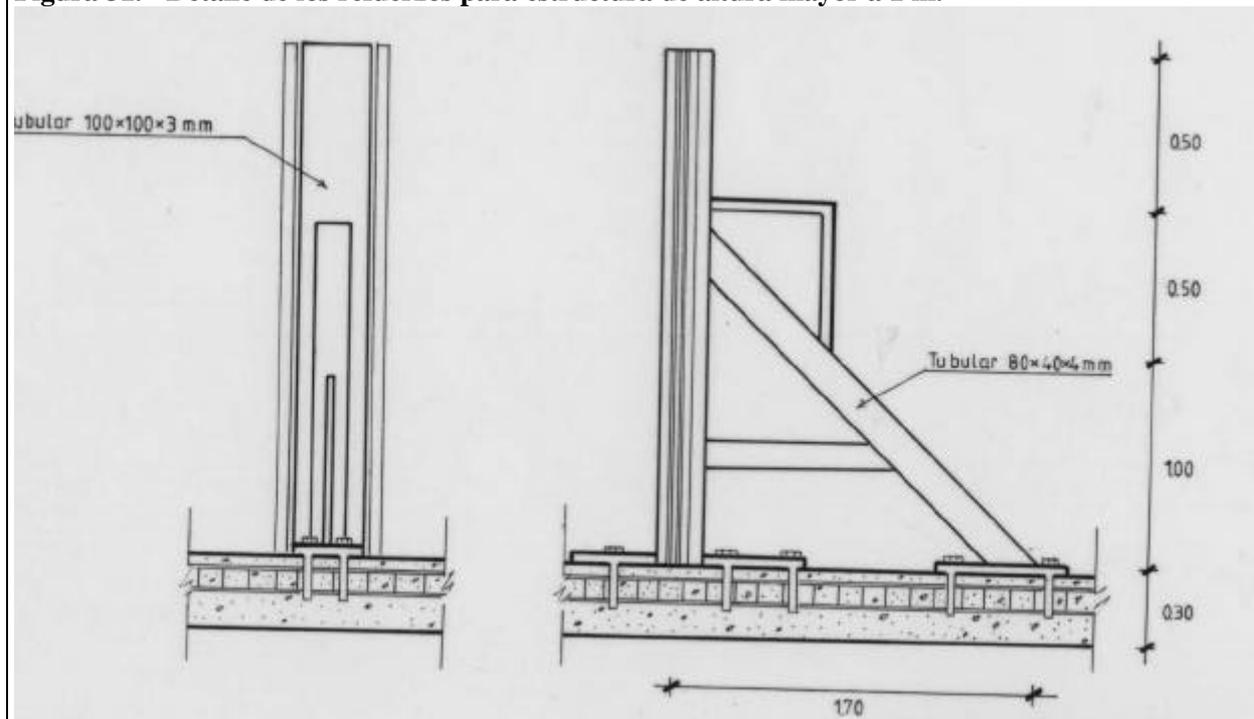


Figura 30. Planta de una estructura ancha.



E. Las estructuras cuando poseen una altura superior a 1 metro, requieren de refuerzos tales como fierro tubular 80x40x4 mm, en forma inclinada como se indica en la **figura 31**.

Figura 31. Detalle de los refuerzos para estructura de altura mayor a 1 m.

Construcción

Se limpia el sector del cauce, donde se instalará la obra, se hacen las excavaciones en la parte frontal y posterior de la obra, rompiendo el estrato impermeable, para anclar en ella la estructura de concreto armado. Los alerones laterales, se incrustan en la pared del talud del cauce efectuando sólo el corte que será llenado con concreto, para evitar espacios vacíos entre el concreto y la tierra que favorezcan la penetración del agua en la estructura, para una mayor estabilidad de ésta.

Consideraciones generales en la construcción:

- ❑ Selección adecuada del sector del cauce en función al caudal aportado por la vertiente.
- ❑ Disponibilidad del material a utilizar en la zona de construcción.
- ❑ Distancia del material a utilizar y el lugar dónde se construirá.
- ❑ Instalación oportuna y rápida, para terminar antes del período otoño-invierno.
- ❑ Construir en forma conjunta las estructuras de metal y concreto armado.

Mantenimiento

Anualmente, al terminar el período de riego y antes de la llegada de las lluvias, la estructura se desarma y se pinta con pintura antioxidante en las partes dañadas o raspadas y se guarda hasta la próxima temporada. Previo a instalar, se pinta con un color claro que permite detectar en forma visual, cualquier daño que la afecte.

Potencial Productivo

Esta tecnología ha permitido al mediano y pequeño agricultor del secano interior y costero de Chile el aprovechamiento adecuado de sus fuentes de agua para riego con alternativas productivas rentables (**cuadro 10**) destinadas en una primera etapa al autoconsumo y al mercado local, para posteriormente ingresar en forma competitiva al mercado nacional, mediante producción anticipada de productos hortofrutícolas, que obtienen buenos precios.

Cuadro 10. Alternativas productivas trabajadas en una hectárea regada con vertiente, en el secano interior VII Región.

Alternativa	Superficie (ha)
Viña Chardonnay	0,300
Viña Moscatel Rosada	0,10
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	1,024
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	0,024
Flores (<i>Gladiolus sp</i>)	0,024
Frambuesa (<i>Rubus idaus.L</i>)	0,200
Pepino (<i>Cucumis sativus. L</i>)	0,024
Melón (<i>Cucumis melo</i>)	0,024
Sandía (<i>Citrullus vulgaris</i>)	0,024
Total	0,744

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en la VII Región de Chile (Provincia de Cauquenes), desde el año 1992, está incorporando en el secano interior, tierras con potencial productivo de riego, con el aprovechamiento de agua de vertientes y norias, trabajando con alternativas productivas como, viña, vinífera, viña de mesa, lechugas, tomates, frambuesas y flores, durante los doce meses del año, armonizando el uso del agua y el suelo de acuerdo a los requerimientos de agua y nutrientes de los cultivos mencionados. Se generó de esta forma una rentabilidad por hectárea aproximada de \$EE.UU. 6 200 (cuadro 11).

Esta sustancial diferencia definió la aceptación de la tecnología por parte del Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP), como solución individual a pequeños agricultores de la VII y VIII Regiones del Secano Interior y Costero, a través de créditos directos y subsidios a obras menores de riego. De igual forma, se han capacitado técnicos y profesionales para facilitar la rápida multiplicación de las acciones. Se espera beneficiar una superficie estimada de 60 000 hectáreas para atender a un número similar de familias, considerando también en ello, comunas de extrema pobreza como Chanco y Curanipe, que en la actualidad ya se están beneficiando con estas obras.

Grado de Complejidad

Requiere mano de obra calificada para su construcción y armado, su sistema de operación, una vez instalada, es sencillo y rápido. El agricultor al introducir las nuevas alternativas productivas, debe ser capacitado adecuadamente.

Limitaciones

No se puede instalar, de no existir vertientes que aporten su caudal en los meses de verano, al ser el área de acumulación de agua muy pequeña para guardar aguas escorrentía, en un volumen que permita satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos trabajados.

Impactos socioeconómico y ambiental

Costo y Retorno

El **cuadro 11** presenta los márgenes brutos al trabajar el sistema de aprovechamiento de agua de vertiente mediante sistemas de riego presurizado. La instalación del sistema considera la construcción de la obra de captación (cuando se requiera), con una vida útil de 40 años y, la renovación del sistema de riego por cinta cada 2 años (vida útil).

Cuadro 11. Margen bruto de alternativas productivas trabajadas en una hectárea regada con vertiente en el secano interior VII Región.

Alternativa	Margen bruto \$EE.UU.	\$EE.UU.	Superficie Trabajada, ha
Viña Chardonnay	7 000	2 100	0,300
Viña Moscatel Rosada	5 000	1 000	0,100
* Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	---	500	0,024
* Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	---	1 600	0,024
* Flores (<i>Gladiolus sp</i>)	---	400	0,024
* Frambuesa (<i>Rubus idaus.L</i>)	4 000	400	0,200
* Pepino (<i>Cucumis sativus. L</i>)	---	100	0,024
* Melón (<i>Cucumis melo</i>)	---	100	0,024
* Sandía (<i>Citrullus vulgaris</i>)	---	100	0,024
Total		6 200	0,744

Nota: En el cálculo del margen bruto se consideró el costo de riego e invernaderos.

* Bajo plástico superficie (6x20 m)

Generación de Empleos

Requiere en una hectárea 200 días/hombre por año (grupo familiar).

Sostenibilidad

El sistema será sostenible, mientras se mantenga el mercado de los productos a regar, lo que implica un continuo análisis del mercado local y nacional, para seleccionar los rubros a trabajar.

Descripción de Casos

Lugar y Fecha

Esta tecnología se inició en la comuna de Cauquenes, VII Región de Chile, en la temporada agrícola 92-93. Actualmente se está multiplicando a través de las empresas de transferencia de tecnología que trabajan en el secano interior y costero de la VII y VIII Región.

Resultados en la Producción

Los sectores que se han beneficiado comprenden suelos de secano incorporados a riego, lo que significa un incremento de la producción que en el secano era de \$EE.UU. 50 por hectárea a \$EE.UU. 6 200 por hectárea.

Dirección para Consultas

INIA

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

Casilla 165

Cauquenes, Chile

Teléfono: (73) 512260

Fax: (73) 512502

METODOLOGÍA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL EN MALLINES DE LA PATAGONIA, ARGENTINA

*Raúl Roberto Morales,
INTA, Centro Regional Patagonia
Proyecto de Prevención y Control de la Desertificación en la Patagonia
Argentina*

Antecedentes históricos

En la Región Patagónica en la República Argentina, los mallines (vegas) constituyen los ambientes de mayor potencial para la actividad pecuaria, en consideración a la cantidad y calidad de forraje de las especies vegetales que en esas unidades crecen. Ofrecen además condiciones más benignas por su ubicación con respecto al entorno que los rodea y por sus geoformas brindan mejor protección a la crianza del ganado en general.

Los mallines se distribuyen en las áreas ecológicas de Cordillera, Precordillera, Sierras y Mesetas y Estepa Magallánica. Se estima en el 1,5% la superficie ocupada por estas unidades fisiográficas. En el área ecológica de Sierras y Mesetas este porcentaje sería mayor del orden del 3,0%.

Existen numerosos trabajos que han aportado información sobre estas unidades fisiográficas sobre suelos, vegetación respuestas a fertilizantes y enmiendas, condición del pastizal, productividad, manejo del agua, valor nutritivo de las especies forrajeras, ecología, dieta, y densidad de herbívoros silvestres entre otros aspectos.

Sobre los aspectos hidráulicos planteados no se han encontrado antecedentes, en especial en lo referente a la dinámica de los flujos estacionales, áreas de recarga y descarga, profundidad de acuíferos, conductividad hidráulica y transmisividad, que se consideran esenciales para interpretar y definir la mecánica de flujos que gobiernan a estas unidades.

Aspectos Técnicos

Descripción, del recurso hídrico y la condición mallín

Los mallines deben su condición a la mayor disponibilidad hídrica, lo que determina un régimen ácuico de humedad en el suelo a diferencia del de estepa, que es xérico y hasta arídico.

Estas unidades fisiográficas tienen su origen en el aporte de las aguas provenientes de los acuíferos: artesiano y freático, mediante la recarga ascendente del primero y lateral del acuífero libre, sobre áreas relativamente bajas.

Además de la recarga subterránea los mallines se encuentran sometidos a condiciones hidrológicas de superficie cuyos aportes principales son las nievas y las lluvias, que actúan sobre relieves normales y ligeramente cóncavos originando los cauces de escurrimientos superficiales.

La recarga superficial proveniente de la nieve y de la precipitación por lluvia ocurre en otoño–invierno. Esta condición determina en las unidades un exceso de la disponibilidad hídrica a “destiempo”, cuando la vegetación está en receso.

El anegamiento temporal provoca una disminución en la capacidad productiva de los mallines al restar en forma significativa áreas de pastoreo. Sin embargo, se considera que el aspecto de mayor importancia es la fuga de los caudales que se pierden, sin poder ser almacenados en el suelo para que las especies vegetales lo utilicen en la época de crecimiento.

El reconocimiento y evaluación de los aportes hídricos que fluyen a los mallines subterráneos o superficiales, conforman el aspecto más relevante cuando se quiere maximizar el uso del recurso. Pero un planeamiento en forma conjunta con los recursos suelos y pastizal natural es imprescindible cuando se desea lograr la potencialidad integral de los recursos en juego.

Ubicación

Como regla general podemos decir que en la Región Patagónica la calidad del agua que escurre en mallines es excelente para riego y los valores de conductividad eléctrica oscilan en el orden de los 240 - 300 mmhos/cm.

Es necesario destacar que en las zonas costeras de la Patagonia la formación de los mallines se manifiesta por aportes de agua freática surgente cuya calidad es menor y los valores oscilan entre 960 y 3900 mmhos/cm.

Cuando nos referimos a la calidad del recurso agua con fines de riego necesariamente debemos evaluar la calidad del suelo al someterlo a un cambio de régimen hídrico. Los suelos de la costa patagónica en su formación han sufrido gran influencia por la intrusión de agua de mar dado por el flujo y reflujos de mareas, lo que determina que la condición limitante al riego sea el suelo por el gran contenido de sales solubles que presentan.

Lo expuesto lleva a considerar que para emprender en cualquier regadío, los recursos suelo y agua deben evaluarse en forma conjunta con la finalidad de inferir el proceso evolutivo y, la tendencia, con el objetivo fundamental de mantener la sostenibilidad del sistema.

Existen trabajos en mallines que han presentado condiciones de salinidad y alcalinidad de suelos. Estos casos se han visto en los cursos temporarios, asociados a cambios estacionales, que al aumentar la temperatura y la intensidad de los vientos generan gradientes que favorecen el proceso de capilaridad y en consecuencia la acumulación de sales en la superficie.

Los deshielos de primavera incrementan en principio los caudales erogados en forma casi constante, hasta producirse por variaciones bruscas de temperaturas e intensidad de los vientos las crecidas cuyos derrames se desplazan inundando importantes áreas de los mallines en forma esporádica.

Al avanzar la estación, los caudales disminuyen hasta llegar al mínimo (estiaje). En las condiciones mínimas, sólo se produce flujo superficial en los cauces localizados topográficamente en los sectores más bajos del mallín.

El caudal disponible permite dimensionar la superficie factible de dotar de agua en función de la demanda estacional de los cultivos a implantar.

Es posible diseñar un sistema de riego que permita aumentar en forma eventual la superficie a regar utilizando los caudales de crecidas o aquellos que superen el módulo. En este caso la selección de las especies a regar deberán ajustarse a un régimen hídrico compatible con los excedentes de agua temporarios.

Existen mallines cuyos aportes hídricos no son permanentes, pero que por la magnitud de los caudales de escorrentía en determinada época del año merecen ser considerados y otorgarles las características de los eventuales ajustando las condiciones de diseño y la selección de las especies a regar.

El máximo aprovechamiento del recurso hídrico se logra si es factible la construcción de una pequeña presa que permita el embalse de los excedentes hídricos que escurren anualmente. Para ello es necesario que las condiciones hidrogeológicas del lugar permitan definir el sitio de cierre que reúna las condiciones técnicas para levantar el muro de presa.

Diseño y Construcción

Caracterización hidráulica de los mallines

A partir del reconocimiento preciso de la distribución y ubicación de las áreas con diferente contenido de agua en el suelo y aquellos sectores inundados, se está en condiciones de planificar la redistribución del agua con el objetivo de ampliar la superficie útil del mallín al reducir las zonas inundadas.

En la Estación Experimental Agropecuaria Santa Cruz, Argentina, la Sección de Recursos Hídricos ha elaborado una metodología de trabajo que presenta cierta similitud a la utilizada en los valles irrigados para la obtención de la información que se considera necesaria para diseñar sistemas de riego ajustada a las condiciones de los mallines.

El método incluye la planialtimetría, hidrología superficial, dinámica del acuífero freático (hidrogeología), y planeamiento del sistema de riego tipo “mallín”.

A. Planialtimetría del área

Definida la elección del área de trabajo se procede a construir una grilla (malla) de puntos en ambos sentidos del plano materializados en el terreno con estacas. La dimensión de la cuadrícula se ajusta a las condiciones del relieve y debe ser tal que los puntos relevados reflejen con precisión la topografía del área .

El levantamiento topográfico se realiza con nivel o teodolito tomando lecturas de “suelos y estacas” que en gabinete son transformadas en cotas referidas a un plano visual arbitrario o en el caso de disponer información de la cota natural a ésta.

Con la información obtenida en el campo se procede en gabinete a la confección de las cartas topográficas del área relevada. Las isolíneas se trazan a una equidistancia de 0,10

metros entre sí con la finalidad de que el mapa topográfico refleje las condiciones “reales” del mallín.

La carta topográfica es el plano base al que se agrega información adicional tales como caminos, límites (alambrados), cursos superficiales, puntos fijos, localización de probables sitios para construir obras de arte y otros aspectos que se consideren útiles para el diseño del proyecto de riego.

Con referencia a la escala de mapeo a utilizar se asume como criterio general la condición de semidetalle a detalle y esta decisión está relacionada con la dimensión del área a relevar y los detalles de las obras a construir que integran el proyecto a ejecutar.

B. Hidrología superficial

En la Región Patagónica existe una carencia extrema de información hidrológica a nivel de medianos y pequeños cursos, que son los que interesan al tratar el aprovechamiento de mallines.

En general podemos decir que la Ex-Empresa Agua y Energía, dispone de información sobre los grandes cursos en los cuales se ha definido la posibilidad y en ciertos casos la factibilidad del uso del recurso agua para generar energía eléctrica.

La ausencia de antecedentes hidrométricos continuos determina la necesidad de realizar mediciones esporádicas (aforos), que hacen riesgosa la toma de decisiones cuando se requiere construir pequeñas presas para maximizar el uso del recurso hídrico aplicado al sector agropecuario.

En el caso que nos ocupa prácticamente no existen antecedentes y las referencias se obtienen de los pobladores y de mediciones de caudales estacionales, con la finalidad de lograr una aproximación cierta de los caudales que escurren.

El Servicio Meteorológico Nacional dispone de información sobre pluviometría y nivometría de la Región Patagónica, que es de suma utilidad cuando la microcuenca en la que se localiza el proyecto, está inter-relacionada con las cuenca media y alta.

Delimitado el sitio se inician los reconocimientos para acceder a una visión general del área y detectar el número de cursos que surcan el mallín, apreciar cualitativamente los caudales de escorrentía y reconocer los probables sitios para efectuar los aforos. Estos se realizan mediante aforadores portátiles tipo Cipolletti (trapezoidal) o Thompson (triangular).

Para determinar la calidad del agua se toman muestras que son enviadas al laboratorio para su análisis químico, cuantificando aniones y cationes, pH, conductividad eléctrica y valor RAS (Relación Adsorción de Sodio), que definen su aptitud para riego.

Las determinaciones hidrométricas permiten cuantificar las entradas y salidas de caudales en el mallín. Definen para la estación crítica (máxima demanda) el caudal mínimo disponible que en función del requerimiento del pastizal natural o de cultivos introducidos, y limita la superficie factible de regar en forma permanente.

Los excesos de agua que escurren por el mallín, es decir los caudales que superan el “módulo” pueden ser utilizados con un buen criterio, aumentando la superficie con dominio de agua mediante la construcción de obras de arte y un sistema de distribución del agua. Se acompaña con una selección de cultivares que necesitan un menor requerimiento hídrico.

Es importante, además, cuantificar los aportes provenientes de precipitaciones níveas y pluviales mediante la instalación de instrumental para su medición. Estos aportes son difíciles de cuantificar en el medio patagónico y rara vez se cuenta con la información. Es posible que las estaciones automáticas en el futuro faciliten la tarea.

C. Hidrología subterránea

Los estudios topográficos están dirigidos fundamentalmente a lograr la caracterización de las principales variables que gobiernan el flujo hidrodinámico del acuífero superficial o libre.

Lo expuesto no excluye la posibilidad de explorar los aportes de acuíferos artesianos mediante la instalación de piezómetros.

El acuífero superficial es relevado mediante perforaciones o pozos de observación cuya profundidad sea tal, que asegure en la época de libre de recarga la toma de datos para confeccionar las cartas de isohipsas y red de flujos, de isóbatas y de drenaje natural.

La dimensión de la cuadrícula de perforaciones será aquella que permita mantener la continuidad de las variables para definir con precisión las áreas de recarga y descarga en el acuífero superficial. Cada pozo de observación es acotado mediante estaca colocada en la inmediata vecindad de la perforación.

En el acuífero libre se procede a la determinación de la conductividad hidráulica horizontal por el método del pozo barrenado. En presencia de capas de permeabilidad restringida y posibles aportes de acuíferos artesianos, la conductividad hidráulica vertical de la capa confinante es determinada por el método del piezómetro.

La toma de datos en las perforaciones o pozos de observación se efectúa en época libre de recarga de cualquier tipo y la frecuencia dependerá de las características del material del acuífero.

Los datos procesados dan origen a las cartas de isohipsas y red de flujos, que permiten reconocer las áreas de recarga y descarga del acuífero y dan una visión cualitativa de la homogeneidad del material que conforma el acuífero.

Se obtienen también para cada lectura los planos de isóbatas o de isoprofundidad de la napa freática, que delimitan las subáreas del mallín sometidas a condiciones críticas por exceso de humedad y limitantes para el normal desarrollo del pastizal natural o introducido, por la cercanía del manto freático a la superficie del suelo.

El descenso del manto freático producido entre dos observaciones consecutivas en los pozos que integran la grilla de puntos relevados establece la capacidad natural de drenar, que posee el acuífero.

Al efectuar las perforaciones se extraen muestras de agua freática que son analizadas químicamente para conocer su composición e inferir el comportamiento al modificar sus condiciones hidrológicas.

Para conocer el comportamiento de los suelos en condiciones de regadío y otorgar dimensiones a los espacios entre dos regueras consecutivas trazadas en curvas de nivel, se realizan ensayos por el método de los anillos, que permiten reconocer la velocidad de infiltración, infiltración básica, tiempo de riego y lámina, entre otras variables de interés.

El perfil de los suelos que componen la unidad se reconoce mediante calicatas y sus horizontes son muestreados para su posterior análisis físico-químico y conocer su aptitud.

Criterios ingenieriles del proyecto.

Se sustentan en la interrelación de los estudios señalados y criterios que vinculan íntimamente las variables básicas involucradas, agua, suelo y vegetación cuando se trata de regar terrenos en ambientes de relieves serranos o montañosos.

La planialtimetría juega un rol importante al definir el sitio de toma y derivación de las aguas hacia el área del proyecto. Las pendientes longitudinales y transversales de la zona a irrigar tienen marcada incidencia al trazar los canales y regueras para la distribución y aplicación del agua.

La configuración del mallín y la disposición que adopta el curso principal en el interior de las unidades determinan por sí en muchos casos, el tipo de diseño de riego a adoptar, de canales periféricos o de derivaciones laterales sobre el curso principal que dan origen a las regueras.

La disponibilidad hídrica, su distribución estacional, calidad y la aptitud de los suelos para riego otorgan la dimensión al proyecto.

Potencial de Producción

El sistema de riego descrito en consideración a su difusión en los ambientes señalados se le denomina “sistema de riego mallín”.

Como criterio general, podemos decir que la topografía, la geoforma de los mallines, el caudal disponible, la calidad del agua y del suelo, determinan la potencialidad de producción de éstas unidades cuando existe un planeamiento que permita la optimización del uso de los recursos involucrados.

Es importante conocer la estacionalidad del curso, si es permanente o transitorio y las características del mallín desde el punto de vista topográfico, tanto transversal o longitudinal. El primer aspecto influye en la elección del sistema de distribución del agua, cuando las pendientes transversales superan el 8%. En este caso las regueras de distribución del agua

permiten un riego subsuperficial, dependiendo el distanciamiento entre regueras de las características del perfil del suelo.

Si la unidad presenta una topografía relativamente plana (2-3 por mil) en sentido longitudinal, las regueras se construyen en curvas de nivel y el distanciamiento no supera los 15 a 20 metros entre sí. El riego en este caso se otorga por desborde de las zanjas que se construyen con pendiente “cero”.

Independientemente de la elección impuesta por las condiciones topográficas, ambas variantes tienen por lo general canales periféricos principales en cada margen cuando el curso se desplaza en el interior del mallín. Desde el o los canales principales se originan las regueras.

En el caso de pendientes transversales que superen el 10%, el propio canal principal se comporta como una gran reguera al suministrar el agua en forma subsuperficial. La superficie humedecida en este caso, alcanza una dimensión que dependerá además de la pendiente de las condiciones físicas del suelo.

Desde los canales principales nacen las regueras trazadas en curvas de nivel con pendiente prácticamente a “cero”. La entrada del agua se regula en oportunidades con pequeñas compuertas o simplemente “piqueras” o boquetes.

Finalizada la construcción de las regueras se procede a un emparejamiento que elimina los microrelieves del terreno con una mínima remoción del suelo. Esta operación puede efectuarse con la pala de arrastre o con un bastidor con cuchilla de corte accionado hidráulicamente.

Con las labores de sistematización finalizadas y obras de arte construidas se prueba el sistema con la finalidad de detectar fallas y proceder a su corrección.

Cuando las condiciones del terreno y las climáticas lo permiten se inicia en las áreas preparadas, la siembra con especies de gramíneas y leguminosas.

Complejidad

La metodología que se propone se ajusta a las condiciones del relieve de los ambientes naturales mallinosos de la Región Patagónica, factibles de aumentar su potencial mediante la adopción de una tecnología de uso del agua que requiere mínima remoción del suelo y la utilización de máquinas simples.

Las obras de arte que comprenden el proyecto, utilizan en su construcción en muchos casos, materiales locales lo que disminuye las inversiones.

Limitaciones

En diferentes reconocimientos se ha podido detectar en estos ambientes problemas de salinización, erosión hídrica, eólica e hidromorfismo que determinan una disminución de la receptividad ganadera por la desaparición de especies vegetales deseables por su alto valor nutritivo.

Por otro lado, existen áreas desérticas con alta disponibilidad hídrica superficial, factibles de ser transformadas en “mallines” mediante la aplicación controlada de láminas de agua. La rapidez del proceso de “enmallinamiento” depende en gran medida de las especies vegetales naturales o introducidas, de la temperatura, del tipo de suelo y de la frecuencia de los riegos. Esta última condición está ligada a la disponibilidad hídrica y sostenibilidad del ecosistema creado y a la calidad de los recursos empleados.

Sin embargo, a nivel general de la comunidad agropecuaria se observa falta de concientización sobre el rol que los mallines pueden aportar al proceso de producción si se los utiliza racionalmente.

Impactos socioeconómicos y ambientales

En los establecimientos destinados a la crianza de ganado lanar en la Patagonia argentina se carece de la tradición de riego. De allí la dificultad que en ciertas oportunidades se presenta para contar con personal idóneo en el manejo y distribución del agua.

Sin embargo, el uso del agua en forma extensiva en sistemas de regadío por enmallinamiento como el que se propone, es una de las alternativas que el productor vislumbra para detener el grave proceso de deterioro del pastizal natural. Al contar con áreas con alta receptividad forrajera, le permite disminuir la presión de pastoreo en áreas donde el pastizal natural está muy deteriorado.

Con respecto a la maquinaria empleada para llevar a cabo este tipo de proyectos es simple y el equipo “mínimo” para realizar las labores está compuesto por tractor con una potencia de 80-90 HP, zanjadora para enganche en los tres puntos (regueras) y de tiro con regulador de profundidad con posibilidades de variar el ángulo lateral y de ataque (canales principales). Se completa con una pala de arrastre accionada hidráulicamente con capacidad de trasladar 3 metros cúbicos. Este implemento es utilizado en la construcción de terraplenes en los canales principales y para eliminar el microrelieve en las fajas de terreno a sembrar.

Es necesario citar que en la Patagonia argentina, la oferta de servicios para realizar este tipo de proyectos es escasa. En principio se considera que son varios los factores que se asocian, entre estos: la dimensión territorial, la crisis por la que atraviesa el sector agropecuario en general debido a los bajos precios de la lana, la escasa posibilidad de acceder a créditos con tasas bajas y la escasa adopción de tecnologías conservacionistas tendientes a preservar y conservar los recursos naturales y por lo tanto la sostenibilidad de los sistemas de producción extensivos.

Descripción de casos

La lámina y la frecuencia de riego está definida por el requerimiento del pastizal natural y las especies exóticas introducidas. En la zona de Esperanza, centro sur de la provincia de Santa Cruz, en el área piloto 3 de Mayo durante 1991/92 (noviembre-marzo), la frecuencia fue mensual y la lámina de agua de 70 milímetros por riego, totalizando 350 mm en la temporada .

Para mayor información

Raúl Roberto Morales
INTA, Chubut

Trelew
Argentina

EMBALSE PARA RIEGO DE SALVACIÓN, 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;
Francisco Pinheiro de Araujo, Ing. Agr. B.Sc. Especialista en Transferencia de Tecnología.
EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE, Brasil.
Saúl Pérez Arana, Ing. Agr. Especialista en Cosecha de Agua de Lluvia;
DIRYA-DIGESA, Guatemala.

Antecedentes históricos

El aprovechamiento del agua que escurre en la superficie del suelo es una técnica de captación de agua de lluvia que data de 4 000 años atrás, siendo utilizada por los agricultores de la edad de bronce en el desierto de Negev en Israel. En ese entonces, recogían las piedras encontradas en la superficie del suelo para aumentar la cantidad de agua a escurrir; también, construían tanques de almacenamiento y diques divisorios con la finalidad de captar y conducir agua hacia las partes bajas de los campos para regar sus cultivos.

Uno de los primeros estudios sobre el aprovechamiento de la escorrentía superficial fue reportado por Kenyon (1929), citado por Myers (1967), utilizado hasta hoy, 65 años después.

Las técnicas existentes de captación, conservación y manejo del agua de escorrentía superficial fueron, en parte, desarrolladas en la antigüedad; sin embargo, en los últimos 20 años han recibido el impulso técnico y la difusión requeridos por los técnicos de las regiones desérticas y áridas del mundo. En el caso de Brasil, los estudios fueron iniciados en 1978 por el Centro de Pesquisa do Trópico Semi-Árido (CPATSA), de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), en Petrolina, Estado de Pernambuco.

Aspectos técnicos

Descripción

El Sistema de Aprovechamiento de la Escorrentía Superficial a través de Embalses de Salvación -SAES-ES-, es una técnica que tiene la finalidad de captar y almacenar, en reservorios (embalses) superficiales, el excedente de agua que se produce en la superficie del suelo después de cada evento lluvioso, para su utilización posterior; en el período sin lluvias durante la época lluviosa, como riego de salvación y, en la época seca, como riego complementario. Está constituido por tres elementos básicos: Área de captación (Ac), Tanque de almacenamiento (Ta) y Área de siembra (As), como se observa en la **figura 32**. Esta puede variar de acuerdo a la situación socioeconómica del productor y a las características edafo-climáticas de la propiedad rural (Silva y Porto, 1982).

Area de captación (Ac)

Es el área destinada a captar el agua de lluvia, con pendiente variable, limitada por un dique divisorio del agua (DDa), natural o artificial (**figura 32**). Esta área forma una microcuenca hidrográfica, cuya extensión media es de 3 ha pudiendo variar en función de la cantidad de agua que se necesite almacenar, del tipo de cobertura del área de captación y de la cantidad de lluvia esperada en la región.

Tanque de almacenamiento (Ta) o embalse

Es el componente del sistema destinado para almacenar el agua proveniente del área de captación. Su capacidad depende del tamaño del área de siembra y del déficit hídrico esperado durante el desarrollo fenológico del cultivo. El tanque de almacenamiento podrá tener diferentes capacidades, debiéndose tomar en cuenta la proporcionalidad entre los elementos del sistema: $Ac/Ta/As$.

Area de siembra (As)

Es el área utilizada para la siembra, principalmente de cultivos alimenticios. Debe prepararse con un sistema de surcos y camellones, para permitir la aplicación del riego de salvación y/o suplementario. El área de siembra se localiza aguas abajo del tanque de almacenamiento y su extensión debe ser sugerida por el productor, conforme a las necesidades de su familia y a su capacidad de inversión.

En la **Figura 33**, se presenta una alternativa desarrollada por el CPATSA, para la construcción de un embalse superficial, en la que se ha introducido una pared divisoria en el tanque de almacenamiento que permite reducir las pérdidas totales de agua hasta en un 50%.

Objetivo

Aprovechar las lluvias de alta intensidad y almacenar la escorrentía superficial producida, para su utilización posterior como riego de salvación y/o complementario, en un intento de reducir el riesgo de pérdidas causadas por la sequía, en los cultivos.

Ubicación y selección del área

A continuación, se describen los principales requerimientos técnicos para la implantación de la técnica a nivel de unidad de producción individual o comunitaria.

Suelo

Los suelos recomendados para la implantación del área de captación son, preferentemente los no aptos para la agricultura, someros, pedregosos o rocosos; mientras que los suelos del área de siembra deben ser fértiles y con profundidad no menor de 0,5 m. En cuanto al área para el tanque de almacenamiento, los suelos no deben ser muy porosos y permitir la excavación de, por lo menos, 1,0 m.

Figura 32. Modelo esquemático del sistema de aprovechamiento de la escorrentía superficial en embalses para riego de salvación por gravedad.

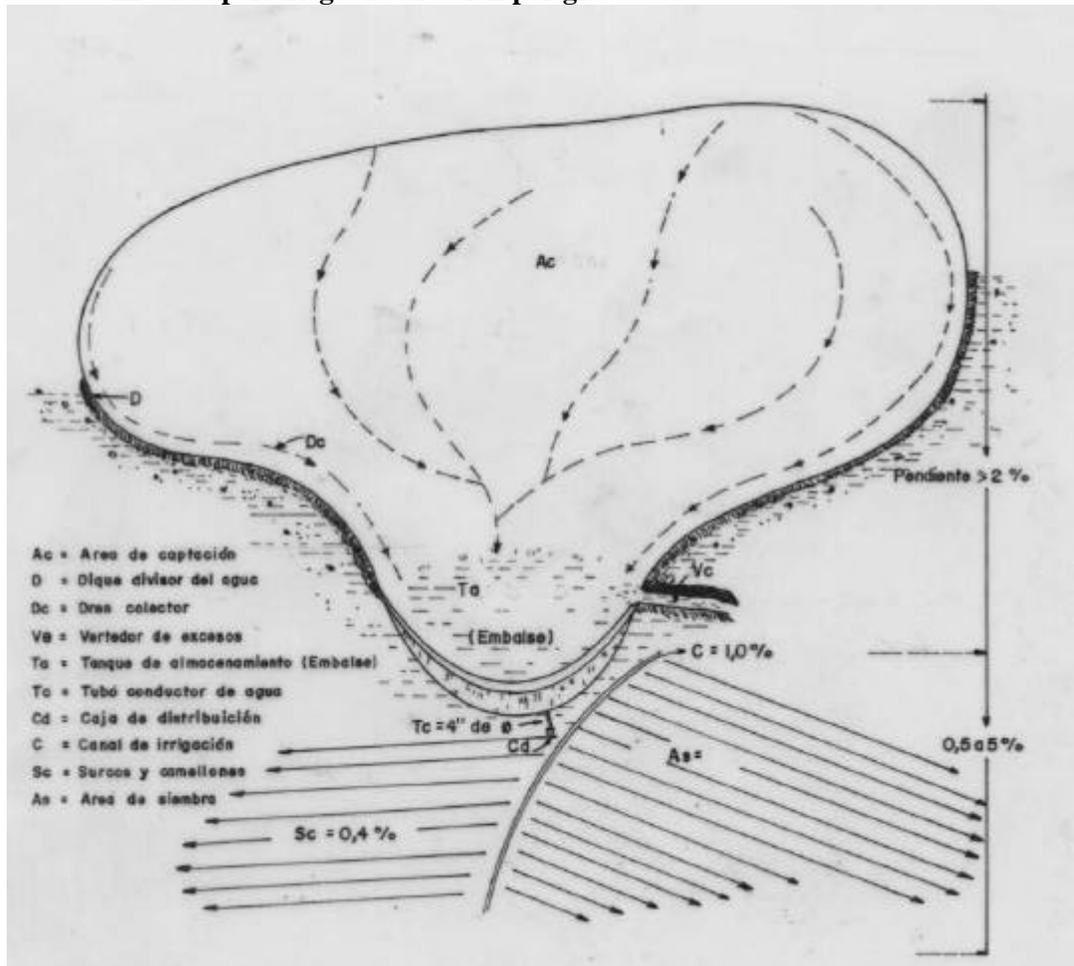
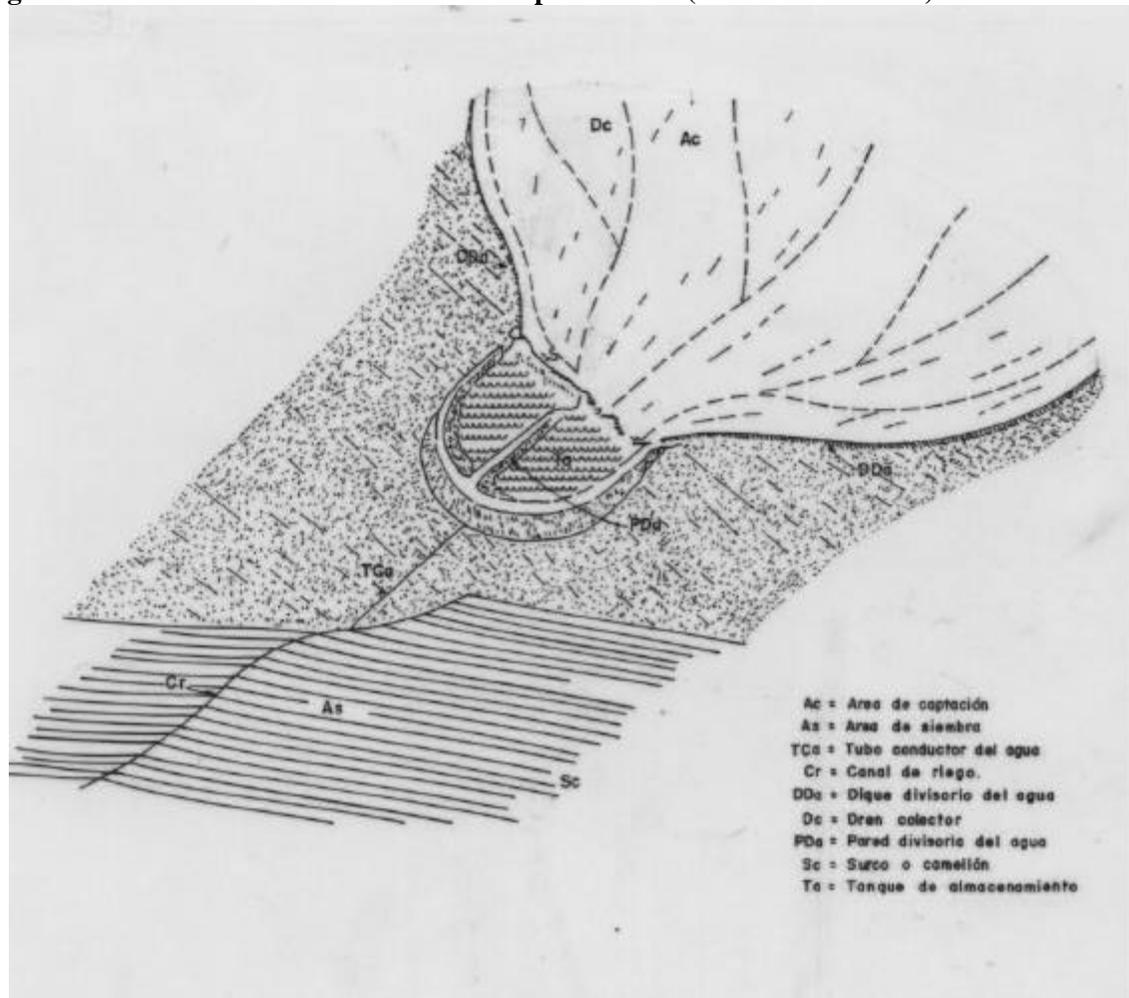


Figura 33. Embalse de tierra con doble compartimiento (Embalse SAES-ES).

Clima

Se recomienda el uso del SAES-ES en regiones de bajas precipitaciones, comprendidas entre 400 y 800 mm anuales. En estas zonas se presentan limitaciones para la agricultura dependiente de la lluvia.

Topografía

Para el área de captación, la implantación del SAES-ES exige una pendiente mínima del 2%, sin límite máximo para la misma. Las áreas del tanque de almacenamiento y de siembra deben tener una pendiente más suave, entre el 2 y 5%.

Con estos elementos en mente, se inicia la selección más apropiada para el sistema. Dentro de las diferentes etapas de implantación del SAES-ES, la selección del lugar es la más importante. Se ha observado que el funcionamiento de la técnica se optimiza, cuando el área seleccionada cumple con los requisitos exigidos por cada elemento básico del sistema (Ac, Ta y As), considerando al sistema como un todo y nunca cada parte en forma individual.

Inicialmente, se recomienda que la propiedad sea recorrida completamente, teniendo en mente la idea de un rectángulo con las dimensiones del sistema, observándose principalmente, la pendiente del terreno y tipo de suelo (**Figura 34**).

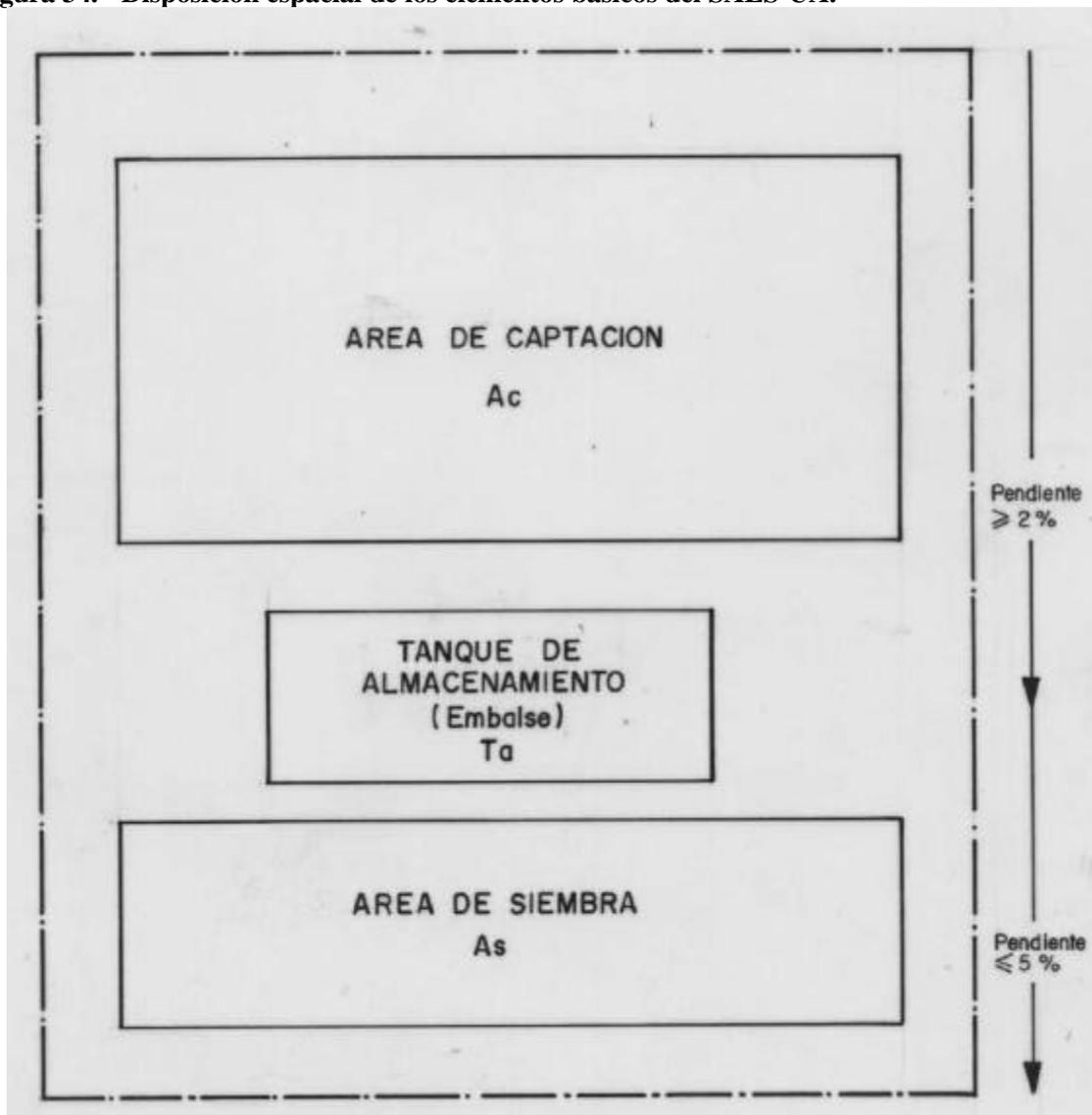
Se debe visualizar un terreno con pendiente suficiente para distribuir ordenadamente las áreas de captación, almacenamiento y siembra. Es importante que esta secuencia ocurra en el sentido de la pendiente, fijando el área de captación en la parte más elevada; el tanque de almacenamiento en la parte intermedia; y, el área de siembra, en la parte más baja del terreno. Esto dará la certeza de que el agua proveniente de la lluvia correrá hacia el embalse y que éste podrá irrigar el área de siembra por gravedad. No debe olvidarse que, mientras menor sea la pendiente entre el tanque de almacenamiento y el área de siembra, mayor será la distancia entre éstos.

Otro elemento que debe llamar la atención en esta fase es la proporción de arena existente en el suelo. Si el terreno es muy arenoso, no deberá utilizarse porque puede producirse un exceso de pérdidas por infiltración e inestabilidad del embalse. El SAES-ES más económico es aquel en el que los materiales arcillosos necesarios para su construcción, se encuentran en cantidades suficientes en el propio sitio.

Después de la selección preliminar del área, debe hacerse un reconocimiento más profundo del terreno, verificando a nivel detallado, el lugar destinado para el establecimiento de cada elemento básico del sistema.

Para efectuar una selección más detallada del área, se recomienda seguir los pasos que se describen a continuación:

Figura 34. Disposición espacial de los elementos básicos del SAES-UA.



A. Selección del área de captación (Ac)

El área de captación debe ser recorrida completamente, observando las líneas naturales de drenaje y su convergencia.

En cuanto a la topografía, es muy importante la observación de ondulaciones en el terreno. La presencia de pequeñas depresiones en esta área, provocarán una gran reducción en la cantidad de agua a captar, por apozamientos. Por otro lado, la pendiente del terreno no debe ser menor del 2%; pues, hasta el momento, no se tiene ninguna experiencia en áreas de captación con pendientes menores.

Por último, se deben recorrer las líneas naturales de drenaje con el propósito de determinar el punto de convergencia de las mismas (**figura 35**).

B. Selección del área del tanque de almacenamiento (Ta) o reservorio

Teniendo la idea del punto de convergencia de las líneas de drenaje, como se sugirió en el párrafo anterior, el área del embalse queda automáticamente seleccionada. De esta manera, el punto de convergencia del drenaje se convertirá en el centro del dique del embalse, tanto de largo como de ancho, en la mayoría de los casos.

En ese lugar, es conveniente hacer un muestreo del suelo, abriendo una calicata hasta la capa impermeable. Es recomendable que otras dos calicatas se abran hacia cada lado de la primera, a una distancia aproximada de 20 m cada una. Este muestreo puede hacerse también con un barreno, pero, se presenta el inconveniente de que los datos de los materiales constituyentes del suelo no son precisos (**figura 35**).

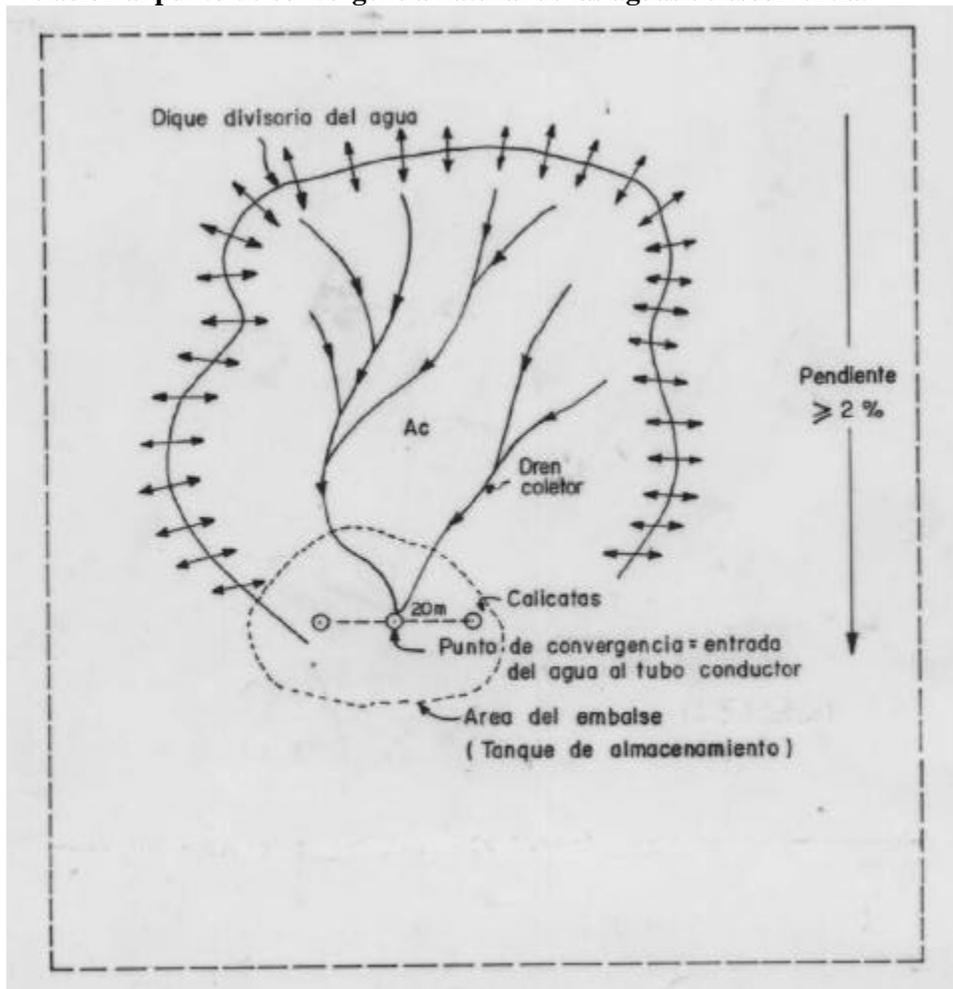
El muestreo es imprescindible, pues dará la idea precisa de la profundidad máxima del embalse así como de los materiales que se utilizarán en la construcción de la pared. Si al abrir las calicatas se determina que la máquina no puede excavar por lo menos hasta 1,0 m de profundidad, el área debe eliminarse.

No se recomiendan para la construcción del embalse, aquellas áreas donde hayan afloramientos de roca, suelos salinos o materiales que permitan infiltraciones excesivas como la arena y/o formaciones semejantes, generalmente muy porosas. Lo más apropiado es una capa natural de tierra de textura fina, donde la velocidad de infiltración básica en la profundidad máxima de la excavación con tractor de oruga, no sea mayor de 2 mm por día.

C. Selección del área de siembra (As)

El área de siembra debe estar próxima al embalse para que los costos de distribución del agua se reduzcan; también, debe ser uniforme para facilitar el establecimiento de los surcos y camellones. Deben evitarse áreas con ondulaciones acentuadas. Preferentemente, la pendiente del terreno deberá estar entre el 2 y 5% y los suelos deberán tener las siguientes propiedades:

Figura 35. Localización del Área de Captación (Ac) y del Tanque de Almacenamiento (Ta) con relación al punto de convergencia natural de las aguas de escorrentía.



Textura: variando entre franco arenoso y franco arcilloso, que proporcione una mayor retención de agua en el suelo para las plantas.

Profundidad: mínima de 0,5 m. Inferior a este parámetro elimina el área seleccionada.

Las áreas con afloramientos rocosos, con problemas de sales evidentes y/o sujetos a inundación, deben ser eliminadas. Es indispensable entrevistar al propietario del terreno o a una persona que conozca bien la propiedad, para obtener información sobre la posibilidad de inundaciones durante el período lluvioso, entre otras informaciones.

Diseños

Para facilitar la comprensión del dimensionamiento del SAES-ES, partiremos de un **ejemplo práctico**, con datos obtenidos en la región semiárida de Brasil, específicamente en la localidad de Petrolina, PE. En esta región, la precipitación media anual es de 400 mm., con el 50% de probabilidad de ocurrencia, con una deficiencia hídrica promedio, para los cultivos de maíz (*Zea mays L.*) y frijol caupí (*Vigna unguiculata*), provocada por la escasez de lluvia, de 100 mm durante todo el ciclo fenológico. Tomando en cuenta lo anterior, se parte de tres premisas:

1. Que 100 mm de agua almacenada por hectárea, a disposición del productor, son necesarios para reducir sensiblemente los efectos de las sequías prolongadas que acontecen durante el período lluvioso;
2. Que 1,5 ha sembradas con cultivos alimentarios son suficientes para que el productor tenga la alimentación básica de la familia y algún excedente que pueda vender para el financiamiento del sistema;
3. Que las pérdidas totales por infiltración y evaporación en el embalse sean correspondientes al 50% del volumen útil (Vu).

El primer paso consiste en el cálculo del volumen bruto (Vb) de agua a almacenar en el cual se incluyen las pérdidas totales de agua (PTA) en embalses durante el período de utilización del agua almacenada. Los datos utilizados en la fórmula, deben transformarse a metros, de la manera siguiente:

$$Vb = \frac{\text{Deficit (m)} \times \text{area de siembra (m}^2\text{)}}{\text{PTA (decimal)}}$$

$$Vb = \frac{0,1 \text{ m} \times 15\,000 \text{ m}^2}{0,5}$$

$$Vb = 3\,000 \text{ m}^3$$

El segundo paso consiste en el cálculo del área de captación que debe tener el sistema, para producir el volumen bruto de esorrentía que se necesita almacenar. La fórmula es la siguiente:

$$Ac = \frac{Vb}{C \times P}$$

donde:

- Ac = área de captación deseada (m²);
- Vb = Volumen bruto de agua que va a almacenarse en el embalse (m³);
- C = coeficiente de escorrentía superficial, estimado para Ac. (decimal);
- P = precipitación media anual de la región o el 50% de probabilidad (m)

Por lo tanto, en el caso específico de la región mencionada anteriormente, el volumen bruto (Vb) de agua necesario para el SAES-ES, es de 3 000 m³, considerándose el coeficiente C igual a 0,20.

Por consiguiente, se tiene:

$$Ac = \frac{3\,000\,m^3}{0,20 \times 0,4\,m}$$

$$Ac = 37\,500\,m^2$$

$$Ac = 3,75\,ha \gg 3,8\,ha$$

El coeficiente C depende de varios factores tales como: topografía, cobertura vegetal, tamaño del área de captación, textura y profundidad del suelo, contenido de materia orgánica, grado de compactación del terreno, porcentaje de humedad en el suelo, intensidad, duración y frecuencia de las lluvias.

Para concluir con el diseño del SAES-ES, se debe calcular el tamaño del reservorio o tanque de almacenamiento. De acuerdo con los datos anteriores, se necesita construir un embalse para almacenar un volumen de 3 000 m³. En primer lugar, se debe definir la forma del mismo. En general, los reservorios para riego de salvación son construidos de forma rectangular o semicircular. De acuerdo a la experiencia que se tiene, se sugiere que sea de forma semicircular, por ser más práctico en su construcción y presentar una reducción en el movimiento de tierra que debería hacerse si se construyera de forma rectangular. En trabajos desarrollados por el CPATSA, en el semiárido brasileño, se ha comprobado una economía de 15 horas de trabajo de maquinaria en la construcción de estos embalses en comparación con los de forma rectangular.

Para determinar el área del reservorio, se divide el volumen de agua requerido, entre la altura de la lámina de agua promedio que se almacenará en el tanque.

El cálculo de la lámina de agua promedio se hace de la siguiente manera: se sabe que la altura de la pared del reservorio es de 3,0 m; también se sabe que la excavación del cajón del tanque es de 1,0 m. Por otro lado, cuando el tanque esté lleno, debe tener una altura de pared expuesta en su interior (bordo libre), igual a 0,5 m. Por lo tanto, la lámina máxima (L_x) de agua en el reservorio es igual a la altura de la pared (AP), mas la profundidad excavada (PE), menos la diferencia de nivel (DN) entre el vertedor de excesos y la parte más alta de la pared.

Intentando facilitar la selección del C más adecuado para las diferentes situaciones edafoclimáticas del semiárido brasileño, se elaboró una tabla con los valores del coeficiente de escorrentía superficial, de acuerdo con las características del terreno del área de captación (**cuadro 12**).

Cuadro 12. Valores del coeficiente de escorrentía superficial (C), de acuerdo con las características del terreno del área de captación (Ac), estimados para el trópico semiárido brasileño.

Factores	Características del terreno que afectan C	C
Relieve	Plano; con pendiente media de 0 a 5%	0,10
	Ondulado; con pendiente media de 5 a 30%	
Infiltración	Elevada; textura de suelo franco-arenoso, suelos permeables	0,05
	Normal; textura de suelo media	0,10
	Lenta; textura de suelo arcilloso, suelos con capacidad de infiltración baja	0,15
	Suelos con capacidad de infiltración no apreciable	0,20
Cubierta Vegetal	Excelente; aproximadamente 90% del área cubierta con pastos y arbustos u otra cobertura semejante	0,05
	Buena; con 50% de área cubierta de pastos o cultivos alimenticios no limpios	0,10
	Regular; vegetación nativa escasa, rala, con apenas 10% de Ac con buena cubierta natural o artificial	0,15
	Baja; suelo desnudo, cubierta nativa bien escasa o rala	0,20

$$L_x = AP + PE - DN$$

Sustituyendo, se tiene:

$$L_x = 3,0m + 1,0m - 0,5m$$

$$L_x = 3,5m$$

Entonces, la lámina media (L_m) de agua en el reservorio es igual a la lámina máxima (L_x), dividida entre dos; o sea:

$$L_m = \frac{L_x}{2}$$

$$L_m = \frac{3,5m}{2} = 1,75m$$

Ahora, ya se tiene el volumen de agua y la lámina media de agua que se va a almacenar, lo que permite el cálculo del área del semicírculo del reservorio, con base en la relación del volumen y área:

$$Area = \frac{Volumen (m^3)}{Altura (m^2)}$$

$$Area = \frac{3\,000,0m^3}{1,75m} \gg 1714,0m^2$$

Por otro lado, el área del semicírculo está dada por:

$$Area \text{ del semicirculo} = \frac{\Pi R^2}{2}$$

de donde:

$$R = \sqrt{\frac{Area \times 2}{\Pi}}$$

$$R = \sqrt{\frac{1714m^2 \times 2}{3,1416}}$$

$$R = 33,0 \text{ metros}$$

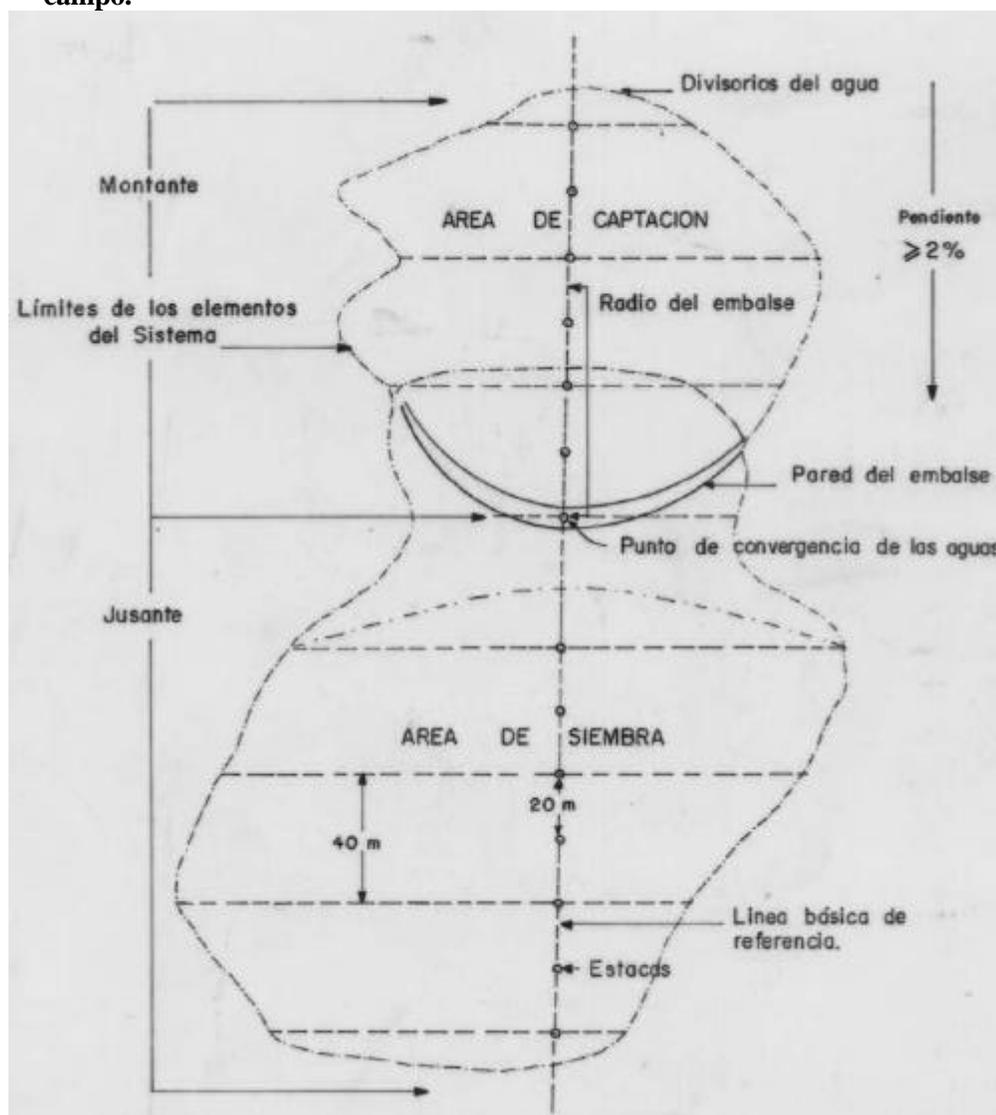
Considerando un incremento del 10%, se tiene que el reservorio debe ser un semicírculo con radio de 36 metros.

Trazo

Después de definir el área donde se localizará el sistema, debe hacerse un levantamiento topográfico plani-altimétrico simple. La experiencia del técnico y el conocimiento del sitio podrían eliminar este paso en caso de extrema necesidad; sin embargo, se deben efectuar algunas verificaciones, como la pendiente de los elementos del sistema (A_c , T_a y A_s).

El instrumento de nivelación debe instalarse en el punto de convergencia de las líneas de drenaje natural del área de captación, trazándose, con estacas intercaladas a 10 m entre sí, una línea básica de nivelación. Esta línea básica de referencia constituye la espina dorsal de todo el sistema, dividiendo de mejor manera el área de captación, el tanque de almacenamiento (reservorio) y el área de siembra (figura 36).

Figura 36. Modelo esquemático de la localización de los elementos básicos del SAES-ES, en el campo.



El trazo de la línea básica y la nivelación de la misma, permite que se tenga un perfil del área del sistema. Luego, se debe hacer una nivelación de las líneas perpendiculares a la línea básica, conformando una malla de 40 x 40 m. No es necesario estaquear estas líneas, efectuando las lecturas de manera simple, corriendo la cinta juntamente con la mira.

Una vez calculadas las cotas del terreno, se puede dibujar el plano de planta del terreno, con curvas a nivel espaciadas 1 m donde se colocarán los elementos del sistema. Sin embargo, para poder efectuar la localización, es necesario demarcar cada uno de esos elementos (Ac, Ta y As).

Al inicio, en la estación definida como punto de convergencia, se trazan los límites laterales del elemento básico, que en este caso es el reservorio, el cual debe ser de forma semicircular. Partiendo del punto de convergencia, se demarca el largo del radio sobre la línea básica. Con una estaca en este punto y con la ayuda de una cuerda, se traza el semicírculo, colocando estacas cada 20 m a partir del punto de convergencia. Este será el extremo interno de la pared del reservorio. El otro extremo es definido por otro semicírculo paralelo al primero, a una distancia de 7 metros.

Tomando como base la altura topográfica conseguida en el punto de convergencia de las aguas, se agrega a la misma 1 m, correspondiente al fondo del reservorio; buscando luego, en el área de siembra, el punto con cota igual a ese total. Este punto es donde la tubería que pasa por debajo de la pared del reservorio debe salir a la superficie del suelo. A partir de ese punto, por tanteo, se traza una curva de nivel con pendiente entre 0,8 y 1,0%, la cual se marca con piquetes. Esta es la dirección por donde pasará el surco principal que llevará el agua de riego a los demás surcos del área de siembra.

El último paso en lo referente al trazo del sistema, consiste en la demarcación de los límites del área de captación. Esta debe iniciar en uno de los extremos de la pared del reservorio, siguiendo los divisores naturales del agua, hasta alcanzar el otro extremo de la pared.

Construcción

Tanque de almacenamiento (Ta)

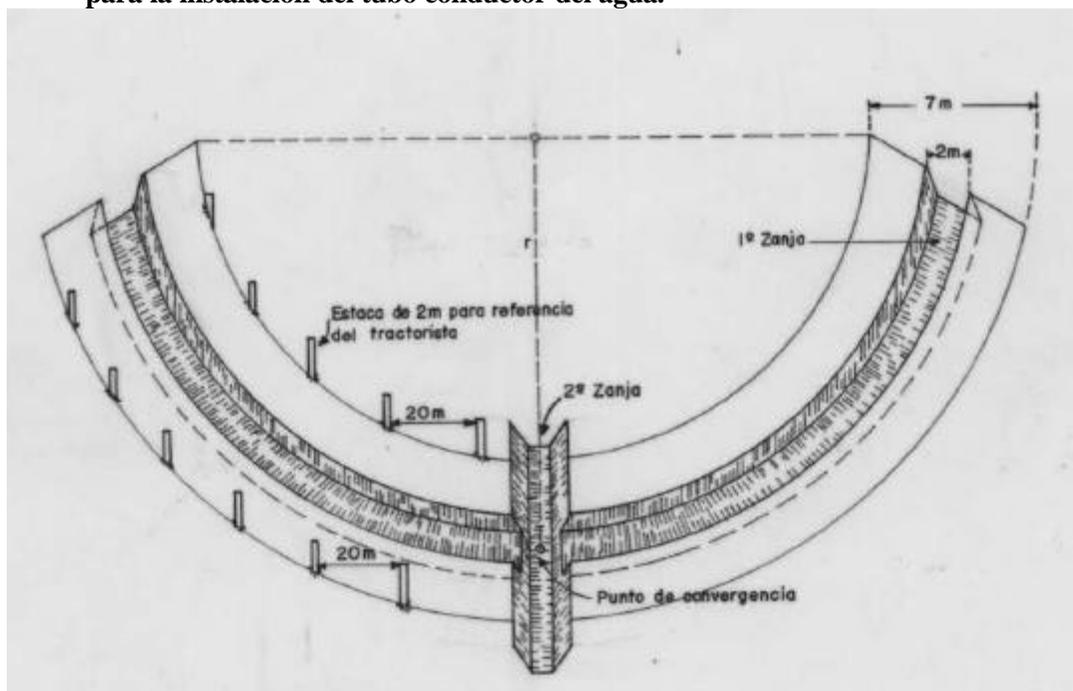
El primer elemento a construir es el reservorio o tanque de almacenamiento. Si es necesario, toda el área destinada para el sistema debe ser desmontada; el área que se cubrirá por el agua y la pared del reservorio debe ser desmontada y destroncada, eliminándose la primera capa del suelo de 0,0 a 0,20 m. Luego, debe hacerse un paso de rastra por toda el área del reservorio. Después del rastreado se hace la fundación del reservorio, la cual consiste en abrir una zanja de 2,0 m de ancho por 0,5 m de profundidad, a todo lo largo de la pared del mismo. La profundidad deberá ser suficiente hasta encontrar un terreno que ofrezca mayor resistencia a la infiltración del agua. Como la zanja tendrá una profundidad de 0,50 m y ya se ha retirado una capa de 0,20 m, se supone que, en la mayoría de los casos, esta profundidad de 0,70 m será suficiente. El ancho de esta zanja deberá ser el mismo que el de la cuchilla de la máquina que construirá el reservorio.

Debido a la extensión de la primera zanja (**figura 37**), la eficiencia de la máquina en el transporte del material es muy baja. Esto quiere decir que la cuchilla de la máquina alcanza su capacidad máxima de arrastre al principio de la zanja, perdiendo mucho tiempo en el transporte de los materiales hasta el final de la misma. Una manera práctica de aumentar esta eficiencia es haciendo la excavación de la zanja en tres intervalos, transportando el material de la fundación para la base del talud aguas abajo, a medida que se van excavando cada uno de los segmentos. Como este material es de buena consistencia, puede ser utilizado para la construcción de la pared del reservorio.

El paso siguiente consiste en la colocación del tubo para retirar el agua almacenada en el reservorio cuando se efectúe el riego de salvación. Este, es instalado inmediatamente después de la abertura de la primera zanja en la pared del reservorio; es decir, en otra zanja de 16 m de largo, 0,60 m de ancho y 1,0 m de profundidad con relación al nivel del terreno, abierta perpendicularmente a la primera. El largo está en función de la pendiente del terreno. En la **figura 37** se puede observar la disposición de las zanjas que servirán para la fundación de la pared del reservorio y para la instalación del tubo conductor del agua, respectivamente.

La segunda zanja se recomienda hacerla manualmente; pues, en la mayoría de los casos, es más económico que cuando se hace con la máquina.

Figura 37. Modelo esquemático de las zanjas que servirán de fundación para la pared del embalse y para la instalación del tubo conductor del agua.



Abierta la segunda zanja, se debe rellenar con un material de buena consistencia agregándole agua. Cuando el relleno haya alcanzado una altura de 0,40 m se abre otra pequeña zanja a nivel de 0,30 m de profundidad. En el medio de ésta se instala el tubo conductor de agua, el cual puede ser de hierro galvanizado o de PVC rígido de 4" de diámetro. Esto permitirá que, entre el tubo conductor de agua y el nivel del terreno original antes de haberse eliminado la primera capa de 0,20m de espesor, exista una diferencia de nivel de 0,90 m, precisamente en el punto de convergencia de las aguas. Se debe tener cuidado especial para la instalación del tubo conductor de agua, compactando bien el material y adicionando agua. Es recomendable hacer dos o tres amarres con arcilla alrededor del tubo conductor (**figura 38**).

Para permitir la salida del agua, se puede instalar en el extremo exterior del tubo (aguas abajo), una llave de paso de 4" de diámetro, como se indica en la figura 40. Tratando de minimizar los costos del SAES-ES, esta llave puede sustituirse por tubos de PVC que conecten los dos compartimientos del embalse al tubo de salida por medio de una "T", en la que se adaptan 2 codos con rosca, las que a su vez tienen conectados 2 tubos (**figura 39**). Los codos con rosca permiten el movimiento de los tubos en posición horizontal y vertical; la primera, permite la salida del agua hacia el área de siembra; y la segunda, que suspende el riego, debe asegurarse a la pared del embalse, por medio de una cuerda o alambre.

Deberán tomarse precauciones especiales con relación a la entrada y salida de agua del tubo conductor. La entrada del agua, deberá quedar a una altura mínima de 0,20 m del fondo del reservorio, para evitar que los desechos y los depósitos de sedimento producidos por las correntadas obstruyan el tubo. Con relación a la salida del agua, se debe tener el cuidado de que el extremo del tubo descansa sobre la superficie natural del terreno, reduciendo de esta manera los costos por entubado y excavación.

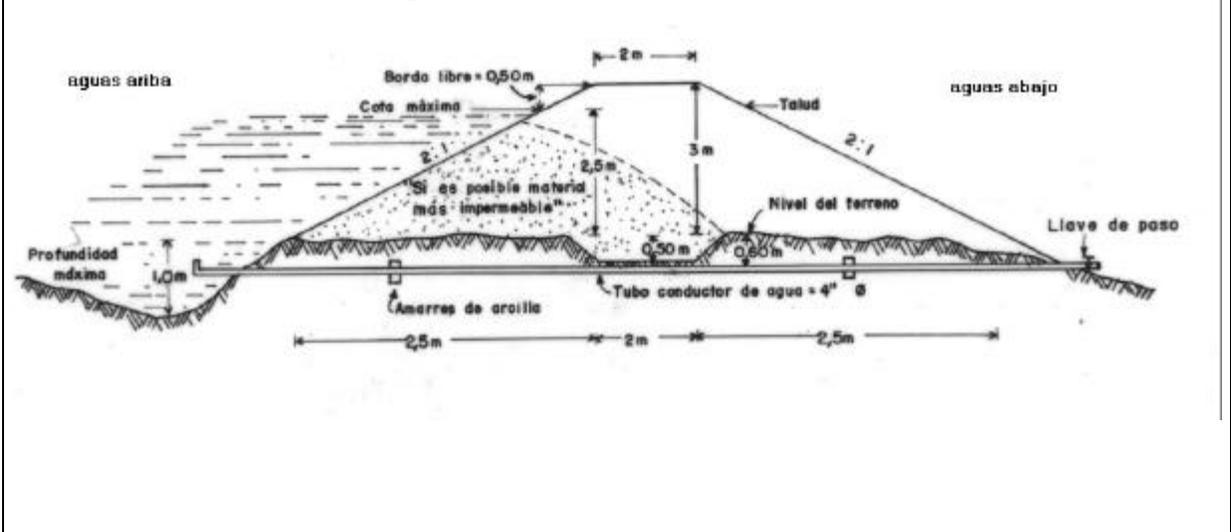
Instalado el tubo conductor de agua, se inicia la construcción del dique del embalse con tierra de textura fina (del propio fondo del reservorio), sobreponiéndose capas, no mayores a 0,20 m, iniciándose por la primera zanja abierta. Estas capas finas y la máquina pasando por encima de ellas aseguran una mejor compactación. La máquina deberá excavar del "cajón" del reservorio hacia el pie del talud aguas abajo, obedeciendo las dimensiones calculadas, para que alcance la capacidad para que fue diseñado.

La corona del dique deberá tener un desnivel desde la línea central hacia los bordes, aguas arriba y aguas abajo, de por lo menos 0,15 m para evitar la acumulación de agua en la parte superior de la pared. Una vez terminada la construcción de éste, se construyen los diques divisores de agua, con la misma máquina utilizada en la construcción del dique principal. Estos diques son continuos a la pared del reservorio y contruidos con un declive de por lo menos 0,5%, en dirección al dique principal y con una profundidad de 0,70 m.

El vertedor de excesos se construye en uno de los diques divisores de agua, con el menor tamaño posible. El ancho del mismo no debe ser mayor al de la cuchilla de la máquina, dejándose

una diferencia de nivel de 0,50 m, entre los puntos más alto de la base del vertedor y más bajo de

Figura 38. Modelo esquemático del dimensionamiento de la pared del embalse y colocación del tubo conductor de agua.



la corona del embalse.

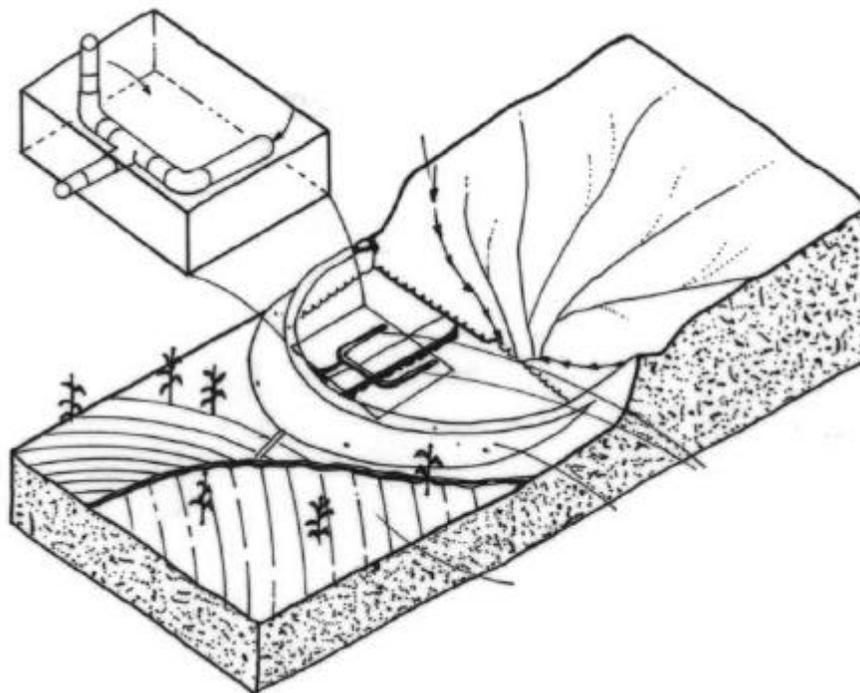
Area de siembra (As)

Esta área debe ser desmontada, destroncada, arada y rastreada. Cuando se hace el desmonte y destroncamiento, se debe tratar que la máquina remueva lo menos posible el suelo. Lo ideal es que estas prácticas agrícolas, se realicen manualmente, para evitar la eliminación de la capa superficial del suelo, particularmente cuando los suelos donde se implante el SAES-ES, sean poco profundos y de baja fertilidad.

El arado y rastreado se deben hacer en sentido perpendicular a la pendiente del terreno. En la mayoría de casos, es suficiente pasar una vez el arado y dos veces la rastra. Algunas irregularidades en el terreno tienen que eliminarse para facilitar la abertura de los surcos y camellones. En esta práctica deben tenerse las consideraciones de la labranza conservacionista.

El canal de riego

Figura 39. Modelo esquemático de la colocación de los tubos, conectando los compartimientos del SAES-ES, como sustituto de la llave de paso.



A nivel de campo, se deben estudiar varias alternativas de colocación del canal, con el objetivo de verificar cuál es la mejor opción para irrigar el área. La determinación de la pendiente del terreno se puede hacer con un nivel de manguera, con un nivel en "A" o con nivel de precisión.

La mejor localización del canal es aquella que permite, además de la cobertura de los surcos y camellones, la mayor eficiencia de riego del área de siembra. Como el canal es de tierra, la pendiente no debe ser mayor del 1%. Vale resaltar que un surco puede, en la mayoría de los casos, funcionar como un canal de distribución, si el área seleccionada fuera un poco irregular.

Se recomienda que, al mismo tiempo que se está colocando el canal de distribución, se coloquen los niveles básicos con un 0,4% de pendiente, para el trazo de los surcos o camellones, con estacas espaciadas 20 m entre sí. Así, puede tenerse una idea de cómo quedará el área de siembra, después de implantado el canal y los surcos y camellones. Si la alternativa ejecutada no resulta la mejor (esto se verifica apenas por las estacas), se repite toda la operación anterior, en otro punto. Este proceso de tanteo, usando nada más el nivel y las estacas, permite que en poco tiempo se comprueben, a nivel de campo, varias alternativas para la implantación del sistema de riego por surcos y se escoja la más viable, principalmente con relación a la aplicación y distribución del agua en el área de siembra. La localización de los niveles básicos y líneas de contorno para la confección de surcos y camellones, sigue el método de la cuerda, descrito anteriormente.

Construido el canal de distribución, se hace la abertura de los surcos y camellones. Los camellones tienen superficie plana de 1,20 m de ancho y son limitados lateralmente, por los surcos de 0,30 m de ancho y 0,20 m de profundidad, siendo el espaciamiento entre surcos de 1,50 m, con la finalidad de aplicar agua a los cultivos, durante el riego de salvación.

Se recomienda hacer, al inicio del área de siembra, próximo a la pared del reservorio, un surco de retención con una pendiente de 0,5%, suficiente para transportar toda el agua que escurra del embalse, entre el área de siembra y el área de captación. También, se deben hacer surcos de retención a cada 30 m de distancia en el sentido de la pendiente, dentro del área de siembra, para evitar que durante lluvias de gran intensidad, el rompimiento de los surcos la puedan perjudicar. Cualquier escorrentía de agua proveniente de otras áreas hacia el área de siembra, se debe desviar.

La construcción de toda la infraestructura del SAES-ES se hace por una única vez, en vista de que en los años subsiguientes solamente se repasan los surcos y camellones.

Cuando es necesario el uso de "riego de salvación" se debe aplicar una lámina de agua de apenas 20 mm, tomando en cuenta la posibilidad de lluvias después de su aplicación. En el caso de que no ocurran lluvias dentro del período ideal esperado, se hace necesario un nuevo "riego de salvación" para complementar el anterior, y así sucesivamente.

Mantenimiento

El mantenimiento es fundamental para la sustentabilidad del sistema. Los surcos y camellones deben rehacerse todos los años en el final del período de la cosecha. El área de siembra también debe ser supervisada en cuanto al rompimiento de algún surco de retención, los cuales deben mantenerse siempre limpios y sin obstrucciones. El área de captación también requiere de algunos cuidados; a cada dos años, es recomendable efectuar la remoción de cualquier hierba que pudiera emerger; se debe también observar el comportamiento de las líneas de drenaje, limpiándolas de obstáculos que impidan la escorrentía superficial.

Potencial de producción

El sistema no es capaz de incrementar la producción en un cien por ciento, con relación al proceso tradicional de cultivo, pero sí reduce, hasta en un 90%, los riesgos de pérdidas de las cosechas causadas por la sequía. En el semiárido brasileño, los rendimientos promedio de frijol caupí y maíz, cultivados tradicionalmente, es de 300 y 450 kg/ha, respectivamente. Con el SAES-ES, se logra un rendimiento promedio, a nivel de pequeños productores, de 1 000 kg/ha para el cultivo de frijol caupí y 1 200 kg/ha para el cultivo de maíz. Además, en casos comprobados durante un registro de 10 años, durante el 30% de este período (3 años), se ha logrado obtener dos cosechas por año.

Grado de complejidad

Esta técnica se considera de un grado intermedio de complejidad, pues requiere la intervención de mano de obra especializada para su diseño, trazo y construcción, además de que el agricultor aprenda qué es una curva de nivel, cómo fertilizar y cómo aplicar el riego.

Limitaciones

No se recomienda la implantación del SAES-ES, en suelos con contenidos de arcilla inferiores al 15%; tampoco puede instalarse en propiedades con extensión inferior a 10 ha. Entre las técnicas de aprovechamiento del agua de lluvia con fines agrícolas, es la que requiere mayor inversión; por lo tanto, la capacidad económica del productor puede convertirse también en una limitante.

Impactos socioeconómico y ambiental

Costos y retornos

El **cuadro 13**, presenta los costos y retornos anuales de un SAES-ES, en un caso típico a nivel de productor, con una área de siembra de 1,5 ha y tanque de almacenamiento para 3 000 m³.

Con una producción promedio de para los cultivos de frijol caupí y maíz de 1 000 kg/ha y

1 200 kg/ha, respectivamente, el sistema permite generar una renta neta anual de \$EE.UU. 342. Este sistema particular está funcionando desde el año 1982 y, solamente durante un año, no se obtuvo cosecha por las bajas precipitaciones ocurridas. El promedio anual de precipitación en la región es de 400 mm.; pero, durante ese año, solo ocurrieron 116 mm de lluvia. Esto se complementa con que, en los doce años de funcionamiento del mismo, el agricultor ha logrado, en tres de ellos, obtener dos cosechas por año.

Generación de empleo

Para la implantación del sistema se requiere poca mano de obra, de 2 a 3 días/hom., debido a que todos los reservorios se construyen con maquinaria, principalmente con tractor de oruga.

En cuanto al manejo de los cultivos, si es necesaria mucha mano de obra durante todo el ciclo de los mismos. Para este caso, en el **Cuadro 13**, puede observarse que para la explotación agrícola de 1,5 ha, se requiere un promedio de 75 días/hombre.

Sostenibilidad

El sistema es sostenible puesto que conserva el suelo, el agua, no contamina el medio ambiente y tiene una producción rentable.

Descripción de casos

Lugar y fecha

En el trópico semiárido de Brasil, existen más de 100 embalses para riego de salvación, específicamente en los Estados de Bahía, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Río Grande do Norte, Ceará y Piauí, con más de diez años de funcionamiento.

Características del lugar y de las técnicas aplicadas

Todos los embalses fueron construidos con el apoyo del Servicio de Asistencia Técnica y Extensión Rural de cada Estado, habiendo presentado excelentes resultados, bajo regímenes pluviométricos que van de 400 a 800 mm anuales.

Cuadro 13. Costo y rendimiento anual del sistema de embalse para riego de salvación.

Detalles:			
Cultivo: Maíz y frijol		<i>Area de cultivo</i>	1,5 ha
<i>Area de captación:</i>	3,8 ha	<i>Valor dólar</i>	1,0 R\$
<i>Capacidad del reservorio:</i>	3 000,0 m ³	<i>Valor dólar</i>	,0 -Q-
<i>Distancia entre surcos:</i>	1,5 m	<i>Intereses</i>	8,0%
<i>Período:</i>	15 años	<i>Período de gracia</i>	2 años
<i>Rendimiento del frijol:</i>	1 000 kg/ha	<i>Rendimiento del maíz:</i>	1 200 kg/ha

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:						
• Selección del área	hom./día	,25	1,0	,3	,3	,0
• Demarcación del sistema	hom./día	1,00	1,0	1,0	1,0	,0
• Desmonte	hora/trat.	30,00	28,0	840,0	840,0	,0
• Construcción del embalse	hora/trat.	35,00	28,0	980,0	980,0	,0
• Colocación del tubo	hom./día	1,00	1,0	1,0	1,0	,0
• Construcción del dique	hora/trat.	5,00	28,0	140,0	140,0	,0
• Construcción del vertedor de excesos	hora/trat.	2,00	28,0	56,0	56,0	,0
• arado (tractor de neumáticos)	hora/trat.	5,00	15,0	75,0	75,0	,0
• Paso de rastra	hora/trat	3,00	15,0	45,0	45,0	,0
			Sub-total	2138,3	2138,3	,0
1.2 Materiales						
• Tubo alta presión PVC 4" (6,0 m)	Ud.	3,0	21,0	63,0	63,0	,0
• Tubo baja presión PVC 4" (6,0 m)	Ud.	2,0	15,0	30,0	30,0	,0
• Codo con rosca PVC 4"	Ud.	2,0	10,0	20,0	20,0	,0
• "T" con rosca PVC 4"	Ud.	1,0	10,0	10,0	10,0	,0
• Niple de pVC 4"	Ud.	2,0	10,0	20,0	20,0	,0
• Pegamento para PVC	Tubo	2,0	3,5	7,0	7,0	,0
			Sub-total	150,0	150,0	,0
Costo total de la inversión				2288,3	2288,3	,0

(Continuación cuadro 13)

Actividad	Unidad	Cantidad	Valor Unitario o (R\$)	Valor Total (R\$)	Valor Total (\$EE.UU.)	Valor Total (-Q-)
2. Costos Anuales:						
2.2 Insumos:						
• Semilla de maíz	kg	22,5	1,0	22,5	22,5	,0
• Semilla de Frijol	kg	45,0	2,0	90,0	90,0	,0
• Abono fosfatado simple	kg	300,0	,2	54,0	54,0	,0
• Nuvacron	l	3,0	9,0	27,0	27,0	,0
Total anual insumo				193,5	193,5	,0
2.3 Mano de obra/uso implementos:						
• Surcado (tractor de neumáticos)	hora/trat.	2,0	15,0	30,0	30,0	,0
• Siembra/fertilización	hom./día	7,5	1,0	7,5	7,5	,0
• Limpias	hom./día	30,0	1,0	30,0	30,0	,0
• Aplicación de pesticida	hom./día	7,5	1,0	7,5	7,5	,0
• Irrigación	hom./día	15,0	1,0	15,0	15,0	,0
• Cosecha	hom./día	15,0	1,0	15,0	15,0	,0
Total anual insumo				105,0	105,0	,0
3. Costo:						
3.1 Total (inversión + costo año 1)				2586,3	2586,3	,0
3.2 Anual (inversión + costo año 1)				588,0	588,0	,0

4. Rendimiento Anual:	Precio/kg			kg/área cultivada				
	R\$	\$EE.U U.	-Q-	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
4.1 Producción								
Frijol	,5	,5	,0	1500	1500	1500	1500	1500
Maíz	,1	,1	,0	1800	1800	1800	1800	1800
4.2 Renta bruta total								
En R\$				930,0	930,0	930,0	930,0	930,0
En \$EE.UU.				930,0	930,0	930,0	930,0	930,0
En moneda local -Q-				,0	,0	,0	,0	,0
4.3 Renta Neta								
En R\$				342,0	342,0	342,0	342,0	342,0
En \$EE.UU.				342,0	342,0	342,0	342,0	342,0
En moneda local -Q-				,0	,0	,0	,0	,0
							Total Anual	
5. Generación de empleo:								
5.1 Utilización de mano de obra							Area total	Por
En la implant. del sistema								m2
En el mantenim. y labores culturales							2,3	1,5
							75,0	50,0

R\$ es la moneda oficial de Brasil

Dirección para consultas

EMBRAPA-CPATSA

Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido

Caixa Postal 23

56300 000 - Petrolina, PE, Brasil

Teléfono: (081) 961 4411

Fax: (081) 961 5681

GALERIAS FILTRANTES PARA SUBIRRIGACIÓN, 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;
Henrique de Oliveira Lopes, Ing. Agr. M.Sc. Investigador.
EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE, Brasil.

Antecedentes históricos

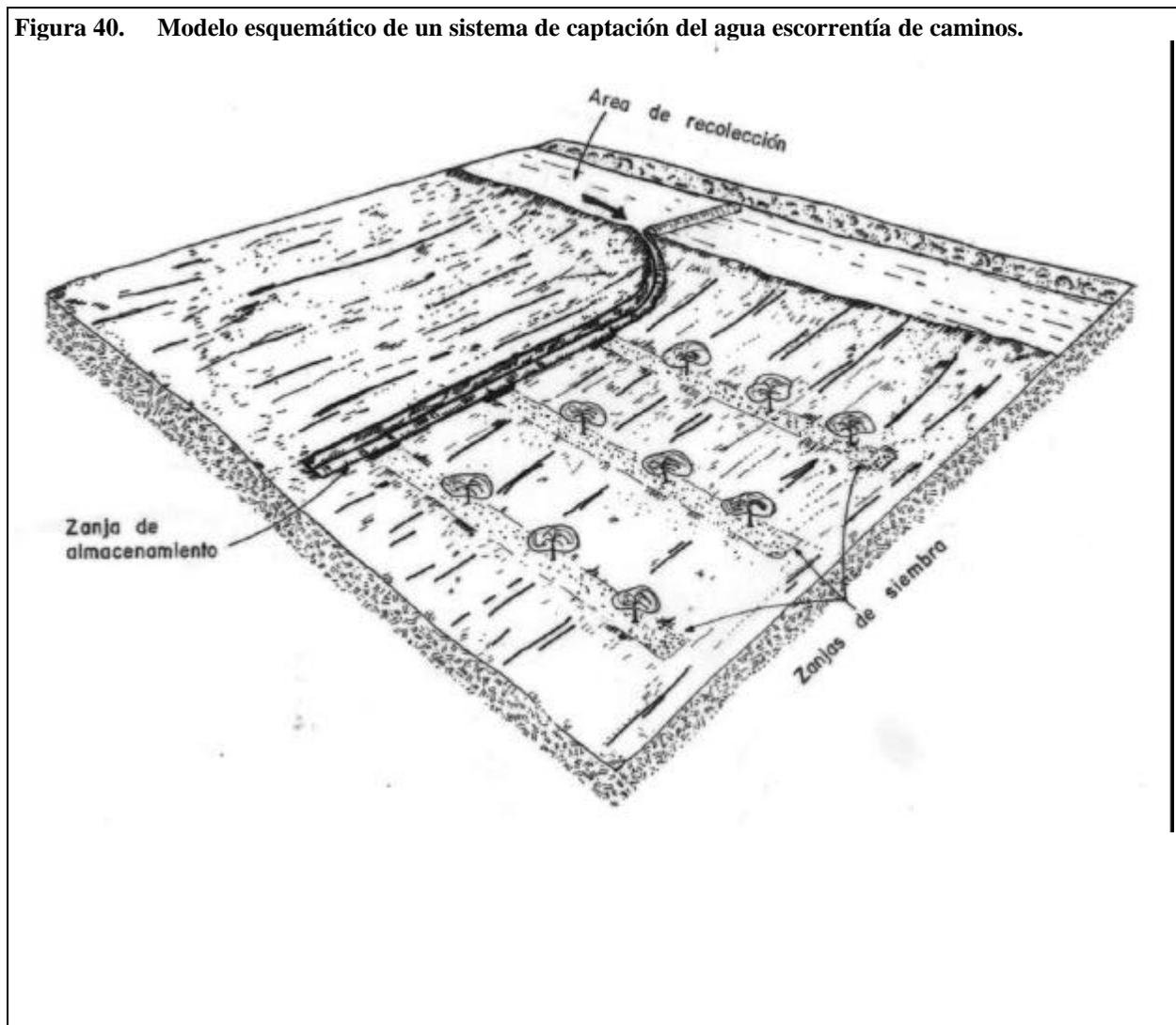
El arte de recolectar agua de lluvia es milenario (National Academy of Science, 1974). Antiguamente, en la edad de bronce, se ampliaba la escorrentía superficial a través del aplanamiento de la superficie del suelo en las partes altas; ésta, era conducida por canales hacia las partes bajas y utilizada para la agricultura. Desde aquellos tiempos, se observaba también que los caminos tenían una gran capacidad de producir caudales significativos; sin embargo, sólo desde los años cincuenta, es que en Australia (Public Works Department of Western Australia, 1956), se empezó a estudiar científicamente la utilización de carreteras y caminos como una estrategia para la inducción del aprovechamiento de la escorrentía superficial. A propósito, millones de acres fueron recortados por carreteras con el objetivo de recoger agua de lluvia para los agricultores de ese país; pero, debido a la necesidad de sus pobladores, esa agua era almacenada en reservorios superficiales y tanques utilizándose en gran parte para consumo humano y animal; y, en raros casos, para cultivos. Actualmente existen experiencias de esta práctica con diferentes configuraciones en varios países como México, Israel y Brasil.

Aspectos técnicos

Descripción

Normalmente, a lo largo de las carreteras y caminos se pierden grandes volúmenes de agua de lluvia por escorrentía superficial. El Sistema de Aprovechamiento de la Escorrentía Superficial por medio de Galerías Filtrantes para Subirrigación (SAES-GFS), consiste en la reconducción de esta escorrentía a través de canales que la transportan, por gravedad, hacia áreas de cultivo dejando el agua almacenada en el perfil del suelo, en galerías donde la infiltración ha sido previamente mejorada. Este sistema está constituido por tres componentes básicos: un área de recolección del agua de lluvia, un sistema de subirrigación consistente en una zanja de almacenamiento y una zanja de siembra (**figura 40**).

Figura 40. Modelo esquemático de un sistema de captación del agua esorrentía de caminos.



Área de recolección del agua de lluvia

El área de captación generalmente la constituyen las carreteras que comunican a las unidades de producción con los municipios circunvecinos; y, en mayor parte, los caminos de servicio que día a día son recorridos por los agricultores y sus familias. También son contribuyentes de esta área las redes de drenaje naturales o artificiales existentes en las fincas. El agua recolectada es conducida artificialmente hacia una zanja principal de almacenamiento.

Zanja de almacenamiento

Es un canal de tierra de 1 m de ancho, 1 m de profundidad y de longitud variable, con la función de recibir la escorrentía proveniente del área de recolección y conducirla hacia el área de siembra.

Se debe construir sobre una curva a nivel con pendiente no mayor del 1%. En el inicio, debe tener un dissipador de energía construido con piedras u otros obstáculos que sirven para disminuir la velocidad del agua de escorrentía y, por consiguiente, la erosión hídrica, principalmente en carreteras con capacidad de producir intensa escorrentía. La longitud de la zanja varía en función del número de hileras que tenga el huerto y es determinada por la localización de la última de éstas.

Zanjas de siembra

Perpendicularmente a la zanja de almacenamiento se construyen las acequias, zanjas o galerías de infiltración, espaciadas de acuerdo al espaciamiento entre plantas. El número total de zanjas depende del área con se cuente para la siembra y la posición de cada una de ellas está definida por la curva de nivel en que se encuentren, con una pendiente que va de 0,5 a 1,0%. El ancho de cada zanja es 1,0 m y la profundidad no menor de 1,3 m.

Si el suelo destinado para la siembra no tuviese buenas condiciones físicas, es importante crearlas. En este caso, se excava la zanja hasta la profundidad máxima deseada; el material removido es mezclado con materia orgánica en proporción que va del 20 al 25% y nuevamente colocado en su lugar. Con esta práctica, se incrementa la conductividad hidráulica y la capacidad de retención de humedad en el suelo donde se va a sembrar.

Los extremos de las zanjas de infiltración deben ser cerrados, en la parte posterior por el propio suelo y, en la parte anterior por paredes construidas con bloques de cemento o ladrillos de barro agujereados para permitir el paso del agua a través de los mismos. La **figura 41**, muestra en detalle, las zanjas de siembra.

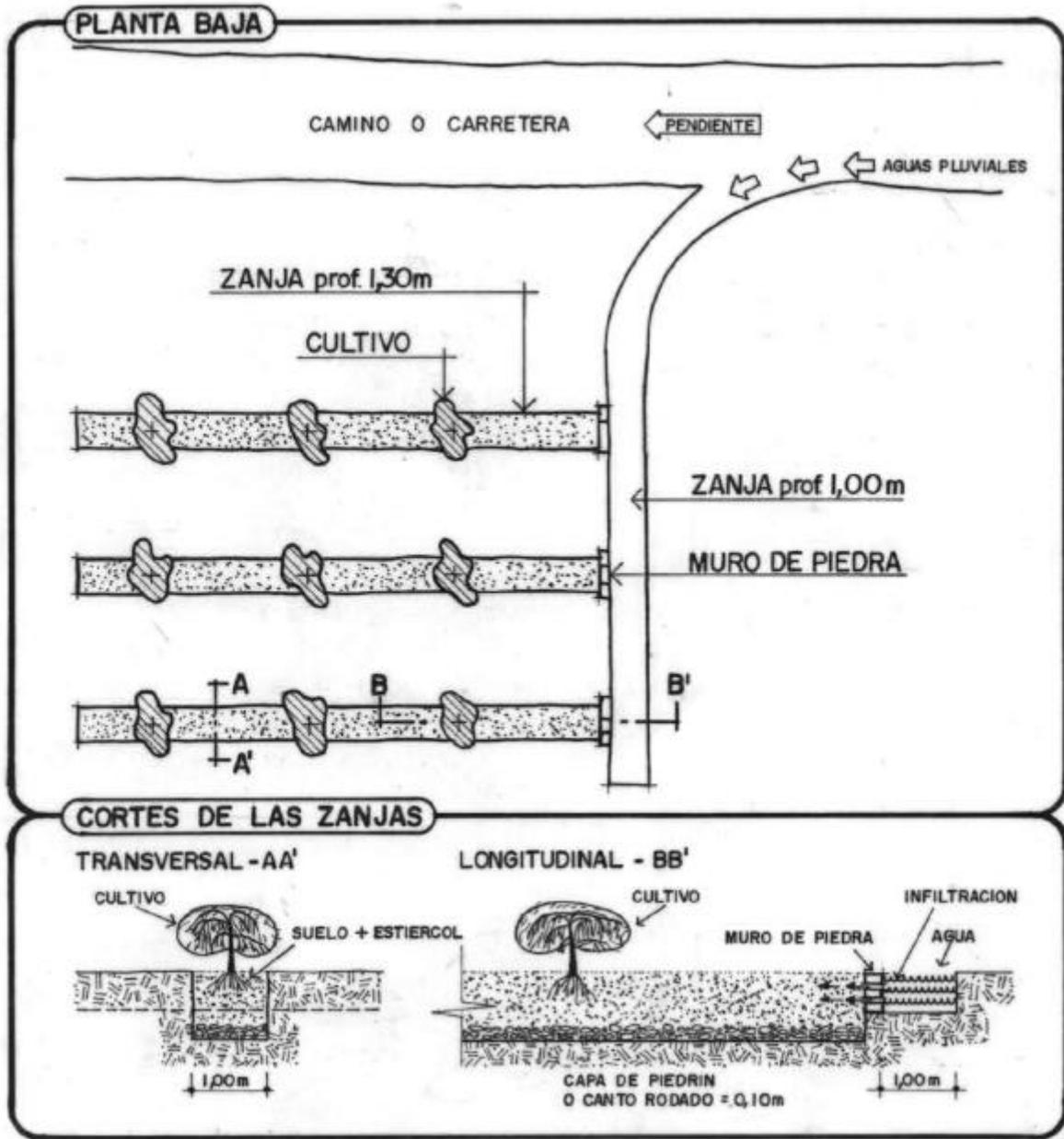
Objetivos

Aprovechar racionalmente, parte del volumen de agua de lluvia que escurre anualmente sobre la superficie del suelo en las carreteras y caminos para incrementar el contenido de humedad en la zona del sistema radicular de los cultivos arbóreos por un período mas prolongado; atendiendo la demanda evapotranspirativa, por lo menos dos o tres meses después que las lluvias hayan terminado y garantizar la permanencia de los árboles durante todo el año.

Ubicación y selección del sitio

El área de recolección, zanja de almacenamiento y zanjas de siembra, constituyen una infraestructura hídrica que da soporte al desarrollo de árboles frutales caseros en el medio rural, a nivel de pequeños agricultores. La finalidad principal del SAES-GFS, es hacer posible la producción de especies frutales en regiones agroecológicas con precipitaciones anuales alrededor de los 350 mm.

Figura 41 Esquema de sistema de captación del agua de escorrentía de caminos a través de galerías filtrantes para cultivos frutales, en el que se muestran en detalle , la zanja de almacenamiento y las zanjas de siembra.



Uno de los elementos más importantes para el éxito de esta tecnología es la capacidad de retención de humedad del suelo; por lo tanto, el conocimiento de su contenido de arcilla es

indispensable para la toma de decisiones en cuanto a la implantación o no del sistema. Es necesario que el contenido de arcilla en estos suelos no sea menor de 20%.

La implantación de este sistema, requiere una gran cantidad de mano de obra, principalmente si el suelo es pedregoso. Por lo tanto, es recomendable que sea introducido en programas de emergencia como estrategia para la generación de empleo en las zonas rurales.

Estudios realizados en los últimos 8 años, han demostrado resultados altamente promisorios con evaporación media anual de 2 850 mm en áreas con precipitaciones promedio anuales de 350 mm, principalmente con cultivos de marañón (*Anacardium occidentale L.*), acerola (*Malpighia glabra*), guanaba o guanábana (*Annona muricata*), limón (*Citrus latifolia*) y mango (*Mangifera indica L.*).

Diseño

El dimensionamiento del SAES-GFS está implícito en la determinación del volumen total de agua necesaria para el almacenamiento en las zanjas de infiltración y estas, a su vez, con el número de frutales que se pretende explotar, además del dimensionamiento del área de captación del agua de lluvia.

A continuación se describen las necesidades básicas y características de un huerto frutal casero más común:

Número de hileras (NH)	7,0
Espaciamiento entre hileras (EH)	8,0 m
Número de frutales por hilera (NFH)	4,0
Espaciamiento entre frutales (EF)	6,0 m
Número total de frutales (NTF)	28,0
Longitud de la zanja (LZ)	24,0 m
Area total del huerto (ATH)	1152,0 m ²
Profundidad de las zanjas (PZ)	1,3 m
Ancho de las zanjas (AZ)	1,0 m
Capacidad de campo de la mezcla de suelo en la zanja (CC)	0,3
Eficiencia en utilización del agua (EUA)	70,0%

Volumen total de agua (VTA)

El dimensionamiento del total de agua está en función de la capacidad de almacenamiento de cada zanja, en metros cúbicos y del número total (NT) de zanjas en el huerto. Se debe considerar una pérdida de agua en la conducción del 10%. El volumen total es expresado en metros cúbicos por medio de la siguiente ecuación:

$$VTA = \frac{(LZ \times AZ \times PZ \times CC \times NH)}{EUA}$$

Sustituyendo los valores, se tiene:

$$VTA = \frac{(24,0m \times 1,0m \times 1,3m \times 0,3m \times 7,0)}{0,7}$$

$$VTA = 93,6 \approx 94m^3$$

Area de Recolección (AR)

El área de recolección o captación se dimensiona en función del VTA, de la eficiencia de la escorrentía superficial (C) (**cuadro 14**), y de la precipitación anual a nivel del 50% de posibilidad de ocurrencia (P).

CUADRO 14. Valores medios del coeficiente de escorrentía superficial (C) para diferentes coberturas.

Tipo de Cobertura	C
PVC flexible de 1.0 mm	0,9
Mezcla de cemento y arena	0,8
Asfalto	0,8
Drenes de tierra	0,6
Carreteras y caminos de terracería	0,5
Suelo desnudo	0,2
Forrajes y drenes	0,2

El cálculo del tamaño del área que se necesita para recolectar el total de agua deseado se hace de la siguiente manera:

$$AR = \frac{VTA}{P \times C}$$

Ejemplo 1:

Para determinar el área de recolección necesaria para un huerto frutal, se considera una carretera de terracería de 3,0 m de ancho; se tienen datos de precipitación esperada con 50% de probabilidad de ocurrencia de 350 mm anuales. El volumen total de agua (VTA) necesario es de 94 m³.

$$AR = \frac{94m^3}{0,35m \times 0,5}$$

$$AR = 537m^2$$

Como la carretera tiene 3,0 m de ancho, el largo del área para atender las necesidades de agua del huerto es de:

$$AR = \text{largo (m)} \times \text{ancho (m)}$$

de donde:

$$\text{Largo} = \frac{AR(m^2)}{\text{ancho(m)}}$$

$$\text{Largo} = \frac{537m^2}{3m} = 17m \approx 180m$$

Trazo

Efectuados los cálculos que determinan la dimensión del sistema, el próximo paso es realizar el trazo en el campo.

En primer lugar, se establece el área de recolección, marcando con piquetes el largo de la misma. Luego, partiendo del final del área de captación, por tanteo, se establece la curva de nivel con pendiente no mayor al 1% que servirá como zanja de almacenamiento. Es importante que la misma esté lo más próximo posible a las zanjas de siembra lo que permite una reducción en las pérdidas de agua en la conducción del caudal. Se debe también verificar la dificultad para la excavación en esta área; si el suelo es muy pedregoso, la utilización de mano de obra será mayor.

Enseguida, partiendo del trazo de la zanja de almacenamiento, se hace la demarcación de las zanjas de siembra. Estas deben estar al mismo nivel de la zanja de almacenamiento o más abajo puesto que la conducción del agua en las mismas será por gravedad. El fondo de las otras acequias debe coincidir, de preferencia, con una capa impermeable.

Las zanjas de siembra deben ser establecidas en áreas donde el suelo presente buenas condiciones para el cultivo. La pendiente en estas debe ser de 0,8 a 1,0%. No hay que olvidar la verificación del contenido de arcilla y la profundidad del suelo en esta área. Estos dos elementos son los responsables de la capacidad de retención de humedad en el perfil.

Construcción

La construcción del sistema de galerías filtrantes debe iniciarse con el área de recolección. Una vez demarcada en el campo, se debe tratar de disminuir todas las irregularidades que pudieran existir en su superficie. La importancia de esto es que evita que parte del agua de lluvia se quede almacenada en algunas depresiones.

En general, los caminos son construidos de tal forma que el agua que cae sobre ellas no se empoza sino que escurre hacia las orillas donde se localizan los drenes recolectores o cunetas. Dependiendo de la pendiente del terreno y de la intensidad de la lluvia, el volumen de escorrentía que se obtiene es grande.

En caminos de tierra, al final del área de recolección, el caudal de escorrentía debe ser interceptado por un pequeño bordo de tierra o dique de aproximadamente 0,5 m de altura al final del cual inicia la zanja de almacenamiento.

La zanja de almacenamiento debe tener una pendiente de 0,8 a 1,0%, 1 m de ancho y 1 m de profundidad. El largo depende de la distancia existente entre la captación y el área de siembra. Cuando el volumen de agua fuere muy grande, se recomienda incrementar el ancho de esta zanja.

La excavación de las zanjas de siembra debe tener como límite de profundidad la capa impermeable, pero nunca debe ser menor de 1,3 m. Estas zanjas deben tener una pendiente de 0.8 a 1%. Es muy importante que se coloque en el fondo de las mismas, una capa de 0,05 a 0,10 m de cantos rodados, piedrín o cascajo. El objetivo de esta capa de piedra es aumentar la velocidad del flujo del agua hasta el final de la zanja de siembra cuando la zanja de almacenamiento esté llena y que la distribución de la humedad en el perfil del suelo sea más uniforme. Esto se debe a que en esta área se formará una napa freática que ascenderá por capilaridad hasta las capas más superficiales.

El próximo paso es cerrar la entrada de las zanjas por medio de una pared de bloc de cemento o ladrillo de barro, construida desde el fondo de la zanja hasta la superficie del suelo con el objetivo de no permitir que, una vez llenas las zanjas de siembra, la mezcla de suelo caiga hacia la zanja de almacenamiento. En la colocación de los bloques o ladrillos se deben dejar espacios vacíos para permitir que el agua de la zanja de almacenamiento pase a través de ellos hacia las zanjas de siembra.

El material que se remueve durante la excavación se debe mezclar con materia orgánica, de preferencia estiércol para colocarse nuevamente dentro de la zanja, arriba de la capa de canto rodado o piedrín. Este relleno debe hacerse hasta alcanzar una altura de 0,10 m sobre la superficie del suelo; pues, pasados unos días, estará nuevamente a nivel.

Por último, se efectúa la siembra de las plantillas, de acuerdo a las exigencias de cada una.

Mantenimiento

Las galerías filtrantes constituyen un sistema de larga duración cuyo mantenimiento es requerido, principalmente, durante la primera temporada de lluvia. La preocupación principal debe ser el comportamiento de la escorrentía y el flujo del agua en la zanja de almacenamiento. Como el agua escurre con alta velocidad, es importante poner algunos obstáculos, tales como piedras, en el interior de la zanja de almacenamiento para que el agua escurra con menos violencia.

Otro punto importante, que merece atención al final de cada período lluvioso, es el pequeño bordo de tierra o dique que se ha construido transversalmente en la carretera. Con las lluvias de alta intensidad, existe la tendencia a que éste se deshaga; por lo tanto, es necesario rehacerlo antes de iniciarse el próximo período lluvioso.

Con el paso del tiempo, en la superficie de las zanjas de siembra se forma una capa dura. Es importante romper esta costra manualmente todos los años, con la ayuda de un rastrillo, para favorecer la infiltración del agua superficial de las lluvias y restablecer la aireación en la zona del sistema radicular.

El sistema, manejado de esta manera, tendrá una vida útil de alrededor de 15 años.

Potencial de producción

El **cuadro 15**, presenta el promedio de producción por planta, en los primeros tres años, conseguido en el CPATSA, bajo condiciones climáticas severas, con un promedio total anual de precipitación y evaporación potencial de 350 mm y 2 850 mm, respectivamente.

Cuadro 15. Promedio de tres años de producción de especies frutales, con aplicación de la tecnología de galerías filtrantes en el CPATSA.

Especie	Producción (kg/planta)
Mango	3,0
Guanaba o guanábana	2,0
Limón	3,0
Acerola	5,0

Considerando que la probabilidad de producción de estos frutales sin aplicación de riego convencional es prácticamente imposible, los resultados presentados demuestran que, con la utilización de esta tecnología, existe un gran potencial para aumentar la producción y mejorar la dieta alimenticia de los pequeños agricultores de las zonas áridas y semiáridas. Es importante también resaltar que no hubo ninguna aplicación de abono químico.

Grado de complejidad

Esta tecnología permite su aplicación a diferentes escalas, desde dos a tres plantas, hasta huertos que puedan atender la demanda familiar y aún produzcan un excedente para comercialización. Presenta además, la ventaja de poder implantarse por partes y crecer cada año, en cuanto a área de siembra. El material para su implantación se encuentra en cualquier parte, por lo que el grado de complejidad es muy reducido.

Limitaciones

Las principales limitaciones que presenta esta técnica es que no puede implantarse en suelos con profundidad inferior a un metro, ni en zonas hiperáridas, ya que es necesario que la lluvia lixivie las sales acumuladas en la superficie del suelo debido al humedecimiento capilar ascendente del suelo.

Impacto socioeconómico y ambiental

Costo y retorno

El **cuadro 16**, presenta un análisis detallado de los costos y rendimientos de la aplicación de la tecnología para la producción de mango (*Mangifera indica L.*), en Petrolina, PE, Brasil. Según ese cuadro, los costos de inversión y agrícola son de \$EE.UU. 375,05 y \$EE.UU. 39,8 respectivamente. Es importante resaltar que el mango empieza a producir a partir del tercer año de implantación y estabiliza su producción hasta el quinto año. El **cuadro 16** demuestra, que del quinto año en adelante, la renta neta obtenida es de \$EE.UU. 112,1 por año.

Cuadro 16. Costo y rendimiento anual del sistema de aprovechamiento del agua de escorrentía de carreteras y caminos para pequeños huertos frutales.

Detalles:			
Cultivo: Mango (<i>Mangífero indica</i>)		Profundidad de la zanja:	1,30 m
Rendimiento base:	3,0 kg/pie	Número de hileras:	7
Distancia entre hileras:	8,0 m	Longitud de la hilera:	24 m
Ancho de cada zanja:	1,0 m	Area total del huerto:	1 344 m ²
Volumen por zanja:	31,2 m ³	Volumen de las zanjas:	218 m ³
Número de plantas:	28 pies	Valor US dólar:	1,0 R\$*
Intereses (año):	8%	Valor US dólar:	,0 -Q-
Período de financiamiento	15 años	Período de gracia:	3 años

Actividad	Unidad	Cantida d	Valor Unitario (R\$)	Valor Total (R\$)	Valor Total \$EE.U U	Valor Total (-Q-)
1. Costos de Inversiones:						
1.1 Mano de obra/uso de implementos:						
• Localización del área	hom./día	,25	1,0	,3	,3	,0
• Limpieza del área	hom./día	,50	1,0	,5	,5	,0
• Trazo de la curva de nivel	hom./día	,25	1,0	,3	,3	,0
• Excavación de las zanjas de siembra	hom./día	109,20	1,0	109,2	109,2	,0
• Excav. de la zanja de almacenamiento	hom./día	54,60	1,0	54,6	54,6	,0
• Colocación de la capa de canto rodado	hom./día	1,00	1,0	1,0	1,0	,0
• Colocación de la mezcla	hom./día	21,84	1,0	21,8	21,8	,0
• Colocación de la mezcla suelo/estiércol	hom./día	1,00	1,0	1,5	1,5	,0
• Construcción de las paredes	hom./día	1,00	1,0	1,0	1,0	,0
• Siembra						
		Sub-total		190,1	190,1	,0
1.2 Materiales						
• Canto rodado	m ³	2,18	2,0	4,4	4,4	,0
• Estiércol	m ³	43,68	3,0	131,0	131,0	,0
• Estiércol	bolsa 50 kg	,68	6,5	4,4	4,4	,0
• Cemento	mll	,34	50,0	17,1	17,1	,0
• Ladrillo	ud	28,00	1,0	28,0	28,0	,0
• Plantillas						
		Sub-total		184,9	184,9	,0
				375,05	375,05	,0
Costo total de la inversión						
2. Costos Agrícolas:						
2.1 Insumos:						
• Estiércol	m ³	10,92	3,0	32,8	32,8	,0
		Total costo insumos		32,8	32,8	,0
2.2 Mano de obra/uso implementos:						
• Limpias y mantenimiento	hom/día	7,00	1,00	7,0	7,0	,0
		Total costo mano de obra		7,0	7,0	,0
3. Costo:						
3.1 Total (inversión + costo año 1)				414,81	414,81	,0
3.2 Anual (inversión + costo año 1)				89,5	89,5	,0

(Continuación cuadro 16)

4. Rendimiento Anual:	Precio/kg			kg/área cultivada				
	R\$	\$EE.UU.	-Q-	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
4.1 Producción								
Mango	2,0	2,0	,0	,0	,0	84,0	92,4	100,8
4.2 Renta bruta total								
En R\$,0	,0	168,0	184,8	201,6
En \$EE.UU.				,0	,0	168,0	184,8	201,6
En moneda local -Q-				,0	,0	,0	,0	,0
4.3 Renta Neta								
En R\$,0	-39,8	78,5	95,3	112,1
En \$EE.UU.				,0	-39,8	78,5	95,3	112,1
En moneda local -Q-				,0	,0	,0	,0	,0
								Total Anual
5. Generación de empleo:								
5.1 Utilización de mano de obra						Area total		Por
En la implant. del sistema			hom./día					m2
En el mantenim. y labores culturales			hom./día			189,6		
								,14
						7,0		,01

R\$ es la moneda oficial de Brasil

Generación de empleo

La implantación y mantenimiento de esta técnica demanda mucha mano de obra. De acuerdo al **cuadro 16**, para una área total de 1 344 m² cultivada con mango, se utilizan 189,6 días/hombre para la implantación y 7,0 días/hombre/año para el mantenimiento y labores culturales.

Sostenibilidad

El sistema es considerado de alta sostenibilidad en virtud de que conserva suelo y optimiza el uso del agua en la producción agrícola.

Descripción de casosLugar y fecha

Hasta el momento solamente se tiene conocimiento de algunos casos aislados en México y de los trabajos efectuados por el CPATSA en Petrolina, PE, Brasil.

Dirección para consultas

EMBRAPA-CPATSA
Centro de Pesquisa Agropecuaria do Trópico Semi-Árido
Caixa Postal 23
56300 000 - Petrolina, PE, Brasil
Teléfono: (081) 961 4411
Fax: (081) 961 5681

CAPTACIÓN DE AGUA DE LAS NIEBLAS COSTERAS (CAMANCHACA), CHILE

*Guido Soto,
Ing. Forestal, Coordinador del Plan de Acción Nacional de Combatir la Desertificación
Corporación Nacional Forestal (CONAF), IV Región, Chile*

Antecedentes históricos

Las costas del desierto de Atacama se presentan normalmente cubiertas por una densa capa de estratocúmulos provenientes del Océano Pacífico, las que son arrastradas hacia el continente por los vientos predominantes del sur oeste. Parte importante de estas nubes son detenidas por los cordones montañosos de la cordillera de la costa; el resto se internan por valles, quebradas y mesetas interiores formando bancos de niebla de altura (nubes rasantes o neblinas), tradicionalmente llamadas “camanchacas”.

En Sudamérica, éste fenómeno atmosférico se presenta desde el norte del Perú (8° L.S.). También es posible encontrar el mismo fenómeno en algunas zonas de la costa ecuatoriana.

Estas nubes, formadas por minúsculas gotas de agua en suspensión, al tomar contacto con cuerpos que interceptan su paso, se condensan dando lugar, en muchos sectores, a la única fuente de agua en una de las regiones más secas del planeta. Se suma a lo anterior el ambiente de mayor humedad que se crea en el entorno, lo que ha permitido el desarrollo de una serie de comunidades biológicas a lo largo de la extensa costa árida de Chile y Perú.

Algunos ejemplos de ello son los siguientes:

- Ecosistemas de “lomas” en Perú. En temporada de invierno y primavera las neblinas permiten el desarrollo de especies herbáceas y arbustivas que son pastoreadas por el ganado doméstico transhumante que se desplaza año a año desde la sierra peruana.
- Puntos de interés botánico en el norte de Chile: Quebrada la Chimba, Paposos, Pan de Azúcar.
- Punto de concentración de fauna como Pan de Azúcar, donde es frecuente detectar mamíferos de mayor desarrollo (zorros y guanacos).
- Los bosques relictuales de Fray Jorge y Santa Inés son quizás la expresión más noble de cómo este recurso hídrico puede contribuir a la vida en estos ambientes áridos.

Basándose en éste principio se han ideado diferentes estructuras para interceptar el agua en suspensión, tanto para medir el potencial de un lugar (**Anexo 1: neblinómetros**) como para la obtención de volúmenes mayores (**Anexo 1: captadores**)

Hace alrededor de 30 años que esta técnica se está investigando en Chile, donde ha habido un importante apoyo del Gobierno Regional de la IV Región y de UNESCO. En base a esta experiencia comenzó en 1987 el Proyecto de Sistemas de Captación de Aguas Nieblas en la zona el Tofo-Chungungo (al norte de La Serena), con el objetivo de implementar un sistema técnico, económico y viable del aprovechamiento de agua de neblina para abastecer de agua potable al poblado de pescadores de Chungungo (350 habitantes). El proyecto fue financiado por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá (CIID), con la participación de profesionales de la Universidad Católica de Chile, Corporación Nacional Forestal de Chile (CONAF), Universidad de Chile y del Servicio del Medio Ambiente de Canadá (Environment Canada).

Aspectos técnicos

Características de la camanchaca

Las principales características de la camanchaca que la hace atractiva para ser utilizada como recurso hídrico son las siguientes:

- Estabilidad. Se presenta la mayor parte año
- Única fuente alternativa. Para un amplio sector de la costa árida y desértica de Chile (I, II, III y norte de la IV Región) se ofrece como la única alternativa; porque no existe otra o por la alta salinidad de las escasas napas subterráneas presentes.
- Altitud. El hecho de contar con este recurso en la cima de los cordones montañosos no requiere de energía para su extracción ni conducción, pudiendo dirigir el agua hacia los sectores deseados sin mayores dificultades.
- Bajos riesgos de contaminación, en comparación a otras fuentes de agua.
- Permite un mejor manejo de los recursos naturales de altura, en el entorno inmediato donde se presentan las neblinas.

La camanchaca como recurso hídrico

El espesor de los estratocúmulos que dan origen a la camanchaca es en general bastante estable, fluctuando entre los 200 y 400 m y altitudes entre los 600 a 1000 msnm.

El contenido de agua líquida varía entre los $0,22\text{g/m}^3$ a $0,73\text{g/m}^3$, registrándose valores de tamaño de gotas entre los 10,8 a 15,3 micrones y en concentraciones más o menos constantes de 400 gotas/cm³.

Si hacemos el siguiente ejercicio teórico y nos situamos en un punto favorable, por donde está desplazándose un banco de camanchaca a 5m/seg y que lleva agua en suspensión a razón de $0,30\text{g/m}^3$, podríamos concluir por ejemplo que, por un área perpendicular al viento de 2m x 250 m de largo, en 8 horas podrían pasar 10 000 l de agua. Si bien no es una cifra espectacular pero es un hecho que esto ocurre permanentemente en muchos sitios favorables de nuestra costa.

El Proyecto más exitoso realizado hasta ahora es de abastecimiento de agua potable al pueblo de pescadores de Chungungo, ubicado a 80 km al norte de La Serena en Chile.

En este Proyecto se desarrolló un prototipo de sistema que, en términos breves, consiste en un set interconectado de paneles atrapanieblas que dispuesto convenientemente, localizados a unos 900 msnm, interceptan las neblinas que trasladan los vientos marinos hacia el continente. Estos captadores de niebla se alzan sobre postes ubicados a dos metros sobre la superficie del suelo, soportando una doble estructura rectangular de malla de polipropileno (que se obtiene en el comercio como malla de sombra cortaviento "Raschel" de 35% de sombra), que intercepta la gota de la neblina arrastrada por el viento. El agua así captada es trasladada gravitacionalmente a través de un sistema de tuberías hacia un estanque de acumulación y a la red de agua para la población.

Algunas cifras registradas

De los treinta años de investigación de la camanchaca en Chile, ha sido posible obtener diversas cifras de captación de agua de las neblinas. Luego de revisar gran parte de la bibliografía disponible que se refiere a este tema se seleccionaron aquellos montos que tenían a lo menos un año de registro (**cuadro 17**).

También se incluyen datos que, aunque tenían un período menor, por su ubicación era interesante de considerar. Las cifras de captación de agua se expresan en l/m²/mes.

Cuadro 17. Captación de agua de neblinas en diferentes Regiones de Chile

LUGAR	COTA <i>Msnm</i>	PERIODO	REND. (l/m ² /mes)	TIPOS DE ESTRUCTURA (4)
<u>II REGION</u>				
Cerro Moreno	900	1968-1971	158,3	h (Nylon)
	900	1967-1989	363,3	h (Mosquit)
	900	1971	403,3	a
	900	1971	401,6	c (Mosquit)
Promedio (1)		1968-1971	158,3	c (Nylon)
Los Nidos	900		82,1	h (Nylon)
<u>III Región</u>				
Pan de Azúcar	530	1985	69,7	c (Raschel)
Travesía	800	1985	51,3	c (Raschel)
Carrizal Bajo	700	E-D(1988)	104,7	d (Raschel)
<u>IV Región</u>	948	Jun.82-May.83	90,9	b (Nylon)

EL TOFO	780	1983	57,8	cap. 90m ²
	780	1985	152,1	f (Raschel)
	780	Nov.87-Sep.90	91,3	f (Raschel)(2)
	780	Ene.84-Ene.85	115,6	c (Raschel)
	780	1986 (E.D)	149,0	f (Raschel)(3)
Fray Jorge	550	Feb.84.Dic.84	113,7	c (Raschel)
	550	Jun.82-Abr.83	184,0	c (Raschel)
Cavilolén	850	1983	89,9	b (Nylon)

(1) Promedio de 4 puntos de medición: Michilla, El Mirador, Miramar, Cerro Moreno.

(2) Promedios de 50 captadores

(3) Captador 40 m². N. Carvajal

(4) Las letras indican el tipo de neblinómetro o captadores con que fueron registradas las mediciones, según anexo 1.

A la luz de los resultados que nos da el cuadro anterior, se hace imprescindible homogeneizar las mediciones. Esta será la única forma de poder comparar situaciones distintas y obtener conclusiones con respaldo técnicamente adecuado.

El único instrumento adoptado por la OMM para ese propósito es el neblinógrafo de Grunow, pero éste aparentemente no se ha divulgado lo suficiente entre los investigadores nacionales, o bien no cumple con los actuales requerimientos de investigación, más ligados ahora hacia un aprovechamiento del recurso agua.

En la actualidad el neblinómetro más difundido es el de pantalla, con malla raschel (35%) en doble paño, cocida a un marco de 1m²; el agua colectada se recibe en un recipiente de tipo bidón (50 l), cuya medición debe registrarse regularmente. El costo se estima en \$EE.UU. 125.

Sin embargo, también es preciso contar con un sistema que permita realizar mediciones continuas y registre además otro tipo de información que puede ser valiosa al momento de evaluar un proyecto. Para instalar un neblinómetro de este tipo se requiere de los siguientes instrumentos:

- tipping - bucket magnético
- anemómetro
- veleta
- data logger, que conectado a los tres anteriores va registrando en una memoria RAM los valores acumulados por unidad de tiempo, previamente programada (cada 15 minutos, por ejemplo).

Un juego de estos equipos tiene un valor aproximado de \$EE.UU. 1 500, que además debiera ir asociado a la adquisición de tarjetas RAM, lector de tarjeta y el software correspondiente, con un costo aproximado de \$EE.UU. 1 000.

Otra relación que es indispensable establecer es un factor de conversión entre los neblinómetros y estructuras mayores (captadores), debido a que no existe una proporción lineal entre ambas superficies de captación. Esta relación debería establecerse entre un neblinómetro y un captador estándar (el de 48 m², por ejemplo).

Para una serie mayor de captadores ingresan otros factores a considerar, como el relieve, que puede perturbar la determinación de relaciones más precisas. Para reducir este riesgo será necesario establecer una red de neblinómetros que nos indiquen los sectores más adecuados para la instalación de los futuros captadores.

Impacto socioeconómico y ambiental

Posibilidades de uso de la camanchaca

Agua Potable. Debido a que en el norte del país la mayoría de los pequeños poblados y caletas presentan serios problemas de abastecimiento de agua, esta alternativa aparece como una posibilidad concreta para satisfacer, de manera importante, estas demandas. En la actualidad prácticamente todos estos poblados se surten de agua por medio de camiones aljibe, con serios reparos sanitarios, cuota mínima por persona, altos costos e inseguridad de un abastecimiento normal y oportuno. Por otro lado, las enormes distancias y las precarias condiciones de los caminos de acceso dificultan aún más un adecuado servicio.

Al evaluar la posibilidad de implementar un sistema de abastecimiento de agua potable con agua de camanchaca se deberá, a lo menos, tener las siguientes consideraciones, descontando obviamente que existe en las inmediaciones un cordón montañoso con nieblas permanentes:

- ❑ Realizar un estudio detallado de la topografía del cordón montañoso y del comportamiento de la neblina e identificar los sectores más favorables.
- ❑ Montar una batería de neblinómetros en los lugares más propicios y evaluar los rendimientos de agua producida.
- ❑ Tener en consideración que las inversiones por concepto de aducción entre el sector de captación y de destino (poblado) puede ser una limitante de importancia. Esto nos puede mover a elegir sectores un poco menos favorables pero más cercanos, por ejemplo.

Agua potable envasada. Los niveles de arsénico presentes en el agua potable de Antofagasta podrían favorecer el establecimiento de una empresa envasadora de agua de camanchaca, como es el caso de algunas embotelladoras de agua mineral que también ofrecen su producto en bidones. Otra opción podría ser la venta de agua gasificada en sifones.

Abrevaderos. El agua captada de las nieblas en los sectores altos de los cordones montañosos de la cordillera de la costa, puede ser utilizada directamente en el lugar como abrevaderos, contribuyendo a un mejor manejo de los recursos. En las regiones más desérticas estos abrevaderos pueden constituirse en puntos de concentración de fauna silvestre (aves, zorros, guanacos).

En la IV Región, en cambio, ésta alternativa puede ser un excelente complemento para obtener un mejor aprovechamiento de los recursos práticos de las zonas altas, que con frecuencia tienen mejores pastos y de mayor duración, pero por lo general carecen de aguadas; el ganado en consecuencia gasta mucha energía en estos continuos desplazamientos.

Un predio cercano a Los Vilos (Hacienda Agua Amarilla) está utilizando esta técnica con óptimos resultados.

Ecoturismo. En el Parque Nacional Pan de Azúcar se están diseñando senderos con circuitos de larga duración donde se contemplan refugios en los sectores altos que estarán abastecidos con agua de camanchaca. Esta será una de las actividades de promoción del ecoturismo.

Forestación. Esta es una alternativa ya probada y que ha tenido éxito en todos los ensayos realizados.

Costos:

Ejemplo: proyecto agua potable de Chungungo:

Superficie de captación	: 3 528 m ²
Producción diaria	: 10.580 litros
Números de captadores	: 44 captadores de 48 a 120 m ² c/u.
Distancia captación al poblado	: 6200 m.
Diferencia de cota	: 750 m.

Costos de inversión:

ITEM	VALOR \$EE.UU.	PORCENTAJE
Captación	27 680	22,7
Aducción	43 787	35,9
Estanque (100 m ³)	15 632	12,8
Tratamiento	2 037	1,7
Distribución	32 806	26,9
TOTAL	121 942	100,0

□ Ejemplo de un captador para abrevadero:

Captador 48 m².

ITEM	VALOR (\$EE.UU.)
- Materiales	275
- Mano de Obra	63
- Gastos Generales	39
TOTAL	378

Costo/m²= \$EE.UU. 7,88

Costos comparativos en sistemas de abastecimientos al pueblo de Chungungo (\$EE.UU./m³).

CON ATRAPANIEBLAS	CON CAMION ALJIBE	DIFERENCIA
3,2	4,3	34%

Antes de la puesta en marcha del sistema de captación de atrapanieblas, el suministro de agua a Chungungo era exclusivamente hecho por transporte con camión aljibe. Esa era la mejor opción. Por tal motivo se hizo una comparación entre el costo del sistema de atrapanieblas y el abastecimiento mediante camión aljibe.

Eficiencia de la tecnología

Agua potable: Caso Chungungo. Antes del proyecto, el pueblo era abastecido con agua que contenía serias deficiencias en cantidad (14 l/persona/día) y calidad. Con el proyecto de abastecimiento con agua de neblinas el consumo por persona aumento a 30 lt/día, mejorando a su vez las condiciones sanitarias y disminuyendo los casos de enfermedades gastrointestinales y de la piel.

Operación y mantenimiento

Dependiendo de la magnitud y destino del agua captada (consumo humano, vida silvestre, forestación), serán las complejidades de su operación. Para agua potable habrá que aplicar todas las medidas de higiene y los tratamientos necesarios (cloración). La mantención en general es sencilla y los materiales y piezas de reemplazo son de fácil obtención en el mercado. Los operadores del sistema necesitan en general un nivel medio, como puede ser un técnico o un administrador de campo. Para el caso de un operador de agua potable éste requiere de una capacitación más rigurosa (no de mayor nivel sino que de procedimientos) y una supervisión periódica (**Anexo 2**).

Ventajas

- Técnicas: relativamente fácil de instalar, luego de los estudios previos de factibilidad. La operación y mantención no presenta mayores dificultades.
- Ambientales: es su principal ventaja, por los impactos positivos a la salud humana y al medio ambiente (forestación, vida silvestre). Representa además una nueva fuente de agua, que no compite con otras fuentes tradicionales.
- Económica: para abastecimiento de agua potable comparativamente aparece como una alternativa mas viable que el sistema tradicional de abastecimiento (camión aljibe).

Limitaciones

Para invertir en un proyecto de abastecimiento de agua potable:

- Necesidad de contar con estadísticas confiables previas a la ejecución de un proyecto.
- La comunidad beneficiaria debe estar motivada para colaborar en todo el proceso y hacerse cargo del mantenimiento y operación del proyecto.
- Elevado costo de aducción, si el lugar de captación se aleja del sitio de uso.
- Tener en cuenta que los terrenos del entorno pueden ser fuentes de aporte de minerales pesados dañinos para la salud.
- Altamente sensible a condiciones meteorológicas, favorables por lo que necesariamente se debe contar con abastecimiento alternativo (camión aljibe)

Desarrollo futuro de la tecnología

- Analizar la forma de hacer económicamente más eficiente el sistema de aducción.
- Es necesario mejorar los diseños para aumentar la eficiencia de la captación y durabilidad de los materiales.

Descripción de casos

En Chile es posible usar esta tecnología en todo el cordón montañoso costero (Cordillera de la Costa) hasta el norte de la V Región (Valparaíso), cubriendo una extensión de aproximadamente 1 800 km. En esta área se deben realizar estudios más precisos de prospección para llegar a decidir la implementación de un proyecto determinado.

Asimismo, se tiene información que fenómenos similares se presentan en otros 21 países, y que en Perú, Islas Canarias, Ecuador, Africa del sur, Hawaii, Namibia y Cabo Verde se desarrollan estudios para la aplicación de la tecnología en el aprovechamiento de este tipo de nieblas.

ANEXO 1: CAPTADORES DE AGUA DE NIEBLA

Neblinómetros:

- a) Grunow. Pluviógrafo con un pequeño cilindro de latón perforado sobre la boca. Inscrito en la OMM.
- b) De Cilindro: con hilos de nylon o malla mosquitero.
- c) Neblinómetro múltiple: Para medir a diferentes alturas, con estructuras de captación en base de fierro de 0.5x0.5 m., con hilos de nylon, malla mosquitero, o bien raschel simple o doble de 35% de sombra.
- d) Neblinómetro simple o de pantalla igual: al anterior pero con un solo marco.

Captadores:

- e) Macrodiamante: Estructura de poliedros múltiples. Cada poliedro con hilos nylon, o malla mosquitero, o bien malla raschel.
- f) De cortina. Captador de mayor producción, en base a postes de eucalipto empotrados, alambre galvanizado, malla raschel doble (35%) y canaletas recolectoras.
- g) Ecológico: Colihues en trípode con género o arpillera.
- h) De Cilindro: Marco de fierro en forma de cilindro, cubierto con hilo de nylon o malla mosquitero. También podría emplearse malla raschel, el agua colectada escurre de un tambor de 200 litros.

Dirección para consultas

Guido Soto A., Corporación Nacional Forestal IV Región
Cordovez 281, La Serena, Chile.
Fono: (56 51) 226090 - Fax (56 51) 215073

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.

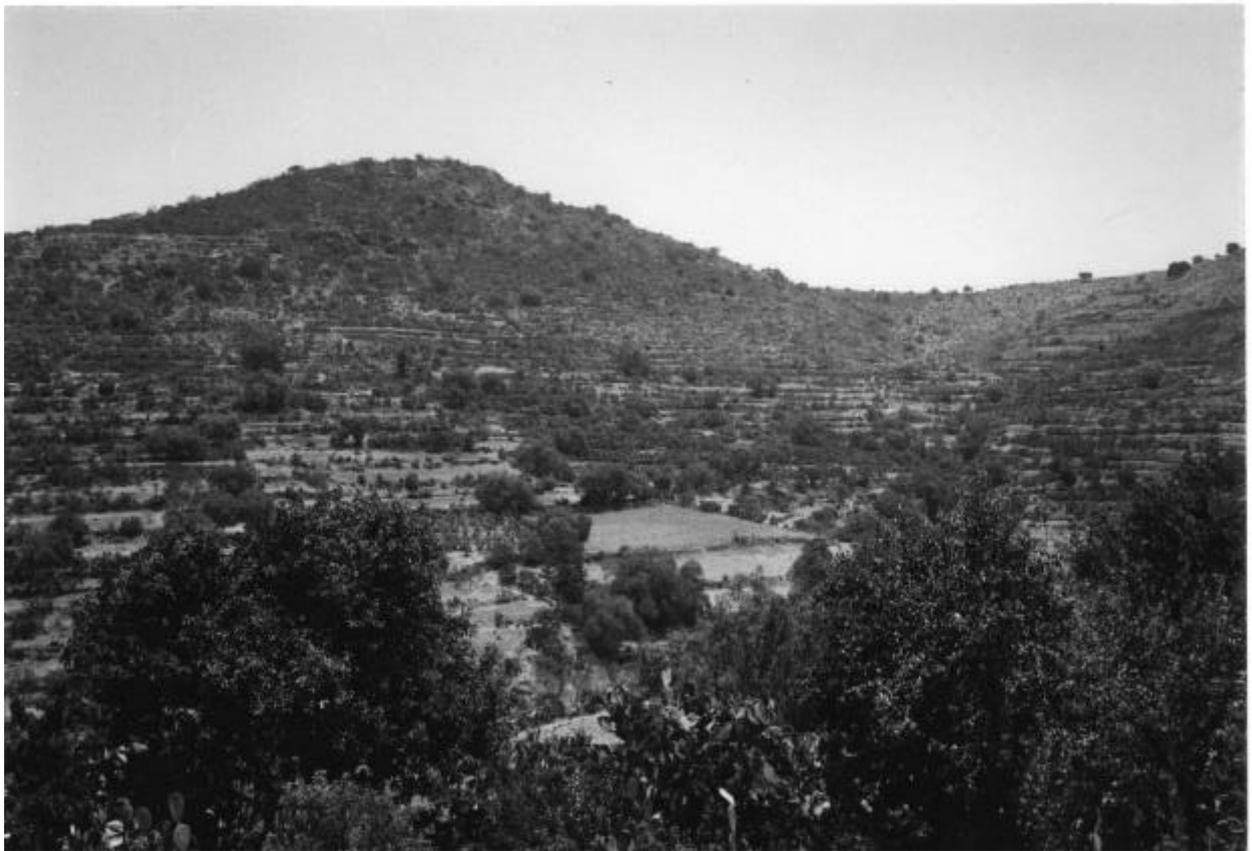
DERIVACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE TORRENTES, MÉXICO 1

*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 semiteraza; 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, ardiliones 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: Altiplano 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

DERIVACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE TORRENTES, MÉXICO 2

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

Antecedentes históricos

Evenari (1981), ha descrito sistemas para utilización de aguas de escurrimiento que datan de hace 4 000 años y que fueron encontrados en lo que ahora es el desierto del Negev, en el estado de Israel.

De épocas mucho más recientes, se tiene evidencia de sistemas para el aprovechamiento de escorrentías en la agricultura, usados hace 500 años en lo que actualmente se conoce como Parque Nacional de Mesa Verde localizado en la parte Sur Oeste del estado de Colorado, U.S.A.

A mediados del presente siglo los Departamentos de Agricultura y Conservación de Suelos de los Estados Unidos habían publicado ya un boletín técnico titulado: "Range Improvement through Waterspreading" (Stocker, 1954), que muy posiblemente podría traducirse como: "Mejoramiento de Agostaderos Mediante el Esparcimiento Controlado de Aguas de Escorrentía", donde se explican las bases de este sistema y los magníficos resultados obtenidos en los terrenos donde esta tecnología fue aplicada.

La derivación y distribución de aguas broncas³ o torrentes ocasionales, ha sido también utilizado con fines de producción agrícola. Para este propósito Rome H. Mickelson (1966), diseñó, y estableció un sistema que él denominó "Level Pan System for Intercepting, Spreading and Storing Runoff from a Contributing Watershed", cuya traducción al español podría ser: "Áreas niveladas para interceptar, esparcir y almacenar escorrentías de una cuenca de contribución".

Aspectos técnicos

Descripción

Para el aprovechamiento de torrentes ocasionales, con propósitos de producción agrícola, se pueden utilizar los sistemas que a continuación se mencionan y describen:

Bordos Interceptores

Con este sistema se maneja el esparcimiento controlado de aguas broncas con bordos interceptores y almacenadores construidos sobre la pendiente natural del terreno.

³ Aguas broncas: Se refiere a los volúmenes de aguas de escorrentía que después de haber alcanzado una determinada profundidad, fluyen ocasionalmente pendiente abajo por cauces naturales o bien por superficies inclinadas, en forma no controlada.

Este sistema consta de una presa de retención, construida sobre el cauce de un arroyo ocasional o cárcava y sobre uno de los márgenes del arroyo, a una distancia conveniente aguas arriba del sitio destinado a la presa, se iniciará un canal derivador, o un dique derivador, que conduzca las aguas de escorrentía hacia 1, 2, 3 bordos de desviación, los cuales tienen por objeto distribuir el torrente de agua, restándole velocidad, antes de llegar al primer bordo de retención. Una vez lleno el primer bordo de almacenamiento, el agua saldrá por uno de los extremos de éste con dirección a un segundo; esta operación se repetirá tantas veces como lo permitan los volúmenes de agua de escorrentía (**figura 47**).

Áreas Niveladas

En este sistema se maneja el esparcimiento y almacenamiento de aguas broncas mediante el establecimiento de áreas con superficie y pendiente controladas.

Este sistema consta de un bordo de recepción, que se construye donde el cauce de un arroyo ocasional o cárcava principia a perder su definición. El bordo de recepción deberá tener suficiente altura y consistencia para lograr un almacenamiento temporal del agua y en algún lugar apropiado de éste, se instalará una compuerta a través de la cual se hará desalojar toda el agua almacenada. Pendiente abajo del bordo de recepción se ubica una serie de áreas niveladas, circundadas por bordos que permiten almacenar el agua. En cada área nivelada se instalan dos vertedores, el primero permite la entrada del agua y el segundo su salida después de haber alcanzado una determinada profundidad en el área que deja. El agua después de anegar un área nivelada, pasa a la siguiente a través de un canal de longitud variable (**figura 48**).

Objetivos

- Utilizar volúmenes de aguas de escorrentía conducidos por cauces naturales para el establecimiento de nuevas áreas destinadas a la producción de pastos en terrenos con condiciones naturales o bien a la producción agrícola en superficies definidas de pendiente controlada.
- Impedir la inundación y el azolvamiento de terrenos de cultivo y de núcleos de población ubicados en áreas de influencia de corrientes descendentes.

Ubicación y Selección del Sitio

Para este propósito, se seleccionarán terrenos con suelos profundos que estén claramente ubicados en las áreas de influencia de una corriente pluvial ocasional.

Figura 47. Aspecto general de un sistema de esparcimiento controlado de aguas broncas del tipo “bordes interceptores” donde se observa una presa de retención A), un dique derivador B), tres bordos de desviación C) y cinco bordos de almacenamiento D). Se observan además escurrimientos laterales E) de un área intermedia, hacia el cauce principal. (Fuente: Departamento del Interior, Bureau of Land Management).

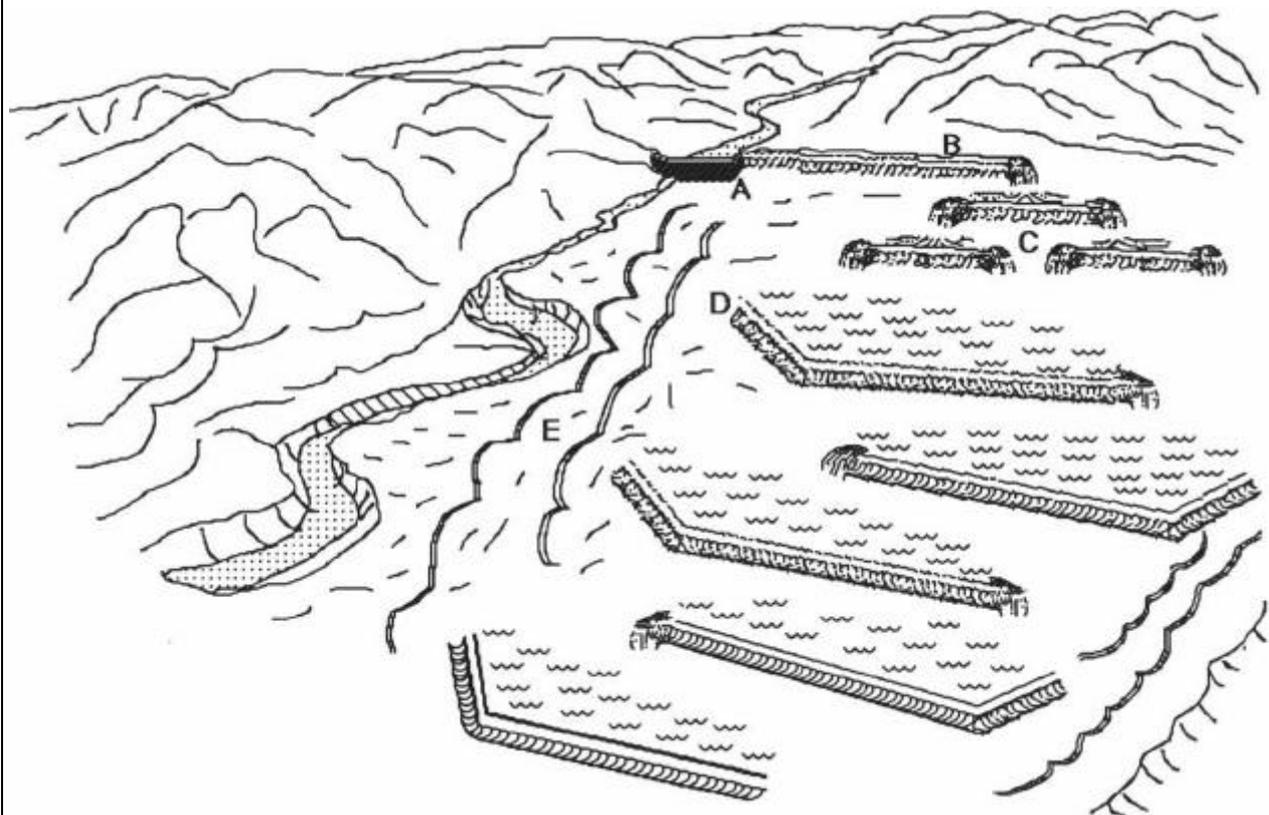
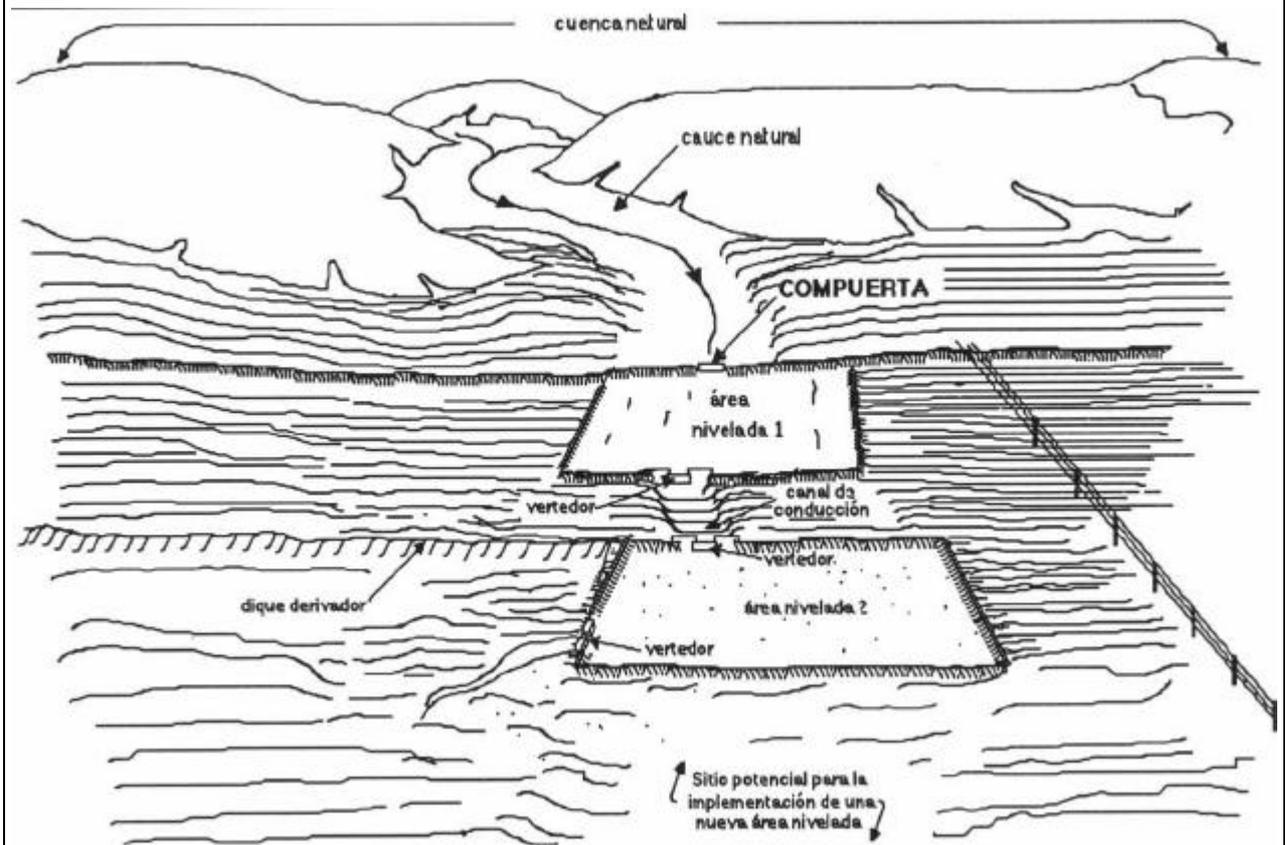


Figura 48. Representación esquemática de un sistema de “Áreas Niveladas” para el esparcimiento y almacenamiento de aguas de escurrimiento. (Fuente: Colegio de Recursos Naturales Renovables de la Universidad de Arizona, EE.UU.).



Diseño

Para el diseño de cualquiera de los sistemas, Bordos Interceptores, o Áreas Niveladas, primeramente se procede a calcular el torrente máximo o la escorrentía máxima de que se

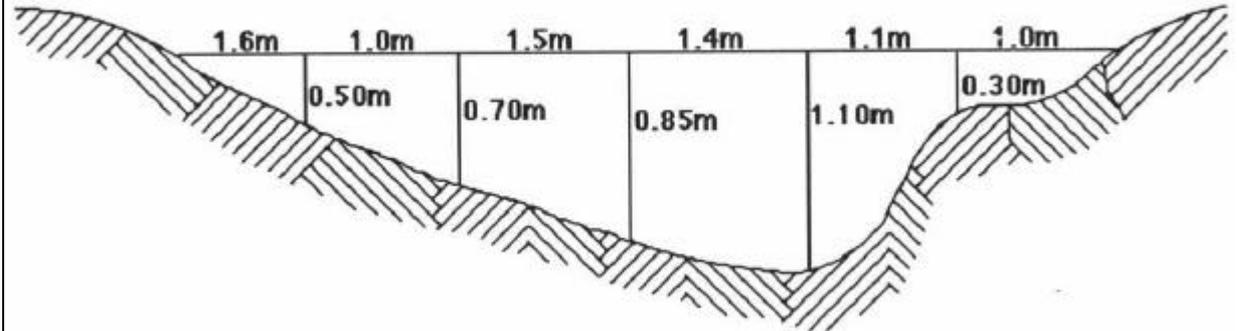
dispone y para este propósito se puede utilizar "El Método Pendiente-Area", que a continuación se describe:

1. Seleccionar un tramo razonablemente recto de paredes lisas dentro de un cauce natural.
2. Dentro del tramo seleccionado, ubique una sección transversal donde puedan apreciarse con claridad las marcas de máximo nivel que dejan las corrientes pluviales en ambos lados del cauce.
3. Si las marcas de elevación máxima que se observaron a ambos lados del cauce, no tienen la misma altura, entonces tome un promedio de las alturas de éstas.
4. Para determinar la superficie de la sección transversal seleccionada, divida el ancho total de la sección en varias partes y luego proceda en forma similar al ejemplo que a continuación se incluye, (obsérvese la **figura 49**).

$$A = \frac{(0 + 0,50)1,6}{2} + \frac{(0,50 + 0,70)1,0}{2} + \frac{(0,70 + 0,85)1,5}{2} + \frac{(0,85 + 1,10)1,4}{2} + \frac{(1,10 + 0,30)1,1}{2} + \frac{(0,30 + 0)1,0}{2} = 4,45m^2$$

5. Luego seleccione un punto a una distancia que puede fluctuar entre 30 y 90 m. aguas arriba (pendiente arriba) de la sección transversal cuya superficie se acaba de determinar.
6. Considerando que la distancia al punto seleccionado fue de 60 m y que en este punto la marca promedio de máxima elevación de las corrientes fue 1,0 m menor. Entonces la pendiente del agua en movimiento será $1/60 = 0,016$.
7. De igual manera deberá seleccionarse otro punto aguas abajo (pendiente abajo), a una distancia de 15 a 30 m de la sección transversal seleccionada. Esta última medición se lleva a cabo con el propósito de comprobar la uniformidad de la pendiente del agua.
8. Determine el perímetro mojado de la sección transversal seleccionada para lo cual se medirá la distancia lineal a partir de una de las marcas de máxima elevación del agua, localizada sobre uno de los taludes para continuar a través del fondo del cauce y luego subir hasta la otra marca de máxima elevación localizada en el talud de enfrente. Para el presente caso se considera un perímetro mojado de 9,12 m.

Figura 49. Sección transversal sobre un tramo de un cauce normal.



9. Determine el radio hidráulico (r) de la sección transversal seleccionada, haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\text{Área de la sección transversal}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{4,45\text{m}^2}{9,12\text{m}} = 0,488\text{m} = 1,6\text{ft}$$

10. De acuerdo a las condiciones de las paredes del canal, determine el coeficiente de rugosidad (n), haciendo uso del **cuadro 20**.
11. Una vez calculados el radio hidráulico (r), la pendiente del agua en movimiento (s) y seleccionado el coeficiente de rugosidad (n), que en el presente caso se toma, como 0,050, se podrá calcular la velocidad del agua para lo cual se podrá emplear cualquiera de las 2 fórmulas que a continuación se utilizan en el presente **ejemplo**:

Fórmula de Kutter:

$$v = \frac{\left(\frac{1,811}{n} + 41,6 + \frac{0,00281}{s} \right)}{1 + \left(41,6 + \frac{0,00281}{s} \right) \left(\frac{n}{\sqrt{r}} \right)} \left(\sqrt{(r)(s)} \right)$$

Cuadro 20. Coeficientes de rugosidad (n)* de Horton para su aplicación en las fórmulas de Manning y Kutter

Canales y zanjas	Condiciones de las paredes			
	Perfectas	Buenas	Medianament e buenas	Malas
En tierra, alineados y uniformes	0,017	0,020	0,0225	**0,025
En roca, lisos y uniformes	0,025	0,030	**0,033	0,035
En roca, con salientes y sinuosos	0,035	0,040	0,045	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0,0225	**0,025	0,0275	0,030
Dragados en tierra	0,025	**0,0275	0,030	0,033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra	0,025	0,030	**0,035	0,040
enhierbados	0,028	**0,030	0,033	0,035
Plantillas de tierra, taludes ásperos				
Corrientes naturales				
1. Limpios, bordos rectos, llenos, sin hendeduras ni charcos profundos	0,025	0,0275	0,030	0,033
2. Igual que 1, pero con algo de hierba y piedra	0,030	0,033	0,035	0,040
3. Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio	0,033	0,035	0,040	0,045
4. Igual que 3, de poco tirante, con pendiente y sección menos eficientes.	0,040	0,045	0,050	0,055
5. Igual que 3, algo de hierba y piedras	0,035	0,040	0,045	0,050
6. Igual que 4, secciones pedregosas	0,045	0,050	0,055	0,060
7. Ríos perezosos, cauce enhierbado o con charcos profundos.	0,050	0,060	0,070	0,080
8. Playas muy enhierbadas	0,075	0,100	0,125	0,150

* Coeficientes de rugosidad (n). Fuente: *Hidráulica* de Samuel Trueba Coronel.

** Valores comúnmente empleados para proyectar.

Substituyendo en esta fórmula los valores arriba asignados (r en pies, porque la fórmula arroja el resultado en pies).

$$v = \frac{\left(\frac{1,811}{0,050} + 41,6 + \frac{0,00281}{0,016} \right)}{1 + \left(41,6 + \frac{0,00281}{0,016} \right) \left(\frac{0,050}{\sqrt{1,6}} \right)} \left(\sqrt{(1,6)(0,016)} \right)$$

$$v = 4,7 \text{ ft/seg} = 1,44 \text{ m/seg}$$

Fórmula de Manning:

$$V = \frac{1,486}{n} (r)^{2/3} (s)^{1/2}$$

Substituyendo en esta fórmula los valores n , r y s , utilizados en la fórmula de Kutter, se tiene:

$$v = \frac{1,486}{0,050} (1,6)^{2/3} (0,016)^{1/2}$$

$$v = 5.123 \text{ ft/seg} = 1,56 \text{ m/seg}$$

12. Con la velocidad de flujo ya cuantificada, que para este ejemplo ha sido calculada con 2 fórmulas distintas y por lo tanto se empleará el promedio de ambos valores, se podrá calcular el flujo máximo en metros cúbicos por segundo:

$$Q = Av$$

Q = Flujo máximo (m³/seg).

A = Area de sección seleccionada en un tramo del cauce (m²).

v = Velocidad del flujo (m/seg).

Substituyendo los valores encontrados, se tiene:

$$Q = (4,45\text{m}^2)(1,50\text{m/seg}).$$

$$Q = 6,675 \text{ m}^3/\text{seg} = 6,7 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El método Pendiente-Area permite calcular el volumen máximo de descarga, pero no permite obtener la información concerniente al volumen total que puede producirse después de un evento lluvioso.

Para este propósito, será necesario estimar lo más cercanamente posible tanto el tiempo de flujo como el volumen total del caudal, porque aún y cuando no es posible determinar estas magnitudes en forma precisa, son datos de gran importancia para la persona que está diseñando los sistemas citados y aún y cuando ya se han mencionado, aquí se vuelven a citar una vez más para no perderlos de vista:

- A. Bordos interceptores.
- B. Areas niveladas.

Estimación del Tiempo de flujo y del Volumen Total de un Caudal.

1. Una regla práctica comúnmente utilizada, es asumir que el tiempo de flujo es igual al doble del tiempo de concentración y que el flujo (caudal o descarga) promedio es aproximadamente igual a la mitad del flujo (caudal o descarga) máximo.
2. El tiempo de concentración, se define como el tiempo que tardaría una gota de agua en recorrer la distancia entre el punto más alejado y el punto de salida de una cuenca; considerando que no existe evaporación y que la superficie es impermeable. El tiempo de concentración se puede determinar haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{L_c}{v} = \frac{L_c}{\frac{Q}{A}}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración, (minutos).

L_c = Longitud del cauce principal dentro de la cuenca, (m).

H = Diferencia de elevación entre los 2 puntos extremos del cauce principal, (m).

En el presente caso:

Lc = 1000 m

H = 30 m

Con lo cual:

Tc = 15 minutos

3. En el caso del ejemplo que se ha manejado se tiene que:

El flujo máximo $Q = 6,7 \text{ m}^3/\text{seg}$

Luego entonces:

$$\text{Flujo o caudal promedio} = \frac{6\,700 \text{ lt/seg}}{2} = 3\,350 \text{ lt/seg}$$

4. Considerando que una corriente de agua de 10 lt/seg puede regar una superficie de 1 ha con una aceptable lámina de 8,6 cm al fluir durante 24 horas. Entonces 3 350 lt/seg regarán 335 ha en un lapso de 24 horas. En el presente caso, se tiene un tiempo de concentración de 15 minutos, con lo cual el tiempo estimado de flujo normal será de 30 minutos y debido a que el flujo de agua requeriría un tiempo de 30 minutos más para llegar a la zona de esparcimiento, se tendría que: En un lapso de 1 hora se regarían 14 ha.
5. La superficie de 14 ha sería regada en el lapso de 1 hora por la lluvia máxima considerando un período de retorno de 20 años. Entonces la lluvia normal podría producir la tercera parte o quizá la mitad del volumen que produce la lluvia máxima, con lo cual se podría contemplar una superficie que fluctuará aproximadamente entre 5 y 7,5 ha.
6. Si por otra parte, al cálculo anterior se le considera un 60% de eficiencia, entonces después de cada lluvia normal se regarían de 3 a 4,5 ha.

Trazo

Una vez estimada la superficie susceptible de regar, se procede a escoger cualquiera de los dos sistemas mencionados para el aprovechamiento de aguas broncas. Sin embargo, el sistema "Bordos Interceptores", por ser un método que no requiere de prácticas de nivelación, es más apropiado para terrenos con mayor grado de pendiente. Mientras que el sistema "Áreas Niveladas", sería el de mejor adaptación en terrenos con pendientes moderadas, ya que su establecimiento requiere de prácticas de nivelación.

Bordos Interceptores:

A continuación se presenta una secuencia de trabajo para el trazo del sistema de bordos interceptores:

1. Primeramente se definirá el sitio donde será construida la presa de retención sobre el cauce de un arroyo ocasional o cárcava y su trazo dependerá de cálculos previamente hechos para este propósito (Velasco, 1991).
2. El trazo del canal derivador o dique derivador estará basado en cálculos previamente hechos para este propósito, en los que básicamente será considerado el caudal de agua por conducir.
3. Los bordos de desviación serán trazados solamente en casos de grandes volúmenes de escorrentía y su trazo se basará más en el sentido común, que en datos puramente técnicos.
4. El número de bordos de almacenamiento por trazar dependerá del volumen de agua de escorrentía por distribuir, dato este último que fue inicialmente estimado.
5. El trazo de los bordos de almacenamiento cuya superficie interna puede estar circundada por un bordo angular o circular, estará en función del volumen que cada uno de estos vaya a recibir.
6. Al trazar cada uno de los bordos de almacenamiento, deberá considerarse que uno de los extremos del bordo, será el punto por donde se desaloje el agua para inundar al siguiente, localizado aguas abajo.

Áreas Niveladas:

A continuación se presenta una secuencia de trabajo para el trazo del sistema de áreas niveladas:

1. Determinada la superficie para la primera área nivelada, se cuadrícula el área utilizando estacas cada 20 m. Asumiendo que esta primera área vaya a tener una superficie de 2 ha entonces podría estacarse un rectángulo de 100 m/ 200 m, para lo cual se requerirían 66 estacas.
2. Establecida la cuadrícula en la superficie de 2 ha se procederá a levantar la altimetría de esta primera área nivelada, lo cual permitirá marcar los cortes y rellenos que tendrán que hacerse para dejar la superficie totalmente nivelada.
3. El bordo (de recepción), donde se colocará la compuerta que permitirá entrar el agua a la primera área nivelada, deberá ser de suficiente longitud y altura que permita la concentración del agua de escorrentía pendiente arriba.
4. La profundidad de la lámina de agua en esta primera área nivelada, podrá ser regulada por 2 factores: La altura topográfica de la superficie del área y el nivel de salida del agua en el vertedor de salida.

5. La profundidad que alcance el agua en esta primera área nivelada deberá ser aproximadamente igual a la que se tuvo, inicialmente (8,6 cm), para estimar la superficie por regar, aún y cuando de antemano se sabe que el agua seguirá pasando a través de ésta, hasta que se alcance el nivel de deseado en la segunda área nivelada.
6. Al lograrse la profundidad de 8,6 cm en la primera área nivelada, el agua principiará a fluir a través del vertedor de salida de esta área y será conducida por un canal para principiar a llenar la segunda área nivelada, después de pasar por el primer vertedor de la segunda área nivelada.
7. Para la segunda área nivelada, puede seguirse el mismo criterio de nivelación y anegamiento que se tuvo para la primera; es decir, se trazará la cuadrícula se verificarán los cortes y rellenos y se permitirá la acumulación del agua hasta una profundidad de 8,6 cm y así se continuará sucesivamente, hasta anegar tantas áreas niveladas como sea posible.

Construcción

Bordos Interceptores:

1. La construcción de la presa de retención y del canal derivador requieren tanto de cálculos ingenieriles, como de mano de obra especializada.
2. Los bordos de desviación y los bordos de almacenamiento deberán ser preferentemente construidos con maquinaria pesada, con lo cual se podrán mover los volúmenes de suelo requeridos para este propósito.
3. En la construcción de bordos de desviación y de almacenamiento es indispensable la compactación del suelo, para lo cual también se hará necesario el uso de implementos específicos para este propósito.

Areas Niveladas:

1. La nivelación de la superficie podrá llevarse a cabo con peones de campo, utilizando herramientas manuales tales como: azadones, rastrillos y palas, puesto que se supone que las superficies escogidas para este propósito son lo suficientemente planas de origen.
2. Si el trabajo de nivelación quiere hacerse más rápidamente, podría utilizarse una niveladora (Land plane), tirada por un tractor agrícola. Cabe mencionar que en este caso, la distancia entre estacas del área cuadrículada deberá ser un múltiplo del ancho de la cuchilla de la niveladora, ya que este instrumento nivela al ir y al regresar.
3. Terminada la tarea de nivelación en un área, se procederá a levantar los bordos circundantes de ésta. Para este propósito, se sugiere hacer un barbecho profundo en una franja de terreno de 2 m de ancho, inmediatamente circundante a los 4 lados del área nivelada. Esta operación se lleva a cabo con el propósito de tener suficiente suelo suelto para que la bordeadora que será conducida sobre la misma franja, pueda levantar un bordo lo suficientemente alto y firme ya que después de construido deberá ser compactado.

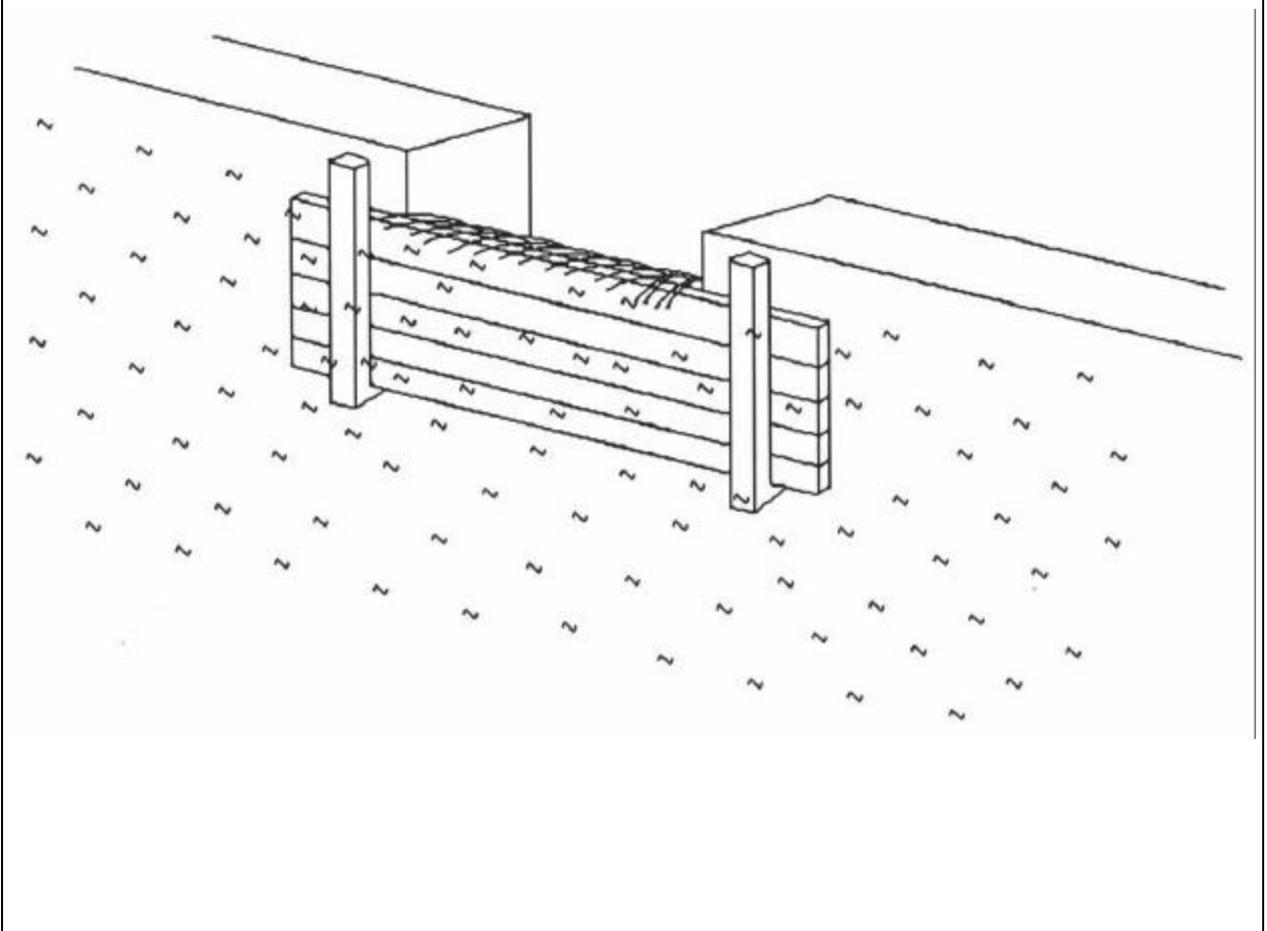
4. Una vez levantada la bordería de cada área nivelada, se procederá a instalar los vertedores. Un tipo de vertedor sencillo construido de concreto, puede ser el que se muestra en la **figura 50**. Las tabletas de 2,5 cm de grueso, de 2, 3, 4, ó 5 cm. de alto y de un largo suficiente para cubrir todo el ancho del vertedor, pueden ser colocadas o removidas hasta que el agua alcance la profundidad deseada dentro de una área nivelada.
5. La profundidad del agua estará gobernada por la altura de la primer tableta (de arriba hacia abajo). Sin embargo, para hacer totalmente impermeable esta barrera de tabletas, deberá utilizarse una porción de plástico o de lona encerada.

Mantenimiento

Las prácticas de mantenimiento requeridas tanto para el sistema de bordos interceptores como para el de áreas niveladas son prácticamente las mismas y pueden quedar resumidas en los siguientes puntos:

1. Conservar los canales de conducción lo más limpio posible durante todo el año, ya que al no tratarse de riegos programados, sino ocasionales, su disponibilidad debe ser permanente.
2. Los bordos de desviación, los bordos de retención y los bordos que limitan las áreas niveladas, deberán conservarse en buenas condiciones ya que ésta será la única forma en que los torrentes puedan ser distribuidos y las áreas de cultivo debidamente anegadas.

Figura 50. Vertedor rectangular con compuerta de tabletas, para regular la profundidad del agua en las áreas niveladas.



3. La compuerta del bordo de retención y los vertedores de las áreas niveladas deberán estar permanentemente funcionales puesto que el momento en que estos dispositivos puedan funcionar es totalmente impredecible.
4. Las superficies de almacenamiento de aguas tanto en el sistema de bordos interceptores como en el de áreas niveladas, que son en sí las superficies de siembra en cada caso, deberán conservarse abiertas (barbechadas) y deshierbadas cuando no estén bajo cultivo y totalmente deshierbadas cuando estén bajo cultivo.

Potencial de Producción

El potencial de producción de los sistemas de anegamiento, es realmente ilimitado, porque la magnitud de las extensiones donde es posible su adaptación es prácticamente inagotable. Podría comentarse sin llegar al detalle, que de cada pequeño lomerío por modesto que éste sea y después de una lluvia torrencial como son características en nuestros ámbitos secos; un cuantioso volumen de agua está siendo desperdiciado.

El éxito en la adaptación de los sistemas de anegamiento o entarquinamiento de aguas de escorrentía únicamente radica en una serie de consideraciones técnicas sensatamente razonadas, que permitan el máximo de concordancia que debe existir entre la capacidad de riego del afluente y la superficie asignada para este propósito.

Grado de Complejidad

Los servicios de un ingeniero agrónomo, ocasionalmente asesorado por un ingeniero civil, serían suficientes para llevar a cabo la aplicación de la tecnología que aquí se ha descrito.

Por lo que concierne al tipo de maquinaria por usar, sí se requiere de personal especializado y por lo que toca a la implementación de compuertas y vertedores, realmente son quehaceres que más bien tienen que ver con el ingenio de la persona que con la alta tecnología.

Limitaciones

Probablemente más que limitación, los sistemas aquí descritos adolecen de una importante deficiencia de diseño, la cual podría corregirse si así se deseara.

En ambos sistemas, el primer bordo de almacenamiento o la primera área nivelada siempre recibirá la mayor parte del caudal producido en cada evento lluvioso. El segundo bordo de almacenamiento o la segunda área nivelada, obviamente recibirá una menor parte del caudal que el primer bordo o que la primera área y éstos a su vez retendrán una mayor parte de ese caudal que el tercer bordo o que la tercera área nivelada y así sucesivamente. Lo anterior podría explicarse con el siguiente ejemplo: Si se tuviera un sistema de 3 bordos de almacenamiento o de 3 áreas niveladas y si en cada caso los bordos o las áreas fueran del mismo tamaño, entonces el tercer recipiente de cada sistema, se habría llenado una vez, el segundo algunas veces, mientras que el primero se habría llenado 3 veces. El problema sería menor cada vez que un bordo de almacenamiento o que una área nivelada esté precedido por un recipiente más pequeño y mayor sería el problema cuando el recipiente que precede es de mayor tamaño.

Esta ineficiencia en los sistemas trae como consecuencia una importante disminución en la superficie que originalmente se planificó regar. Pero podría corregirse substancialmente construyendo un canal que llenara solamente una vez cada uno de los bordos de almacenamiento y cada una de las áreas niveladas.

Impacto socioeconómico y ambiental

Costos y retornos

El balance de costos y retornos en la implementación de sistemas del tipo “bordos interceptores” aquí descritos, utilizando el maíz como cultivo en las zonas semiáridas del norte de México, con relaciones área de siembra: área de escorrentía hasta de 1 : 8, es como sigue:

- Costo habilitación de la cuenca¹: \$EE.UU. 75 dólares/ha.
- Costo anual de operación²: \$EE.UU. 250 dólares/ha.
- Ingreso bruto: \$EE.UU. 500 dólares/ha.

¹ Habilitación de la cuenca: incluye construcción de la presa de derivación, vertedores y movimientos de tierra; que en el presente caso fue todo hecho a nivel muy económico, tal como el empleo de tallas de ferrocarril para la construcción de la presa de derivación y mano de obra campesina utilizando sus propios implementos.

² Costo anual de operación: incluye empleo de maquinaria para las operaciones de barbecho (arado), rastreo, mantenimiento de bordería y siembra. Incluye también el costo de la semilla, corte, amonado, pisca y desgrane.

Considerando una amortización de la inversión inicial (habilitación de la cuenca) a 3 años, se tiene:

- Utilidad durante los primeros 3 años: \$EE.UU. 225 dólares/ha.
- Utilidad una vez amortizada la inversión inicial: \$EE.UU. 250 dólares/ha.

Generación de empleos

En un total de 69 sistemas del tipo “bordos interceptores”, establecidos en 5 estados de la zona semiárida de la república mexicana, se generaron 24 294 jornales (días/hombre) y se lograron cultivar 3 396 hectáreas, de donde puede deducirse que la implementación de estos sistemas generan 7 jornales por hectárea de terreno beneficiado.

Sustentabilidad

La implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas broncas, de cualquiera de los 2 tipos aquí descritos: “bordos interceptores” o “áreas niveladas”, además de permitir el uso controlado de las escorrentías para propósitos de producción agrícola, pueden evitar la hidroerosión que hasta ahora han ocasionado esta clase de torrentes sin control.

Descripción de casos

Lugar y fecha

La construcción del sistema de bordos interceptores se ha llevado a cabo por lo menos en 65 poblados rurales de los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas de la república mexicana. La implementación de los sistemas se inició en el año de 1989 y actualmente aún continúa vigente; siendo el maíz el cultivo que fundamentalmente se ha explotado en este sistema.

Características del lugar y de las técnicas aplicadas

En México, el lugar donde primeramente se estableció, un sistema planeado para el aprovechamiento de aguas broncas del tipo bordos interceptores, con fines de producción agrícola, fue en un núcleo de población rural del medio campesino, el ejido "Jaguey de Ferniza". Cuenta con una superficie de 4 632 ha. de las cuales 3 840 son de agostadero y 797 se emplean en agricultura de temporal, beneficiándose 98 campesinos de la superficie total. "Jaguey de Ferniza" tiene una elevación de 2 100 msnm; su temperatura media anual fluctúa entre 16° y 20° C, con mínimas de -15° C, máximas de 27° C. El régimen de lluvias está definido por 2 estaciones húmedas separadas por una temporada seca de corta duración durante el verano y otra larga seca durante la segunda mitad del invierno y primera mitad de la primavera, siendo su precipitación pluvial promedio anual de 350 mm. Esta comunidad ejidal está ubicada en el municipio de Saltillo, Coahuila, dentro de la zona árida y semiárida de la república mexicana.

Resultados en la Producción

A raíz de los resultados en productividad logrados en el ejido "Jaguey de Ferniza", La Forestal F.C.L. durante 1979 llevó a cabo la construcción de 79 obras del tipo bordos interceptores en los estados de: Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas y en 1990 terminó la construcción de 69 obras más en los mismos estados, por ser éstas las entidades federativas donde se encuentra ubicada la zona ixtlera, que era atendida por la citada organización campesina.

Actualmente y con la participación de FIRCO (Fideicomiso de Riesgos Compartidos), organismo público descentralizado que trabaja en coordinación con la SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), ha participado en forma extensiva en la construcción de diferentes módulos de escurrimiento en el estado de San Luis Potosí, México.

Dirección para consultas

Ing. Rafael de la Rosa González
Departamento de Sociología,
Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"
Buena Vista, Saltillo, Coahuila
México
Tel. (84) 17-30-22
(84) 17-14-19

Ing. Samuel Peña Garza
Departamento de Desarrollo Rural,
Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"
Buena Vista, Saltillo, Coahuila
México.
Tel. (84) 17-30-22
(84) 17-14-19

Dr. Héctor Rodríguez Castro
FIRCO-S.L.P.
Tel. (48) 12-71-30
(48) 12-73-14
Fax. (48) 12-20-26

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
Tel. (8) 358-20-00 Ext. 4836
Fax. (8) 359-92-06

EMBALSE SUBTERRÁNEO, 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;
Luisa Teixeira de L. Brito, Ing. Agr. M.Sc. En Manejo de Suelo;
Paulo Roberto Coelho López, Ing. Agr. M.Sc. en Conservación de Suelo..
EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE, Brasil.
Saúl Pérez Arana, Ing. Agr. Especialista en Cosecha de Agua de Lluvia;
DIRYA-DIGESA, Guatemala.

Antecedentes históricos

Se tiene conocimiento de la técnica de almacenamiento de agua a través del uso de embalses subterráneos en varias partes del mundo; en Arizona, Estados Unidos; en el desierto de Negev, en Israel; en las regiones áridas de Africa del Norte y en el desierto del Sahara; en Irán (Orev, 1980; Sauermann, 1966; Wipplinger, 1974; Finkel, 1978).

En Brasil, Tigre (1949), ya enfatizaba la necesidad de almacenar agua en el perfil del suelo, mencionando en sus escritos, la realización de un primer trabajo en 1895, en San Antonio, California.

En 1954, se instaló en Recife, capital del Estado de Pernambuco, Brasil, la "Misión Hidrológica para el Nordeste", bajo la coordinación de la UNESCO, donde se discutieron los primeros trabajos sobre embalses subterráneos (Taltasse y Stretta, 1959).

A través del Departamento Nacional de Obras Contra las Secas (DNOCS), fue construido un embalse subterráneo, en 1965 en el río Trici, con el objetivo del abastecer de agua a la ciudad de Tauá, Estado de Ceará (IPT, 1981).

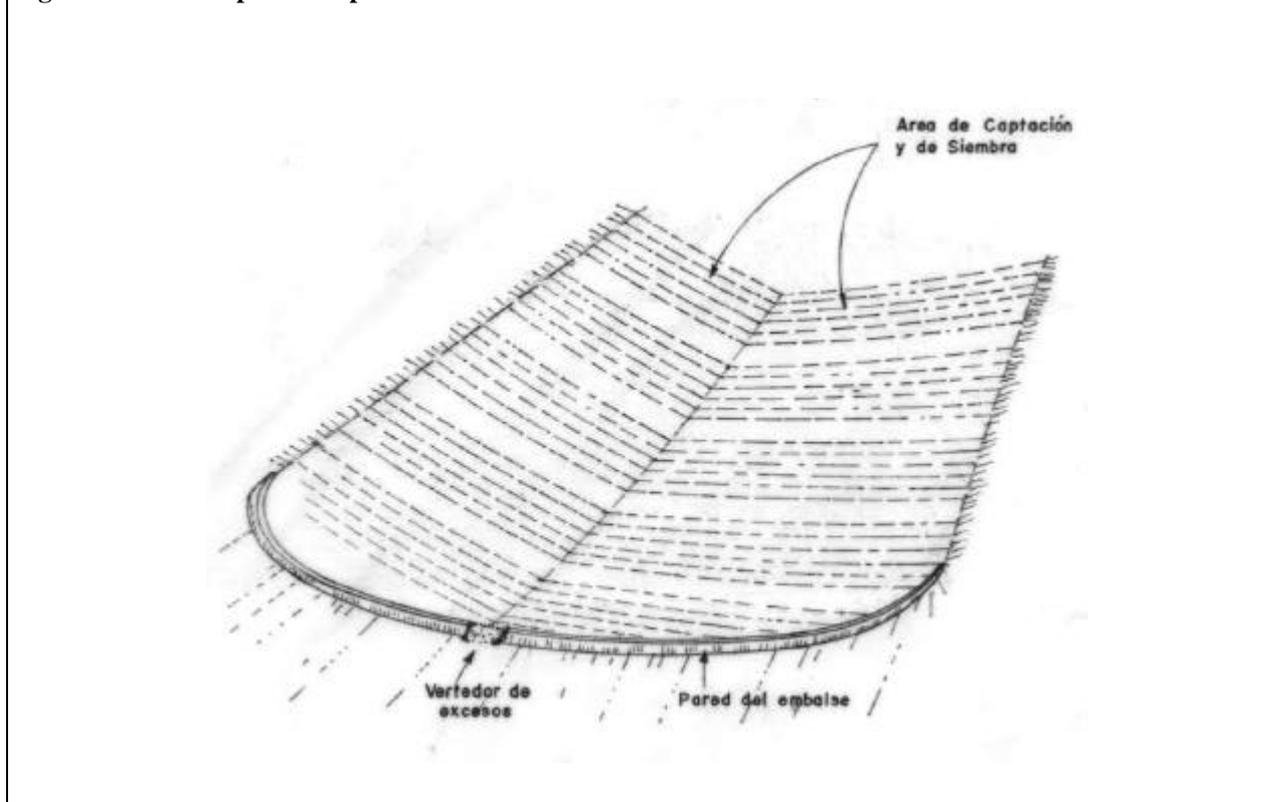
En 1982, el Centro de Pesquisa Agropecuaria do Trópico Semi-árido (CPATSA), inició sus estudios sobre los embalses subterráneos, con el objetivo de analizar su manejo en líneas de drenaje natural e introducir nuevos cultivos principalmente de subsistencia como el maíz (*Zea mays L.*), frijol caupí (*Vigna unguiculata L.*), sorgo (*Sorghum vulgare L.*) y algunas especies frutícolas como el mango (*Mangífera indica L.*), guanaba (*Annona muricata*), limón (*Citrus latifolia*), y acerola (*Malpighia glabra*).

Aspectos técnicos

Descripción

El embalse subterráneo es una técnica que pretende aprovechar el agua depositada en los suelos aluviales de los embalses, cauces de ríos y quebradas efímeras y lagos temporales, a través de la interceptación del flujo freático, por medio de la colocación de un septo (pared o lámina) impermeable subterráneo vertical y transversal al flujo, acumulándolo aguas arriba del reservorio en el perfil del suelo, formando una capa freática fácilmente utilizable por los cultivos. La **figura 51**, presenta un modelo esquemático de esta técnica.

Figura 51. Principales componentes de un embalse subterráneo.



El sistema de aprovechamiento del agua de escorrentía superficial en embalses subterráneos (SAES-ESt), está formado por los siguientes componentes: 1) área de captación y de siembra (Ac); 2) perfil de almacenamiento del agua (Aa); y, 3) pared del embalse (Pa). La **figura 52**, presenta un corte transversal del embalse subterráneo mostrando sus distintos componentes.

Área de captación y de siembra (Ac)

Es el área formada por una microcuenca hidrográfica, que tiene como límite superficial la bacía hidráulica. Su función es captar directamente el agua proveniente de la lluvia y de la escorrentía superficial, para que se infiltre en el perfil del suelo y se transforme, después del período lluvioso, en el área de siembra.

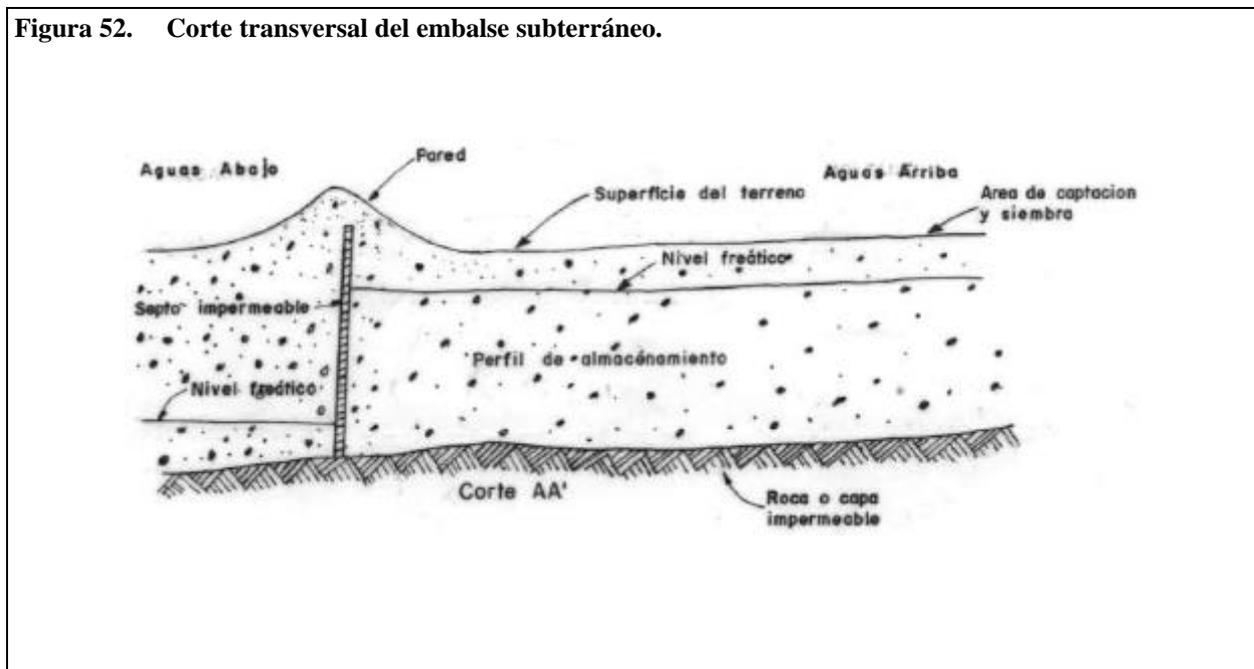
Perfil de almacenamiento del agua (Aa)

Es una porción de suelo limitada, en la parte superior por la bacía hidráulica de una microcuenca hidrográfica; en la parte inferior, por la capa impermeable del propio suelo; y en la parte frontal, por un septo impermeable artificial.

Pared del embalse (Pe)

También conocida como septo impermeable; se construye desde la roca hasta la capa superficial del suelo. Tiene la función de detener el flujo del agua superficial y subterránea, dando origen a la formación y/o elevación del nivel de la capa freática.

Figura 52. Corte transversal del embalse subterráneo.

Objetivo

Captar y almacenar el agua proveniente de la lluvia y de la escorrentía superficial en el perfil del suelo, para lograr la explotación de una agricultura de humedad o subirrigación.

Ubicación y selección del sitio

A través del conocimiento de la geología de los suelos en las regiones áridas y semiáridas, es posible afirmar que las rocas son alteradas, más por procesos mecánicos que por procesos químicos, lo que da como resultado una mayor producción de materiales gruesos, en comparación con materiales finos como los de las arcillas.

En un mismo período lluvioso existen variaciones bruscas en los caudales de escorrentía, los cuales favorecen el transporte de grandes cantidades de materiales gruesos que son depositados en las partes más planas de los valles.

Por lo tanto, y de acuerdo con el concepto de embalse subterráneo, se puede deducir que los sitios más indicados para su implantación son aquellos pequeños valles que sirven de depósito para materiales aluviales, como los lechos de ríos o quebradas temporales, o las bacías hidráulicas de lagos y lagunas de invierno.

Considerando que el área delimitada por la microcuenca hidrográfica se constituye en el área de siembra, se puede decir que esta debe tener suelos no muy profundos (1,5 a 2,0 m), de textura media y buena permeabilidad, para permitir la formación de una capa freática superficial que facilite la utilización del agua almacenada en el perfil durante todo el ciclo

fenológico de los cultivos. La pendiente de estos valles no debe exceder del 5% porque, mientras mayor es la pendiente, el área de la microcuenca hidráulica disminuye. Estas características son encontradas en las regiones áridas y semiáridas, donde las precipitaciones oscilan entre los 400 y 800 mm anuales.

Para una selección definitiva del lugar se deben abrir calicatas para caracterizar el perfil y la profundidad de la capa impermeable del suelo. Lo mismo debe hacerse si se trata de ríos o riachuelos temporales. En este último caso, debe observarse la calidad del agua del río o riachuelo, debiéndose eliminar áreas salinas o con tendencia a salinidad.

Diseño

Para establecer un embalse subterráneo con criterios técnicos, es importante conocer los siguientes aspectos:

- Características de la granulometría de los sedimentos aluviales y de la hidroquímica de las aguas subterráneas del área;
- Pluviometría anual de la región y datos de los caudales de escorrentía que pasan por los lechos de los ríos o líneas de drenaje, en el área a seleccionar;
- Capacidad de almacenamiento del acuífero, el cual es determinado por la porosidad de las diferentes capas del perfil del suelo;
- Presencia de áreas salinas en el sitio.

Trazo

Una vez seleccionada el área para la ubicación del sistema, se recomienda hacer un levantamiento planialtimétrico en cuadrículas de 20 x 20 m, para la localización de sus distintos componentes. La tarea más importante en el trazo es la identificación del lugar donde se debe construir la pared del embalse. De preferencia, ésta debe ubicarse en la parte más baja del valle, cortando el área de escorrentía, o microcuenca hidráulica, en sentido transversal al flujo de agua.

En general, en las escorrentías que fluyen por los valles es frecuente que se formen líneas de drenaje más profundas, principalmente en la parte central de los mismos. Estas líneas de drenaje están influenciadas por la cantidad de agua que corre por ellas y por la pendiente del terreno, presentando desgastes erosivos más acentuados.

La pared del embalse debe cortar todo el vaso hidráulico; por lo tanto, en la parte más baja del valle y con la ayuda de un nivel, se localizan dos puntos de igual altura a ambos lados del vaso hidráulico. Esto garantiza que la parte superior de la pared tenga el mismo nivel en toda su extensión.

Una vez localizados los dos puntos de igual altura, se procede a delimitar la pared del embalse utilizando para el efecto una cuerda y varios piquetes que serán colocados a cada 2,0 m siguiendo una línea recta o semicircular para unir ambos puntos a nivel. Dependiendo de la extensión y de la pendiente del valle, se puede continuar demarcando paredes con distancias variables entre 10 y

100 m. La **figura 53**, presenta la demarcación de las paredes de tres embalses subterráneos sucesivos constituidos en un valle de 400 m de largo y 100 m de ancho, aproximadamente.

Construcción

Después de la ubicación de la pared del embalse se inicia la construcción de la misma. Siguiendo la línea delimitada con los piquetes se inicia la excavación de una zanja de 0,8 m de ancho a todo lo largo de la pared. La profundidad es variable dependiendo de la localización de la capa impermeable.

Cuando la excavación se efectúa en aluviones arenosos y secos, se debe tener cuidado con el desmoronamiento de los taludes que dificultan el trabajo. Otro aspecto que se debe tomar en cuenta es que si durante la excavación se encontrara la capa freática, deberá bombearse el agua constantemente con el fin de disminuir su nivel en la zanja.

La excavación puede hacerse utilizando implementos manuales y colocando el material extraído en las orillas de la zanja para facilitar su colocación nuevamente dentro de la misma una vez que se haya construido el septo impermeable. Esta pared o septo impermeable puede construirse con bloques de arcilla compactados, ladrillos, piedras o lonas plásticas, lo cual dependerá de las condiciones del lugar, de la capacidad de inversión del productor y de la disponibilidad de materiales en el lugar de la obra.

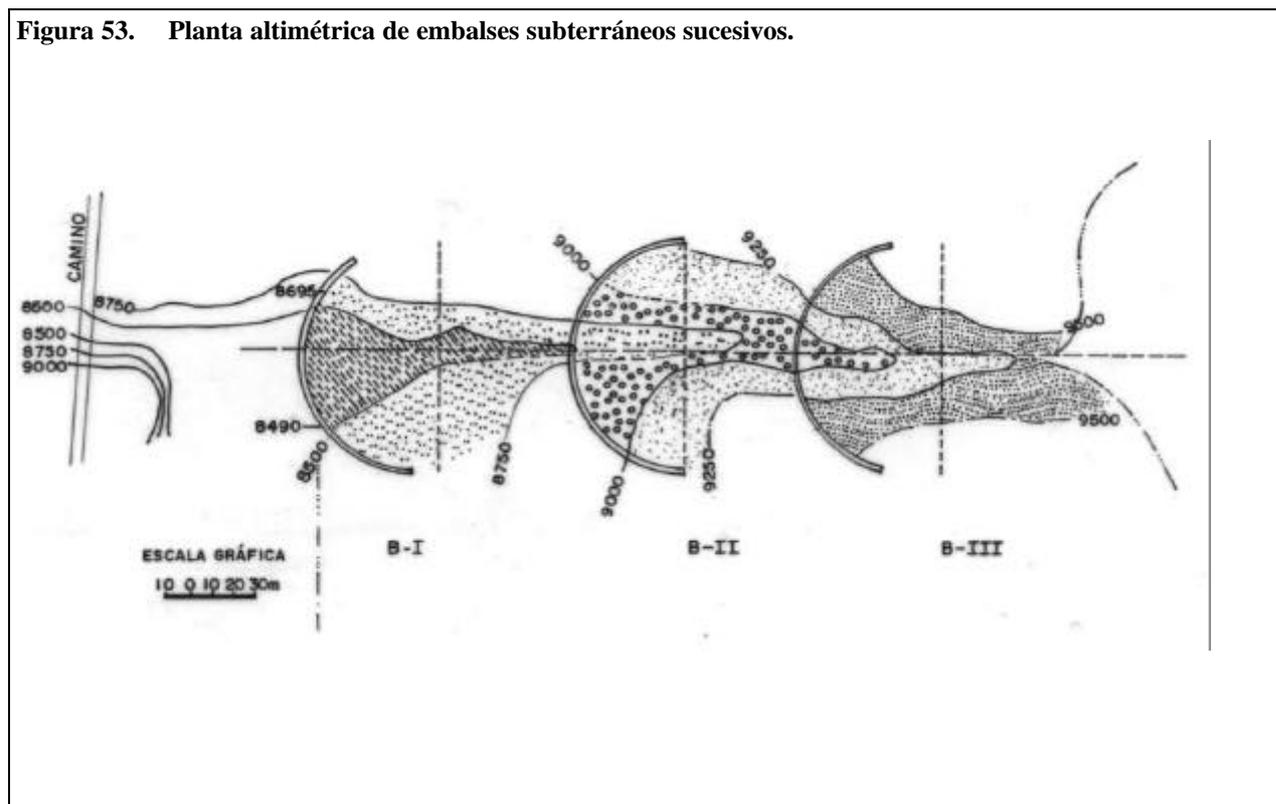
Pared de capas compactadas de arcilla

La construcción del septo impermeable consiste en la formación de una pared con capas de arcilla humedecidas y compactadas manualmente. En este caso, el ancho del septo es el mismo que el de la zanja excavada. Para conseguir una mejor compactación de la arcilla, es recomendable que se coloquen capas uniformes de 0,2 m de espesor a todo lo largo de la zanja.

Pared (Pe) de ladrillo

En la construcción del septo impermeable con ladrillos de barro, se procede de igual manera que si se fuera a construir una pared normal. Los ladrillos deben fabricarse con barro exento de sales y cocerse (hornearse) bien. La pared se construye en el centro de la zanja, como se ve en la **figura 54**, utilizando una mezcla de cemento y arena, en relación 1:4. Los ladrillos deben estar ligeramente mojados para una mejor adherencia de la mezcla. Es recomendable el revestimiento de la pared con una mezcla de cemento y arena en relación 1:3; y, con impermeabilizante en proporción 1:15, o sea, 1 kg de producto impermeabilizante por 15 litros de agua.

Figura 53. Planta alimétrica de embalses subterráneos sucesivos.



Pared (Pe) de piedra

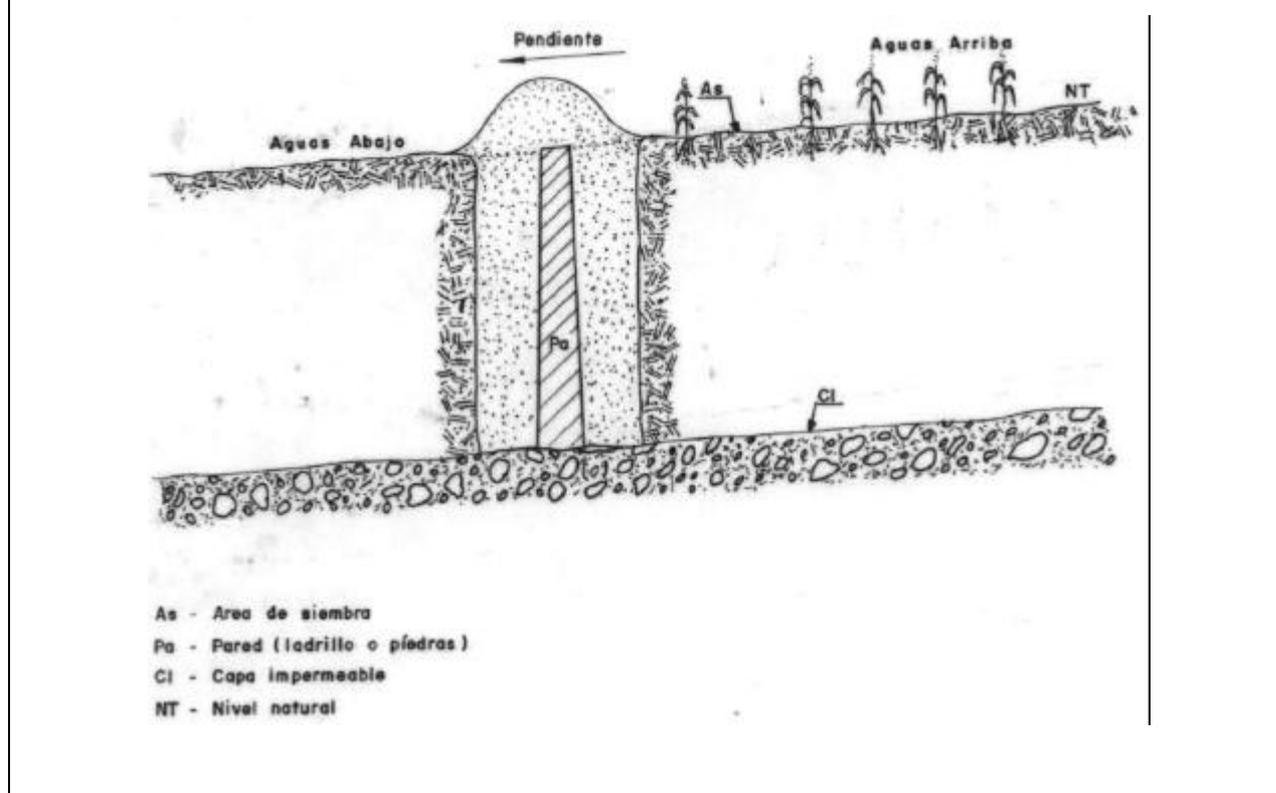
En áreas muy pedregosas, pueden utilizarse las piedras para la construcción del septo impermeable. En este caso, las piedras van colocadas con mezcla de cemento y arena en la misma proporción que en la pared de ladrillos (1:4). Es importante que las piedras queden bien puestas para evitar espacios libres en el interior de la pared. Para evitar infiltraciones es recomendable aplicar un revestimiento a la pared con mezcla de cemento, arena e impermeabilizante. Debido a la irregularidad de las piedras en cuanto a forma y tamaño, la construcción de esta pared exige una mayor cantidad de mano de obra.

Pared (Pe) con lona plástica

Después de la excavación de la zanja, se debe hacer un reboque (arcilla + arena) en su pared inferior (**figura 55**), para uniformar el corte, evitar la perforación del plástico y permitir una mejor adherencia entre las dos superficies.

Los extremos de la lona plástica deben fijarse en dos zanjas pequeñas (0,20 x 0,20 m) abiertas: a) una en la capa impermeable (**figura 55**), junto a la pared del área de almacenamiento; y la otra, b) en la superficie de la pared inferior aguas abajo

Figura 54. Pared del embalse subterráneo construido con ladrillos o piedras.



En la etapa de colocación de la lona, inicialmente debe fijarse un extremo de la lona en la zanja inferior, utilizando una mezcla de barro; posteriormente, se cubre la base de la zanja uniformemente; luego, se sube la lona verticalmente, bien adherida a la pared, tratando que no quede muy tensa para evitar perforaciones en la misma. La etapa siguiente consiste en la fijación del otro extremo de la lona en la zanja de la superficie, la cual debe fijarse con la misma mezcla anterior.

La colocación de la lona debe hacerse cuidando de no exponerla mucho tiempo a los rayos solares, con el objetivo de evitar la dilatación y alta temperatura que puede ser absorbida por la lona. El viento también es un factor limitante para esa labor.

Después del establecimiento del septo impermeable, cualquiera que sea su tipo, se hace el enterramiento del material extraído utilizando para el efecto, implementos manuales. En el caso del septo de lona plástica, debe tenerse el cuidado de retirar las piedras, raíces u otro material que pueda causar perforaciones en la misma.

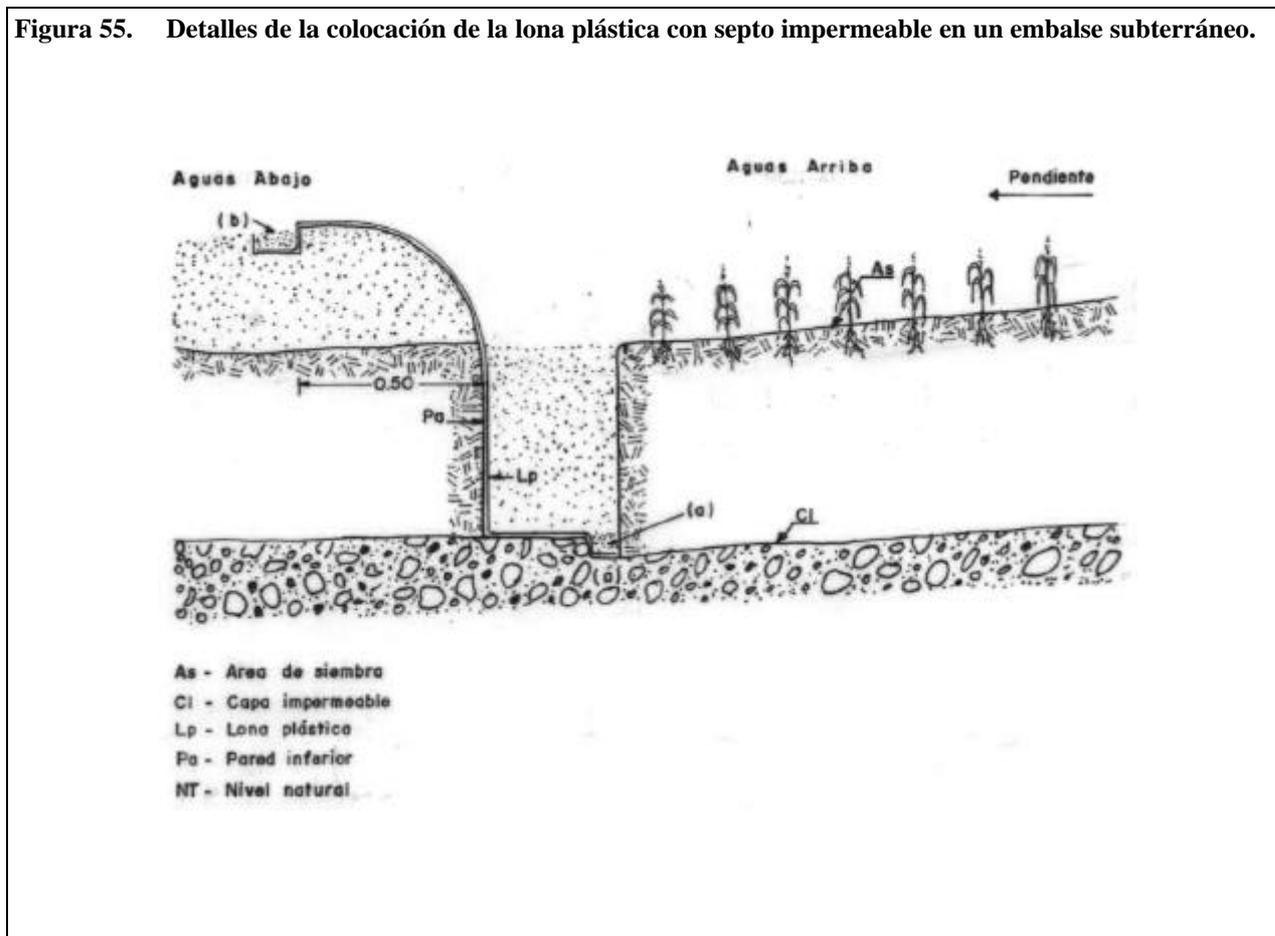
En la parte externa, la pared debe quedar, por lo menos, 0,5 m arriba de la superficie del suelo y a nivel; es decir, la altura de la pared puede ser variable en toda su extensión, lo que dependerá de las irregularidades de la superficie del suelo; pero, su corona debe quedar a nivel.

En la parte más baja del área, sobre la pared del embalse, se debe construir un vertedor de excesos de dimensiones variables en función del volumen de escorrentía que llega en exceso

al embalse, de acuerdo a la capacidad del almacenamiento del perfil. El punto mas bajo del vertedor debe quedar aproximadamente a 0,3 m del nivel del terreno para favorecer la acumulación de un volumen de agua superficial.

En el caso del septo impermeable con lona plástica, en el área del vertedor de excesos debe colocarse sobre la lona, una tela de alambre calibre 22 con malla de 3/4" de diámetro recubierta con una mezcla de cemento y arena en proporción 1:4.

Figura 55. Detalles de la colocación de la lona plástica con septo impermeable en un embalse subterráneo.



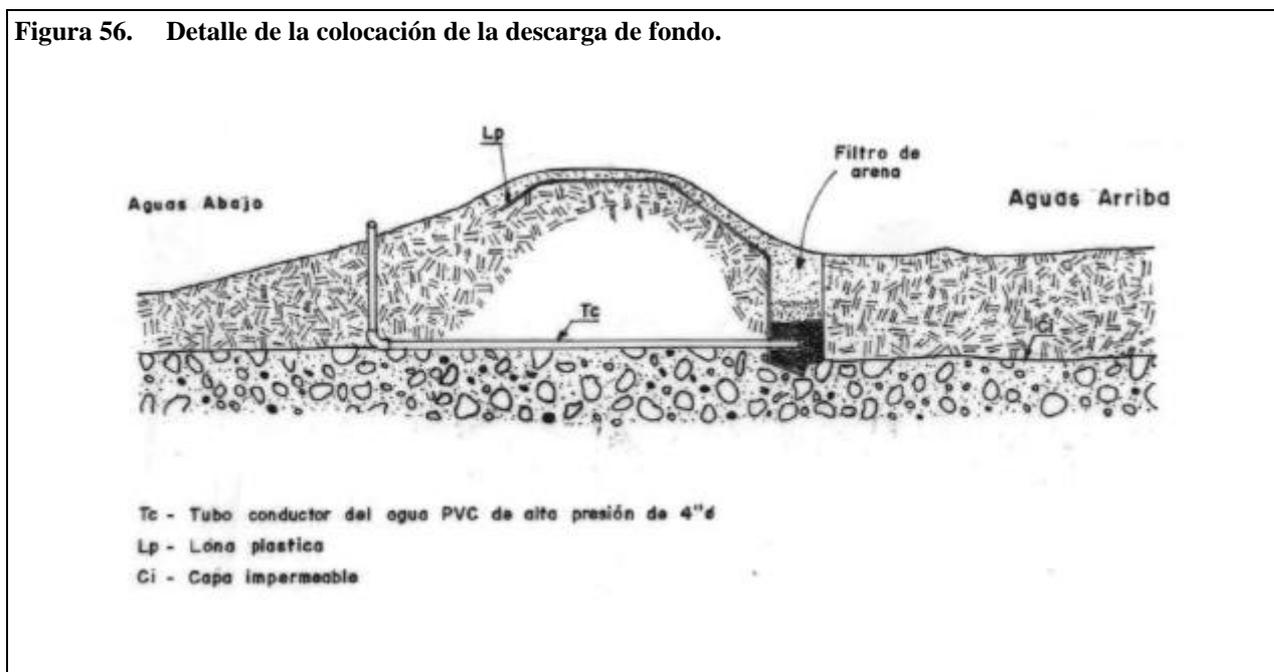
Mantenimiento

El manejo adecuado de un embalse subterráneo ha sido discutido por varios estudiantes, investigadores, extensionistas y productores que visitan los embalses construidos en el área experimental del CPATSA en el semiárido brasileño, con relación a los peligros de salinidad del área. Sin embargo, esos problemas no han sido observados después de 12 años de explotación intensiva de los mismos.

Para prevenir problemas de esa naturaleza, se pueden tomar algunas medidas, tales como la colocación de un tubo de "descarga de fondo" sobre la capa impermeable del suelo (**figura 56**), partiendo del septo superior (aguas arriba) y perforando la pared hasta el septo inferior (aguas abajo) donde, con un codo a 90° se coloca otro tubo vertical que funciona como un pozo, pudiéndose bombear el agua hacia un reservorio, o dejarla escurrir normalmente sobre una línea natural de drenaje.

Esta descarga de fondo permite un lavado constante del perfil del suelo, evitando la acumulación de sales solubles que pudieran causar problemas de salinidad en el área.

Figura 56. Detalle de la colocación de la descarga de fondo.



Potencial de producción

El embalse subterráneo presenta un alto potencial productivo comparado con un sistema tradicional de cultivo en una región con agricultura dependiente de lluvia, tanto para cultivos anuales como maíz, frijol caupí y sorgo; como para cultivos perennes como mango, guanaba y limón.

Las producciones medias obtenidas durante cinco años de explotación en el semiárido brasileño fueron: frijol caupí, 774 kg/ha; maíz, 3 244 kg/ha y sorgo 3 416 kg/ha; mientras que en un sistema tradicional de agricultura de secano, las producciones alcanzan los 400, 661 y 816 kg/ha, respectivamente (Morgado y RAO, 1985 y Fundación IBGE, 1979).

En años normales de distribución de lluvia, el embalse subterráneo permite la explotación de un segundo cultivo en virtud del potencial de agua disponible en el suelo. En esta condición, se han obtenido producciones totales anuales de 1 502 y 7 690 kg/ha de frijol caupí y maíz, respectivamente.

Después de algunos años de explotación de los embalses subterráneos con cultivos de subsistencia, se han cultivado especies frutales con producciones medias para mango de 3 000 kg/ha; guanaba 2 000 kg/ha; limón 3 000 kg/ha; guayaba 2 000 kg/ha; y, acerola 800 kg/ha (Silva, *et al.* 1994).

Grado de complejidad

El embalse subterráneo es una construcción simple, que no requiere de mano de obra especializada, es de fácil operación y manejo y presenta costo variable de implantación.

Limitaciones

En cuanto a la selección del área, se debe tener cuidado con la salinidad del suelo. Otro factor importante es la pendiente. Áreas con pendientes altas producen escorrentía superficial muy fuerte, dificultando la infiltración y almacenamiento del agua en el perfil.

Impactos socioeconómico y ambientalCostos

El costo de inversión más relevante en la construcción de un embalse subterráneo consiste en la excavación (mano de obra) de la zanja y del material utilizado como septo impermeable.

El **cuadro 21**, presenta una planilla de costos y rendimiento para la explotación de un embalse subterráneo con septo impermeable de lona plástica y área de siembra de 1,0 ha utilizado para cultivar una asociación de frijol y limón, iniciándose la producción de limón en el tercer año.

La inversión total fue de \$EE.UU. 1 705,75. El flujo neto anual inicia con \$EE.UU. 235,0 en el primer año, generados por la producción de frijol, estabilizándose con \$EE.UU. 1 733,7. El frijol se cultivó en los tres primeros años.

Cuadro 21. Costo y rendimiento anual del sistema de aprovechamiento del agua de escorrentía en embalse subterráneo para pequeños huertos frutales con septo impermeable de plástico.

Detalles:			
Cultivo: Limón			
Rendimiento base del limón:	3000,0 kg/ha	Ancho de la pared:	100,0 m
Distancia entre frutales:	10,0 m	Largo del embalse:	100,0 m
Número de plantas de limón:	100 pies	Área total:	1,0 ha
Rendimiento del frijol:	750,0 kg/ha	Valor del dólar EE.UU.:	1,0 R\$*
Intereses (año):	8%	Valor del dólar EE.UU.:	,0 -Q-
Período de financiamiento:	15 años	Período de gracia:	3 años

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:						
• Localización del área	hom./día	1,00	1,0	1,0	1,0	,0
• Limpieza del área	hom./día	2,00	1,0	2,0	2,0	,0
• Trazo de la microcuenca hidráulica	hom./día	,25	1,0	,3	,3	,0
• Excavación de la zanja del septo	hom./día	150,00	1,0	150,0	150,0	,0
• Instalación de la manta plástica	hom./día	2,00	1,0	2,0	2,0	,0
• Enterrado de la zanja del septo	hom./día	20,00	1,0	20,0	20,0	,0
• Construcción del filtro	hom./día	1,00	1,0	1,0	1,0	,0
• Construcción del vertedero de excesos	hom./día	2,00	1,5	3,0	3,0	,0
• Siembra de los futaes	hom./día	5,00	1,0	5,0	5,0	,0
Sub-total				184,3	184,3	,0

R\$ es la moneda oficial de Brasil

Generación de empleo

Para el establecimiento de un embalse subterráneo, con área de explotación de 1,0 ha y pared o septo impermeable de lona plástica, se necesita un promedio de 103,3 hombres/días y 62,0 hombres/días para el mantenimiento y labores culturales. Por lo tanto, el embalse subterráneo es una técnica que exige mucha mano de obra, no sólo para su establecimiento sino también para el mantenimiento y labores culturales a través de los años.

Sostenibilidad

Como el embalse subterráneo puede implantarse en los lechos de ríos temporales y en líneas de drenaje natural, existe una gran posibilidad de solucionar parte de los problemas que se presentan en esas áreas con alta susceptibilidad a la erosión; pues, los procesos erosivos de disgregación del suelo por el impacto de la gota de lluvia, transporte y deposición de las partículas en las partes mas bajas del embalse, favorecen la formación de nuevas capas de suelo con mayor porcentaje de materia orgánica y mayor disponibilidad de almacenamiento de agua en el perfil del suelo.

El embalse subterráneo permite generar una renta familiar y la conservación de los recursos naturales, promoviendo un desarrollo sostenible.

Descripción de casos

En el trópico semiárido de Brasil, este tipo de técnica es utilizada por más de un millón de familias. La mayoría de estos sistemas son explotados con cultivos de plantas forrajeras para alimentación de ganado. A través de esta práctica, los agricultores han podido garantizar pastizales de corte en la época sin lluvia. En promedio, han logrado producciones de 40 toneladas de forraje.

Dirección para consultas

EMBRAPA-CPATSA
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido
Caixa Postal 23
56300 000 - Petrolina-PE, Brasil
Teléfono: (081) 961 4411
Fax: (081) 961 5681

AGRICULTURA DE HUMEDAD RESIDUAL A TRAVÉS DE SURCOS Y CAMELLONES EN CURVAS DE NIVEL, 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;
María Sonia López de Silva, Ing. Agr. M.Sc. En Manejo de Suelo;
Paulo Roberto Coelho López, Ing. Agr. M.Sc. en Conservación de Suelo..
EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE, Brasil.
José Barbosa dos Anjos.

Antecedentes históricos

La agricultura de humedad residual no es una práctica nueva. El milenario sistema de cultivos desarrollado en las márgenes del río Nilo, es el ejemplo más antiguo de esta actividad agrícola. Los egipcios sacaron provecho de la humedad residual acumulada en las márgenes durante el período de la creciente del Nilo, para producir cosechas.

En el semiárido brasileño, existen aproximadamente, cien mil embalses de distintos tamaños, almacenando más de veinte billones de metros cúbicos de agua. En los márgenes de estos reservorios existen, hasta hoy, más de tres millones de personas que dependen económicamente de la explotación de la agricultura de humedad residual.

Aspectos técnicos

Descripción

La agricultura de humedad residual consiste en la utilización de los suelos potencialmente agrícolas de los embalses, ríos y lagos que han sido cubiertos por el agua durante la época lluviosa (Duque, 1973). O sea, después que el período de lluvias ha terminado, los niveles de agua en los embalses, ríos y lagos empiezan a descender, descubriendo suelos mojados con excelente potencial productivo, en los cuales, los agricultores siembran cultivos anuales como el camote (*Ipomoea batata*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y/o maíz (*Zea mays L.*).

La práctica de esta actividad en forma tradicional, presenta limitaciones debido al manejo inadecuado del suelo y del agua. El problema radica en que el agricultor siembra las semillas inmediatamente después que el suelo se descubre, en forma desordenada, sin siquiera disponerlas en hileras y sobre todo, cuando el suelo aún se encuentra saturado, lo que influye en la germinación de las semillas. Por otro lado, la velocidad de infiltración de las aguas y el resecamiento de la humedad en el suelo es muy rápido, provocando deficiencia hídrica para las plantas en un corto plazo, después de la siembra. Debido al desorden de siembra, sin hileras, sin curvas de nivel, resulta imposible para el agricultor hacer alguna tentativa de riego suplementario; en otras palabras, no consigue hacer un manejo adecuado del agua.

La práctica de la agricultura de humedad residual a través de surcos y camellones sobre curvas de nivel, requiere fundamentalmente, de un manejo adecuado del suelo y del agua. Esta, propicia una disponibilidad más uniforme de la humedad en el suelo, durante todo el ciclo del cultivo, permitiendo el uso del riego suplementario.

Objetivo

Disponer de un suelo con humedad uniforme durante todo el ciclo fenológico de los cultivos anuales, a través de un sistema de siembra en surcos y camellones sobre curvas de nivel.

Ubicación

Se recomienda la implantación de este sistema en embalses, lagos y lechos de ríos y quebradas efímeras para la explotación de cultivos anuales; pudiéndose establecer en cualquier tipo de clima y suelo.

Diseños

No es necesario efectuar ningún cálculo para el establecimiento de este sistema.

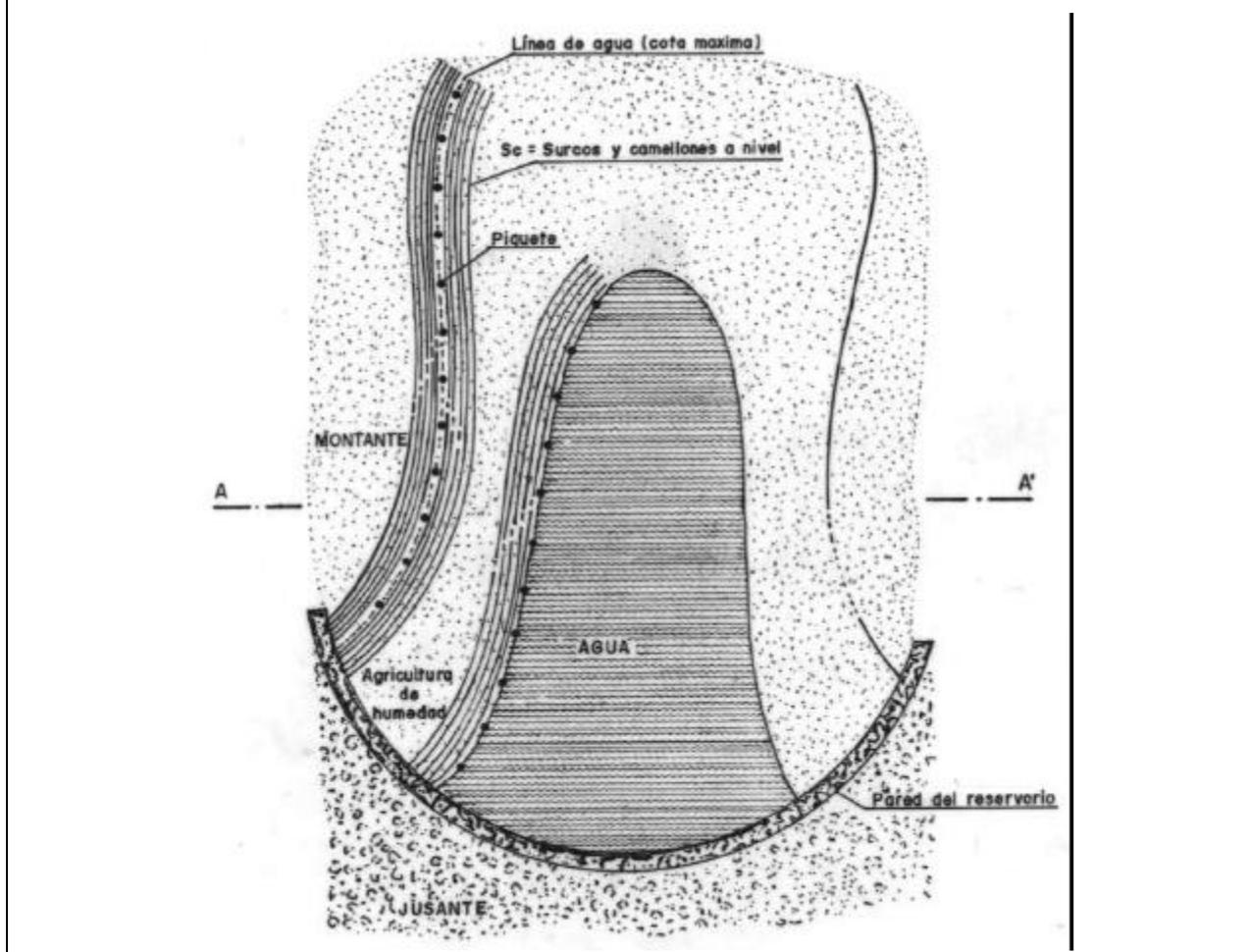
Trazo

Para demarcar la curva de nivel que servirá de guía para el trazo de los surcos y camellones, basta con seguir la curva natural descrita por el nivel del agua cuando el reservorio o cauce se encuentra en su máxima capacidad, marcándola con estacas espaciadas 10 m, aproximadamente. El espaciamiento puede medirse efectuando un caminamiento por todo el contorno del cauce o del vaso hidráulico (del espejo de agua), marcando con estacas a cada diez pasos (**figura 57**), cuidando que queden bien colocadas para garantizar su permanencia hasta que el nivel del agua descienda. La **figura 58**, presenta un corte del área de siembra del Sistema de Aprovechamiento de la Escorrentía Superficial, por medio de Embalses Subterráneos.

Construcción

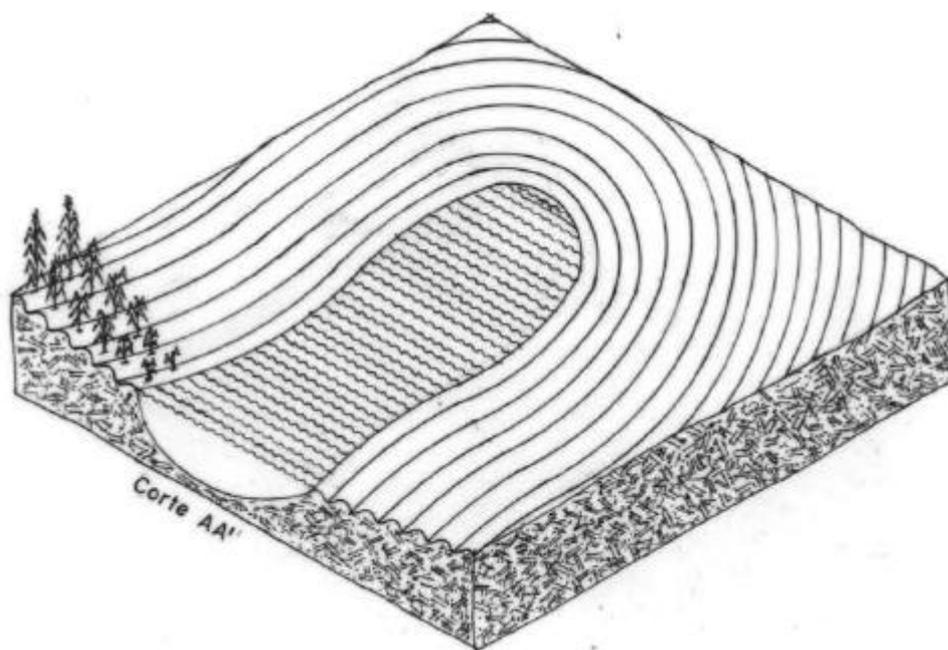
Con la disminución del nivel del agua en el reservorio o cauce, el espejo de agua se reduce, descubriendo el suelo, en un proceso continuo. Tres semanas después, la demarcación de la curva de nivel ha sido expuesta en una faja de, aproximadamente, 5 a 10 m de ancho. Siguiendo la línea de estacas con un azadón, se empieza la construcción de los surcos y camellones y, por consiguiente, la siembra; procedimiento que continúa hasta el inicio del nuevo período de lluvias. Esto quiere decir, que el agricultor puede sembrar durante toda la época seca, manteniendo los cultivos en diferentes etapas de desarrollo.

Figura 57. Modelo esquemático del sistema de explotación de agricultura de humedad en surcos y camellones a nivel, siguiendo el propio nivel de agua (CPATSA/EMBRAPA).



Es recomendable establecer una nueva línea base con estacas a cada 20 metros, dentro del área de cultivo. El largo de las líneas de cultivo depende de la topografía del terreno ocupado por el agua. Los surcos deben tener una profundidad de 0,20 m y los camellones, una altura de 0,30 m. La siembra y labores culturales se hacen de la misma manera que en cualquier otro terreno cultivado, recomendándose que la siembra se efectúe en la parte media de la altura del camellón (**figura 59**). También puede observarse la diferencia en el desarrollo fenológico de los cultivos; esto se debe a que la siembra se efectúa conforme el nivel del agua va descendiendo.

Figura 58. Corte transversal del área de siembra de un sistema de agricultura de humedad.



La principal ventaja que presenta este sistema, es que puede aplicarse riego complementario a través de un sistema de bombeo colocado en el inicio de los surcos. Como los surcos están a nivel, el agua recorrerá todo el perímetro de los mismos.

Mantenimiento

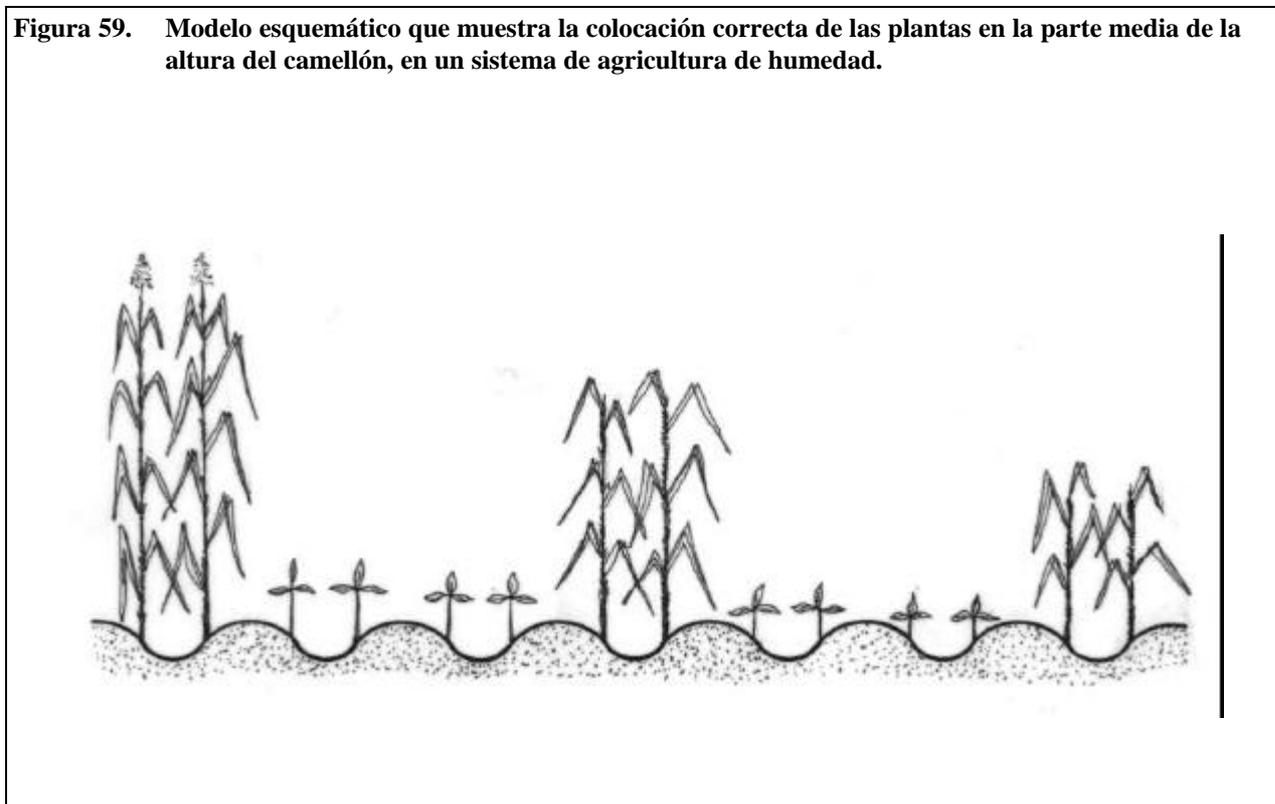
El sistema de agricultura de humedad residual, no exige ningún mantenimiento, en vista de que tiene que establecerse nuevamente cada año.

Potencial de producción

A través de la construcción de los camellones, el sistema permite un drenaje natural, depositando todo exceso de humedad en el fondo de los surcos; el estrés hídrico, que ocurre en la mitad del ciclo fenológico de los cultivos, también puede controlarse con la aplicación de riego suplementario. Por lo tanto, en experiencias desarrolladas por el Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), a nivel de agricultores, se logró incrementar la producción de camote (*Ipomoea batata*) en un 192%.

Con el proceso tradicional de cultivo, el agricultor logró obtener una producción de 5,5 ton/ha; con el sistema de agricultura de humedad residual con sistema de surcos y camellones, suministrándose dos riegos complementarios con una lámina de 30 mm cada uno, el mismo agricultor, explotando la misma área, obtuvo una producción de 16,1 ton/ha.

Figura 59. Modelo esquemático que muestra la colocación correcta de las plantas en la parte media de la altura del camellón, en un sistema de agricultura de humedad.



Grado de complejidad

Esta tecnología es bastante simple; incluso, no requiere ningún tipo de equipo para el trazo de las curvas a nivel.

Limitaciones

No es recomendable el establecimiento de la tecnología en aquellos embalses, lagos o cauces de ríos que tengan un grado acentuado de pendiente, principalmente en dirección a las orillas. Tampoco se recomienda para aquellos reservorios que presenten suelos no aptos para cultivos.

El sistema requiere el uso de una motobomba para efectuar el riego suplementario, por lo tanto, es necesario verificar la rentabilidad de la tecnología para áreas menores a 1 ha.

Impactos Socioeconómico y Ambiental

Costo y retorno

El **cuadro 22**, presenta los costos y retornos para la implantación del sistema de aprovechamiento de la humedad residual en reservorios, en arreglo de surcos y camellones, en una extensión de 1 ha. Como la implantación del sistema debe hacerse todos los años, no existen costos de inversión para su construcción; solamente en la compra de la bomba y cierta cantidad de manguera para efectuar el riego complementario. De acuerdo a este cuadro, la renta neta es de \$EE.UU. 1 154,0/ha/año, durante los dos primeros años; luego este ingreso disminuye a \$EE.UU. 964,9/ha/año.

Generación de empleo

La demanda anual de mano de obra para la explotación de 1 ha con este sistema es de 221 hombres/día.

Sostenibilidad

El sistema es considerado sostenible; pero, es importante recalcar que, como debe ser implantado en la vaso hidráulico del reservorio; y que muchas veces, esta agua se utiliza hasta para el consumo humano, no deben aplicarse productos agroquímicos para el manejo de los cultivos.

Descripción de casos

Lugar y fecha

Esta tecnología ha sido muy utilizada en el nordeste de Brasil. Desde el inicio de los años ochenta, el servicio de Asistencia Técnica y Extensión del Gobierno, ha trabajado en la divulgación de la misma. Hoy, existe una buena experiencia en las regiones áridas de los Estados de Pernambuco, Paraíba, Río Grande do Norte y Ceará.

Resultados en la producción

Se han reportado incrementos en la producción, por arriba del 200%. En la mayoría de los casos, principalmente en el lugar llamado Serido, de Río Grande del Norte, los agricultores han incorporado al suelo, el estiércol del ganado.

Cuadro 22. Costo total y rendimiento anual del sistema de aprovechamiento de humedad residual de reservorios y ríos a través de surcos y camellones en cultivos anuales.

Detalles:			
Cultivo: Camote (<i>Ipomoea batata</i>)			
Rendimiento base:	15000,0 kg/pie	Area total:	1,0 ha
Distancia entre hileras:	1,0 m	Valor dólar EE.UU.:	1,0 R\$*
Distancia entre plantas:	0,2 m	Valor dólar EE.UU.:	,0 -Q-
Período de financiamiento:	15 años	Intereses (año)	8%
		Período de gracia:	3 años

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:						
		Sub-total		,0	,0	,0
1.2 Materiales						
• Moto-Bomba 3,5 HP (gasolina)	Ud	1,0	1300,0	1300,0	1300,0	,0
• Manguera flexible de 1,5 ”	m	50,0	2,5	2,5	2,5	,0
		Sub-total		1425,0	1425,0	,0
Costo total de la inversión				1425,0	1425,0	,0
2. Costos Agrícolas:						
2.1 Insumos:						
• Esqueje de camote	Kg	500,0	,1	50,0	50,0	,0
• Gasolina	galón	50,0	1,5	75,0	75,0	,0
Total costo insumos				32,8	32,8	,0
2.3 Mano de obra/uso implementos:						
• Trazo de curva a nivel base	hom/día	1,0	1,0	1,0	1,0	,0
• Construcción de surcos y camellones	hom/día	150,0	1,0	150,0	150,0	,0
• Siembra	hom/día	5,0	1,0	5,0	5,0	,0
• Riego	hom/día	45,0	1,0	45,0	45,0	,0
• Limpias	hom/día	10,0	1,0	10,0	10,0	,0
• Cosecha	hom/día	10,0	1,0	10,0	10,0	,0
Total costo mano de obra				221,0	221,0	,0
3. Costo:						
3.1 Total (inversión + costo año 1)				1771,0	1771,0	,0
3.2 Anual (inversión + costo año 1)				535,1	535,0	,0

(Continuación cuadro 22)

4. Rendimiento Anual:	Precio/kg			Kg/área cultivada				
	R\$	\$EE UU.	-Q-	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
4.1 Producción								

Camote	,1	,1	,0	15000,0	15000,0	15000,0	15000,0	15000,0
4.2 Renta bruta total								
En R\$				1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0
En US\$				1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0
En moneda local -Q-				,0	,0	,0	,0	,0
4.3 Renta Neta								
En R\$				1154,0	1154,0	964,9	964,9	964,9
En \$EE.UU.				1154,0	1154,0	964,9	964,9	964,9
En moneda local -				,0	,0	,0	,0	,0
Q-								
								Total Anual
5. Generación de empleo:								
5.1 Utilización de mano de obra						Area total		Por m2
En la implant. del sistema			hom./día			,0		,00
En el mantenim. y labores culturales			hom./día			221,0		,02

R\$ es la moneda oficial de Brasil

Dirección para consultas

EMBRAPA-CPATSA

Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido

Caixa Postal 23

56300 000 - Petrolina, PE, Brasil

Teléfono: (081) 961 4411

Fax: (081) 961 5681