

CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA

Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe



CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA

Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe



Santiago, Chile, abril de 2013



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Participación del Fondo Internacional para el Desarrollo de la Agricultura (FIDA) y la Cooperación Suiza, mediante aporte financiero complementario

Jan Van Wambeke, Oficial Principal de Tierras y Aguas de la Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, coordinó y supervisó técnicamente la elaboración de esta publicación. Una versión preliminar del documento fue preparada por Matías Prieto Celi. A partir de ella, Marcos J. Vieira realizó un trabajo de síntesis, adecuación de contenidos, aporte de nuevos antecedentes y reescritura, todo lo cual le permitió generar la presente versión. Como parte de este proceso, visitó el Nordeste de Brasil, donde recabó información adicional y conoció experiencias relativas al tema que fueron incorporadas al documento. José Benites, Fernando Chanduvi, Horacio Merlet, Patricia Mejías y Pilar Román revisaron el producto y aportaron sugerencias y adecuaciones. Nelson González Loguercio mejoró el texto desde un punto de vista del lenguaje y se encargó de la edición del libro. Daniela Aravena reelaboró los dibujos, tomados de diferentes fuentes, para darles un estilo homogéneo. La portada fue realizada por Guillermo Grebe. El diseño y la diagramación del libro estuvieron a cargo de la empresa Simple Comunicación. La impresión la efectuó la Editora e Imprenta Maval Ltda. y tuvo un tiraje de 500 ejemplares.

El video adjunto fue elaborado por la organización La Fabulosa Minga Sustentable y contó con la colaboración del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), del Ministerio de Agricultura de Chile.

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO y FIDA los aprueben o recomienden de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO y FIDA.

ISBN 978-92-5-307580-5 (edición impresa)
E-ISBN 978-92-5-307581-2 (PDF)

© FAO 2013

La FAO fomenta el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, imprimir y descargar el material con fines de estudio privado, investigación y docencia, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca de forma adecuada a la FAO como la fuente y titular de los derechos de autor y que ello no implique en modo alguno que la FAO aprueba los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios.

Todas las solicitudes relativas a la traducción y los derechos de adaptación así como a la reventa y otros derechos de uso comercial deberán dirigirse a www.fao.org/contact-us/licence-request o a copyright@fao.org.

Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la Organización (www.fao.org/publications) y pueden adquirirse mediante solicitud por correo electrónico a publications-sales@fao.org.

Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe
Av. Dag Hammarskjöld 3241. Vitacura, Santiago, Chile
Teléfono: 56-2-29232100 - www.rlc.fao.org

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	5
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Objetivos de esta publicación	8
1.2 Consideraciones sobre la terminología	9
2. EL CICLO HIDROLÓGICO	11
3. EL AGUA EN LA FINCA	17
4. ESTRATEGIAS DE USO RACIONAL DEL AGUA	21
5. NECESIDADES DE AGUA EN LA FINCA	25
5.1 Consumo familiar de agua para uso doméstico	26
5.2 Consumo animal	27
5.3 Consumo vegetal	30
6. PRECIPITACIÓN APROVECHABLE	39
6.1 La lluvia con la que se puede contar (excedencia)	41
6.2 Precipitación efectiva	44
6.3 Lluvia de diseño para sistemas de captación de lluvia	48
7. ESTIMACIÓN DEL DÉFICIT DE AGUA	51
7.1 Balance de agua para consumo doméstico	52
7.2 Balance de agua para consumo animal	53
7.3 Balance de agua para consumo vegetal	55
8. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	59
8.1 Coeficiente de escorrentía superficial (C)	64
8.2 Eficiencia de la escorrentía superficial para captación	65
8.3 Tiempo de concentración (Tc)	66
8.4 Estimación de la escorrentía	66
8.5 Consideraciones sobre la determinación de la escorrentía superficial	74
9. RELACIÓN ENTRE ÁREA DE CAPTACIÓN Y ÁREA DE CULTIVO	75
9.1 Cálculo del área de captación (CAPT) necesaria	77
9.2 Diferencias entre las características del suelo del área de captación y el área de cultivo	80
9.3 Cuidados en el área de captación	85

10. TÉCNICAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA	87
11. DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS PARA AHORRAR AGUA	97
12. TÉCNICAS DE MICROCAPTACIÓN	111
13. CAPTACIÓN EXTERNA AL TERRENO DE CULTIVO	151
14. CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA DE TECHOS Y OTRAS ÁREAS DE ESCURRIMIENTO	183
14.1 Captación de agua de lluvia de techos	184
14.2 Captación de estructuras impermeables superficiales	188
14.3 Dimensionamiento de la captación y almacenamiento	192
15. CAPTACIÓN DE AGUA DE LA NAPA FREÁTICA	195
16. CAPTACIÓN DE NIEBLA	217
16.1 La niebla como fuente de agua	218
16.2 Condiciones para el aprovechamiento de la niebla	219
16.3 Captación de la niebla	220
16.4 Elementos de costo y posibilidades de implementación	221
16.5 Ejemplos de la utilización de la práctica	221
17. ESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA	223
17.1 Criterios para la selección de la estructura de almacenamiento	224
17.2 Reducción de las pérdidas de agua en el almacenamiento	227
17.3 Construcción de estructuras de almacenamiento	228
17.4 Revestimientos de áreas de captación y de almacenaje	252
18. RECOMENDACIONES	255
18.1 De carácter estratégico	256
18.2 De carácter técnico-institucional	257
18.3 De carácter político-institucional	257
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	259
ANEXOS	265

VIDEO en DVD):

“Captación y almacenamiento de agua de lluvia - El ejemplo de una experiencia en Chile”



PRESENTACIÓN

La Oficina Regional de la FAO para la América Latina y el Caribe promueve el uso y el manejo eficiente del recurso hídrico, sobre todo en aquellas zonas donde el agua es escasa.

Igualmente, otras agencias internacionales de desarrollo, multilaterales o bilaterales, así como instituciones de los gobiernos y ONG han venido trabajando para mejorar las condiciones de disponibilidad de agua en las zonas afectadas por déficit hídrico recurrente en la región.

Hay numerosas experiencias sobre el tema de captación y almacenamiento de agua de lluvia. Esta publicación intenta reunir, organizar, reproducir y actualizar aquellas técnicas disponibles y con mayores posibilidades de adopción y aplicación por los pequeños agricultores latinoamericanos.

Esta publicación es, por lo tanto, una presentación reorganizada y actualizada de información obtenida de experiencias, informes de eventos, estudios, manuales, boletines y cartillas, entre otras fuentes, con el fin de contribuir a dar a las técnicas de captación y almacenamiento de agua de lluvia una divulgación más amplia y hacerlas más accesibles a un número mayor de personas, principalmente técnicos de campo y pequeños agricultores.

De algunas de estas fuentes se utilizan datos, figuras, detalles constructivos y cálculos de costos, tal como han sido publicados o con algunas adaptaciones.

Por el volumen y la relevancia de la información aportada, las siguientes publicaciones merecen ser mencionadas:

- » Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje, 56. FAO, Roma, 2006. Autores: ALLEN, Richard G.; PEREIRA, Luis S.; RAES, Dirk y SMITH, Martin.
- » Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo I: Bases Técnicas y Experiencias en África y Asia. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 1996. (Serie Zonas Áridas y Semiáridas 11). Autores: CRITCHLEY, Will y SIEGERT, Klaus.
- » Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. PNUMA - Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, 2000. (Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13). Autores: Varios, por temas y capítulos (Reunión de expertos).
- » Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro. EMBRAPA Semi-Árido, Petrolina, 2007, 179 p. Editores Técnicos: BRITO, Luiza T. L.; MOURA, Magna S. B. de; GAMA, Gislene F. B. Autores: Varios, por temas y capítulos.

A los autores, instituciones y países que han aportado resultados y experiencias para esta publicación se les reconoce y agradece su contribución.

The background is a soft, painterly illustration of a landscape. At the top, a large, pale sun with a textured, brushstroke-like surface is partially obscured by a large, light-colored cloud. Below the sun, the sky is filled with vertical, textured brushstrokes in shades of light green and blue. The middle ground features rolling hills with various textures and colors, including greens, yellows, and browns. At the bottom, there is a dark, textured band representing a body of water or a forest, with a white, snow-like or misty layer at the very bottom edge.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para la producción vegetal y animal. Los seres vivos están más adaptados a sobrevivir con escasez de alimentos que con falta de agua.

Esta importancia no solamente tiene que ver con las funciones metabólicas del agua para las plantas y animales (estructurales, transporte de solutos, turgencia celular, participación en reacciones y ciclos, etc.), sino también con sus características dinámicas en estos procesos metabólicos. La velocidad con que se puede pasar de una situación de disponibilidad plena hacia una situación de escasez de agua es mayor que en el caso de los nutrientes esenciales. Por ejemplo, un suelo no pasa de rico en nutrientes a una condición de deficiente en pocos días, pero la disponibilidad de agua sí. A excepción de algunas especies, no hay almacenamiento de reserva de agua de largo plazo en el organismo: su consumo ocurre casi en tiempo real, en la medida que se necesita. Una planta puede estar en plena actividad hídrica a las diez de la mañana y cuatro horas después presentar déficit, si no se mantiene el flujo de agua del suelo. Esta característica dinámica de la disponibilidad hídrica es todavía más importante en la medida que las condiciones climáticas, principalmente la precipitación, son inciertas.

El agua disponible, si no es aprovechada inmediatamente o almacenada para uso posterior, fluye hacia fuera de la zona de interés y alcance del agricultor y su familia (su vivienda, establo, cultivo, pasto, finca o parcela) y pasa a otras fases y componentes del ciclo hidrológico (napa freática, escorrentía, cauces de arroyos y ríos, atmósfera).

Además, hay que considerar que muchos de los demás factores de producción son “agua dependientes”, como la solubilidad y movilidad de nutrientes en el suelo; la absorción de éstos por las plantas; la regulación de la temperatura del suelo, del aire y de las plantas y animales; la consistencia del suelo y la resistencia que opone al crecimiento radicular, entre otros.

Bajo la perspectiva del calentamiento global, el problema de la escasez de agua tiende a empeorar en aquellas regiones en las que ya se presenta déficit, sea por la tendencia de reducción de los niveles de precipitación o por el aumento de los niveles de evaporación y transpiración. De esta manera, el problema en la región podría extenderse y agudizarse, alcanzando zonas actualmente subhúmedas y húmedas.

Todo lo anterior determina que el tema del agua y su manejo adecuado sea una prioridad para la población rural de América Latina y el Caribe, principalmente en aquellas situaciones donde las lluvias no son suficientes para cubrir las necesidades de forma continuada.

1.1 Objetivos de esta publicación

Esta publicación ha sido especialmente concebida para ser usada como documento de campo, dirigido a los profesionales extensionistas que trabajan con la pequeña agricultura familiar, en condiciones donde el agua es un factor limitante para la producción animal y vegetal. Brinda orientaciones sobre los conceptos, estrategias y métodos acerca de cómo mejorar la captación y el aprovechamiento del agua en el medio rural, sobre todo donde la disponibilidad de este recurso es deficiente o discontinuada.

Esta publicación incluye los siguientes aspectos:

- » Visualización y comprensión de los conceptos, roles, destinos y comportamiento del agua en un territorio -vivienda, finca (suelo, cultivos, animales) o cuenca hidrográfica- para mejorar las condiciones de planificación de su utilización.
- » Identificación y cuantificación del déficit hídrico: los casos en que la precipitación no es suficiente para cubrir las necesidades de agua de humanos, animales y plantas y se requiera complementar la demanda.
- » Análisis de las estrategias y posibilidades para adecuar los sistemas productivos a la disponibilidad de agua y/o para captar y abastecer la cantidad que falte.
- » Análisis de las diferentes formas para recoger y almacenar agua de lluvia con diferentes finalidades (uso doméstico, tomando las precauciones sanitarias correspondientes; producción animal y vegetal).
- » Orientación para la selección, diseño, construcción, operación, mantenimiento y aplicación de técnicas y obras para mejorar la captación y la oferta de agua para los cultivos, animales y uso doméstico rural.
- » Referencias sobre fuentes de información y complementos técnico-científicos de los temas tratados.

Esta publicación busca entregar herramientas a los extensionistas que trabajan en zonas con deficiencia hídrica que los ayuden a comprender, analizar y planificar soluciones para mejorar la convivencia de los pobladores con su territorio, reducir la escasez de agua y, de esta manera, mejorar la calidad de vida de las comunidades atendidas. Por esta razón, si bien los temas se abordan técnicamente, se utiliza un lenguaje sencillo y directo, fácilmente comprensible para un número amplio de usuarios.

1.2 Consideraciones sobre la terminología

En esta publicación se entiende por captación y aprovechamiento del agua de lluvia todo tipo de esfuerzo técnico, simple o complejo, surgido de la iniciativa de los agricultores o desarrollado científicamente, para aumentar la cantidad de agua de lluvia que se almacena en el suelo o en estructuras construidas, de tal manera que pueda ser utilizada posteriormente, bajo condiciones de déficit de lluvias.

Cada tipo de superficie receptora de la lluvia presenta una capacidad de infiltración y de retención del agua (suelo bajo cubierta de vegetación o rastrojos, suelo desnudo, suelo profundo o delgado, terreno rocoso, techos de construcciones, caminos, patios impermeabilizados, etc.). Cualquier técnica utilizada para aumentar la cantidad de agua retenida puede ser considerada como de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, independientemente del uso que se le otorgue. Inclusive, las prácticas para aumentar la infiltración del agua en el suelo y abastecer la napa freática pueden ser consideradas como captación de lluvia, puesto que este caudal abastecerá los manantiales de la zona y aumentará la oferta de agua a largo plazo.

En la presente publicación se presentan y discuten técnicas que se utilizan para mejorar la disponibilidad de agua en épocas en que la lluvia es insuficiente para cubrir las necesidades de la finca. Sin embargo, no trata de las técnicas inherentes a los diferentes tipos de usos del agua captada, sobre todo sistemas de riego, sean estos pequeños huertos caseros o grandes irrigaciones, por estar ampliamente difundidas.

FIGURA 1: Sistema de macrocaptación de escorrentía de caminos y torrentes, con almacenamiento en tanques excavados “tipo trinchera” para abrevadero de animales, principalmente cabras, o para utilización en pequeños sistemas de riego. Promovido por el Instituto Regional de Pequeña Propiedad Apropriada - IRPAA, Sobradinho, Brasil.



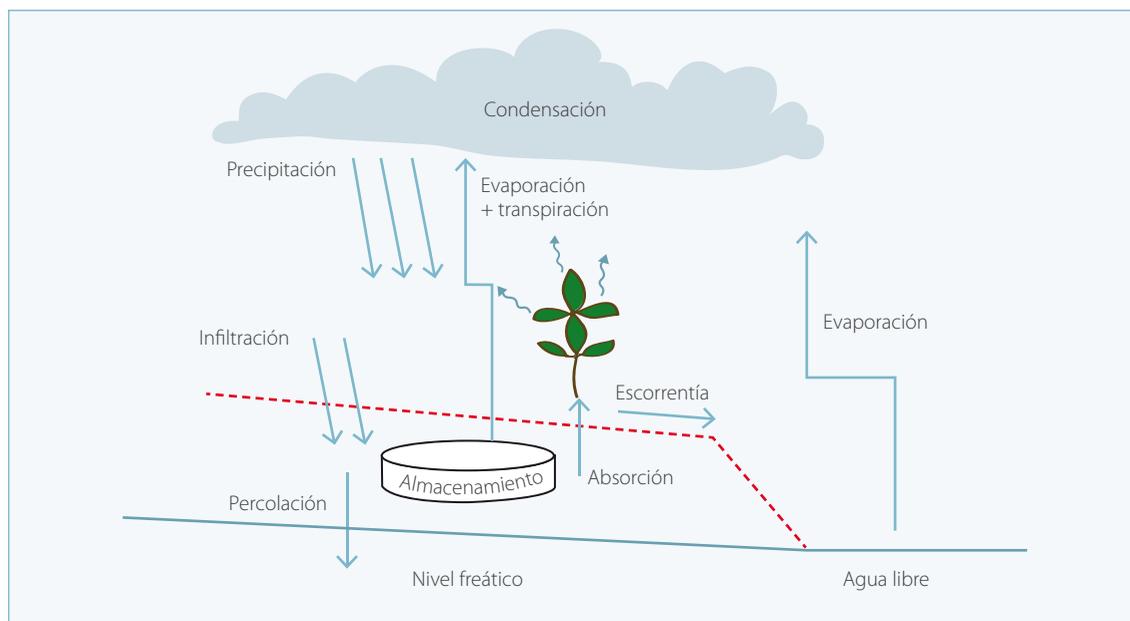
Foto: Marcos J. Vieira.

A stylized illustration of the water cycle. At the top, a sun is partially obscured by a large, light blue cloud. Below the cloud, blue rain falls. In the middle, there are rolling hills and mountains in shades of green and brown. At the bottom, a blue body of water is shown with white waves. The entire scene is set against a light blue background.

2. EL CICLO HIDROLÓGICO

Toda el agua disponible en el planeta es parte de un ciclo (Figura 2-1). El desarrollo de la ciencia y de la tecnología para uso y manejo del agua deben orientarse a la búsqueda de un mejor aprovechamiento de este recurso en sus diversas fases y formas dentro del ciclo hidrológico.

FIGURA 2-1: Ciclo hidrológico simplificado con sus componentes y fases.



El ciclo presenta diferencias cuantitativas y cualitativas en sus diversos componentes y fases, conforme la región o zona y hay que aprender a convivir con sus características naturales. Por esta razón es importante revisarlo e indicar los posibles cambios provocados por el manejo y uso de las tierras.

El agua es esencial para la vida y su escasez afecta negativa y profundamente las posibilidades de desarrollo de una región. Sin agua disponible todo el tiempo, quedan comprometidas las posibilidades de progreso económico y bienestar.

Por otro lado, el exceso de agua también puede causar severos daños a la producción y la vida (pérdida de cosechas, empobrecimiento del suelo por lixiviación y erosión, riesgos de derrumbes, avalanchas e inundaciones, entre otros), como muestra la Figura 2-11.

Comprender el ciclo hidrológico y saber cuáles son sus variables manejables es importante para alcanzar el objetivo de mejorar la captación y aprovechamiento del agua de lluvia.

FIGURA 2-II: El dilema del agua, representado por la erosión hídrica ocurrida en el periodo lluvioso y por el fuego, y las escasas posibilidades de producción vegetal en la época seca (zona oriental de El Salvador).



Foto: Marcos J. Vieira

Evaporación del agua libre

Las superficies de agua libre (océanos, ríos, lagos, lagunas, embalses, etc.) ocupan más de dos tercios de la superficie total del planeta, reciben la energía solar y pierden agua por evaporación. La evaporación del agua mantiene la atmósfera húmeda. En la altitud, con la reducción de temperatura, el vapor de agua se condensa y precipita en forma de lluvia. A veces, dependiendo de las condiciones atmosféricas u orográficas de la superficie, se precipita en forma de hielo (granizo) y niebla.

Esta fase atmosférica del ciclo, incluyendo los componentes de evaporación de superficies de agua libre, condensación y precipitación, depende de variables climáticas no manejables por el hombre, tales como: disponibilidad de energía (radiación solar) y capacidad de la atmósfera de recibir humedad (poder evaporante de la atmósfera). Esto sucede por lo menos en grandes extensiones.

Para el aprovechamiento del agua en situaciones de escasez, es importante que las obras de almacenamiento tengan el mínimo posible de superficie de agua libre. Ello implica, por ejemplo, que los embalses sean más profundos que anchos y las cisternas estén siempre cerradas y en lugares sombreados, como forma de reducir la evaporación. Cabe resaltar que superficies libres en las regiones tropicales, bajo condiciones de elevada temperatura y baja humedad atmosférica, pueden perder volúmenes significativos de agua, hasta más de 10 mm por día (10 litros m⁻² día⁻¹).

Precipitación

El agua que se precipita en forma de lluvia puede tomar los siguientes caminos:

- » Quedar depositada en la superficie vegetal. Esto ocurre en caso de lluvias muy cortas y/o de bajo volumen de precipitación y en situaciones en que la vegetación es muy densa. El agua se evapora desde la superficie vegetal y retorna a la atmósfera, sin haber llegado al suelo.
- » Alcanzar la superficie del suelo e infiltrarse. El suelo es un medio poroso y, por lo tanto, permeable, que presenta diferentes velocidades de infiltración del agua en el perfil. Cuanto más agua se filtra durante una lluvia, tanto mejor para su aprovechamiento, ya que los caminos que puede seguir son útiles: producción vegetal y recarga de la napa freática.
- » Alcanzar la superficie del suelo y escurrir. Cuando la intensidad de la precipitación supera la velocidad de infiltración del suelo se produce la escorrentía superficial. La escorrentía puede causar erosión y es negativa porque, además de representar un volumen de agua no aprovechado, causa daños en el área y aguas abajo (crecidas, sedimentación, contaminación).

Las características más importantes del régimen de lluvia relacionadas con el tema de aprovechamiento de agua son las siguientes:

- » Frecuencia de las lluvias y volumen.
- » Intensidad (las lluvias muy intensas tienden a perderse por escorrentía, mientras que las menos intensas tienden a infiltrarse y se aprovechan más).

Infiltración y almacenamiento

Se entiende por infiltración el flujo de agua que penetra a través de la superficie del suelo y se redistribuye desde las zonas saturadas hacia las no saturadas del perfil. El índice de infiltración del suelo es el flujo de agua que penetra por unidad de tiempo.

Los factores que afectan la infiltración son:

- » tipo de cubierta vegetal,
- » características hidráulicas del suelo y del terreno,
- » estado de humedad del suelo,
- » intensidad de la lluvia o cantidad de agua de riego,
- » calidad del agua,
- » formación de costras superficiales,
- » trabajos agrícolas.

Parte del volumen de agua que filtra fluye rápidamente a través de los macroporos, en los cuales se presenta baja energía de retención, y sale de la zona radical para abastecer la napa freática. Es un volumen de agua no aprovechado inmediatamente por las plantas; sin embargo, abastecerá la napa freática y, por consiguiente, los manantiales. Por ello es importante el rol que cumplen la fauna del suelo (lombrices, insectos y otros), los microorganismos y las raíces, al crear bioporos (poros grandes y continuos) para que el agua de lluvia (o de riego) se infiltre rápidamente.

Por otro lado, el volumen de agua almacenado es aquel que, a pesar de estar en movimiento, permanece en la zona radical del cultivo el tiempo suficiente para ser absorbido. En este aspecto, los microporos del suelo cumplen una función importante, al mantener el agua por más tiempo. El volumen de microporos en el suelo depende de los contenidos de arcilla y materia orgánica.

Por lo tanto, hay que desarrollar estrategias y aplicar prácticas que permitan:

- » Mantener la superficie cubierta por vegetación, viva o muerta, de tal manera que proteja la estructura superficial del suelo del impacto de las gotas de lluvia.
- » Mantener la estructura del suelo “abierta”, con elevada estabilidad de agregados de tamaños mayores (no pulverizado) y la macro porosidad elevada.
- » Aumentar los contenidos de materia orgánica para garantizar una estructura más estable y favorecer el almacenamiento de agua.

Escorrentía

La escorrentía puede ser superficial o subsuperficial. Una parte importante del agua de un evento lluvioso, sobre todo en áreas forestales, es de flujo subsuperficial, es decir, agua que no circula en régimen de lámina libre, sino que inicialmente se infiltra, escapa de la evapotranspiración y, en vez de constituir infiltración eficaz, circula horizontalmente por la parte superior de la zona no saturada hasta volver a la superficie.

La distribución entre la escorrentía superficial y la subsuperficial está determinada por la tasa de infiltración y capacidad de almacenamiento del suelo, las cuales dependen, básicamente, de factores climatológicos, geológicos, hidrológicos y edáficos. Probablemente el factor más decisivo sea la intensidad y la duración de la lluvia, pero también son determinantes la textura y estructura del suelo, su conductividad hidráulica y condiciones de drenaje interno. Externamente, la topografía del terreno, la conformación de la red de drenaje y la vegetación son factores importantes. El flujo subsuperficial predomina en la mayor parte de las situaciones, excepto en caso de aguaceros de fuerte intensidad.

La escorrentía superficial es la parte de la precipitación que no llega a penetrar el perfil de suelo y, por consiguiente, circula sobre la superficie del terreno. Las lluvias muy intensas que superan la capacidad de infiltración de agua en el suelo o que caen sobre superficies poco permeables (suelos delgados, terrenos rocosos, caminos, patios, techos, etc.) producen escorrentía que puede ser aprovechada para diferentes usos (doméstico, animal, riego, etc.). Para ello se debe manejar y captar después de que se inicia. De no ser así, puede derivar en un problema de difícil control y causar daños (surcos, cárcavas).

En cuencas hidrográficas donde la escorrentía no es controlada, la erosión hídrica destruye los suelos y los cauces presentan crecidas abruptas y peligrosas durante el periodo de lluvias. En cambio, en el período sin ellas los caudales se reducen a niveles críticos, los manantiales pequeños tienden a secarse y hay menos agua para uso de la gente.

Absorción vegetal (transpiración) y evaporación

El volumen de agua infiltrado y almacenado en el suelo y que la planta puede absorber es el realmente aprovechable, es decir, el que contribuye a la producción vegetal. Por medio de diferentes mecanismos internos, el agua es absorbida por la planta, participa de los sistemas funcionales de la misma y vuelve a la atmósfera por medio de la transpiración.

Otra parte del agua infiltrada y almacenada se pierde por evaporación. La radiación solar, al impactar la superficie del suelo, crea condiciones propicias para que ocurra la evaporación del agua. Esta es una pérdida que puede ser

controlada. Para reducirla, se requiere aplicar tecnologías que eviten el sobrecalentamiento del suelo, como la propia vegetación y los residuos vegetales o evitar directamente la salida de agua (mantillos plásticos).

Por la dificultad operacional de cuantificar por separado el volumen que evapora del suelo y el volumen transpirado por la planta, la suma de ambos se expresa como evapotranspiración.

Para una captación y aprovechamiento de agua mejorado, considerando todo el ciclo hidrológico, se recomienda lo siguiente:

- » Incrementar el volumen de agua captado por el suelo, lo que implica realizar prácticas que permitan aumentar la capacidad de infiltración y almacenamiento y reducir las pérdidas, tanto en el ámbito del área cultivada como de la cuenca hidrográfica, para tener manantiales más permanentes.
- » Uso de plantas y animales que utilizan menos agua y con mayor eficiencia.
- » Adecuar los sistemas de producción a un calendario que tome en cuenta la disponibilidad de agua, ajustando la necesidad de consumo a la disponibilidad.
- » Aprovechamiento de la escorrentía que no puede ser controlada, por medio de su captación, almacenamiento y redistribución para los diferentes tipos de uso.
- » Utilizar racional y responsablemente el agua.

La comprensión y el manejo adecuado de los componentes del ciclo hidrológico pueden contribuir a que la población de una región deficitaria de agua logre mayor involucramiento en las acciones que requieren ser desarrolladas y, con ello, una perspectiva de mejoramiento de la calidad de vida.

Para los técnicos, la comprensión de las características del ciclo hidrológico y las condiciones del entorno (suelo, terreno, vegetación, aspectos culturales y políticos, tecnologías) posibilita una visión más integral del problema del agua en determinada zona, a partir de la cual definir estrategias más amplias, integrales y acertadas para contrarrestar la escasez.

El cambio climático

El ciclo hidrológico local se encuentra determinado en gran medida por condiciones globales o de carácter regional: posición (latitud, altitud), insolación, vientos, orografía, geología, tipos de suelo y de terreno, cobertura vegetal, entre otros factores. Con la llegada del cambio climático, que se traduce en un aumento de las temperaturas medias terrestres, se agudizan los problemas de escasez de agua en muchas regiones del mundo (IPCC, 2007).

Posibles cambios en el ciclo hidrológico causados por el cambio climático

- » Disminución de la precipitación total anual.
- » Disminución del número de eventos de lluvia (distribución más errática).
- » Aumento de la energía de las precipitaciones, con posible agravamiento de los problemas (crecidas, inundaciones y erosión de las tierras).
- » Aceleración de la escorrentía por disminución de la precipitación sólida (nieve).
- » Aumento de la evapotranspiración, lo que incrementaría la aridez de la zona.
- » Reducción en la recarga de las napas con la consiguiente caída de sus niveles.
- » Mayor arrastre de sedimentos.
- » Aumento de la contaminación por menor capacidad de dilución de efluentes y riles (residuos industriales líquidos).

En este escenario, las acciones de captación y aprovechamiento de agua de lluvia adquieren una creciente importancia.



3. EL AGUA EN LA FINCA

La finca es un sistema hídrico que puede recibir agua de diferentes fuentes (aportes al sistema):

- » precipitación (lluvia);
- » napa freática, tabla freática o agua subterránea (pozos o humedales);
- » derivaciones de caudales de riachuelos (quebradas, arroyos), ríos, lagos y embalses;
- » elevada humedad de la atmósfera junto a la superficie (niebla);
- » suministro por medio de proyectos de distribución de agua, privados o públicos, a partir de fuentes superficiales o subterráneas.

La lluvia es el medio más común y sin costo de aporte de agua en la finca. A pesar de que la lluvia se distribuye naturalmente por toda el área y sin costo, el agricultor no tiene control sobre su volumen, frecuencia o distribución geográfica. En este sentido, la lluvia es un fenómeno natural totalmente aleatorio, aunque se puedan establecer parámetros estadísticos sobre su comportamiento para una determinada zona, a partir de su ocurrencia histórica y de modelos de predicción.

La utilización de técnicas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia se hace más necesaria en la medida que:

- » el patrón de ocurrencia de lluvias, en términos de volumen precipitado, está en el límite inferior o por debajo de la cantidad requerida por los diferentes tipos de uso en la finca;
- » su distribución temporal es variable con la estación del año;
- » su distribución es incierta (patrón poco definido), pudiendo haber excesos y déficits en diferentes periodos o estaciones.

En el Cuadro 3-I, se presenta una caracterización general de las condiciones climáticas dependientes de la lluvia, las condiciones ambientales determinadas por ellas y las estrategias necesarias para manejar el recurso hídrico en cada situación.

CUADRO 3-I: Indicaciones de estrategias generales para manejar el recurso hídrico en función de las condiciones climáticas dominantes.

Condición climática*	Características	Ambiente dominante	Estrategia de manejo del agua
Muy húmeda y húmeda (más de 1.200 mm de precipitación anual)	Precipitación abundante. Dominan excedentes hídricos casi todo el tiempo, sin déficit severo o prolongado. Pueden ocurrir períodos de déficit cortos (veranillos o estacionales).	<ul style="list-style-type: none"> » Suelos profundos y meteorizados. » Percolación profunda y lixiviación de nutrientes. » Vegetación abundante. » Disponibilidad de fuentes de agua. » Napa freática profunda, en terrenos de altitud, y alta, en terrenos de llanura (donde puede existir mal drenaje o exceso de agua). 	<ul style="list-style-type: none"> » Mantener infiltración elevada en el suelo. » Prevención y control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica. » Técnicas para evitar la evaporación del agua del suelo y aumentar el almacenaje. » Drenaje puede ser necesario en terrenos llanos. » Baja necesidad de almacenar artificialmente el agua para utilización posterior.
Subhúmeda (800 a 1.200 mm de precipitación anual)	Precipitación superior a la evapotranspiración en parte del año e inferior en otros meses (déficit estacional más común y severo, régimen de precipitación puede ser muy errático).	<ul style="list-style-type: none"> » Suelos profundos y meteorizados. » Vegetación menos abundante. » Disponibilidad estacional y más escasa de fuentes de agua. » Alternancia de profundidad de la napa freática puede ser grande localmente. 	<ul style="list-style-type: none"> » Mantener infiltración elevada en el suelo. » Prevención y control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica en el periodo húmedo. » Son recomendables técnicas para captar y almacenar agua en el periodo húmedo para uso en el periodo seco.

<p>Semiárida (200 a 800 mm de precipitación anual)</p>	<p>Precipitación inferior a evapotranspiración durante gran parte del año. Déficit puede alcanzar casi todo el año.</p>	<ul style="list-style-type: none"> » Suelos poco profundos y poco meteorizados. » Salinidad frecuente. » Vegetación pobre y característica de regiones con déficit hídrico. » Fuentes de agua escasas. » Agua puede ser de mala calidad para uso doméstico y agropecuario. 	<ul style="list-style-type: none"> » Mantener infiltración elevada en el suelo en los meses lluviosos. » Control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica en los meses lluviosos. » Técnicas para evitar la evaporación del agua del suelo y aumentar el almacenaje. » Es indispensable aplicar técnicas para captar y almacenar agua en el período húmedo.
<p>Árida (menos de 200 mm de precipitación anual)</p>	<p>Precipitación baja. Déficit todo el año.</p>	<ul style="list-style-type: none"> » Suelos poco meteorizados. » Salinidad frecuente. » Vegetación casi inexistente. » Fuentes de agua son muy escasas y localizadas. » Agua puede ser de mala calidad para uso doméstico y agropecuario. 	<ul style="list-style-type: none"> » Prioridad absoluta para consumo humano. » Mantener hábitos y actividades productivas que dependan el mínimo del agua.

*Los valores de precipitación presentados pueden variar ligeramente, según el autor o el sistema de clasificación utilizado.

El agua presente en la napa freática puede ser muy útil en la finca cuando hay escasez de lluvias, principalmente si se trata de humedales de poca profundidad, los cuales pueden ser alcanzados directamente por las raíces. Sin embargo, tratándose de pozos, si son artesanales y operados manualmente, generalmente su utilización está restringida a pequeños volúmenes de consumo, debido principalmente a las dificultades de extracción y distribución manual.

Cuando el agua de pozo artesanal manual se emplea también para fines agropecuarios (huertos caseros o abrevadero de animales de corral, por ejemplo), estas actividades productivas suelen ser de corto plazo, generalmente por las dificultades operacionales que se presentan a largo plazo. Por ejemplo, un huerto casero de 50 m² en una zona caliente requiere la extracción de 500 litros de agua del pozo ó 50 baldes de 10 litros todos los días. Por ello, se requiere que la extracción de agua de pozo para actividades productivas sea mecanizada.

Hay que considerar también que, en regiones áridas o semiáridas, la napa freática puede encontrarse muy profunda o ser inaccesible (presencia de rocas a poca profundidad que dificultan o impiden alcanzar buenas “venas” de agua). La calidad del agua subterránea en estas condiciones puede no prestarse a diferentes tipos de consumo, debido a altos contenidos de sales solubles y dureza (presencia de carbonatos de calcio y magnesio).

Los caudales de riachuelos (arroyos, quebradas), ríos y embalses, o sus derivaciones, pueden representar un aporte importante de agua en la finca, principalmente para aquellos usos de mayor consumo, tales como el riego y abrevadero de ganado vacuno. Hay que considerar que en regiones semiáridas, o en condiciones subhúmedas tendiendo al semiárido, los pequeños cauces y embalses también se secan, requiriendo obras de mayor envergadura para satisfacer las exigencias de uso de agua durante un periodo de estiaje más prolongado, lo que puede requerir de apoyo externo, público o privado.

El aprovechamiento de la niebla como fuente de agua es importante, pero puntual y limitado a algunas situaciones particulares de clima y posición topográfica de las montañas.

Por último, el suministro de agua por medio de proyectos de distribución que requieren estaciones de bombeo y tuberías, por presentar costos elevados para los gobiernos y comunidades, generalmente está limitado al consumo humano y a la pequeña crianza de corral, no siendo este el caso de los medianos y grandes proyectos de riego. En

muchas situaciones, los gobiernos locales han invertido en el aprovechamiento de aguas de acuíferos profundos, por medio de pozos tubulares, lo que ha permitido suministrar agua de buena calidad a la población.

De otro lado, el agua sale de la finca por los siguientes medios (salidas del sistema):

- » agua de lluvia que no logra infiltrarse y forma escorrentía;
- » percolación profunda, fuera del ambiente radicular de las plantas;
- » evaporación de las superficies de agua libre o de las superficies húmedas (suelo y plantas);
- » transpiración de las plantas.

Si la intensidad de la precipitación es superior a la velocidad de infiltración de la superficie donde cae, habrá un volumen sobrante de agua que escurrirá sobre la misma. Si este volumen no es inmediatamente retenido y almacenado, se escurre causando daños por arrastre de suelo, semillas, plantas jóvenes, etc. Las superficies porosas como el suelo son permeables y producen menos escorrentía que las superficies poco permeables o impermeables (patios y techos, por ejemplo), las cuales producen mucha escorrentía a ser cosechada.

El agua que percola profundamente, aunque puede abastecer la napa freática y ser aprovechada posteriormente, se la considera perdida para el aprovechamiento inmediato de las plantas.

Cuanto mayor sea el volumen de agua disponible en la zona radicular, mayor será la cantidad de agua absorbida y transpirada por las plantas cumpliendo su función metabólica y productiva.

En regiones secas, con elevada incidencia solar y temperatura y/o vientos constantes pueden haber elevadas pérdidas de agua de la finca por evaporación, tanto directamente de las superficies de agua libre (ríos, lagos, embalses y cisternas abiertas), como del agua almacenada en el suelo.

De manera general, se puede afirmar que el balance de agua en la finca se acerca a la escasez en la medida que se reducen los aportes de agua al sistema o cuando los volúmenes de salidas y consumo de agua se acercan al aporte. En estos casos, los procedimientos para captación y aprovechamiento del agua adquieren prioridad.

The background features a stylized landscape. At the top, a large, light blue sun is partially obscured by a semi-transparent dark blue oval. Below the sun, a range of mountains is depicted with a mix of green, brown, and tan colors, suggesting different vegetation and terrain. The bottom portion of the image is dominated by a horizontal band of a dark blue, textured material that looks like crumpled paper or fabric. Below this band is a solid, light blue area.

4. ESTRATEGIAS DE USO RACIONAL DEL AGUA

El agua es un recurso natural limitado, de utilización amplia y esencial para la vida, cuya pérdida de calidad puede ocurrir fácil y rápidamente, razón por la cual debe ser preservada en cualquier circunstancia de suministro que se presente. Si el agua del planeta cumple un ciclo, no utilizarla de manera racional significa tener problemas en otras fases del ciclo, en la actualidad o en el futuro.

Por lo tanto, el concepto de “uso racional, optimizado y responsable” del agua debe prevalecer siempre, aunque los aportes sean abundantes durante todo el año.

Las personas o comunidades que sufren déficit recurrente de agua no siempre utilizan bien el recurso. Aunque existen buenas experiencias en la región, se observan muchos problemas de mal uso y manejo del agua, lo que agrava su escasez, la pobreza, las enfermedades y la dependencia.

El “uso racional, optimizado y responsable” del agua debe incluir las siguientes estrategias o acciones:

- » Utilización del volumen mínimo necesario para satisfacer las diferentes necesidades, sin desperdicio.
- » Desarrollo de sistemas productivos con especies de plantas y animales que necesitan menos agua o que presentan mayor eficiencia en su utilización (más productos, servicios o beneficios con mayor valor agregado por volumen de agua consumido).
- » Observar una escala de prioridad de uso (consumo humano, consumo animal de producción, riego de plantas de autoconsumo, riego de plantas de producción comercial y otros usos) y priorizar actividades de beneficio colectivo, más que de beneficio individual.
- » Uso múltiple del agua: utilizar el mismo volumen de agua para obtener beneficios en dos o más actividades.
- » Evitar la contaminación en su utilización y entregar el agua residual con igual o mejor calidad que el agua recibida.
- » Prevención y control de excedentes hídricos que causan daños a los sistemas productivos y a la vida, como la erosión hídrica y las inundaciones.
- » Captación y aprovechamiento del agua disponible en los volúmenes que satisfagan las necesidades, posibilitando que los excedentes estén disponibles para otros usuarios.
- » Compartir el agua disponible.
- » Respetar la legislación que regula el uso del agua en cada provincia, país o región.

La captación y el aprovechamiento de la lluvia representan solo una de las estrategias en el uso racional del agua. Para lograr éxito en cualquier acción o proyecto, es necesario considerar diversos aspectos, como educación, concientización y capacitación de los usuarios, que permitan desarrollar en la comunidad la cultura del uso eficiente del agua.

La adopción de una práctica aislada, aunque sea eficaz individualmente, no es suficiente. Es necesario desarrollar un proceso educativo para que la población conozca y comprenda el ciclo hidrológico característico de la zona donde vive y establecer estrategias y tecnologías que posibiliten la mejoría de la disponibilidad de agua de manera sistemática y constante para lograr mejoras en su calidad de vida.

En la región semiárida brasileña, los profesionales del Centro para la Investigación Agrícola en el Trópico Semiárido (CPATSA¹), perteneciente a la EMBRAPA²-Semiárido, y del IRPAA³, plantean que es necesario establecer políticas y estrategias generales de convivencia con los recursos disponibles y encontrar alternativas que permitan a las personas vivir de manera digna en las regiones con escasez de agua recurrente.

El IRPAA considera en su estrategia de trabajo las siguientes cinco líneas de acción, las cuales deben ser difundidas, comprendidas y aplicadas, para que la población atendida por la institución esté preparada y logre convivir dignamente con las características del ambiente donde vive:

- » Proveer agua para el consumo humano: Una vida digna empieza por tener agua disponible y de buena calidad todos los días para beber y preparar los alimentos. Por ello, las familias deben planificar cómo van a lograr su propio suministro. Las técnicas para cumplir con esta línea de acción están centradas en la captación de agua en superficies limpias (techos, patios de hormigón o mampostería) con cisternas de almacenamiento, o por medio de la perforación de pozos, generalmente artesanales.
- » Proveer agua para la comunidad: El suministro de agua para los servicios de higiene y limpieza y para consumo animal es muy importante. La comunidad puede organizarse para aumentar y mejorar la calidad de dicho suministro, a través de prácticas orientadas a la captación de escorrentía de diferentes fuentes (techos, patios, caminos, carreteras, torrentes) y al almacenamiento en cisternas, estanques y trincheras. Por tratarse de obras de más envergadura y caras, el trabajo y la utilización comunal del agua de manera organizada debe ser parte de la solución.
- » Proveer el agua de producción: El uso de técnicas de mejoramiento de agua en el suelo, aprovechamiento de la escorrentía o utilización del riego (dependiendo de la disponibilidad de agua) es muy importante para la producción agrícola. También ayuda el uso de cultivos adaptados al ecosistema local.
- » Proveer agua en épocas de emergencia: Las familias y la comunidad deben estar preparadas y trabajar en conjunto con otras esferas de decisión (poder público municipal o provincial, organizaciones civiles, etc.) para prever y mitigar problemas en años en que la cantidad de lluvia no sea suficiente para completar la capacidad de las estructuras de captación (cisternas, estanques, embalses) y falte agua. Es necesario generar estrategias y planes de mitigación, como el suministro de agua con camiones aljibe, la construcción de obras de mayor capacidad de almacenamiento y la perforación de pozos tubulares capaces de alcanzar acuíferos subterráneos profundos, no sujetos al ciclo hidrológico superficial en el corto plazo.
- » Proveer el agua ambiental: Las comunidades deben preocuparse de salvaguardar la calidad de los recursos (principalmente suelo y vegetación) que permitan la máxima infiltración de agua en el ámbito de la cuenca hidrográfica donde viven. Al largo plazo, esto ayuda a que los nacimientos y pozos duren más, los niveles de caudal sean más estables en los cauces (valores de caudales máximos o mínimos menos intensos) y los volúmenes de los embalses sean adecuados. En este sentido, las comunidades deben trabajar para mantener o restablecer la vegetación protectora en zonas estratégicas o vulnerables, reducir las quemadas, eliminar el sobrepastoreo, utilizar prácticas para aumentar la infiltración, retener la escorrentía en las áreas de cultivo y reducir los desperdicios y la contaminación.

1. CPATSA: Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido.

2. EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

3. IRPAA: Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada.

Un aspecto importante para el desarrollo de estrategias de convivencia con la escasez recurrente de agua es la organización comunitaria. Por medio de ella se pueden emprender esfuerzos locales, reducir la dependencia externa y lograr una mejor articulación con la oferta pública en materia de apoyo técnico, financiero y logístico para una atención más eficiente a los sectores que mayormente lo requieren.

Donde hay escasez recurrente de agua es necesario que las políticas públicas estén orientadas a la prevención sistemática de la escasez, para que se desarrolle la capacidad y el conocimiento de la convivencia con las características del ciclo hidrológico. El apoyo de las instituciones públicas realizado de manera paternalista, puntual y errática puede crear disfunciones sociales y no contribuir al desarrollo humano integral de las comunidades, que es, en último término, lo que se busca.

La introducción de prácticas aisladas y con pocas familias no tiene impacto para mejorar el aprovechamiento de agua en una zona deficitaria ni se traduce en un efectivo desarrollo de la comunidad. Se deben promover prácticas sencillas, poco costosas y de fácil mantenimiento, pero dentro de un contexto de largo plazo, en que el ciclo hidrológico sea estudiado, comprendido y manejado de forma que la población gobierne sus variables con destreza, para sacarle el mejor provecho a sus potencialidades y mitigar sus limitaciones, de tal manera de lograr convivir en armonía con el ambiente.



5. NECESIDADES DE AGUA EN LA FINCA

En una finca, las familias requieren agua para consumo doméstico y para las actividades agrícolas y pecuarias. Para calcular dichos requerimientos, se consideran los siguientes aspectos:

- » Uso doméstico: la suma del agua usada para preparar alimentos, beber, higiene personal, lavado de ropa y aseo de la vivienda.
- » Consumo animal: la suma de los consumos para abrevadero y limpieza de los corrales.
- » Producción agrícola: volumen total de agua absorbida por los cultivos para realizar su metabolismo y producción.
- » Otros usos: consumo en instalaciones de transformación de productos, piscicultura y actividades recreativas.
- » “Pérdidas” naturales: evaporación, escorrentía subsuperficial y percolación profunda, escorrentía superficial no captable.

5.1 Consumo familiar de agua para uso doméstico

La demanda o dotación por persona es la cantidad de agua que necesita una persona diariamente para cumplir con las funciones físicas y biológicas de su cuerpo. Esta necesidad de agua puede variar de 25 litros por día (l día⁻¹) por persona, como mínimo, hasta 80 l día⁻¹.

Para efectos de cálculo, la cantidad asignada por persona dependerá de la cantidad de agua disponible (agua de lluvia caída y capacidad de captación y almacenamiento) y de la cuota a la cual pueda adaptarse.

En regiones más áridas y con menos recursos, probablemente se asignará una cantidad mínima por persona. En zonas con más lluvia y recursos económicos, podrá asignarse un volumen mayor. En el Nordeste de Brasil, en zonas donde el promedio anual está en alrededor de 550 mm de precipitación, se está manejando una necesidad de 14 l día⁻¹ por persona (Brito et al, 2007a; Gnadlinger, 2011).

Brito et al, (2007a) aplica la siguiente relación para estimar el consumo de la familia:

$$V_{nec} = n \times c \times p$$

- V_{nec}**: Volumen de agua necesario (l)
n: Número de personas en la vivienda
c: Consumo medio de agua por persona por día (l)
p: Periodo de consumo considerado (días)

Las prioridades para el uso doméstico las establece la familia, considerando en primer lugar la alimentación; luego, la higiene personal, la limpieza de los bienes, útiles y objetos personales y del hogar, etc. El suministro debe ser continuo y el aprovechamiento racional y eficiente.

En la Figura 5-1 se observa una vivienda rural con sistema de captación de techo y cisterna con capacidad para almacenar 16 m³.

FIGURA 5-1: Sistema de captación de lluvia del techo de la vivienda y almacenamiento de agua para uso doméstico promovido en la finca del IRPAA, Brasil.



Foto: Marcos J. Vieira.

5.2 Consumo animal

Un resumen de datos disponibles en la literatura regional sobre consumo animal se muestra en el Cuadro 5-1. Entre las aves de corral (ICA⁴, citado por Radulovich et al, 1994), los pavos consumen el doble de agua que las gallinas. Este dato merece ser tomado en cuenta al planificar los hatos de aves en zonas de gran escasez hídrica, como forma de reducir la competencia.

Los cerdos consumen aproximadamente 15 litros diarios por animal (ICA, citado por Radulovich et al, 1994), variando según las condiciones de manejo y tipo de cría, desde 4 a 5 litros diarios por 100 kg de peso vivo hasta 20 a 30 litros diarios (Colacelli, 1997).

4. ICA, Instituto Colombiano Agropecuario.

CUADRO 5-I: Consumo diario de agua de algunas especies animales, medido bajo diferentes condiciones⁵.

Especie		Condición de consumo	Consumo
Aves	Gallinas		15 litros día ⁻¹ por 100 cabezas
	Pavos		30 litros día ⁻¹ por 100 cabezas
Bovinos			450 litros día ⁻¹ por 10 cabezas
Cerdos		Primeros 12 meses	10 a 12 litros día ⁻¹ por 100 kg de peso
		Engorde	3 a 4 litros día ⁻¹ por kg de MS* consumida
		Marranas en lactancia	15 a 20 litros día ⁻¹
Ovinos	De pelo (San Pablo, Brasil)	32-35 kg de peso	3,0 litros día ⁻¹ (invierno) 3,8 litros día ⁻¹ (verano)
	En pastoreo (Chile)	Bajo sombra Sin protección	8,0 litros día ⁻¹ 11,0 litros día ⁻¹
Caprinos			4,5 a 8,0 litros día ⁻¹
Camélidos	Alpaca		2,9 litros día ⁻²
Cuyes	Hembras primerizas		30 a 70 ml día ⁻¹
	Machos y hembras destetados		45 a 198 ml día ⁻¹

*MS: materia seca.

Los ovinos (Patiño et al, 2010; Olivares y Caro, 1998) y caprinos (Galleno Rojas, s/f) consumen poca agua comparados con los bovinos, pero son variadas las necesidades observadas en diferentes situaciones, como se indica en el Cuadro 5-I. Razas y condiciones de manejo parecen influir bastante en las cantidades consumidas.

Entre los camélidos sudamericanos, las alpacas estabuladas consumen, en promedio, 2,9 litros de agua por día (Raggi, 1992). Su consumo es menor que el de ovinos (Valenza, 1989, citado por San Martín, 1994). La llama consume también menos que los ovinos. El guanaco, un camélido silvestre, puede sobrevivir 5 ó 6 días sin acceso al agua.

Los cuyes (Chauca et al, 1994; Huaras y Cook, 1994) quizás sean los animales de corral que menos consumen agua y, por eso, se adaptan a condiciones de extrema escasez. Además, consumen poca materia seca y, a diferencia de las aves y cerdos, no compiten con las personas en términos de alimento. De esta manera, una buena cantidad de proteína animal puede ser producida a bajo costo y en espacios reducidos.

Los bovinos, por su importancia en gran parte de la región y nivel de consumo elevado de agua, merecen una mención especial. El consumo se calcula en 45 l día⁻¹ de agua por animal adulto (ICA, citado por Radulovich et al, 1994). Sin embargo, para obtenerse un valor más preciso, en ganado al que se aplica mayor nivel tecnológico, se pueden considerar los datos publicados por Colacelli (1997), presentados en el Cuadro 5-II.

5. Datos de varios autores.

CUADRO 5-II: Consumo de agua observado para diferentes clases de bovinos y bajo diferentes condiciones ambientales (Colacelli, 1997).

Finalidad	T° media anual o estación	Consumo
Carne	5° C	3 (litros día ⁻¹ kg ⁻¹ MS*)
	32° C	8 (litros día ⁻¹ kg ⁻¹ MS)
Leche		3 a 4 (litros día ⁻¹ kg ⁻¹ MS)
		3 a 4 (litros día ⁻¹ litros ⁻¹ de leche)
Toros adultos	Invierno	25 (litros día ⁻¹)
	Verano	50 a 60 (litros ⁻¹)

*MS: materia seca consumida como forraje.

En el Cuadro 5-III se presenta con más detalle el consumo diario de agua de diferentes categorías de bovinos de carne, bajo diferentes condiciones de temperatura ambiente. El peso del ganado de carne en crecimiento está representado hasta en un 70% por agua. Por esta razón, en este periodo los requerimientos de agua se deben aumentar.

CUADRO 5-III: Consumo de agua diario aproximado (litros por animal) en ganado de carne. (Adaptado de Winchester y Morris, 1956, citado por Colacelli, 1997).

Temperatura media	Vacas lactando	Vacas secas preñadas	Animales en crecimiento		Animales en terminación	
			182 kg	273 kg	364 kg	454 kg
°C	409 kg	409 kg				
4,4	43,1	25,4	15,1	20,1	27,6	32,9
10,0	47,7	27,3	16,3	22,0	29,9	35,6
14,4	54,9	31,4	18,9	25,0	34,4	40,9
21,1	64,0	36,7	22,0	29,5	40,5	47,7
26,6	67,8		25,4	33,7	46,6	54,9
32,2	61,3		36,0	48,1	65,9	78,0

Hay que considerar que en la finca hay animales de servicio, carga o tiro. En condiciones de escasez de agua, los volúmenes consumidos por estos animales pueden incidir en el cómputo general. Para el caso de los equinos, caballos o mulas, el consumo promedio de agua se sitúa entre 20 y 45 l día⁻¹ (ICA, citado por Radulovich, 1994). Los perros consumen entre 0,5 y 5 l día⁻¹ (Reynolds, 1998).

Para efectos del cálculo relativo al consumo animal, se puede utilizar la misma relación presentada para el consumo humano.

5.3 Consumo vegetal

El consumo de agua de los cultivos corresponde a la evapotranspiración, que es el volumen total de agua en estado líquido que pasa del suelo a la atmósfera, en el estado de vapor, en una superficie cubierta por cultivos. Su valor está representado por la suma de dos componentes: el agua que evapora directamente del suelo (agua no productiva) y el agua absorbida y transpirada por las plantas (agua metabolizada, productiva).

Por lo tanto, el mejor aprovechamiento del agua del suelo ocurre cuando la evapotranspiración se compone de una transpiración elevada y una evaporación baja, lo que significa que las plantas están metabolizando y produciendo biomasa. El mayor riesgo de estrés hídrico ocurre cuando hay condiciones ambientales que elevan la transpiración (elevadas temperaturas, radiación solar y área foliar) y no hay agua suficiente en el suelo. En esta situación la planta presenta estrés hídrico. Por lo tanto, lo que se debe plantear en condiciones de déficit de agua recurrente es tener siempre una evaporación baja y un nivel de transpiración compatible con el agua disponible en el suelo.

Cabe señalar que la producción agrícola no depende solamente del factor agua, sino también de la radiación solar, fotoperiodo, temperatura y nutrientes, entre otros.

La intensidad de la evapotranspiración es afectada por parámetros climáticos, factores del cultivo, por el manejo del agua y del suelo y por las condiciones del entorno. Una relación general de estos factores se presenta en el Cuadro 5-IV.

CUADRO 5-IV: Tipos de factores que afectan la evapotranspiración en superficies cultivadas.

Factores que afectan la intensidad de evapotranspiración		
Parámetros climáticos	Factores de las plantas	Factores de manejo y entorno
<ul style="list-style-type: none"> » Radiación solar. » Temperatura del aire. » Humedad atmosférica. » Velocidad del viento. 	<ul style="list-style-type: none"> » Tipo o variedad de cultivo. » Fase de desarrollo. » Altura y rugosidad vegetal*. » Reflejo de la superficie vegetal. » Cobertura del suelo. » Características radiculares. 	<ul style="list-style-type: none"> » Salinidad. » Fertilidad del suelo. » Horizontes duros, impermeables o impenetrables » Enfermedades y plagas. » Densidad poblacional del cultivo. » Humedad del suelo. » Control del viento (cortinas). » Método de riego. » Prácticas de cultivo. » Rastrojos o residuos (cobertura vegetativa muerta). » Utilización de películas plásticas en la superficie. » Uso de materiales reflectantes en el suelo.

* *Rugosidad vegetal*: se refiere a la irregularidad de la masa aérea del cultivo (canopia).

En el Estudio FAO - Riego y Drenaje N° 56 (Allen et al, 2006) se analizan ampliamente los efectos de los diversos factores en la intensidad de la evapotranspiración. En resumen, estos factores actúan y ocasionan las tendencias descritas en el Cuadro 5-V, para las cuales se presentan sugerencias de estrategias y prácticas. Se ha utilizado el concepto de tendencias porque se trata de comportamientos generales, lo que implica que puedan ocurrir excepciones.

CUADRO 5-V: Resumen de las tendencias de comportamiento de la evapotranspiración por la acción de diferentes factores (Allen et al, 2006) y estrategias generales a considerar en el diseño de proyectos de captación y aprovechamiento de agua para reducir los riegos de déficit hídrico.

Tendencias	Estrategias y prácticas
Factores climáticos	
A mayor radiación solar y temperatura ambiente, la evapotranspiración tiende a ser mayor.	Contrarrestar la incidencia solar directa sobre la superficie y reducir la temperatura (uso de sombra, cobertura muerta, ambiente protegido, etc.).
A mayor frecuencia y velocidad del viento, la evapotranspiración tiende a ser mayor.	Control del viento (cortinas rompevientos), siembra en áreas menos expuestas o en ambientes protegidos.
A menor humedad de la atmósfera, la evapotranspiración tiende a ser mayor.	Utilizar cultivos en ambientes protegidos (donde sea posible) y cambios en el calendario de siembras o ciclo de desarrollo.
Factores del cultivo	
Las plantas con estomas que se abren en el día, estomas en la parte superior de las hojas, mayor cantidad de estomas, estomas abiertos por más tiempo y cutícula que ofrece una menor resistencia a la transferencia del vapor de agua suelen presentar mayor evapotranspiración.	Estas plantas deben ser evitadas en zonas con déficit hídrico predecible. En cambio, deben ser seleccionadas plantas para cultivo que presenten mayor capacidad de preservar el agua absorbida y/o presenten mecanismos de adaptación a períodos de déficit. Por ejemplo: marañón (<i>Anacardium occidentale L.</i>), jocote (<i>Spondias spp.</i>), mango (<i>Mangifera indica L.</i>), frijol caupí o vigna (<i>Vigna spp.</i>), gandul (<i>Cajanus cajan ssp. L. Mill</i>), cactáceas diversas (<i>Opuntia spp.</i> ; <i>Cereus spp.</i>), entre otras.
Las plantas en su estado máximo de desarrollo presentan evapotranspiración más elevada que durante sus primeros periodos de desarrollo, por disponer de un área foliar superior.	Prever la disponibilidad de agua para el período crítico de mayor consumo; adaptar el ciclo de desarrollo a la disponibilidad de agua.
Las plantas con mayor altura y formas más irregulares (rugosidad) tienden a presentar más evapotranspiración.	Cultivar plantas más bajas y protegidas del viento; no sembrar plantas o pequeñas áreas de cultivo aisladas en campo abierto.
Cuanto mayor es el albedo (superficies más reflectantes, brillantes, de color claro, inclinadas) menor es la radiación neta que llega a la superficie del cultivo o del suelo y, por lo tanto, menor tiende a ser la evapotranspiración.	Promover alternativas que aumenten el albedo; por ejemplo, mallas de sombra sobre el cultivo, mantillo de residuos de cosecha y láminas plásticas en la superficie del suelo, etc.). Sembrar, de preferencia, en áreas de exposición indirecta al sol.
Las plantas que cubren más el terreno presentan más evapotranspiración.	Seleccionar cultivos que transpiran menos, sembrados con densidades adecuadas, de acuerdo al agua disponible.
Plantas con mayor desarrollo radicular pueden tener mayor evapotranspiración.	Seleccionar cultivos con sistemas radiculares profundos y abundantes que logran extraer agua de horizontes profundos del suelo y reducir los riesgos de déficit.

Tendencias	Estrategias y prácticas
Factores del suelo y del entorno	
La mayor salinidad del agua de riego y del suelo limita la absorción del agua por las plantas y, por lo tanto, disminuye la evapotranspiración.	La salinidad es negativa y el uso de agua con altos contenidos salinos debe evitarse; utilizar cultivos adaptados en suelos con problemas de salinidad.
La menor fertilidad del suelo, los horizontes duros o impenetrables, así como las enfermedades y plagas limitan el desarrollo de las plantas y también la evapotranspiración.	Proveer las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (funcionalidad del suelo) y del ambiente para no permitir la reducción de la evapotranspiración por medio de la reducción de la capacidad de la planta de absorber agua.
Las áreas más cubiertas de plantas de cultivo (con más población o especies intercaladas) y los bosques presentan mayor evapotranspiración.	Si la mayor evapotranspiración se traduce en más biomasa producida y hay agua suficiente en el sistema, no hay problema; mantener poblaciones de plantas recomendadas para cada situación.
Más humedad en el suelo favorece que haya más evapotranspiración, pero en exceso afecta la respiración y destruye raíces.	Proveer las condiciones físicas del suelo para favorecer el balance adecuado de agua disponible y oxígeno.
Riego por aspersión es el que produce mayor evapotranspiración debido a que humedece todo el terreno; el riego por surcos produce menos evaporación que el riego por aspersión y el riego por goteo algo menos que el riego por surcos.	En situación de escasez, optar por los sistemas de riego más eficientes en el uso de agua (por goteo y microaspersión), considerados los aspectos económicos y adaptabilidad a la situación local específica. Se deben evitar los sistemas de riego por aspersión, surcos e inundación total.
La cobertura con residuos de cosecha reduce la evaporación. El uso de una lámina plástica sobre el suelo tiende a reducir la evapotranspiración, pero aumenta la transpiración y la productividad de las plantas.	En condiciones de escasez de agua, la superficie de los terrenos de cultivo debería, en lo posible, permanecer cubierta (protegida), a fin de reducir la evaporación.
Productos que pueden actuar como antitranspirantes.	Evaluadas las condiciones técnicas y económicas, se pueden utilizar. El potasio (K) tiende a regular el desempeño de los estomas.

5.3.1 Evapotranspiración de referencia (ETo)

Se denomina evapotranspiración de referencia (ETo) al valor de evapotranspiración que ocurre en un terreno en las siguientes condiciones: un cultivo hipotético de pasto, con altura asumida de 12 cm; una resistencia superficial fija de 70 S m^{-1} (lo que implica un suelo moderadamente seco que recibe riego con una frecuencia semanal, aproximadamente) y un albedo de 0,23; y un área vegetada aledaña suficientemente amplia para evitar el efecto de borde. Así, ETo es un valor que depende únicamente de los factores climatológicos locales y representa el potencial de

evapotranspiración para el lugar, bajo dichas condiciones (Allen et al, 2006). Por albedo se entiende la capacidad reflectante de la superficie en relación a la radiación solar incidente.

Para calcular ETo existen numerosas ecuaciones que consideran diferentes variables. A partir de estudios de campo realizados con lisímetros en Estados Unidos y Europa, se ha observado que ningún método o ecuación es exacto. Sin embargo, la Ecuación de Penman-Monteith produjo los resultados más consistentes para calcular el valor ETo, tanto en climas áridos como en climas húmedos.

$$E_{To} = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \frac{\zeta 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{\Delta + \zeta (1 + 0,34 U_2)}$$

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)
Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
Rn: Radiación neta en la superficie del cultivo (Mj m⁻² día⁻¹)
G: Flujo de calor en el suelo
T: Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
U₂: Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)
e_s: Presión de vapor de saturación (kPa)
e_a: Presión real de vapor (kPa)
e_s - e_a: Déficit de presión de vapor (kPa)
ζ: Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

Ecuación FAO Penman - Monteith, derivada de la ecuación original, para el cálculo de ETo, la cual presenta buena capacidad de reproducción de la realidad.

En el Estudio FAO - Riego y Drenaje No. 56 (Allen et al, 2006), se explican los procedimientos para obtener los parámetros de la ecuación en base a datos meteorológicos normalmente disponibles de estaciones meteorológicas completas.

Se puede estimar ETo con los datos meteorológicos por día, semana o mes. En muchas condiciones de campo de la región, las variables necesarias para el cálculo no siempre se encuentran disponibles y hay dificultades para recolectar los datos en regiones aisladas y sin una red de estaciones meteorológicas. Por lo tanto, el profesional extensionista que necesite el valor de ETo tendrá que recurrir a valores disponibles en las estaciones meteorológicas cercanas y/o que se ubiquen en condiciones climáticas similares: clima, latitud, altitud, exposición, entre otras. En zonas de montañas, en función de las condiciones orográficas que pueden determinar fuertemente el régimen de lluvias, radiación solar, albedo y vientos, no siempre la estación más cercana es la que representa mejor la condición local.

En los países con zonas deficitarias de agua, se recomienda el establecimiento de servicios específicos para la colección de datos y el cálculo de los valores de ETo y otros índices de uso consuntivo de agua por los diferentes cultivos, como forma de facilitar la labor de los extensionistas.

En Allen et al, 1998; 2006, se presentan valores promedios de evapotranspiración de referencia (ET_o) para diferentes condiciones de temperatura (Cuadro 5-VI).

CUADRO 5-VI: Valores de referencia correspondientes a la necesidad promedio de agua diaria (mm) para las condiciones de césped de referencia-ET_o (Allen et al, 1998; 2006).

Zona climática		Temperatura media diaria (°C)		
		Fría ~10	Moderada 20	Caliente >30
Trópico y subtropical	Húmedo y subhúmedo	2 a 3	3 a 5	5 a 7
	Semiárido y árido	2 a 4	4 a 6	6 a 8
Regiones templadas	Húmedo y subhúmedo	1 a 2	2 a 4	4 a 7
	Semiárido y árido	1 a 3	4 a 7	6 a 9

Aunque estos valores sean muy generales, sirven como parámetro inicial de referencia, pudiendo ser ajustados de acuerdo a la experiencia local, sobre la marcha de las acciones.

En el Cuadro 5-VII, se presentan los valores promedios de ET_o diarios, mensuales y anuales para la localidad de San Fernando, Chile. Se puede observar que los valores de ET_o tienden a elevarse en la primavera-verano (de septiembre a marzo en el hemisferio sur) y a reducirse en el otoño-invierno (de abril a agosto), resultado de las condiciones climáticas, principalmente la radiación solar y, por consecuencia, la temperatura. La evapotranspiración de referencia (ET_o), así calculada, es hipotética, pero puede utilizarse con fines de planificación de uso y manejo del agua en áreas grandes y en plazos largos.

CUADRO 5-VII: Valores de evapotranspiración de referencia (ET_o), en promedios diario, mensual y anual, en la localidad de San Fernando, Chile, calculados por la Ecuación de Penman-Monteith.

Mes	mm día ⁻¹	mm mes ⁻¹
Enero	5,39	167,1
Febrero	4,52	127,1
Marzo	3,31	102,6
Abril	1,96	58,8
Mayo	1,12	34,7
Junio	0,79	23,7
Julio	0,89	27,6
Agosto	1,35	41,9
Septiembre	2,03	60,9
Octubre	3,06	94,9
Noviembre	4,21	126,3
Diciembre	5,11	158,4
ANUAL		1.024,50

5.3.2 Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración del cultivo (ETc) es la necesidad de agua estimada para las condiciones de cada cultivo o bosque, en sus diferentes fases de desarrollo, bajo las siguientes condiciones: suelo sin restricción hídrica; buenas condiciones de desarrollo vegetal; y área de cultivo suficientemente amplia para evitar el efecto de bordes, principalmente el viento y la transferencia de calor de áreas aledañas bajo condiciones diferenciadas.

En este caso, ETc depende de las condiciones climáticas y de las condiciones del cultivo, principalmente el tipo de cultivo (más o menos dependiente del agua) y de su grado de desarrollo (área foliar). Su valor representa el máximo que el cultivo puede perder por evapotranspiración, bajo la condición climática específica.

El valor de ETc está directamente relacionado a la necesidad de suministro de agua para los cultivos, sea en la forma de lluvia o riego. De un punto de vista práctico, si el volumen de agua saliente por evapotranspiración no es compensado con lluvia o riego, las plantas podrán entrar en estado de estrés por déficit hídrico.

Para estimar el valor de la ETc de un cultivo o bosque específico, se utiliza como base ETo y se corrige con el coeficiente adimensional Kc. El coeficiente Kc es el cociente de ETc sobre ETo.

Por lo tanto:

$$ETc \div ETo = Kc.$$

Se deduce que $ETc = Kc \times ETo$

Cuando el valor de Kc se acerca a 1,0, significa que los valores de ETc y ETo son similares. Si el valor de Kc es menor que 1,0, significa que el valor de ETc es menor que ETo. Si, por el contrario, el valor de Kc es mayor que 1,0, implica que ETc es mayor que ETo.

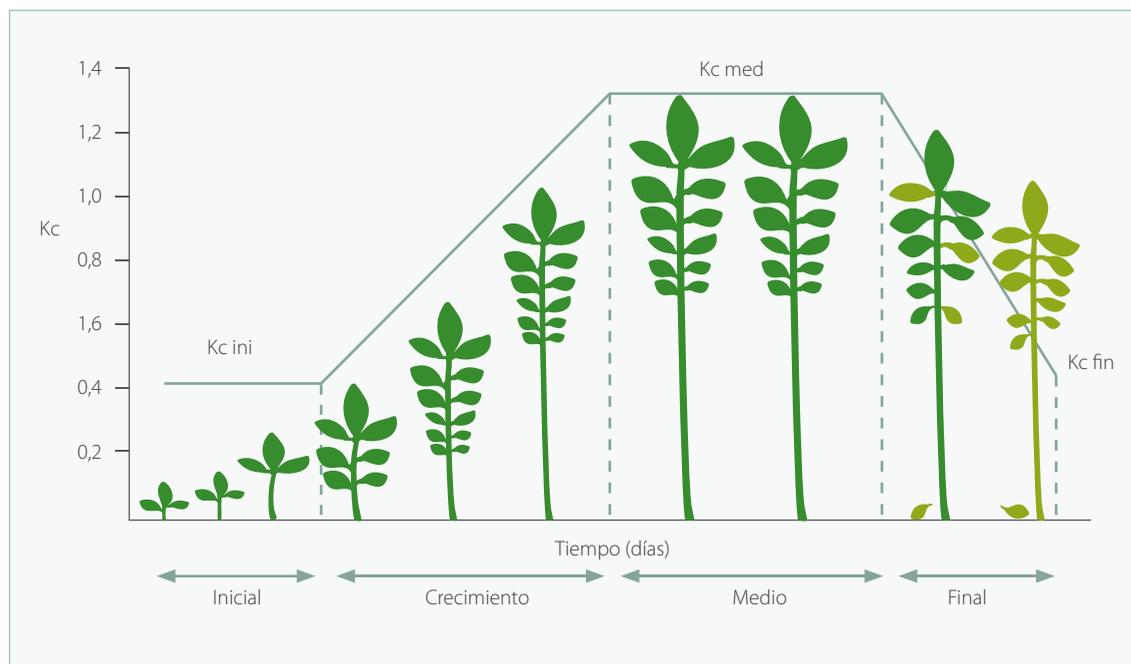
Por lo tanto, el cociente Kc representa los efectos de las condiciones específicas del cultivo en relación a las condiciones de referencia de evapotranspiración del césped, ya descritas. Estas condiciones específicas normalmente están relacionadas a los siguientes factores:

- » Altura de la planta, la cual afecta la resistencia aerodinámica (que es considerada en la ecuación Penman-Monteith) y la transferencia turbulenta de vapor desde la planta hacia la atmósfera.
- » El albedo o reflectancia de la superficie suelo-plantas, el cual depende del porcentaje de la superficie cubierta de plantas, de la humedad de la superficie del suelo y del tipo de suelo.
- » Resistencia de la superficie de las plantas a la transferencia de vapor, que depende del área de las hojas (cantidad de estomas), edad y condición de las hojas y el grado de control de apertura de los estomas.
- » Evaporación directa del suelo, especialmente del suelo expuesto.

Estos factores se modifican con el crecimiento de las plantas, las cuales van aumentando de altura, de área foliar y de cobertura del terreno, lo que hace cambiar el valor de Kc en las diferentes fases de desarrollo del cultivo. Por eso, en el cálculo de ETc el valor de Kc debe modificarse según el estado de desarrollo de las plantas, conforme se muestra en la Figura 5-II. Se consideran tres valores básicos de coeficiente que orientan las modificaciones de Kc, los cuales se denominan $K_{c\text{ ini}}$, $K_{c\text{ med}}$ y $K_{c\text{ fin}}$, correspondientes a los puntos de cambio del estado de desarrollo y cuyas descripciones se presentan a continuación:

$K_{c\text{ ini}}$	Período inicial del cultivo: desde la siembra hasta el inicio significativo del crecimiento de las plantas, normalmente hasta 10-15% de cobertura del terreno (los valores son bajos y estables).
$K_{c\text{ med}}$	Período medio del cultivo: cuando las plantas alcanzan de 80 a 100% de su desarrollo vegetativo y se mantienen prácticamente estables durante el periodo medio de madurez del cultivo hasta que se inicia su envejecimiento (valores elevados y estables).
$K_{c\text{ fin}}$	Periodo final del cultivo: fase final del ciclo del cultivo, generalmente cuando se inicia la maduración fisiológica hasta que se efectúa la cosecha (valores decrecientes hasta bajos al final del ciclo).

FIGURA 5-II: Esquema general de la variación del coeficiente del cultivo (Kc), según el desarrollo de las plantas (Adaptado de Allen et al, 1998).



Para cada fase específica del cultivo, se pueden utilizar valores intermedios. Hay autores que consideran un Kc de crecimiento vegetativo, entre el Kc inicial y el Kc medio. Los valores de Kc para cada cultivo o variedad son determinados experimentalmente, por lo general utilizando modelos desarrollados a partir de datos de lisímetros.

En el Cuadro 5-VIII, se presentan valores de referencia de K_c para algunos cultivos. Allen et al, (2006) presenta valores de referencia de K_c para una amplia gama de cultivos, los cuales están disponibles en la web y pueden ser utilizados como valores de referencia por los extensionistas en sus proyectos.

CUADRO 5-VIII: Valores de referencia de K_c para diferentes cultivos (Critchley y Siegert, 1996; Allen et al, 2006).

Cultivo	Etapa inicial		Etapa de crecimiento		Etapa de desarrollo pleno		Etapa de madurez	
	K_c	Días	K_c	Días	K_c	Días	K_c	Días
Algodón	0,45	30	0,75	50	1,15	55	0,75	45
Avena	0,30				1,15		0,25	
Caupí	0,40				1,05		0,35 - 0,60	
Garbanzo	0,40				1,15		0,35	
Maíz	0,40	20	0,80	35	1,15	40	0,70	30
Maní	0,45	25	0,75	35	1,05	45	0,70	25
Mijo	0,35	15	0,70	25	1,10	40	0,65	25
Sizal (henequén)	0,35				0,4 - 0,7		0,4 - 0,7	
Sésamo (ajonjolí)	0,35				1,10		0,25	
Sorgo	0,35	20	0,75	30	1,10	40	0,65	30
Granos pequeños	0,35	20	0,75	30	1,10	60	0,65	40
Leguminosas	0,45	15	0,75	25	1,10	35	0,50	15

En el inicio del cultivo, $K_{c\text{ini}}$ es bajo porque el cultivo está todavía pequeño y hay poca superficie foliar para producir transpiración. En esta fase es importante que el suelo esté protegido de la radiación solar, con residuos vegetales, por ejemplo, para reducir la evaporación y economizar agua.

A medida que las plantas se desarrollan, el valor de K_c se incrementa debido al aumento de la superficie foliar, la cual posee los estomas por donde ocurre la transpiración. Cuando la planta alcanza su crecimiento máximo, el K_c se estabiliza y es denominado $K_{c\text{med}}$. Normalmente, se caracteriza como un período crítico para la mayoría de los cultivos, porque el consumo de agua es máximo y se forman estructuras importantes para la producción vegetal, como la diferenciación de los órganos de reproducción. Por eso, cuando falta agua en el período de florecimiento y llenado de granos, por ejemplo, el déficit suele ser más perjudicial.

Al completar el ciclo de reproducción, la planta empieza el proceso de maduración, las hojas envejecen y pierden la función de transpiración, la turgencia de los tejidos se reduce y se necesita menos agua para las funciones metabólicas; así, el valor de K_c nuevamente se reduce.

A continuación, a título de ejemplo, se presenta un caso de distribución de los valores de K_c para el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) en la localidad de Irecê (condición de clima semiárido, Nordeste de Brasil), los cuales han sido obtenidos experimentalmente:

K_c inicial	0,150	De 0 a 25 días
K_c medio	1,190	De 50 a 80 días
K_c final	0,350	Día 100

A partir de estos valores de Kc, se pueden calcular valores de Kc correspondientes a períodos menores (de 5 días, por ejemplo), tal como se indica a continuación. Del día 0 al 25, Kc es igual a 0,150. Del día 26 al 50, hay una diferencia para el valor de Kc de 1,04 unidades (1,190 – 0,150). Esta diferencia representa 0,0416 unidades de Kc por día (1,04 / 25 días); por lo tanto, cada 5 días el valor de Kc aumenta 0,208 unidades (5 x 0,0416). Del día 50 al 80, Kc vuelve a ser constante. Para el período final de 20 días, del día 81 al 100, la variación de Kc es de 0,84 unidades, lo que representa 0,042 unidades por día o 0,210 unidades cada 5 días. Si fuera para otros intervalos de tiempo, la lógica es la misma, considerando los valores diarios de cada período y el número de días de intervalo que se plantea.

Kc inicial		Kc intermedio		Kc medio		Kc final	
Días	Kc	Días	Kc	Días	Kc	Días	Kc
0	0,150	30	0,358	50	1,190	85	0,980
5	0,150	35	0,566	55	1,190	90	0,770
10	0,150	40	0,774	60	1,190	95	0,560
15	0,150	45	0,982	65	1,190	100	0,350
20	0,150			70	1,190		
25	0,150			75	1,190		
				80	1,190		

A continuación se presenta la estimación de E_{Tc} del cultivo de frijol con base en E_{To} de esta localidad brasileña y los valores de Kc para períodos de 10 días (E_{Tc} = E_{To} x Kc), con fecha de siembra el 4 de noviembre. Los valores de E_{Tc} representan el consumo potencial de agua del cultivo cada 10 días de ciclo, y el consumo total del ciclo, sin restricciones hídricas en el suelo.

Días	Fecha	Kc	E _{To} mm/día	E _{Tc} mm/día	E _{to} mm/10 días	E _{tc} mm/10 días
1 a 10	04-13 nov	0,15	5,38	0,81	53,78	8,07
11 a 20	14-23 nov	0,15	5,29	0,79	52,94	7,94
21 a 30	24-03 dic	0,22	5,20	1,14	52,04	11,41
31 a 40	04-13 dic	0,57	5,11	2,91	51,14	29,10
41 a 50	14-23 dic	0,98	5,07	4,97	50,68	49,70
51 a 60	24-02 ene	1,19	5,09	6,05	50,88	60,55
61 a 70	03-12 ene	1,19	5,11	6,08	51,08	60,79
71 a 80	13-22 ene	1,19	5,13	6,10	51,27	61,01
81 a 90	23-01 feb	0,98	5,15	5,05	51,48	50,45
91 a 100	02-11 feb	0,56	5,17	2,90	51,70	29,00
Ciclo	100 días					368,02

Estas informaciones sirven como base para la estimación de necesidades hídricas del frijol en estas condiciones climáticas. Para que no haya limitaciones hídricas, es necesario que el suelo presente por lo menos estas cantidades de agua disponible durante el ciclo (en total, 368,02 l m⁻² ó 3.680 m³ ha⁻¹).



6. PRECIPITACIÓN APROVECHABLE

La cantidad de agua disponible en una determinada región depende básicamente del régimen de precipitación incidente.

También hay regiones específicas en las que, aunque la precipitación local sea baja, hay agua disponible en la forma de manantiales producidos por las lluvias o el deshielo aguas arriba.

La precipitación se mide con pluviómetro, el cual se coloca en un sitio bien despejado en la finca, fuera de la influencia de árboles y de infraestructura. Los datos se toman diariamente y se anotan en formatos que se preparan para tal fin. Hay que comparar estos datos de precipitación en finca con los obtenidos en las estaciones meteorológicas más cercanas y, si es necesario, hacer ajustes. Son necesarios años de observación para tener datos confiables.

La precipitación es la primera fuente que el agricultor debe contabilizar como agua disponible en su finca. La precipitación tiene duración (tiempo total de precipitación), intensidad (volumen de precipitación por unidad de tiempo) y frecuencia (el número de precipitaciones en un tiempo dado y con determinadas características). Por ejemplo, una precipitación que se inició a las 03:00 PM y terminó a las 03:30 PM tuvo una duración de 30 minutos. Si la cantidad de agua precipitada alcanzó 20 mm, la intensidad fue de 40 mm h^{-1} . La frecuencia de una lluvia con estas características o mayores que ésta, puede ser de 3 por mes. Cabe recordar que la lámina de 1 mm de precipitación equivale a $1,0 \text{ l m}^2$. Algunos países de la región miden la precipitación en pulgadas ($1 \text{ pulgada} = 2,54 \text{ cm} = 25,4 \text{ mm}$).

En la Figura 6-I se puede observar un pluviómetro artesanal, utilizado como demostración en la finca del IRPAA, en Juazeiro, Brasil.

FIGURA 6-I: En primer plano, pluviómetro simple hecho a partir de un recipiente de pintura con los bordes recortados. En segundo plano, equipo "oficial" para comparación.



Es importante que el recipiente adaptado como pluviómetro posea borde afilado para que no haya salpique de las gotas y error en la medición. Igualmente, es importante que las mediciones sean realizadas todos los días y a la misma hora.

En el Cuadro 6-I se puede observar que los promedios calculados a partir de un mayor número de observaciones (8 ó más) son más estables, varían menos de año a año, aunque los datos anuales de los años 8, 9 y 10 hayan variado bastante, lo que aumenta la confiabilidad en estos valores.

CUADRO 6-I: Valores de precipitación mensual (mm), considerando un mismo mes, observados en estación pluviométrica, con diferente número de años de observación.

Años	Precipitación observada en mm										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	143										143,0
2	143	175									159,0
3	143	175	98								138,7
4	143	175	98	110							131,5
5	143	175	98	110	220						149,2
6	143	175	98	110	220	102					141,3
7	143	175	98	110	220	102	167				145,0
8	143	175	98	110	220	102	167	96			138,9
9	143	175	98	110	220	102	167	96	123		137,1
10	143	175	98	110	220	102	167	96	123	145	137,9

En la mayoría de los casos de captación de lluvia se utilizan datos mensuales. En consumo de cultivos de ciclo corto es más conveniente utilizar datos de cada cinco o diez días. Para planificar la captación de lluvia en regiones semiáridas con un solo cultivo anual de secano y de periodo corto, se puede utilizar la precipitación anual, porque el ciclo del cultivo y el período lluvioso coinciden.

6.1 La lluvia con la que se puede contar (excedencia)

¿Cuál es el valor de precipitación que realmente se puede usar en una localidad, tomando en cuenta que se trata de un factor aleatorio y no controlable?

Los datos de precipitación para una localidad están generalmente disponibles en promedios mensuales en los servicios meteorológicos. El número total de años en que los datos han sido recolectados son variables, dependiendo del tiempo de servicio de la estación meteorológica.

Aun con muchos años de observación (10 ó más), el promedio es un valor de referencia poco efectivo porque la precipitación que realmente ocurre cada año para el mes considerado, el 50% de las veces excede el promedio (excedencia de 50% ó P50) y es menor el 50% de las veces, tal como se puede observar en la última línea del Cuadro 6-I. La precipitación mensual en los años 1, 2, 5, 7 y 10 fue superior al promedio de 10 años (137,9 mm), mientras que en los demás años fue inferior. En este caso, si se tomara el promedio de 137,9 mm como cantidad de lluvia disponible (P50), en 5 de los 10 años no se podría contar con tal cantidad.

En localidades en donde la variabilidad de precipitación es elevada, no se recomienda utilizar el valor promedio, particularmente en regiones semiáridas y subhúmedas, donde se utiliza más la captación de lluvia y la variabilidad de precipitación suele ser alta. Es más adecuado utilizar un valor cuya probabilidad de ocurrir sea mayor que el 50% (por ejemplo, 75% o más), dependiendo de las características locales de la precipitación, el tipo de uso y la situación de escasez. Generalmente, cuanto más severa es la situación de escasez y prioritario es el tipo de uso, menos incierta debe ser la cantidad de agua disponible.

La utilización de un valor de excedencia de 75% (P75), por ejemplo, significa que en el 75% de los años, la precipitación supera el valor considerado. La cantidad de lluvia disponible utilizando excedencia arriba del 50% es importante para planificar la dimensión de la estructura de captación destinada a suplir la demanda para una determinada finalidad. Si se considera un valor que no ocurre todos los años, la cantidad de agua cosechada será insuficiente para dicha demanda.

En situaciones en que hay más confianza en los datos o que la variabilidad sea pequeña, se pueden utilizar excedencias entre 50 y 75%. Al contrario, en situaciones de muy elevada variabilidad y vulnerabilidad hídrica, sería interesante trabajar con probabilidades aún mayores, de 80 ó 90%, por ejemplo.

En la EMBRAPA Semiárido se trabaja con P75 para calcular el tamaño de las estructuras de cosecha y almacenamiento (Brito, 2011). Una manera práctica de estimar el valor aproximado de P75 es tomar el valor promedio de los valores menores al promedio general. En el caso del Cuadro 6-I, los años con $98 + 110 + 102 + 96 + 123 \text{ mm} / 5 = 106 \text{ mm}$.

Aunque el valor de P75 sea más bajo que el promedio general (P50 = 137,9 mm), planificar la disponibilidad de agua tomando P75 permite asegurar que esta precipitación realmente ocurrirá.

Critchley y Siegert (1996) y Veenhuizen (2000) proponen un método sencillo para estimar el volumen de lluvia para diferentes niveles de probabilidad. Tomando como ejemplo los datos del Cuadro 6-I, se estructura un nuevo cuadro (Cuadro 6-II), con los valores de precipitación en orden decreciente. Esta columna de valores decrecientes es numerada de manera creciente del 1 a N observaciones (10, en este caso). Se calcula la probabilidad de cada valor por medio de la relación:

$$P (\%) = \frac{m - 0,375}{N + 0,25} \times 100$$

P: Probabilidad %
m: Número de orden
N: Número total de observaciones

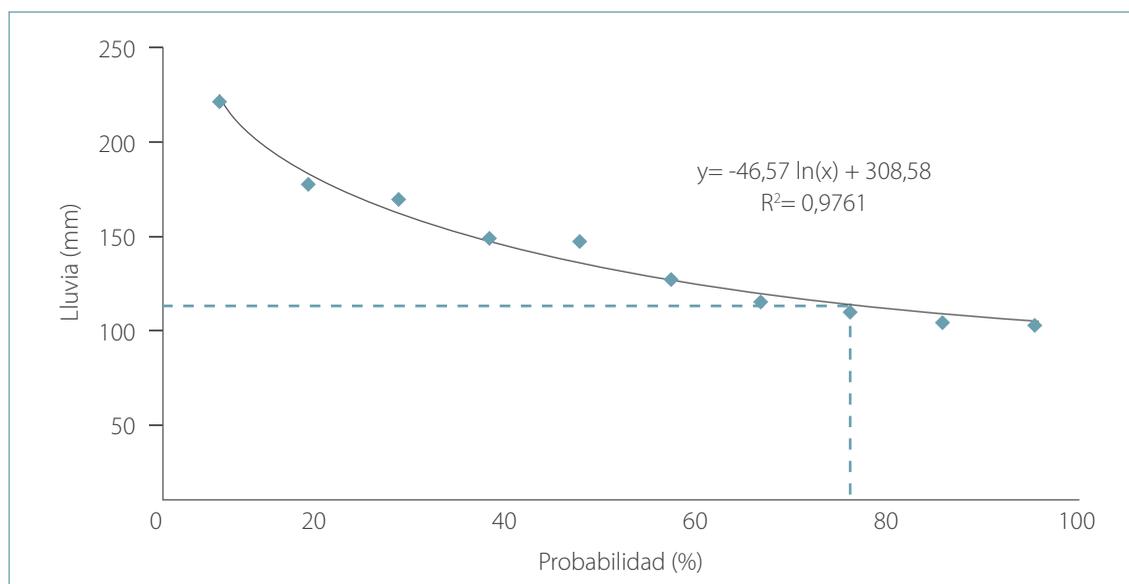
CUADRO 6-II: Nuevo ordenamiento de los valores del Cuadro 6-I y valores de probabilidad calculados para cada valor, por medio de la relación descrita.

Año	Lluvia decreciente (mm)	Número de orden	Probabilidad (%)
5	220	1	6,1
2	175	2	15,9
7	167	3	25,6
10	145	4	35,4
1	143	5	45,1
9	123	6	54,9
4	110	7	64,6
6	102	8	74,4
3	98	9	84,1
8	96	10	93,9

Con los valores de probabilidad se establece una curva de correlación entre las columnas de probabilidad (x) y lluvia decreciente (y). Se puede hacer de forma sencilla utilizando cualquier programa de planilla electrónica o manualmente en un papel de probabilidades.

En este caso, los datos tuvieron la correlación mostrada en la Figura 6-II. Aplicada la ecuación para $X = 75\%$ (probabilidad) se obtuvo el valor de 107,5 mm, el cual es prácticamente igual al valor de 106 mm calculado por medio de la media de los valores ubicados por debajo de ella.

FIGURA 6-II: Correlación entre la probabilidad de excedencia (x) y el volumen promedio de precipitación, calculado a partir del ejemplo del Cuadro 6-II.



Para apreciar la diferencia de valores entre P50 y P75, el Cuadro 6-III muestra algunos ejemplos de la región, con diferentes condiciones pluviométricas: Teresina, Estado de Piauí, Brasil; Pedro Plains, Jamaica; San Fernando, Chile; y Tambogrande, Perú.

CUADRO 6-III: Valores de precipitación P50 y P75 en mm mes⁻¹ correspondientes a cuatro localidades de la región latinoamericana (los valores centesimales de los datos originales son aproximados).

Localidad	Excedencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Teresina, Brasil	P50	175	220	288	236	96	12	3	2	8	18	50	108
	P75	120	152	213	151	54	4	0,4	0,2	2	7	27	62
Pedro Plains, Jamaica	P50	32	42	62	131	203	129	133	180	209	264	105	58
	P75	17	22	33	78	134	74	97	133	160	195	67	35
San Fernando, Chile	P50	0,2	0,1	2	16	92	144	159	87	35	19	10	2
	P75	0	0	0,2	4	52	94	104	49	15	8	2	0,2
Tambogrande, Perú	P50	3	13	27	7	0,1	0,1	0	0	0,1	0,3	0,1	0,3
	P75	0,4	4	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0

Cuanto mayor es la variabilidad de la precipitación de un determinado lugar, mayor es la diferencia entre P50 y P75 y mayor es la necesidad de considerar un número mayor de años y probabilidades mayores de P50 en la planificación de la disponibilidad de agua.

6.2 Precipitación efectiva

Se denomina precipitación efectiva (PE) la lluvia que es útil o utilizable (Dastane, 1978) por quedar el agua almacenada en el suelo, dentro de la zona radicular de las plantas, en niveles de energía de retención que las raíces puedan absorberla (agua disponible).

Si la cantidad de lluvia es muy pequeña, puede ocurrir que no sea aprovechada porque toda o parte de ella queda en la superficie de la vegetación y de allí se evapora. Si llega al suelo y este se encuentra muy seco, puede que el agua quede retenida con alta energía y no esté disponible para las raíces. Al contrario, si la cantidad de lluvia es muy grande o cae con gran intensidad, especialmente en suelo desprotegido, una parte de ella no se infiltra ni almacena en el suelo produciendo un volumen sobrante (escorrentía superficial), el cual debe ser conducido de forma conveniente fuera del campo o almacenado en estructuras de contención para evitar que produzca daños. También puede suceder que el suelo quede saturado y parte del agua infiltrada salga de la zona radical por percolación o escorrentía subsuperficial.

Se han probado muchas maneras de estimar la parte de la lluvia que es aprovechable, lo cual es difícil, por el número de variables involucradas y el dinamismo del proceso.

Aunque no se llega a valores muy precisos, la experiencia ha comprobado que hay métodos que estiman la precipitación efectiva en valores que se acercan a la realidad.

El método del balance diario de la humedad del suelo es considerado el más preciso para estimar la lluvia efectiva, pero, en la práctica, durante la planificación de un caso de captación de lluvia no se dispone comúnmente de datos suficientes para aplicarlo. Sin embargo, si la región cuenta con datos de balance diario generados en experimentos de balance de agua en el suelo, estos deben ser los valores utilizados, por su precisión.

Sin embargo, si no se cuenta con el método del balance diario, se pueden utilizar otros métodos para estimar la lluvia efectiva.

Según un estudio comparativo de Patwardhan et al, (1990), el método del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (SCS-USDA)⁶, estimando la lluvia efectiva anual promedio, resultó muy aproximado al método del balance diario de humedad del suelo, cuando se trató de un suelo bien drenado, aunque no resultó aproximado cuando se comparó con un suelo de mal drenaje. Tampoco resultó aproximado para valores anuales de lluvia con períodos de retorno mayores que el promedio. El método del SCS-USDA es bastante utilizado porque se puede aplicar con datos comúnmente disponibles.

En el Cuadro 6-IV, preparado por el SCS-USDA, se presenta el estimado de la lluvia efectiva, según la lluvia media mensual (P50) y la evapotranspiración mensual para una situación de referencia de profundidad de raíces y tipo de suelo. La situación referencial considera una lámina de agua de 75 mm que se puede retener en la zona de raíces y un tipo medio de suelo bien drenado. Esta lámina también se expresa como la lámina de agua de riego que cubre las necesidades de agua de la zona de raíces.

CUADRO 6-IV: Estimación de la lluvia efectiva mensual con base en el promedio de lluvia (P50) y la evapotranspiración, para una lámina de 75 mm de agua retenida en el suelo (SCS-USDA).

P50 Promedio mensual	Evapotranspiración media mensual (mm)													
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
	Lluvia efectiva mensual (mm)													
12,5	7,5	8,0	8,7	9,0	9,2	10,0	10,5	11,2	11,7	12,5	13,0	13,0	13,0	13,0
25,0	15,0	16,2	17,5	18,0	18,5	19,7	20,5	22,0	24,5	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
37,5	22,5	24,0	26,2	27,5	28,2	29,2	30,5	33,0	36,2	37,5	38,0	38,0	38,0	38,0
50,0	25,0	32,2	34,5	35,7	36,7	39,0	40,5	43,7	47,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
62,5	a 41,7	39,7	42,5	44,5	46,0	48,5	50,5	53,7	57,5	62,5	63,0	63,0	63,0	63,0
75,0		46,2	49,7	52,7	55,0	57,5	60,2	63,7	67,5	73,7	75,0	75,0	75,0	75,0
87,5		50,0	56,7	60,2	63,7	66,0	69,7	73,7	77,7	84,5	88,0	88,0	88,0	88,0
100,0		a 80,7	63,7	67,7	72,0	74,2	78,7	83,0	87,7	95,0	100,0	100,0	100,0	100,0
112,5			70,5	75,0	80,2	82,5	87,2	92,7	98,0	105,0	111,0	112,0	112,0	112,0
125,0			75,0	81,5	87,7	90,5	95,7	102,0	108,0	115,0	121,0	125,0	125,0	125,0
137,5			a 122,0	88,7	95,2	98,7	104,0	111,0	118,0	126,0	132,0	137,0	137,0	137,0
150,0				95,2	102,0	106,0	112,0	120,0	127,0	136,0	143,0	150,0	150,0	150,0
162,5				100,0	109,0	113,0	120,0	128,0	135,0	145,0	153	160,0	162,0	162,0
175,0				a 160,0	115,0	120,0	127,0	135,0	143,0	154,0	164	170,0	175,0	175,0
187,5					121,0	126,0	134,0	142,0	151	161,0	170	179,0	185,0	187,0
200,0					125,0	133,0	140,0	148,0	158	168,0	178	188	196,0	200,0
225,0					a 197,0	144,0	151,0	160,0	171	182,0				
250,0						150,0	161,0	170,0	183	194,0				
275,0						a 240,0	171,0	181,0	194	205,0				
300,0							175,0	190,0	203	215,0				
325,0							a 287,0	198,0	213	224,0				
350,0								200,0	220	232,0				
375,0								a 331,0	225	240,0				
400,0									a 372,0	247,0				
425,0										250,0				
450,0										a 412,0				
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250				

6. Actualmente, Servicio de Conservación de los Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (NRCS-USDA).

Cuando se dispone de plantas con raíces profundas y de diferentes tipos de suelo y, por lo tanto, otra altura de lámina de agua retenida por el suelo, se pueden corregir los valores de lluvia efectiva que se obtienen con el Cuadro 6-IV, utilizando una relación también del SCS-USDA. En el Cuadro 6-V, se presentan los valores por los cuales hay que multiplicar el valor de lluvia efectiva obtenida por medio del Cuadro 6-IV, según la lámina de agua que se tenga.

CUADRO 6-V: Factor de corrección de la lluvia efectiva estimada en el Cuadro 6-IV, según diferentes láminas de agua.

Lámina de agua en el suelo (mm)	Factor de corrección de la lluvia efectiva	Lámina de agua en el suelo (mm)	Factor de corrección de la lluvia efectiva
10,00	0,620	45,00	0,905
12,50	0,650	50,00	0,930
15,00	0,676	55,0	0,947
17,50	0,703	60,0	0,963
18,75	0,720	65,0	0,977
20,00	0,728	70,00	0,990
22,50	0,749	75,00	1,000
25,00	0,770	80,00	1,004
27,50	0,790	85,00	1,008
30,00	0,808	90,00	1,012
31,25	0,818	95,00	1,016
32,50	0,826	100,00	1,020
35,00	0,842	125,00	1,040
37,50	0,360	150,00	1,060
40,00	0,876	175,00	1,070

En un mes cuya precipitación promedio (P50) sea de 100 mm y la evapotranspiración de 125 mm, según el Cuadro 6-IV, la lluvia efectiva estimada sería de 72 mm (en destacado en el Cuadro 6-IV). Si la lámina de agua retenida en la zona de raíces es de 55 mm, el valor se debe corregir con el Cuadro 6-V. En este ejemplo, el factor de corrección es de 0,947 (en destacado en el Cuadro 6-V). En este caso, se tendrían $72 \text{ mm} \times 0,947 = 68,2 \text{ mm}$ de precipitación efectiva.

Este valor indica el volumen de agua que podrá ser realmente utilizado por el cultivo. La diferencia entre ambos valores ($100 \text{ mm} - 68,2 \text{ mm} = 31,8 \text{ mm}$) es el volumen que llega a la superficie, pero que el suelo no logra retener dentro de la zona radicular.

Por lo tanto, la precipitación efectiva se estima no solamente en función de los valores de precipitación, sino también de la evapotranspiración, de la profundidad de raíces del cultivo y características hídricas del suelo (estas dos últimas representadas por la lámina de agua que el suelo puede retener). El valor de la precipitación efectiva no puede ser mayor que la evapotranspiración. Si se estimara un valor mayor, tendría que cambiarse por el valor de la evapotranspiración.

En el Cuadro 6-VI se presentan los valores de P50, P75 y PE con base en los datos de la estación meteorológica de Teresina, en el Estado de Piauí, Brasil. Se observa que en esa localidad se producen elevadas precipitaciones (valores de P50) en los meses de enero a abril y muy bajas en los meses de junio a septiembre. Tanto el promedio mensual de precipitación con 75% de probabilidad de ocurrir (P75), como la precipitación efectiva (PE), son menores que la lluvia promedio (P50).

CUADRO 6-VI: Valores de evapotranspiración (ET_o), P50, P75 y precipitación efectiva (PE) en la localidad de Teresina, Piauí, Brasil.

Precipitación (mm mes ⁻¹)													
	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
ET _o	134,5	111,9	118,7	113,1	123,1	130,8	156,2	186,9	210,0	212,7	191,7	174,8	1.864,5
P50	174,6	219,6	288,4	235,6	96,2	11,9	3,3	1,7	7,8	18,0	49,6	108,5	1.215,0
P75	120,5	152,5	212,7	151,0	54,4	3,9	0,4	0,2	2,2	7,0	26,9	62,0	793,7
PE	117,0	111,9	118,7	113,1	70,0	9,5	0,0	0,0	0,0	11,5	42,0	84,3	678,0
Min	117,0	111,9	118,7	113,1	54,4	3,9	0,0	0,0	0,0	7,0	26,9	62,0	614,9

El valor de P75 es mayor que el valor de la precipitación efectiva (PE) en los meses más lluviosos (enero, febrero, marzo y abril) y menor en los meses en que la lluvia no es tan elevada (mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre). En los meses de lluvia mínima (julio, agosto y septiembre), PE es insignificante y se ha puesto el valor cero debido a que el Cuadro 6-IV del SCS-USDA no permite estimar lluvia efectiva con valores de lluvia promedio menor a 12,5 mm mes⁻¹.

En este ejemplo de Teresina, se ha indicado cuáles serían los valores mínimos (Min) de cada mes, tomados de P75 o de PE, el que sea menor. Tomar el valor mínimo es un buen criterio para la planificación de captación de lluvia y aprovechamiento de agua por el cultivo, puesto que valores menores solamente podrán ocurrir en un 25% de los años.

Igualmente, a modo de ejemplo, en el Cuadro 6-VII se presentan datos de lluvia con 75% de excedencia (P75), precipitación efectiva (PE) y valores mínimos de ambos, para otras tres localidades de la región: Pedro Plains, Jamaica; San Fernando, Chile; y Tambogrande, Perú.

CUADRO 6-VII: Valores mensuales de P75 y PE para tres localidades de la región de América Latina y el Caribe.

Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Pedro Plains, Jamaica	P75	17	22	33	78	134	74	97	133	160	195	67	35	1.045
	PE	24	32	48	94	131	91	93	122	127	115	72	41	990
	Mínimo	17	22	33	78	131	74	93	122	127	115	67	35	914
San Fernando, Chile	P75	0	0	0,2	4	52	94	104	49	15	8	2	0,2	329
	PE	0	0	0	10	35	24	28	42	22	17	0	0	178
	Mínimo	0	0	0	4	35	24	28	42	15	8	0	0	156
Tambogrande, Perú	P75	0,4	4	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	12
	PE	0	11	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
	Mínimo	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

6.3 Lluvia de diseño para sistemas de captación de lluvia

La captación de lluvia para la agricultura se basa en la lluvia de diseño, que es la cantidad total de lluvia que ocurre durante el ciclo vegetativo del cultivo. El volumen de la lluvia de diseño sobre el área de captación proveerá la escorrentía superficial necesaria para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos (Critchel y Siegert, 1996).

Para determinar la lluvia de diseño hay que considerar los siguientes factores:

- » la fecha de siembra del cultivo;
- » la duración del ciclo vegetativo del cultivo;
- » seleccionar entre el valor de excedencia o precipitación efectiva (la menor de ambas);
- » determinar la cantidad de lluvia que ocurre localmente durante el ciclo vegetativo, iniciándose en la fecha de siembra (esta es la lluvia de diseño).

Los valores de excedencia más comúnmente usados están por arriba de P50, de acuerdo a lo señalado anteriormente.

En regiones áridas y semiáridas, por lo general se tiene un solo cultivo, cuyo ciclo vegetativo coincide con la corta duración de la estación lluviosa. En las regiones subhúmedas, es necesario conocer las fechas y duración del periodo vegetativo de cada uno de los cultivos utilizados durante el año. En algunos casos de zonas subhúmedas, hay un amplio rango de fechas en que se puede realizar la siembra de algún cultivo. De todas maneras, según la planificación de cultivos durante el año o las fechas propicias para la venta del producto u otros factores, es necesario establecer una fecha de siembra para determinar la lluvia de diseño.

Si la lluvia de diseño es mayor que el total de evapotranspiración del cultivo, habrá un exceso que escurrirá y deberá conducirse adecuadamente para que no produzca erosión u otros daños. Si la lluvia de diseño es menor que el total de la evapotranspiración (excepto si solo son pequeñas diferencias), afectará negativamente el rendimiento del cultivo y justifica una acción destinada a proveer agua complementaria para el cultivo, sea riego o captación de lluvia.

A continuación se presentan dos ejemplos de lluvia de diseño para las localidades de Chuquibamba, Perú, e Irecê, Brasil.

Los datos de precipitación P75 mensuales para Chuquibamba se presentan en el Cuadro 6-VIII, para cultivo de maíz morado sembrado el 15 de agosto y cosechado el 28 de diciembre (135 días de ciclo):

CUADRO 6-VIII: Lluvia P75 en Chuquibamba, Perú.

Mes	P75 mm mes ⁻¹	Días	Lluvia de diseño mm
Agosto	2,4	16	3,7
Septiembre	11,6	30	11,6
Octubre	51,2	31	51,2
Noviembre	43,9	30	43,9
Diciembre	46,0	28	41,5
Total	155,1	135	151,9

Período 15 al 31 de agosto:

Considerando que la lluvia del 15 de agosto es igual a la lluvia diaria promedio de agosto, esta sería:

$$2,4 \text{ mm}/31 \text{ días} = 0,077 \text{ mm día}^{-1}.$$

Considerando que el 31 de agosto la lluvia sería igual al promedio entre las lluvias medias diarias de agosto y septiembre, se tendría:

$$(2,4/31 + 11,6/30)/2 = 0,232 \text{ mm día}^{-1}.$$

Entonces, para los 16 días de agosto sería:

$$0,232 \times 16 = 3,7 \text{ mm}.$$

Período 01 de septiembre al 30 de noviembre:

Estos meses son completos, por lo tanto, el valor de P75 coincide con los valores asignados a la lluvia de diseño.

Período 1 al 28 de diciembre:

La lluvia de 28 días de diciembre es:

$$(46,0/31) \times 28 = 41,5 \text{ mm}.$$

Por lo tanto, totalizando los valores de la lluvia de diseño del Cuadro 6-VIII para el periodo del 15 de agosto al 28 de diciembre, se llega a un valor de 151,9 mm.

Los datos de lluvia P75 o PE, el que fuera menor para cada mes, en Irecê, se presentan en el Cuadro 6-IX, para frijol sembrado el 4 de noviembre y cosechado el 11 de febrero (100 días de ciclo):

CUADRO 6-IX: Lluvia de diseño para frijol sembrado el 4 de noviembre en Irecê.

Mes	PE o P75	Días	Lluvia de diseño
Noviembre	52,1	27	46,9
Diciembre	56,4	31	56,4
Enero	39,9	31	39,9
Febrero	32	11	12,6
Ciclo del cultivo	180,4	100	155,8

Período 4 al 30 de noviembre:

Considerando que el menor valor entre P75 y PE para noviembre es 52,1 mm y el período en este mes es de 27 días, la lluvia de diseño sería:

$$(52,1/30) \times 27 = 46,9 \text{ mm.}$$

Período de 1 a 11 de febrero:

Considerando que el menor valor entre P75 y PE para febrero es 32,0 mm y el período en este mes es de 11 días, la lluvia de diseño sería:

$$(32,0/28,25) \times 11 = 12,6 \text{ mm.}$$

Para los demás meses completos, los valores serían:

$$\text{Diciembre: } 31 \text{ días} = 56,4 \text{ mm.}$$

$$\text{Enero : } 31 \text{ días} = 39,9 \text{ mm}$$

Por lo tanto, la lluvia de diseño que va desde el 4 de noviembre al 11 de febrero presenta un valor de $46,9 + 12,6 + 56,4 + 39,9 = 155,8 \text{ mm.}$

The background features a stylized illustration. At the top, a large, light-colored sun with radiating lines is partially obscured by a large, soft-edged cloud. Below the sun, several vertical blue lines represent falling rain. The middle ground shows rolling hills or mountains in shades of green and brown. The bottom of the image is a solid light blue horizontal band.

7. ESTIMACIÓN DEL DÉFICIT DE AGUA

El agricultor necesita agua en la finca para el consumo doméstico y también para la producción agrícola y el consumo animal. Él tiene que calcular cuánta agua requiere y con cuánta agua cuenta (lluvia, pozos, riachuelos, ríos, embalses, etc.) y elegir la técnica de captación más adecuada para satisfacer sus necesidades.

Habiendo déficit, hay dos caminos a seguir:

- » El agricultor busca otras fuentes de suministro para hacer frente al déficit.
- » Redimensiona el consumo; por ejemplo, reduce el hato de ganado o el área sembrada, reestructura el consumo doméstico.

Los sistemas de captación de agua de lluvia para la producción agrícola son diferentes a los utilizados para el uso doméstico y animal. La captación de escorrentía directamente del terreno, por ejemplo, no debe emplearse para uso doméstico y animal. El agua captada de los techos de las casas, por su mejor calidad y cantidad reducida, debe tener prioridad para el consumo doméstico y animal, tomando las precauciones sanitarias correspondientes.

Sin embargo, es posible que un mismo sistema de captación de agua se use para varias finalidades, asignando prioridades a cada una de ellas. Por ejemplo, puede haber un sistema de captación externo a las áreas de cultivo, vivienda y establos, el cual conduce agua a un estanque, cisterna o reservorio, para aprovecharla en varios usos en la finca.

De manera sencilla, el déficit de agua para cualquiera tipo de utilización se puede describir de la forma siguiente:

$$\text{Déficit de agua} = \text{consumo} - \text{disponibilidad}$$

Si el consumo de agua es igual o menor que la disponibilidad de agua, el déficit es cero o negativo. Si el consumo actual o planificado es más elevado que la disponibilidad, entonces habrá un déficit o falta de agua.

Es importante notar que el déficit de agua en muchas situaciones rurales puede estar “enmascarado” por un subconsumo, es decir, un nivel de consumo de agua por debajo de la cantidad recomendable para la mantención de condiciones de vida digna de las personas y requeridas para los animales y plantas.

7.1 Balance de agua para consumo doméstico

El volumen de agua para uso doméstico es la cantidad total de agua que se consume para atender las necesidades de las personas que habitan en la vivienda durante un determinado periodo (al día, semanal, mensual, anual, periodo seco total). Para calcularla, se puede utilizar la relación presentada en el Capítulo 5 por Brito et al, (2007a).

Para obtener el volumen de captación necesario, del volumen total calculado se debe sustraer el volumen que tal vez se disponga de otra fuente que no sea lluvia. Esta otra fuente podría ser un pozo o un sistema público de abastecimiento de agua por tuberías, pero no suficiente para hacer frente al consumo total, lo que justificaría cosechar agua de la lluvia para consumo doméstico.

El área de captación más recomendable para uso doméstico sería el techo de las viviendas y de otras construcciones de la finca (establos, galpones, etc.). También se pueden utilizar patios revestidos (mantas de plástico, hormigón, mampostería) o terrenos con lajas impermeables. No es conveniente utilizar los terrenos no revestidos para captar agua de lluvia con fines de uso doméstico, debido a la baja calidad y posibles problemas de contaminación del agua.

En el Cuadro 7-I-i, se presenta un ejemplo de cálculo de consumo y déficit correspondiente a una vivienda habitada por cinco personas, considerando un uso promedio diario de 50 litros por persona y un abastecimiento parcial con agua de un pozo freático.

CUADRO 7-I-i: Estimación del consumo familiar de agua para uso doméstico mensual y del déficit de agua correspondiente a una vivienda (en litros), en una zona hipotética.

Variable		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	litros/año ⁻¹
Consumo	Humano	7.750	7.063	7.750	7.500	7.750	7.500	7.750	7.750	7.500	7.750	7.500	7.750	91.313
	Total	7.750	7.063	7.750	7.500	7.750	7.500	7.750	7.750	7.500	7.750	7.500	7.750	91.313
Suministro	Pozo	15.624	14.238	15.624	9.720	1.800	0	0	0	0	0	0	1.200	58.206
Déficit	litros/mes ⁻¹	0	0	0	0	5.950	7.500	7.750	7.750	7.500	7.750	7.500	6.550	58.250
Excedente	litros/mes ⁻¹	-7.874	-7.175	-7.874	-2.220	0	0	0	0	0	0	0	0	-25.143

Si cada persona consume 50 litros por día, son 250 litros por día para toda la familia. En 30 días son 7.500 litros. En un año, 91.313 litros, considerando un promedio de 28,25 días para febrero (1 día cada 4 años = 0,25).

El pozo logra suministrar 58.206 litros de agua al año. Sin embargo, la producción de agua del pozo no es estable en todos los meses. Se observa, en el caso del ejemplo, que de enero a abril hay excedente de agua. En los demás meses, el suministro está por debajo del consumo y esto se califica como déficit.

La primera medida para mejorar la situación de la vivienda es almacenar, de enero a abril, el agua excedente del pozo. Hay 25.143 litros de excedente que podrían ser almacenados y cubrir las necesidades de agua de la vivienda por 3,3 meses ó 100 días (43% del déficit).

Hay que considerar que la extracción de excedentes de agua del pozo, dependiendo de su condición hidrológica particular, puede aumentar su producción de agua. Sin embargo, debido a la naturaleza de la labor, deben ser evaluadas las dificultades operacionales para extraer agua del pozo y almacenarla, siendo el bombeo una alternativa factible.

7.2 Balance de agua para consumo animal

En cuanto al uso de agua para consumo animal, se considera el mismo esquema adoptado para el uso doméstico. Primeramente se verifica cuántas cabezas de diferentes especies existen en el hato y cuál es el consumo medio de cada animal por especie. Se totaliza el consumo diario, mensual y anual por especie y, luego, para todo el hato.

En el Cuadro 7-I-ii, se añade a los datos del cuadro anterior el consumo de 30 gallinas. Se estimó que el hato consume 5 litros de agua por día, lo que determina un consumo de 1.826 litros anuales (datos de consumo disponibles en el Capítulo 5).

CUADRO 7-I-ii: Consumo doméstico, más consumo de un hato compuesto por 30 gallinas.

Variable		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Litros/año ⁻¹
Consumo	Humano	7.750	7.063	7.750	7.500	7.750	7.500	7.750	7.750	7.500	7.750	7.500	7.750	91.313
	Gallinas	155	141	155	150	155	150	155	155	150	155	150	155	1.826
	Total	7.905	7.204	7.905	7.650	7.905	7.650	7.905	7.905	7.650	7.905	7.650	7.905	93.139
Suministro	Pozo	15.624	14.238	15.624	9.720	1.800	0	0	0	0	0	0	1.200	58.206
Déficit	litros/mes ⁻¹	0	0	0	0	6.105	7.650	7.905	7.905	7.650	7.905	7.650	6.705	59.475
Excedente	litros/mes ⁻¹	-7.719	-7.034	-7.719	-2.070	0	0	0	0	0	0	0	0	-24.542

En el caso del ejemplo, la estrategia antes definida no cambiaría, con 30 gallinas consumiendo agua. Los excedentes del pozo (24.542 litros) pueden cubrir hasta el 41% del déficit hídrico. Como se trata de consumo humano y animal, el 60% restante podría ser cubierto con la cosecha de lluvia de los techos, la cual es la más apropiada para estos usos.

En el caso de que haya otras especies animales, basta con repetir el cálculo del consumo por cabeza y añadir a los valores de consumo, mes a mes.

En el ejemplo del Cuadro 7-II, se analiza otro caso de déficit para una situación de animales de cría. Se trata de un establo que tiene 4 vacunos y 20 caprinos. No hay abastecimiento de agua de pozos ni suministro de la red pública y se espera obtener toda el agua necesaria de la captación de lluvia. Se estima que los vacunos necesitan en promedio 45 litros por día para su consumo y los caprinos en promedio 7 litros por día.

Por lo tanto, los 4 vacunos consumen 180 litros por día (4 x 45) y los 20 caprinos 140 litros por día (20 x 7), totalizando un consumo de 320 litros por día. Como no hay suministro de ninguna otra fuente, los 320 litros diarios se contabilizan como déficit.

CUADRO 7-II: Consumo mensual y déficit hídrico de un hato compuesto por 4 vacunos y 20 caprinos, sin suministro de otra fuente.

Consumo en litros por mes													
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Litros/año ⁻¹
Vacunos	5.580	5.085	5.580	5.400	5.580	5.400	5.580	5.580	5.400	5.580	5.400	5.580	65.745
Caprinos	4.340	3.955	4.340	4.200	4.340	4.200	4.340	4.340	4.200	4.340	4.200	4.340	51.135
Total	9.920	9.040	9.920	9.600	9.920	9.600	9.920	9.920	9.600	9.920	9.600	9.920	116.880
Déficit	9.920	9.040	9.920	9.600	9.920	9.600	9.920	9.920	9.600	9.920	9.600	9.920	116.880

Se señala que 4 vacunos consumen más agua que 20 caprinos. Por otra parte, con caprinos se puede establecer un hato más equilibrado, desde el punto de vista zootécnico, a diferencia de la opción de contar con 4 cabezas de bovinos, en lo referente a la relación macho/hembras; animales en lactación y descartes; renovación del hato, distribución del período de monta y parición, riesgo, entre otros aspectos.

Considerando un período seco que se prolonga de mayo hasta diciembre, tal como en el ejemplo anterior, con este hato de vacunos y caprinos el agricultor necesitaría captar y almacenar por lo menos 80.000 litros de agua durante el período lluvioso, lo que obviamente resultaría costoso, ya que supone obras de mampostería. Habría que pensar en planificar mejor el hato, tal vez cambiar vacunos por caprinos y construir obras de almacenamiento del tipo tanque excavado trinchera.

En las diversas zonas de la región latinoamericana el período seco puede presentarse con diferentes características en términos de extensión, severidad y meses de ocurrencia. Sin embargo, la dinámica del cálculo de los déficits o excedentes es igual a la empleada en este ejemplo.

7.3 Balance de agua para consumo vegetal

Se considera que existe déficit de agua para un cultivo cuando el volumen de lluvia que cae directamente sobre su área de siembra y almacena en la zona de raíces (precipitación efectiva, PE) es menor que la evapotranspiración del mismo cultivo (ETc).

Para una planificación de largo plazo, la que puede contemplar diversos cultivos en el tiempo, en el mismo terreno, se puede utilizar la evapotranspiración de referencia (ETo) para estimar el déficit. Para el caso específico de un cultivo conocido, el déficit se puede estimar utilizando la evapotranspiración del cultivo (ETc) en cuestión.

En el siguiente ejemplo se considera el caso de un agricultor que cultiva maíz choclo (maíz tierno), a ser cosechado a los 100 días de periodo vegetativo, en la localidad de Ayabaca, Perú:

- » Siembra realizada el 2 de enero.
- » Periodos de cultivo: inicial de 30 días, crecimiento de 30 días, medio de 30 días, y final de 10 días.
- » Valores de Kc para el cultivo: K_{ini} = 0,3, K_{med} = 1,15 y K_{fin} = 1,05 (Allen et al, 2006).

Como se dispone solamente de valores de precipitación P75 mensuales, los valores diarios se calcularon por P75 mensual/30. Los cálculos han sido realizados para cada 10 días de ciclo, multiplicándose el valor diario obtenido por 10. Un criterio similar se adoptó para la precipitación efectiva (PE) y se tomaron los valores menores (entre P75 y PE) para cada periodo como lluvia de diseño; por consiguiente, el déficit del cultivo también ha sido calculado para cada 10 días y mensual.

En el Cuadro 7-III se presentan los valores de lluvia de diseño, la evapotranspiración de referencia (ETo) para la localidad de Ayabaca, los valores de Kc utilizados y la evapotranspiración del cultivo de maíz choclo (ETc), calculada a partir de ellos. La diferencia entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la lluvia de diseño para cada mes es el déficit de agua.

Los datos demuestran que solamente no hay déficit en enero. En el periodo de máxima exigencia del maíz por agua (crecimiento y reproducción), hay un déficit que necesita ser cubierto, pudiéndose adoptar como estrategia la captación de la escorrentía de la lluvia (de 102 y 115 mm en este período) en áreas de captación aledañas al área de cultivo.

CUADRO 7-III: Estimación del déficit hídrico para un cultivo de maíz choclo en la localidad de Ayabaca, Perú.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	Total
Lluvia de diseño (mm)	63,4	102,0	115,0	26,9	307,3
ETo (mm)	123,4	110,5	117,5	38,0	389,4
Kc	0,30	1,15	1,15	1,05	3,65
ETc (mm)	37,0	127,0	135,1	39,9	339,0
ETc - Lluvia (mm)	-26,4	25,0	20,1	13,0	31,7
Déficit	0,0	25,0	20,1	13,0	58,1

En el siguiente ejemplo, se presenta el déficit de agua para el frijol común en Irecê, Brasil. La fecha de siembra es el 4 de noviembre, dentro del periodo recomendado para la zona. La cosecha se estima a los 100 días, el 11 de febrero (Porto y Garagorry, 2000). Como se dispone de valores mensuales para la precipitación efectiva (PE), ha sido posible estimar los valores diarios y tabularlos para períodos de 10 días, como en el ejemplo anterior.

CUADRO 7-IV: Precipitación efectiva (PE) mensual, diaria y por periodos de 10 días, estimados a partir del valor mensual, para la localidad de Irecê, Brasil.

Periodo	PE promedio mensual (mm)	PE promedio diario (mm)	PE - 10 días (mm)
4 - 13 nov	67,0	2,23	22,3
14 - 23 nov	67,0	2,23	22,3
24 nov - 3 dic	67,0	2,23	15,6
	79,5	2,56	7,7
			23,3
4 - 13 dic	79,5	2,56	25,6
14 - 23 dic	79,5	2,56	25,6
24 dic - 2 ene	79,5	2,56	20,5
	65,0	2,10	4,2
			24,7
3 - 12 ene	65,0	2,10	21,0
13 - 22 ene	65,0	2,10	21,0
23 ene - 1 feb	65,0	2,10	18,9
	51,5	1,84	1,8
			20,7
2 feb - 11 feb	51,5	1,84	18,4

De acuerdo al mismo procedimiento, se calcula el valor de la precipitación diaria con excedencia del 75% (P75) y, luego, para los periodos de 10 días. De los valores de PE y P75, se toma el menor de ellos para cada periodo de 10 días, con el fin de trabajar con la lluvia menor de estos dos parámetros, la que presenta mayor probabilidad de ocurrir (lluvia de diseño). La lluvia de diseño, para este ejemplo, fue estimada en el Capítulo 6 y presentada en el Cuadro 6-IX. Su valor total para el ciclo es de 155,7 mm.

Para determinar los valores de la evapotranspiración del cultivo (ETc) correspondiente a los períodos de 10 días, se aplicaron los mismos procedimientos, tomando los valores mensuales de ETo, calculando los valores diarios y, luego, para períodos de 10 días. Los valores de Kc para este mismo ejemplo fueron calculados en el Capítulo 5. Con ambos valores se calculó ETc ($ETc = ETo \times Kc$). En el Cuadro 7-V se muestran nuevamente los valores ya presentados en el Capítulo 5.

CUADRO 7-V: Valores de Kc, ETo y ETc, diarios y cada 10 días, calculados a partir de dos valores de ETo: mensual y de Kc correspondientes a periodos de 10 días, para el cultivo de frijol común sembrado en la localidad de Irecê, Brasil.

Días	Fecha	Kc	ETo mm/día	ETc mm/día	Eto mm/10 días	Etc mm/10 días
1 a 10	04-13 nov	0,15	5,38	0,81	53,78	8,07
11 a 20	14-23 nov	0,15	5,29	0,79	52,94	7,94
21 a 30	24-03 dic	0,22	5,20	1,14	52,04	11,41
31 a 40	04-13 dic	0,57	5,11	2,91	51,14	29,10
41 a 50	14-23 dic	0,98	5,07	4,97	50,68	49,70
51 a 60	24-02 ene	1,19	5,09	6,05	50,88	60,55
61 a 70	03-12 ene	1,19	5,11	6,08	51,08	60,79
71 a 80	13-22 ene	1,19	5,13	6,10	51,27	61,01
81 a 90	23-01 feb	0,98	5,15	5,05	51,48	50,45
91 a 100	02-11 feb	0,56	5,17	2,90	51,70	29,00
Ciclo	100 días					368,02

En el Cuadro 7-VI se encuentran sintetizados los cálculos realizados por medio del procedimiento descrito, algunos de los cuales ya fueron realizados en capítulos anteriores. El resultado final es el balance de agua para el cultivo de frijol común en esta localidad.

El déficit de agua de cada periodo de 10 días es igual a la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la lluvia de diseño (el menor valor entre de PE y P75) para el mismo periodo.

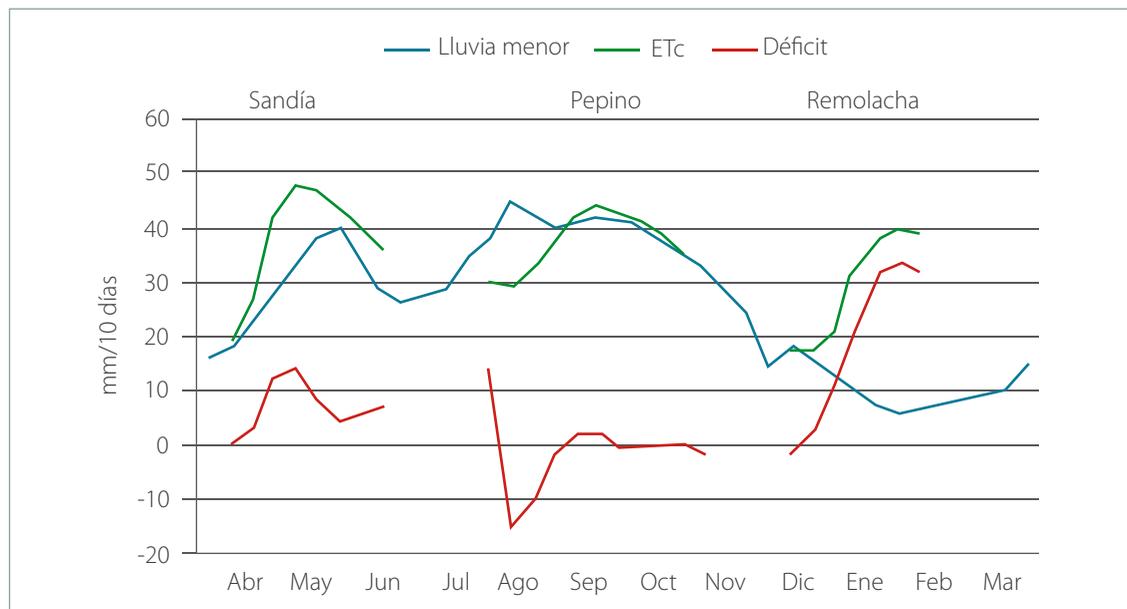
Los valores negativos muestran que la lluvia de diseño es mayor que la ETc; por lo tanto, hay un excedente de agua. Al contrario, cuando los valores son positivos, significa que la evapotranspiración del cultivo (ETc) es mayor que la lluvia de diseño y hay déficit hídrico; en este caso, de casi 300 mm.

CUADRO 7-VI: Estimación del déficit hídrico en el cultivo de frijol común en la localidad de Irecê, Brasil, con ciclo del 4 de noviembre al 11 de febrero.

Periodo (días)	Fechas (días)	PE	P75	Lluvia menor	ETc mm/10 días	ETc - Lluvia menor	Déficit	Excedente
1 a 10	4 - 13 nov	22,3	17,4	17,4	8,1	-9,3	0	-9,3
11 a 20	14 - 23 nov	22,3	17,4	17,4	7,9	-9,5	0	-9,5
21 a 30	24 nov - 3 dic	23,3	17,6	17,6	11,4	-6,2	0	-6,2
31 a 40	4 - 13 dic	25,6	18,2	18,2	29,1	10,9	10,9	0,0
41 a 50	14 - 23 dic	25,6	18,2	18,2	49,7	31,5	31,5	0,0
51 a 60	24 dic - 2 ene	24,7	17,1	17,1	60,6	43,5	43,5	0,0
61 a 70	3 - 12 ene	21,0	12,9	12,9	60,8	47,9	47,9	0,0
71 a 80	13 - 22 ene	21,0	12,9	12,9	61,0	48,1	48,1	0,0
81 a 90	23 - 1 feb	20,7	12,7	12,7	50,4	37,7	37,7	0,0
91 a 100	2 - 11 feb	18,4	11,3	11,3	29,0	17,7	17,7	0,0
Total							237,3	-25,0

En las regiones donde es posible tener más de un cultivo al año, se puede calcular el déficit de agua para cada uno de ellos, considerando sus diferentes ciclos. Si los ciclos de los cultivos son en secuencia, obviamente que los déficits se establecen en los períodos correspondientes, tal como en la Figura 7-1.

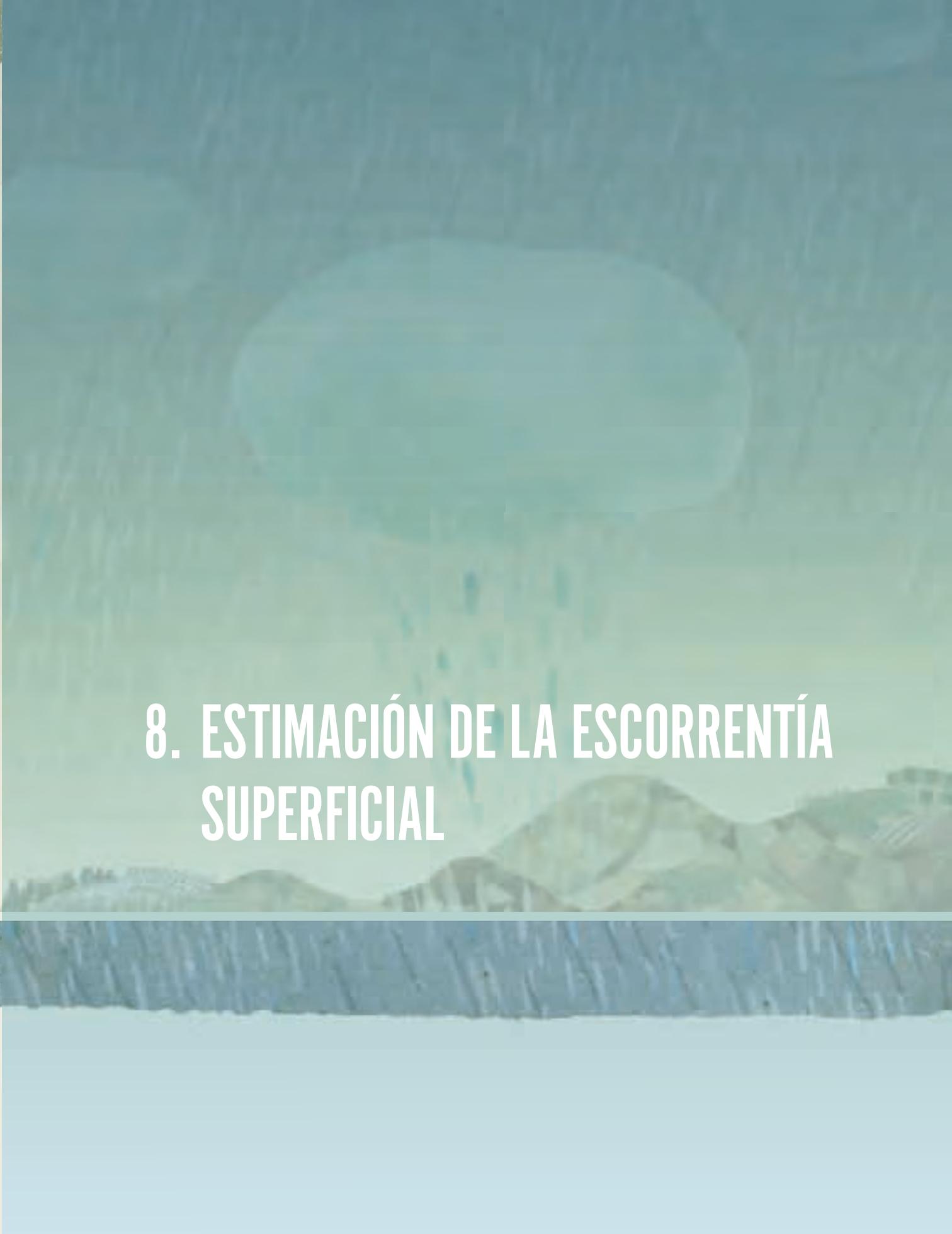
FIGURA 7-1: Lluvia menor (de diseño), ETC y déficit de agua en 3 cultivos al año en Pedro Plains, Jamaica.



En los casos en que hay traslape total o parcial de los ciclos de dos o más cultivos, los déficits se suman durante el periodo traslapado, para fines de cosecha y almacenamiento de agua.

Por ejemplo, si del 1 al 30 de noviembre hay sembríos de sandía y frijol en una finca, los déficits individuales de ambos deben sumarse para obtener el déficit de agua total para el periodo, de modo que se puedan definir mejor las necesidades de áreas y estructuras de captación y almacenamiento, aun cuando no estén sembrados en el mismo terreno, pero sí utilizan la misma fuente de captación.

El manejo de la información sobre el déficit hídrico vegetal puede orientar y hasta modificar las fechas de siembra de los cultivos con la finalidad de tener menor déficit de agua. Aunque pueda parecer obvio, el extensionista debe siempre orientar el productor para seleccionar las fechas de siembra, buscando coincidir los períodos de menor probabilidad de déficit (mayores valores de la lluvia de diseño) con el período más crítico de susceptibilidad de los cultivos, generalmente el reproductivo. Se trata de buscar un ajuste entre la demanda hídrica de los cultivos con la disponibilidad de agua en el periodo.

The background of the slide is a stylized landscape. At the top, a large, light blue sun is partially obscured by a semi-transparent blue oval. Below the sun, a range of brown and tan mountains is visible. The sky is a pale blue, and numerous vertical blue lines of varying lengths represent rain falling across the scene. The overall aesthetic is clean and modern, with a focus on natural elements.

8. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

La escorrentía superficial aporta agua suplementaria a la lluvia directa que precipita y se almacena en el suelo. También suministra agua para el uso doméstico y el consumo de animales, si no hay otras fuentes de agua de mejor calidad. Por lo tanto, la escorrentía superficial es uno de los factores cuya magnitud es muy importante en el diseño del sistema de captación de lluvia para diferentes finalidades en la finca. También se puede utilizar la captación directa de la lluvia y de la escorrentía en áreas urbanas para diferentes finalidades, tales como riego de jardines y huertos caseros, lavado de patios y aceras, entre otras.

FIGURA 8-1: Excedente de agua sobre la superficie del suelo (el agua que no logra infiltrarse se pierde por escorrentía). La captación de la escorrentía para fines de abastecimiento de las plantas puede ser muy beneficiosa en regiones con déficit hídrico.



Foto: Luiza T. L. Brito.

Al iniciarse la precipitación, la tasa o velocidad de infiltración de agua en el suelo generalmente es más alta y todo o gran parte del volumen precipitado se infiltra. En esta fase, parte de la lluvia puede ser parcialmente interceptada y retenida en la vegetación. El pequeño volumen de agua superficial que no infiltra en tiempo real puede quedar retenido en la rugosidad de la superficie del terreno (producida por los vegetales, sus residuos y pequeñas depresiones o elevaciones) e infiltrarse posteriormente.

Por lo tanto, aunque no haya infiltración total de la lluvia en tiempo real en esta fase inicial, tampoco hay escorrentía superficial propiamente dicha.

En este proceso inicial sin escorrentía superficial, puede que ocurra lo siguiente:

- » El agua no llegue a escurrir sobre la superficie, si la lluvia cesa.
- » Sea duradero, si la lluvia es poco intensa.
- » Sea muy breve, si la lluvia es muy intensa o el suelo presenta limitaciones de infiltración (esté saturado de humedad por lluvias anteriores o la superficie esté descubierta y lisa, sin rugosidades).

Durante una lluvia, la velocidad de infiltración de agua en el suelo disminuye gradualmente hasta llegar a una intensidad prácticamente constante denominada velocidad de infiltración básica. Una vez alcanzada la capacidad de retención inicial del suelo, la intensidad de la escorrentía superficial viene a ser la diferencia entre la intensidad de lluvia menos la velocidad de infiltración en el suelo.

$$\text{Escorrentía} = \text{precipitación} - \text{infiltración}$$

La escorrentía superficial se produce en forma laminar, extendida de manera poco uniforme sobre el terreno, con bajo volumen de agua y baja velocidad de desplazamiento; por lo tanto, con baja energía cinética.

En la medida que el volumen aumenta, el caudal se mueve más rápido hacia depresiones superficiales del terreno, su energía cinética aumenta y es capaz de romper el suelo y abrir pequeños surcos. Estos surcos se van sumando a otros y el flujo puede ganar energía suficiente para transportar grandes cantidades de suelo, abriendo surcos y hasta cárcavas. Se trata de un proceso dinámico y encadenado, tal como muestra la Figura 8-II. Inclusive, cuando se está produciendo la escorrentía en surcos, la escorrentía laminar sigue operando. Por esto, ella es también denominada de escorrentía de entresurcos.

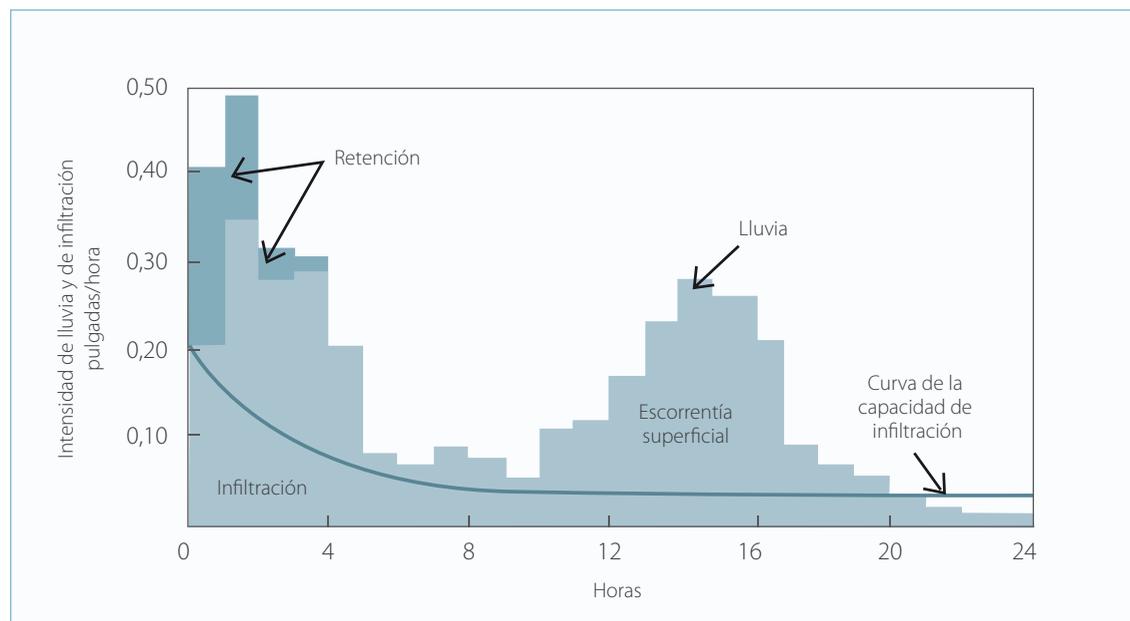
FIGURA 8-II: Huella de la escorrentía en forma laminar y la formación de surcos debido al aumento del volumen y la velocidad de desplazamiento del agua.



Foto: Marcos J. Vieira.

La mayor parte de la escorrentía termina en una estructura de retención (acequia, terraza, etc.) o en algún cauce mayor (avenida, riachuelo, río, lago, laguna, embalse).

En la Figura 8-III (Linsley et al, 1958), se presenta el esquema clásico en que la tasa de precipitación (representada por la línea superior) está por encima de la tasa de infiltración (representada por la curva descendiente). Se observa que en la fase inicial de la lluvia, parte se infiltra y parte es retenida, y hay un inicio de escorrentía superficial. En la medida que baja la infiltración y cesa la retención superficial, todo el volumen que sobrepasa la curva de infiltración es escorrentía superficial. Cabe señalar que 1,0 mm de lámina de agua significa 1,0 litro de agua por metro cuadrado.

FIGURA 8-III: Diagrama esquemático de la relación lluvia, infiltración y escorrentía superficial, por Linsley et al, (1958).

La captación de la escorrentía producida en cualquier tipo de superficie (suelo, rocas, patios, techos, etc.) puede contribuir de manera significativa a la disponibilidad de agua. De un lado, se capta la escorrentía superficial que podría representar un problema para el suelo; de otro lado, se complementa la lluvia que cae directamente sobre las áreas cultivadas con el agua que escurre.

Para estimar la importancia que puede tener la captación de la escorrentía superficial de una lluvia de 30 mm que cae sobre un terreno cultivado, se presenta el siguiente ejemplo: con una infiltración del 50%, alrededor de 15 mm se pierden como escorrentía superficial. Si, además de las técnicas realizadas en el campo de cultivo para aumentar la infiltración y no perder los 15 mm de lluvia, se prepara un área aledaña, de igual tamaño, para producir escorrentía aprovechable, de la misma lluvia se pueden obtener por lo menos 25 mm adicionales de agua para el área de cultivo. Para un nivel de evapotranspiración del cultivo (ETc) de alrededor de 5 mm por día, esto significaría cuatro o cinco días más, por lo menos, de agua disponible.

La capacidad de infiltración de agua en el suelo y, por lo tanto, la escorrentía de agua de las precipitaciones, depende de diferentes factores: de las características del suelo (textura, estructura, porosidad, densidad, contenido de materia orgánica, profundidad del perfil, transición entre horizontes, capas u horizontes muy o poco permeables); de la cobertura vegetal viva o la presencia de mantillo orgánico (rastros); del contenido de humedad del suelo antes de la lluvia; del tipo de labranza que ha sido aplicado; de las características del terreno (declividad, longitud de la pendiente, tamaño del área de captación o cuenca), entre otros factores (FAO, 2004).

Cuanto mayor sea la infiltración, menor será la escorrentía superficial, para la misma intensidad de lluvia. En el Cuadro 8-I se indica, de manera general y simplificada, el efecto de esos factores favoreciendo la infiltración o la escorrentía.

La vegetación viva o sus residuos inciden directamente en la infiltración porque interceptan las gotas de agua, favorecen el almacenamiento de intercepción, evitan el choque de las gotas contra los agregados del suelo, reducen

la formación de costras y el sellado de la superficie, todo lo cual facilita la infiltración. El sellado superficial es una consecuencia del impacto de las gotas asociado a las propiedades físicas del suelo, tales como textura y estabilidad de la estructura; sin embargo, su severidad de ocurrencia está asociada al grado de cobertura vegetal en la superficie.

La intensidad de la lluvia también afecta la condición del suelo y, consecuentemente, incide en la infiltración y la escorrentía. Las lluvias intensas generalmente poseen grandes gotas de agua que chocan contra el suelo con mayor energía cinética, lo que favorece la dispersión de los agregados, provoca el sellado superficial y determina que el suelo sea menos permeable. En la Figura 8-IV se esquematizan las condiciones que inciden en la infiltración y la escorrentía superficial.

Las raíces de las plantas aumentan la porosidad y la materia orgánica, lo que mejora la estructura del suelo y la infiltración. La presencia de vegetación retarda el flujo superficial de la escorrentía y ayuda a que se infiltre.

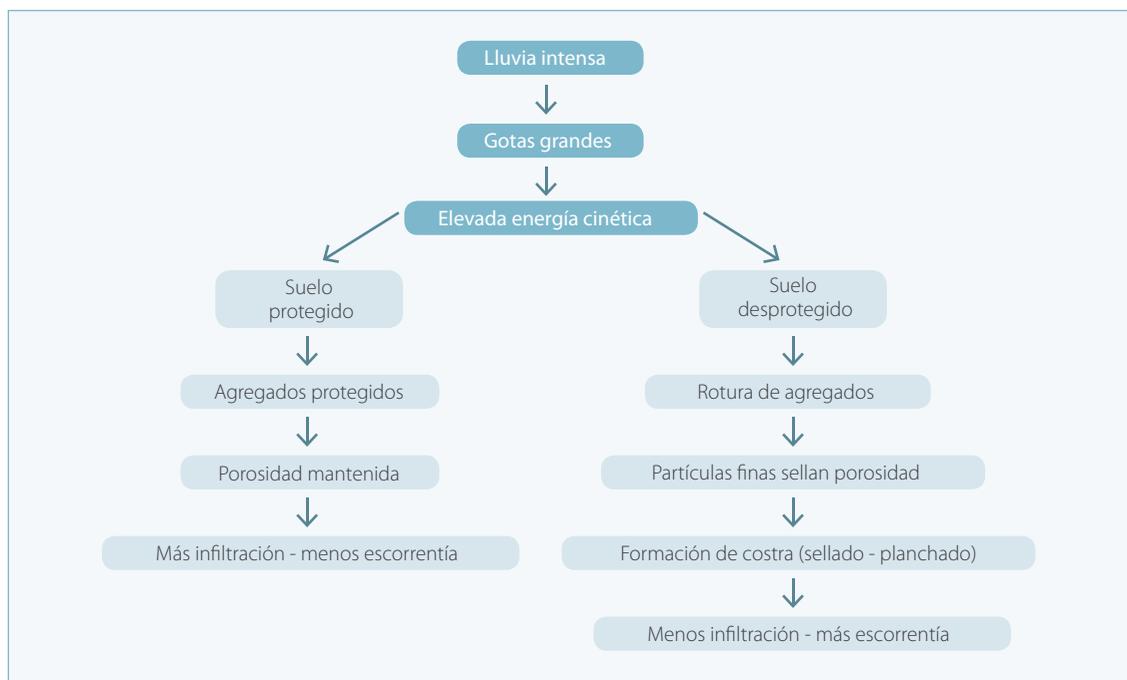
CUADRO 8-I: Factores del suelo y del terreno que afectan la infiltración y, consecuentemente, la escorrentía superficial.

Factores del suelo o terreno	Favorece la infiltración	Favorece la escorrentía
Textura	Arenosa; arcillosa bien estructurada.	Limosa; arcillosa, estructura masiva.
Estructura	Bien agregada; predominio de macroporos; alta estabilidad de los agregados.	Compactada o masiva; baja macroposidad; agregados poco estables.
Porosidad	Predominio de macroporos: porosidad de aireación.	Predominio de microporos con macroporosidad baja.
Presencia de horizontes o capas muy permeables	Sí, favorece.	No favorece.
Presencia de horizontes o capas poco permeables	No favorece.	Sí, favorece.
Materia orgánica	Contenidos elevados.	Pobres.
Presencia de rastros	Sí (deseable > 80% de cobertura).	No favorece.
Presencia de cobertura vegetal viva	Densa y uniforme.	Rala.
Humedad anterior del suelo	Seco o no saturado.	Muy húmedo, saturado.
Tipos de labranza	Puede favorecer (cero labranza, cinceles).	Sí, favorece (arados, rastras, gradas); estructura desmenuzada.
Uniformidad de la superficie	Superficie rugosa y desigual.	Superficie lisa y uniforme.
Pendiente	Plana o baja.	Elevada.
Longitud de la pendiente	Si hay obstáculos presentes.	Más larga.
Área de captación, cuenca	Suave, suelos profundos.	Montañosa, suelos delgados.

El proceso de la escorrentía superficial está muy bien descrito en la literatura. Se han publicado muchos artículos sobre este tema y se han desarrollado muchos modelos de computación. Todos estos modelos, sin embargo, requieren el conocimiento detallado de diversos factores y de las condiciones iniciales del área de captación o cuenca que en la mayoría de los casos no están fácilmente disponibles (Critchley y Siegert, 1991).

La mejor manera de establecer una relación lluvia-escorrentía superficial es midiendo simultáneamente ambas en el mismo lugar donde se va a realizar la captación. Además de la lluvia y de la escorrentía, la humedad del suelo antes del evento pluvial es un importante factor que se debe considerar para establecer una buena relación lluvia-escorrentía.

FIGURA 8-IV: Esquema simplificado del efecto de la intensidad de lluvia sobre la estructura del suelo y la producción de escorrentía (FAO, 2004).



Después de varias mediciones de campo, se puede determinar un coeficiente de escorrentía (C) más cercano a la realidad de cada superficie, lo que debe ser hecho en base a por lo menos dos años de observación (Shanan y Tadmor, 1979, citados por Critchley y Siegert, 1996).

8.1 Coeficiente de escorrentía superficial (C)

Se acepta comúnmente que el coeficiente de escorrentía superficial (C) expresa la relación (proporción o porcentaje) entre la magnitud de escorrentía (expresada en mm de lámina de agua) y una determinada magnitud de lluvia (también expresada en mm de lámina de agua) correspondiente a un evento o un periodo lluvioso en una cuenca o área de captación determinada. Tal relación se expresa como:

$$C = \text{Escorrentía (mm)} \div \text{Lluvia (mm)}, \text{ entonces:}$$

$$\text{Escorrentía (mm)} = C \times \text{Lluvia (mm)}$$

Hay tantos factores interrelacionados en un evento de lluvia que el coeficiente de escorrentía (C) no resulta constante frente a una misma cantidad de lluvia y en la misma cuenca. Por ejemplo, una cuenca probablemente generará más escorrentía si ocurre una tormenta de mayor intensidad y menor duración que cuando ocurre una de menor intensidad y mayor duración, aunque la lluvia total (mm) sea la misma y se mantengan iguales todos los otros factores (Critchley y Siegert, 1996).

Además, en la mayoría de los casos, el área de captación o cuenca no es homogénea y tiene áreas con diferentes suelos, topografía y cobertura vegetal. También puede haber sectores con estructuras que afectan el desarrollo de la escorrentía, como partes impermeables y depresiones que almacenan agua. Cuanto mayor es la dimensión de la cuenca, mayor es la probabilidad de que la precipitación no sea uniforme territorialmente y que no ocurra lluvia en algunos sectores de la misma.

Por todo lo anterior, se recomienda medir la escorrentía en la misma área del proyecto para obtener información más real. Diversas publicaciones (Djorovic, 1977; Felipe-Morales, 1996; Hudson, 1997) presentan los procedimientos de instalación y operación de parcelas de escorrentía, aunque para un extensionista pueda representar una tarea compleja y costosa. Lo más recomendable es que una institución de investigación o de apoyo técnico realice estas mediciones.

Para los proyectos de captación de agua de lluvia en áreas de cultivos, es conveniente que la superficie cultivada presente un valor menor de C, es decir, que toda el agua de la lluvia, de ser posible, penetre en el suelo y no escurra ($C = 0,0\%$). Al contrario, en las áreas de captación (áreas colindantes sin cultivo o espacios no explotados por las raíces dentro de las áreas de cultivo) interesa que la escorrentía sea grande (valores de C más altos), para abastecer de agua las áreas de cultivo, donde efectivamente las raíces extraen el agua del suelo. En el Cuadro 8-II se presentan valores de referencia para el coeficiente de escorrentía en diversas superficies.

CUADRO 8-II: Valores de referencia para el coeficiente de escorrentía (C) en diferentes tipos de superficies y coberturas. (Adaptado de Chow et al, 1988; Silva et al, 1984 citado por Brito et al, (2007a).

Tipos de superficie o coberturas del área de captación	Coeficiente de escorrentía (C)
Lámina plástica de polietileno	0,90
Mortero (mezcla de cemento y arena)	0,88
Asfalto	0,88
Tejas de arcilla recocida	0,75
Manta plástica + grava	0,70
Suelo de textura fina (arcilloso), emparejado con lámina	0,55
Suelo de textura fina (arcilloso), en barbecho	0,24
Suelo de textura gruesa (arenoso)	0,20
Pasto bu el (<i>Cenchrus ciliaris</i>)	0,15
Áreas cultivadas	0,08 – 0,41
Pastos	0,12 – 0,62
Techos	0,75 – 0,95
Hormigón	0,70 – 0,95

8.2 Eficiencia de la escorrentía superficial para captación

El volumen de la escorrentía superficial por unidad de área se llama “eficiencia de la escorrentía”. La escorrentía es más “eficiente” cuando la superficie del terreno es uniforme, pareja y lisa (no rugosa) y el área es más pequeña.

Los sistemas de microcaptación (pequeñas áreas a distancias cortas del recorrido de la escorrentía superficial) generalmente presentan eficiencias de escorrentía más altas porque las depresiones donde se estanca el agua son menos profundas y, en general, las desigualdades del terreno son menores que las que hay en áreas de captación más grandes y distantes (sistemas de macrocaptación). Se ha visto que, dentro de una misma área de captación,

aunque con suelo, topografía y manejo uniformes, y durante el mismo evento o periodo de precipitación, a medida que se considera un área mayor, disminuye la cantidad de agua por unidad de área involucrada. Esto se debe básicamente a que a mayor recorrido, parte de la escorrentía superficial se infiltra o evapora en el camino (vegetación, rugosidades, hoyos, irregularidades de los cauces, etc.).

Lo anterior indica que es más eficiente tener un área de producción y captación de escorrentía pequeña, pero bien impermeabilizada (C lo más próximo a 1,0 ó 100%), que tener áreas mayores de captación, donde se pierde eficiencia y se requiere más trabajo para el manejo y mantenimiento del área.

8.3 Tiempo de concentración (T_c)

El tiempo de concentración (T_c) en una cuenca hidrográfica o área de captación se define como el tiempo necesario para que el caudal de escorrentía que se produce con una lluvia de intensidad constante se establezca en el punto de salida de la cuenca (Linsley y Franzini, 1979). Se asume que T_c es el tiempo necesario para que el agua que cayó en la parte más alejada de la salida de la cuenca llegue a dicho punto, donde se juntan todos los aportes de la escorrentía superficial de la cuenca.

Existen varias fórmulas para estimar el tiempo de concentración. La que se muestra a continuación ha sido deducida por Izzard (1946) para cuencas pequeñas, en las que ocurre escorrentía superficial laminar cuando hay una lluvia de intensidad constante:

$$T_c = \frac{526,42 \times b \times L^{1/3}}{(C_r \times i)^{2/3}}$$

T_c : Tiempo de concentración en minutos

$$b = \frac{0,0000276 \times i + C_r}{S^{1/3}}$$

L: Longitud de la escorrentía superficial difusa, en metros

C_r : Coeficiente de retardo de la escorrentía

i: Intensidad de la lluvia en mm/hora

S: Declividad media de la superficie

Valores para C_r según el tipo de superficie:

Asfalto liso y bien acabado: 0,007

Hormigón: 0,012

Macadam asfáltico: 0,017

Suelo limpio sin vegetación: 0,046

Vegetación rastrera densa: 0,060

Puede ser beneficioso retardar la escorrentía en detrimento de la eficiencia de captación, de modo que la velocidad de desplazamiento no cause daños al terreno de captación.

8.4 Estimación de la escorrentía

En la publicación de Hudson (1997) se encuentra la descripción de varios métodos para determinar la escorrentía. Se presentan dos de ellos.

8.4.1 Método racional

El método racional es una manera simple de estimar el caudal máximo que descarga un área de captación o cuenca hidrográfica. La fórmula racional se expresa de la siguiente manera:

$$Q = C i a$$

Q: El caudal máximo de la cuenca para un tiempo de retorno determinado, en m³/s

C: Coeficiente de escorrentía o escurrimiento, adimensional (o K)

i: Intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración, en m/s

a: Área de la cuenca hidrográfica o área de captación en m².

Cuando el valor "i" se expresa en mm/hora y el valor "a" en hectáreas, la expresión queda como sigue: $Q \text{ (m}^3/\text{s)} = C i a \div 360$.

Este método ha sido utilizado por más de un siglo debido a que es simple y práctico. Se utiliza con buenos resultados para cálculos de descargas pluviales en cuencas pequeñas y poco permeables, para cálculos de drenes, puentes o alcantarillas en caminos y terrazas (Linsley et al, 1992). Sin embargo, no ofrece buenos resultados en cuencas complejas y grandes o cuando hay eventos pluviales muy intensos. No es recomendable para cuencas de más de 80 ha ni para tiempos de concentración mayores a 6 horas.

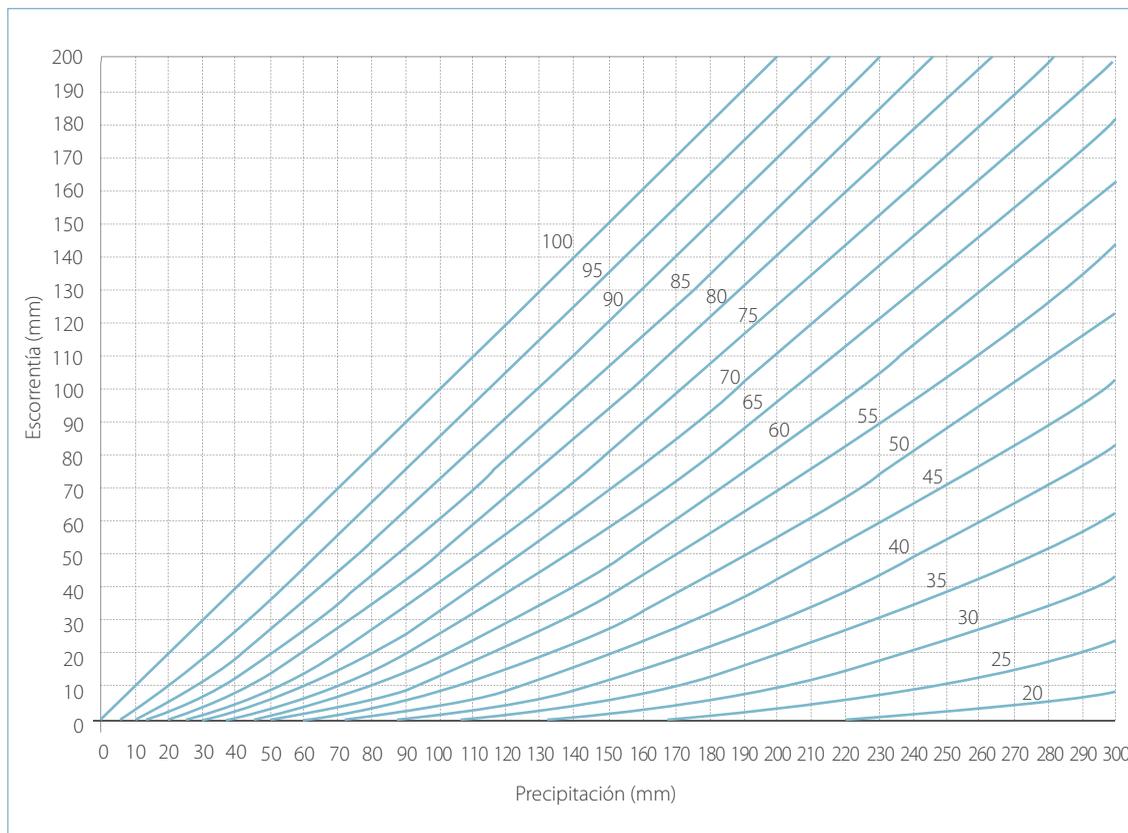
8.4.2 Método del SCS-USDA

Este método desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (SCS-USDA) ha sido aplicado en muchos países y en la práctica presenta una precisión razonable. El método utiliza un sistema de ábaco con curvas numeradas (CN) establecidas en un eje cartesiano (x, y). Véase la Figura 8-V. En la abscisa (x) se encuentran los valores de la precipitación en mm y en la ordenada (y), los valores de la escorrentía en mm. Con el valor de la precipitación se traza una línea perpendicular hasta la curva numerada (CN) seleccionada. De allí, se traza una línea horizontal hacia el eje (y) y se establece el valor correspondiente de la escorrentía.

La CN se escoge en función de las características y condiciones hídricas del suelo, del tratamiento que recibe y del tipo de cobertura del terreno. Para seleccionar la CN que más se acerca a las condiciones del campo específico, es necesario conocer y tener definidos los siguientes factores (USDA, 1986):

- » grupo hidrológico del suelo;
- » tipo de cobertura del terreno;
- » tratamiento que recibe el suelo;
- » condición hidrológica del suelo;
- » condición previa a la escorrentía;
- » si las áreas impermeables descargan directamente en el sistema de drenaje (están conectadas) o si su flujo se esparce sobre el terreno permeable (desconectadas).

FIGURA 8-V: Relación entre precipitación y escorrentía, según las curvas numeradas (CN) definidas de acuerdo al método SCS-USDA.



Grupo hidrológico del suelo

En el Cuadro 8-III, se presentan las definiciones de los grupos hidrológicos de suelo según el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (antes SCS) del USDA. Los grupos hidrológicos de suelo A, B, C y D reflejan el potencial de escorrentía del suelo en función de sus características permanentes en relación a la infiltración. Van desde los suelos con características que favorecen enormemente la infiltración y, por lo tanto, tienen un bajo potencial de escorrentía (Grupo A), hasta aquellos cuyas características hacen que tengan muy baja tasa de infiltración y, por lo tanto, presentan un alto potencial de escorrentía (Grupo D). Los grupos B y C presentan potenciales de escorrentía intermedios. Los suelos del Grupo A se prestan mejor para áreas de cultivo, mientras los del Grupo D para áreas de captación de escorrentía.

CUADRO 8-III: Características hídricas de los grupos de suelo para determinar la curva numerada (CN) del método de estimación de la escorrentía de una cuenca (SCS-USDA).

GRUPO A	Suelos con bajo potencial de escorrentía y alta velocidad de infiltración, aun cuando están húmedos hasta la saturación. Generalmente son suelos de textura arenosa o con grava, bien o excesivamente drenados y con una tasa elevada de transmisión de agua.
GRUPO B	Suelos con velocidad de infiltración moderada cuando están totalmente saturados de agua. Consisten principalmente en suelos profundos a moderadamente profundos, bien drenados a moderadamente bien drenados y que tienen textura moderadamente fina a moderadamente gruesa. Estos suelos tienen una tasa moderada de capacidad de transmisión de agua (3,8 a 7,6 cm/hora).
GRUPO C	Suelos con baja velocidad de infiltración cuando están saturados de agua y consisten principalmente en perfiles con una capa que impide el movimiento descendente del agua a través de él; son suelos de textura fina a moderadamente fina. Tienen una baja capacidad de transmisión de agua (0,13 a 3,8 cm/hora).
GRUPO D	Suelos con alto potencial de escorrentía. Presentan velocidades de infiltración muy bajas cuando están totalmente saturados de agua. Generalmente presentan: textura arcillosa, con alto potencial expansivo; napa freática permanente y elevada; capas superficiales poco permeables o cerca de la superficie (capas de compactación) y perfiles delgados y superficiales sobre un material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de capacidad de transmisión de agua (0 a 0,13 cm/hora). Los suelos con napa freática alta, si fueran drenados, podrían ser reclasificados en otro grupo.

Tipo de cobertura del terreno

El Cuadro 8-IV presenta las diferentes posibilidades de cobertura del terreno consideradas por este método.

Tratamiento y manejo que recibe el suelo

El tratamiento y el manejo son modificadores del tipo de cobertura y se aplica solamente a las áreas agrícolas cultivadas. Incluye prácticas mecánicas como surcos en contorno y terrazas, así como prácticas de manejo, como rotaciones de cultivos y labranza mínima o cero labranza.

CUADRO 8-IV: Tipos de cobertura del terreno considerados por el método del SCS-USDA para la estimación de la escorrentía.

Tipo de utilización	Tipo de cobertura
Tierras agrícolas cultivadas	<ul style="list-style-type: none"> » Barbecho. » Cultivos en línea. » Cereales de invierno. » Leguminosas en siembra densa o al voleo; pasturas en rotación.
Otras coberturas de tierras agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> » Pastos, pradera o sabana: Forraje continuo para pastoreo. » Pradera: Pastos continuos protegidos del pastoreo, generalmente cortados para heno. » Arbustos: mezcla de arbustos, hierbas y pastos, con predominancia de arbustos. » Bosques y pastos. » Bosques. » Áreas construidas, patios, caminos y terrenos colindantes.
Praderas de zonas áridas y semiáridas	<ul style="list-style-type: none"> » Vegetación herbácea: mezcla de gramas, malezas y pequeños arbustos en menor escala. » Vegetación arbustiva de montaña [Ej., roble-álamo (<i>Populus tremuloides</i>), mezcla de arbustos de montaña: arbustos de roble, álamos, caoba de montaña (<i>Swietenia spp.</i>), arbusto amargo (<i>Purshia spp.</i>), arce (<i>Acer spp.</i>) y otros arbustos. » Coníferas (<i>Pinus spp.</i>), enebro (<i>Juniperus spp.</i>), hierbas de sotobosque. » Artemisa (<i>Artemisia spp.</i>) con hierbas de sotobosque. » Matorrales del desierto: la vegetación principal incluye malezas salinas (varias especies), greasewood (<i>Sarcobatus vermiculatus</i>), gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>), chaparro negro (varias especies), palo verde (varias especies), mesquite (<i>Prosopis spp.</i>) y cactáceas.
Áreas urbanas plenamente desarrolladas	<ul style="list-style-type: none"> » Espacios abiertos: jardines, parques, campos de golf, cementerios, etc. » Áreas impermeables: estacionamientos pavimentados, techos, entradas de autos. » Calles y carreteras. » Áreas urbanas del desierto del Oeste de Estados Unidos: <ul style="list-style-type: none"> - paisajes naturales del desierto, - paisajes desérticos artificiales. » Distritos urbanos: <ul style="list-style-type: none"> - sectores comerciales y de negocios, - sectores industriales.
Áreas urbanas en desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> » Terrenos permeables recientemente nivelados.

Condición hidrológica del suelo

La condición de humedad revela el efecto del tipo de cobertura y tratamiento del suelo en la infiltración y escorrentía. Generalmente es estimada en función de la densidad de plantas y de la cobertura con residuos. De esta manera:

- » una buena condición hidrológica indica que el suelo tiene usualmente un bajo potencial de escorrentía para ese específico grupo hidrológico de suelo, tipo de cobertura y tratamiento;
- » una pobre condición hidrológica se refiere a suelos de un específico grupo hidrológico que, con el tipo de cobertura y tratamiento que tienen, resultan con baja capacidad de infiltración y buen potencial de escorrentía.

Los Cuadros 8-V, 8-VI y 8-VII presentan los números de curva para estimar la escorrentía, según los diferentes tipos de utilización, cobertura del terreno y los demás factores considerados. Debido a los objetivos de esta publicación, no se presenta el cuadro para áreas urbanas.

CUADRO 8-V: *Números de curvas que permiten estimar la escorrentía para la condición de uso de tierras agrícolas con cultivos.*

Tipo de cobertura	Tratamiento	Condición hidrológica	Números de curvas por grupo hidrológico				
			A	B	C	D	
En barbecho	Suelo desnudo		77	86	91	94	
	Residuos de cultivo (RC)	Mala	76	85	90	93	
		Buena	74	83	88	90	
Cultivos en línea	Líneas rectas (LR)	Mala	72	81	88	91	
		Buena	67	78	85	89	
	LR + RC	Mala	71	80	87	90	
		Buena	64	75	82	85	
	En contorno (C)	Mala	70	79	84	88	
		Buena	65	75	82	86	
	C + RC	Mala	69	79	83	87	
		Buena	64	74	81	85	
	C + terrazas (T)	Mala	66	74	80	82	
		Buena	62	71	78	81	
	C + T + RC	Mala	65	79	79	81	
		Buena	61	70	77	80	
	Cereales de invierno	Líneas rectas (LR)	Mala	65	76	84	88
			Buena	63	75	83	87
LR + RC		Mala	64	75	83	86	
		Buena	60	72	80	83	
En contorno (C)		Mala	63	74	82	85	
		Buena	61	73	81	84	
C + RC		Mala	62	73	81	84	
		Buena	60	72	80	83	
C + terrazas (T)		Mala	61	72	79	82	
		Buena	59	70	78	81	
C + T + RC		Mala	60	71	78	81	
		Buena	58	69	77	80	
Rotación leguminosas y pasto	Líneas rectas (LR)	Mala	66	77	85	89	
		Buena	58	72	81	85	
	En contorno (C)	Mala	64	75	83	85	
		Buena	55	69	78	83	
	C + T + RC	Mala	63	73	80	83	
		Buena	51	67	76	80	

CUADRO 8-VI: *Números de curvas que permiten estimar la escorrentía para la condición de uso de tierras agrícolas con otros usos.*

Tipo de cobertura	Condición hidrológica	Números de curvas por grupo hidrológico			
		A	B	C	D
Pastizales, sabana, campos de pastoreo	Mala	68	79	86	89
	Regular	40	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Pradera no pastoreada		30	58	71	78
Bosque arbustivo	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30	48	65	73
Bosque ralo con pasto, huerta, árboles frutales	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	75	82
	Buena	32	58	72	79
Bosque	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Áreas construidas, patios, caminos y terrenos vecinos		59	74	82	86

CUADRO 8-VII: *Números de curvas para estimar la escorrentía para la condición de zonas áridas y semiáridas.*

Árido y semiárido	Condición hidrológica	Números de curvas por grupo hidrológico			
		A	B	C	D
Vegetación herbácea	Mala		80	87	93
	Regular		71	81	89
	Buena		62	74	85
Vegetación arbustiva de montaña	Mala		66	74	79
	Regular		48	57	63
	Buena		30	41	48
Coníferas y pastos de sotobosque	Mala		75	85	89
	Regular		58	73	80
	Buena		41	61	71
Artemisa con pastos de sotobosque	Mala		67	80	85
	Regular		51	63	70
	Buena		35	47	55
Matorrales del desierto	Mala	63	77	85	88
	Regular	55	72	81	86
	Buena	49	68	79	84

Según el uso de la tierra (cultivo, bosque, pradera), el tipo de cobertura, el tratamiento que recibe, la condición hidrológica y el grupo hidrológico del suelo, se selecciona el número de la curva en base al Cuadro que corresponda (8-V, 8-VI u 8-VII).

Si la condición requerida (tipo de uso, vegetación, etc.) no se encuentra en los cuadros presentados, se sugiere escoger la que más se acerque a las características que definen la infiltración y la escorrentía en el caso específico. Si se concluye que las características de un caso particular corresponden a una situación intermedia entre dos situaciones del cuadro, se puede escoger un número de curva intermedio.

Estado de humedad del suelo

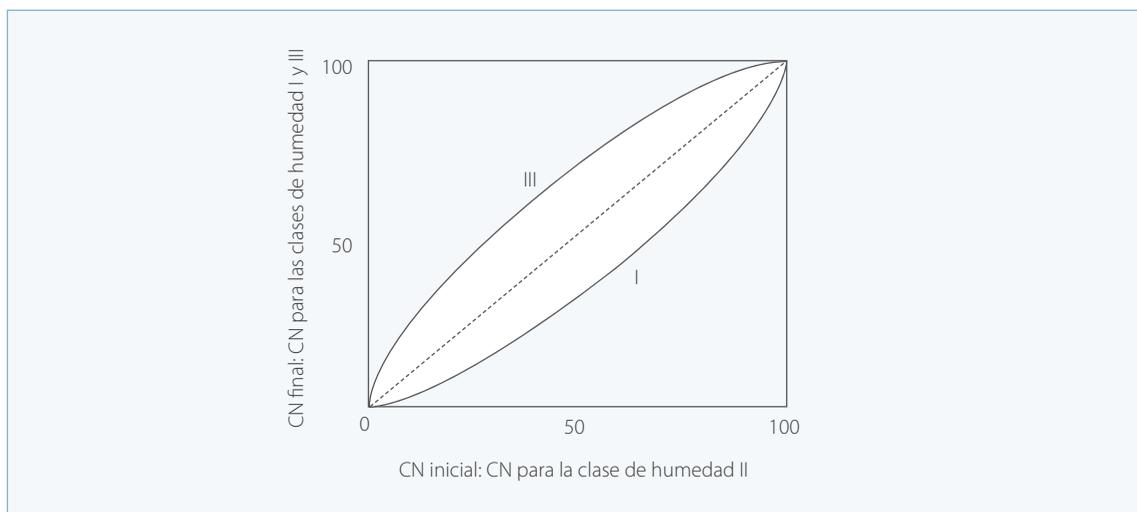
Para tomar en cuenta el estado de humedad que tenía el suelo antes del inicio del evento de lluvia o periodo lluvioso que se analizará, se puede asignar una clase de humedad del suelo según el Cuadro 8-VIII.

CUADRO 8-VIII: Clases de humedad del suelo definidas para uso en el método del SCS-USDA para la estimación de la escorrentía (Parey, 1984, citado por FAO, 2004).

Clase de humedad del suelo	Lluvia (mm) en los 5 días previos	
	Durante período vegetativo	En otro momento
I	< 30	< 15
II	30 – 50	15 - 30
III	> 50	> 50

Los cuadros citados del sistema SCS-USDA que guían la selección de la curva numerada (CN) fueron elaborados para un estado de humedad del suelo de la clase II. Según la condición de humedad del suelo, se debe corregir la curva (C) hacia una curva de la clase I o de la clase III de humedad del suelo, según corresponda. La Figura 8-VI muestra esta corrección. Con el valor de CN obtenido de los cuadros anteriores, se ingresa al gráfico por el eje horizontal de las abscisas (x) y se traza una línea vertical hasta la curva I ó III, según la humedad actual del suelo. Desde el punto de cruce, se traza una línea horizontal hasta el eje vertical de las ordenadas (y), donde se obtiene el valor de la CN corregido.

FIGURA 8-VI: Gráfico para la corrección de la CN por clase de humedad del suelo, según el método SCS-USDA.



Aplicación del método SCS-USDA a la siguiente condición hipotética:

- » cultivo en línea recta;
- » suelo de textura fina con conductividad hidráulica de aproximadamente 0,2 cm/hora - Grupo Hidrológico C;
- » condición húmeda con buen potencial de escorrentía.

En el Cuadro 8-V, esta situación corresponde a la CN 85. Si en la localidad caen 110 mm de lluvia mensual, según la CN 85 (Figura 8-V), se producirán 75 mm de escorrentía. Como han caído alrededor de 25 mm durante los 5 días anteriores, sin cultivo, el estado inicial de humedad del suelo corresponde a la Clase II, que no necesita corrección para la humedad previa. El resultado indica que este mes la contribución en escorrentía podrá ser de 75 mm ó 75 litros cada m² de área de captación, sin considerar la eficiencia.

En otro ejemplo se propone la situación siguiente:

- » vegetación arbustiva y pasto que está bastante seco;
- » suelo franco arcilloso;
- » buen potencial de infiltración y poco potencial de escorrentía;
- » lluvia previa en los 5 días anteriores a la estación: 3 mm, sin cultivos, por lo que el suelo se encuentra en la clase de humedad I.

En el Cuadro 8-VI se escoge “bosque arbustivo”, condición hidrológica “buena” y grupo hidrológico “B”, lo que corresponde a la curva número 48. Entrando al gráfico de la Figura 8-VI, la CN 48, corregida para Clase I, corresponde a una CN 28, aproximadamente.

Si ocurriera una precipitación estacional de 280 mm, según la Figura 8-V, se producirían alrededor de 30 mm de lámina estacional de escorrentía.

8.5 Consideraciones sobre la determinación de la escorrentía superficial

El coeficiente de escorrentía superficial (C) que se determine para un evento pluvial no será el mismo cuando se considera un periodo de tiempo más largo, sea anual, estacional, mensual o semanal.

El método a seguir para estimar la escorrentía se debe escoger en función de varios factores, pero quizá lo primero a considerar es la dimensión del área de captación. Conocido este factor, es conveniente utilizar uno o más métodos que comprobadamente den buenos resultados en estimación de la escorrentía para el tamaño de captación. Cuando se trata de sistemas de captación de lluvia de áreas externas al campo de producción (sistemas de macrocaptación), estos corresponden a pequeñas cuencas hidrográficas. En ese caso, se podría utilizar para una estimación preliminar el método racional o el método de la curva numerada del SCS-USDA comprobada en varios casos de campo en muchos países.

En cambio, para métodos de microcaptación se recomienda la estimación de la escorrentía localmente. En la práctica, el coeficiente de escorrentía en áreas pequeñas de campo, más o menos permeables, tiene generalmente valores entre 0,5 y 0,1 (Critchley y Siegert, 1996), tal como muestra el Cuadro 8-II.

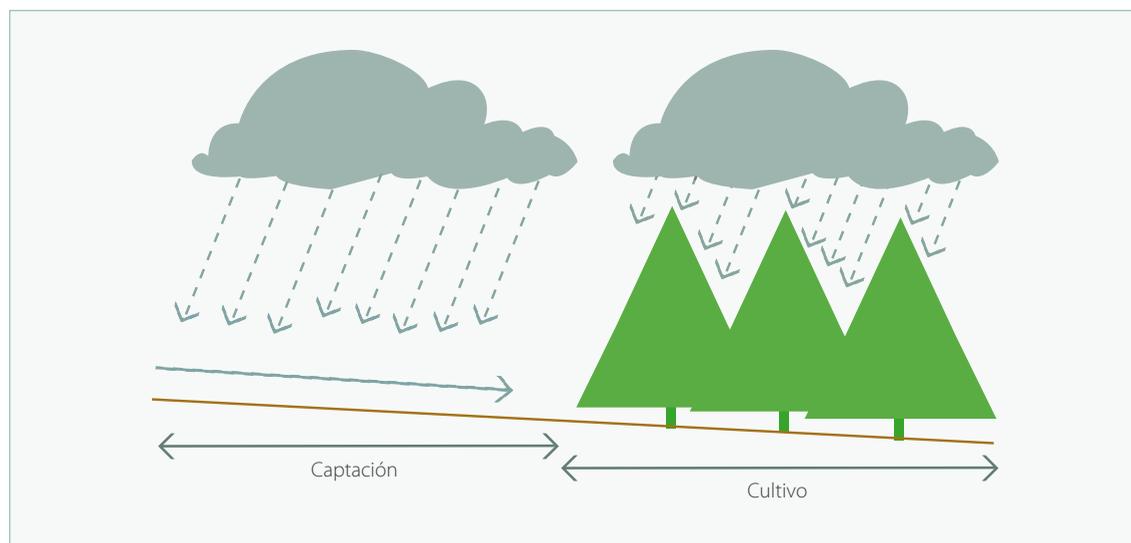


9. RELACIÓN ENTRE ÁREA DE CAPTACIÓN Y ÁREA DE CULTIVO

La relación entre el área de captación (C) y el área de cultivo (AC) se expresa como relación C:AC o como Ae:As (área de escorrentía: área de siembra) y es el parámetro a ser determinado para establecer la dimensión de los sistemas de captación de agua de escorrentía superficial en relación a áreas de producción vegetal. Para evitar confusiones con el coeficiente de escorrentía, también denominado C, en esta publicación la relación C:AC será denominada CAPT:CULT.

La idea básica de la relación CAPT:CULT es que, si la lluvia no es suficiente para la producción de los cultivos, entonces se capta la escorrentía superficial de áreas vecinas no cultivadas y se conduce a la zona cultivada. Así, al cultivo llega más agua que el volumen precipitado directamente sobre el terreno cultivado. La Figura 9-1 puede ayudar a la comprensión.

FIGURA 9-1: Esquema ilustrativo del área de cultivo (CULT) con la respectiva área de captación de escorrentía (CAPT).



Por ejemplo, cuando se cultiva en franjas alternas siguiendo las curvas a nivel (una franja sin cultivo y la franja siguiente con cultivo), la franja aguas arriba sin cultivo está dedicada solamente a producir escorrentía (CAPT) para que fluya hacia la franja cultivada aguas abajo (CULT). La relación CAPT:CULT se establece tomando en cuenta el área (m², ha, tarea, manzana, etc.) de las franjas de captación y el área (m², ha, tarea, manzana, etc.) de las franjas de cultivo.

En este caso de la Figura 9-1, la relación CAPT:CULT es igual a 1 ó 1:1, porque las áreas de ambas franjas son idénticas. La relación CAPT:CULT puede ser muy baja, en donde casi no hay déficit hídrico, o elevada, en donde el déficit es más severo y una gran área de captación (CAPT) es necesaria para suministrar agua para una pequeña área de cultivo (CULT).

Hay varios factores que afectan la relación CAPT:CULT, los cuales se han reunido en la siguiente expresión (Critchley y Siegert, 1991):

$$\frac{\text{Necesidad de agua de las plantas} - \text{lluvia de diseño}}{\text{Lluvia de diseño} \times \text{coeficiente de escorrentía} \times \text{factor de eficiencia}} = \frac{\text{Área de captación}}{\text{Área cultivada}}$$

Cabe recordar los siguientes conceptos:

Necesidad de agua de las plantas: Es el volumen de agua que la planta necesita para completar su ciclo sin estrés, expresado en milímetros de lámina de agua.

Lluvia de diseño: Es el volumen de lluvia disponible durante el ciclo de cultivo, menor o igual a P75, expresado en milímetros de lámina de agua.

Coefficiente de escorrentía: Indica la proporción de la lluvia que fluye a lo largo del terreno como escorrentía superficial. Para áreas pequeñas, como las consideradas en la captación de lluvia, el valor del coeficiente de escorrentía varía generalmente entre 0,1 y 0,5 (Critchley y Siegert, 1996).

Factor de eficiencia de la escorrentía: No todo el volumen de agua que escurre en el área de captación llegará a la zona de cultivo para ser aprovechada por los cultivos. La porción que puede ser aprovechada por el cultivo indica la eficiencia y, generalmente, no equivale al 100% porque hay desigualdades y variaciones en la superficie de escurrimiento. Los mismos factores en el área de cultivo hacen que la distribución y el aprovechamiento del agua sean desiguales para el cultivo. Debido a que es más conveniente que haya exceso de agua a que falte, si no hay problemas con la falta de oxígeno y presencia de enfermedades favorecidas por la humedad, se recomienda estimar un factor para que aumente la cantidad de agua de escorrentía necesaria para que los lugares que puedan recibir menos agua reciban lo suficiente para las plantas.

La eficiencia de la escorrentía es más alta cuando el terreno de captación está nivelado, emparejado y liso (no rugoso). Los sistemas de microcaptación tienen eficiencias altas porque las depresiones donde se puede estancar el agua son menos profundas y, en general, las desigualdades del terreno son menores que las que hay en cuencas mayores. El factor de eficiencia debe ser seleccionado en función de los factores que afectan la distribución del agua, así como el volumen probable de pérdidas por evaporación y percolación profunda. El valor del factor de eficiencia debe perfeccionarse con la experiencia. Normalmente el rango de valores va de 0,5 a 0,75 (Critchley y Siegert, 1996). El factor de eficiencia, utilizado dentro de ese rango de valores, disminuye la cantidad de lluvia estimada como agua utilizable por las plantas, la cual también es rebajada por el coeficiente de escorrentía. Algunos autores no utilizan un factor de eficiencia; en cambio, engloban ese concepto en el coeficiente de escorrentía.

9.1 Cálculo del área de captación (CAPT) necesaria

Para calcular la relación CAPT:CULT o para calcular directamente el tamaño del área de captación (CAPT), se puede utilizar la siguiente relación:

$$\text{CAPT} = \frac{\text{Área cultivada} \times (\text{necesidad de agua de las plantas} - \text{lluvia de diseño})}{\text{Lluvia de diseño} \times \text{coeficiente de escorrentía} \times \text{factor de eficiencia}}$$

La dimensión y la forma del área cultivada (CULT) dependen de las características de cada cultivo (hileras, fajas, área completa, árboles individuales, etc.) y del tipo de técnica de captación que se va a utilizar.

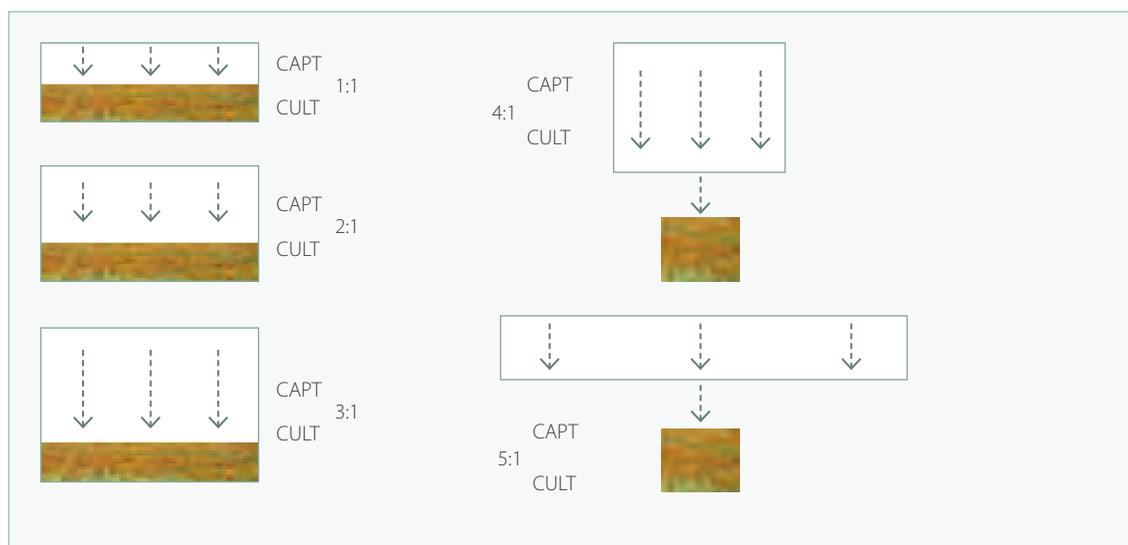
En los cultivos que se siembran en hileras (los cultivos de estación, por ejemplo), para obtener el valor de CULT para cada hilera se considera la longitud de la hilera en metros o el ancho de una faja alcanzada por las raíces de ambos

lados de la hilera multiplicada por su longitud, como se muestra en Figura 9-II. Cuando se trata de un cultivo con población densa por área, al igual que los cultivos sembrados en hileras (trigo, avena, por ejemplo), toda el área sembrada puede ser considerada como CULT, puesto que sus raíces utilizan todo el terreno.

En otras situaciones, se adoptan áreas de cultivo redondas (árboles individuales, por ejemplo), cuadradas, triangulares, rectangulares (pastos, bosques, cultivos densos). La unidad de medida (m², ha, manzana, tarea, etc.) para el cálculo de CAPT:CULT debe ser la misma para ambas.

A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo de CAPT:CULT para la localidad de Irecê, en el semiárido brasileño, considerando el cultivo de frijol común sembrado en hileras y ocupando una faja 0,5 m de ancho. Se trata del mismo ejemplo utilizado en los capítulos 6 y 7, con siembra el 4 de noviembre y cosecha el 11 de febrero.

FIGURA 9-II: Ejemplos de relaciones entre área de captación (CAPT) y área cultivada (CULT), con formato en hileras (relaciones 1:1, 2:1 y 3:1) y rectangular (relaciones 4:1 y 5:1), adaptado de Critchley y Siegert, 1996.



En el Cuadro 9-I, se observan los datos necesarios para el cálculo. En los primeros 30 días, no hubo déficit; al contrario, hubo un excedente de 24,9 mm de agua. Debe observarse que la diferencia (ETc - lluvia de diseño) puede dar dos resultados:

- a) ETC de todo el cultivo - lluvia de diseño = 368,0 mm - 155,7 mm = 212,3 mm.
- b) Sumatoria de ETC cada 10 días - lluvia cada 10 días = 237,2 mm.

CUADRO 9-1: Datos climáticos y del cultivo del frijol común sembrado el 4 de noviembre en la localidad de Irecê (Brasil) para el cálculo de la relación CAPT:CULT.

Día de siembra	Fechas	Lluvia de diseño mm/10 días	ETc mm/10 días	ETc - lluvia mm/10 días	Déficit mm/10 días
1 a 10	4 - 13 nov	17,4	8,1	-9,3	0
11 a 20	14 - 23 nov	17,4	7,9	-9,4	0
21 a 30	24 - 3 dic	17,6	11,4	-6,2	0
31 a 40	4 - 13 dic	18,2	29,1	10,9	10,9
41 a 50	14 - 23 dic	18,2	49,7	31,5	31,5
51 a 60	24 dic - 2 ene	17,1	60,6	43,4	43,4
61 a 70	3 - 12 ene	12,9	60,8	47,9	47,9
71 a 80	13 - 22 ene	12,9	61	48,1	48,1
81 a 90	23 ene - 1 feb	12,7	50,4	37,7	37,7
91 a 100	2 - 11 feb	11,3	29,0	17,7	17,7
100	4 nov - 11 feb	155,7	368,0	212,3	237,2
70	4 dic - 11 feb	103,3	340,6	237,2	237,2

El resultado b) no toma en cuenta los excedentes de lluvia de los primeros 30 días y, por lo tanto, refleja mejor la falta de lluvia directa. Sin embargo, tampoco toma en cuenta el agua de los excedentes de los primeros 30 días retenida en el suelo.

Calculado para los últimos 70 días, cuando hay déficit, queda como sigue:

- » Necesidades de agua en los 70 días: 340,6 mm.
- » Lluvia de diseño (para los 70 días), considerando que se aprovecha el 50% del excedente de lluvia ocurrido en los primeros 30 días: $103,3 + (9,3+9,4+6,2)/2 = 115,8$ mm.
- » Considerando un coeficiente de escorrentía de 0,4 (suelo franco arcilloso, bien agregado, pendiente 3 a 6%, distancia de escorrentía muy corta).
- » Considerando un factor de eficiencia de aprovechamiento de la escorrentía de 0,7 (terreno nivelado, pendiente 6%, distancia de escorrentía muy corta).

Se calcula:

$$\text{CAPT} = \frac{0,5 \text{ m}^2 \times (340,6 \text{ mm} - 115,8 \text{ mm})}{115,8 \text{ mm} \times 0,4 \times 0,7} = \frac{112,4}{32,4} = 3,5 \text{ m}^2$$

La relación CAPT:CULT calculada es de 3,5:0,5, igual a 7,0:1, lo que significa que para cultivar el frijol común en esta localidad, bajo las condiciones presentadas en el Cuadro 9-1, sin el uso de riego, sería recomendable captar agua de escorrentía de un área 7 veces más grande que el área de cultivo, para que no hubiera déficit.

9.2 Diferencias entre las características del suelo del área de captación y el área de cultivo

Los suelos del área de captación (CAPT) deben ser impermeables para producir la mayor escorrentía superficial posible y los suelos del área de producción (CULT) deben ser permeables, con elevada infiltración, friables, retentivos de agua y nutrientes y profundos, para que las raíces puedan explorar el mayor volumen de suelo posible y proporcionar agua y nutrientes a las plantas.

Es recomendable que se realice una selección cuidadosa de las áreas de cultivo y de las áreas de captación, mediante la demarcación de las mejores áreas de la finca para cumplir con ambos objetivos. Hay que buscar espacios para captación mayores a las áreas de cultivo. Cuanto mayor es el déficit, más grande debe ser el área de captación en comparación con la de cultivo (más amplia la relación CAPT:CULT).

Para seleccionar las áreas más aptas para los cultivos, pastos o bosque y las áreas mejores para la captación de agua, es conveniente revisar la finca detalladamente, especialmente las variables mostradas en el Cuadro 9-II.

CUADRO 9-II: Indicadores sencillos y prácticos para seleccionar las áreas de cultivo y las áreas de captación.

	Área de cultivo	Área de captación
Suelo	Elevada infiltración (permeable). Bien drenado (no excesivamente). Elevada retención de agua. Rico en nutrientes. Sin salinidad. Arcilloso bien estructurado o texturas francas (medias). No arenoso. Rico en materia orgánica.	Poco permeable. Rocoso. Superficial (perfil delgado). Arcilloso con estructura masiva. Pobre en materia orgánica.
Terreno	Plano o semiplano. Superficie uniforme. Cotas inferiores al terreno de captación.	Inclinado. Superficie difícil para cultivar. Cotas superiores al área de cultivo.
Vegetación nativa	De hoja ancha. Verde hasta más tarde en la época seca.	Arbustiva y leñosa. De pocas hojas, pequeñas, coriáceas, cerosas. Más especies con espinas.
Radiación solar	Directa en la mañana. Inclinada o indirecta en la tarde (contra-exposición).	No es relevante.
Vientos	Protegida.	No es relevante.

FIGURA 9-III: La presencia de vegetación de más altura y con colores más intensos generalmente indica mayor disponibilidad de agua y/o nutrientes.

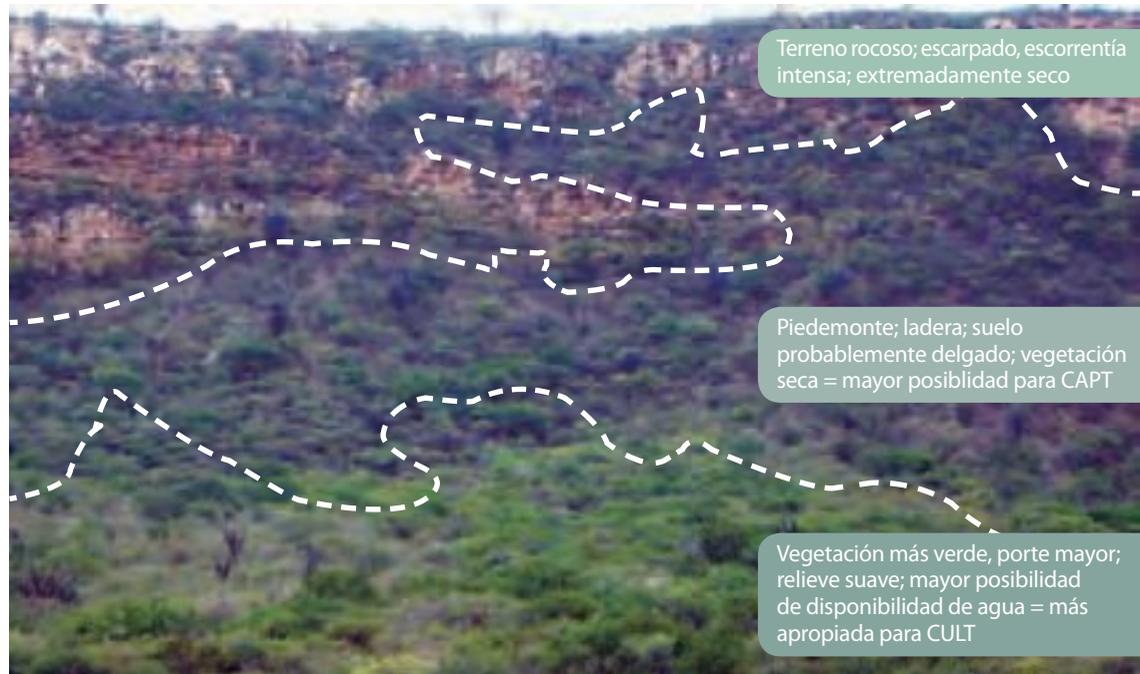


Foto: Marcos J. Vieira.

Se analizan a continuación las propiedades y características de los suelos para la selección de las áreas de captación y de cultivo:

Textura y estructura

Los suelos arcillosos con formas de estructura masiva y alta cohesión suelen ser poco permeables y pesados para labores manuales y pueden ser destinados a áreas de captación de agua de lluvia. En zonas con déficit hídrico recurrente, como las semiáridas, se presentan generalmente poco permeables debido a los siguientes factores: poco meteorizados, con presencia de tipos de arcilla con elevada plasticidad, cuando se encuentran húmedos, y elevada cohesión, cuando se encuentran secos (arcillas 2:1); presencia de tipos de horizonte con estructura masiva y elevada cohesión, efecto dispersivo del sodio sobre los agregados. Hay una tendencia a que estas condiciones empeoren con el aumento del contenido de arcilla y el déficit de agua. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la arcilla es responsable, juntamente con la materia orgánica, de la agregación del suelo, de la CIC (capacidad de intercambio catiónico) y de la capacidad de almacenamiento de agua.

Las áreas en que los suelos arcillosos se presentan bien estructurados, ricos en materia orgánica y con elevada permeabilidad deben ser destinadas a cultivos.

Por otro lado, los suelos con textura arenosa (> 85% de arena), debido a su baja capacidad de retención de agua y nutrientes y elevada permeabilidad, no se adaptan como área de cultivo ni de captación. Si fueran utilizados como áreas de cultivo, se requeriría asegurar mayor cantidad de agua y nutrientes para las plantas.

Materia orgánica

La materia orgánica presenta funciones importantes relacionadas con la calidad de cualquier tipo de suelo: mejora el almacenamiento de agua, aumenta la agregación y su estabilidad, mantiene temperaturas más favorables para el desarrollo radicular en el perfil, aumenta la porosidad, entre otras. Sin embargo, la materia orgánica, en climas cálidos, es poco estable en el suelo y se descompone por la acción de organismos, favorecidos por valores de pH próximos a la neutralidad, calor, oxigenación y humedad. Si en el sistema de producción no hay constante reposición, la tendencia es a la reducción de sus niveles, con pérdida de la calidad del suelo.

Por eso, el sistema de producción debe ser “carbono-acumulativo”, es decir, contribuir para que más carbono quede estable en el suelo y en la vegetación, en su forma orgánica. Las medidas para lograr este objetivo están ligadas a los siguientes factores generales:

- » Aplicar métodos y técnicas agrícolas que permitan producir más biomasa por área cultivada.
- » Utilizar métodos y técnicas de cultivo que no contribuyan a una descomposición rápida de los residuos vegetales (dejar los rastrojos en la superficie, por ejemplo).
- » No eliminar los residuos vegetales con fuego o pastoreo.
- » Abastecimiento de materia orgánica externa al terreno, mediante el uso de abonos orgánicos (residuos animales o vegetales) y compost.

En la aplicación de materia orgánica es recomendable observar el equilibrio de Carbono y Nitrógeno (relación C:N) de los materiales utilizados, la cual debe ser menor que 20:1 para utilización directa en el suelo. Si es mayor que 30:1, se recomienda que haya un proceso de descomposición previo (compost) hasta que el material baje a 20:1. De no ser así, materiales con relación C:N > 30 tienden a inmovilizar el N del suelo en el proceso de descomposición, cuyo resultado implica deficiencia de este nutriente para las plantas.

En línea con las preocupaciones mundiales sobre el calentamiento global, los sistemas de producción carbono-acumulativos son siempre bienvenidos y pueden rendir dividendos al agricultor, no solamente por lo que puede significar en términos de aumentos de la productividad con menor riesgo, sino también por acciones de aplicación del mecanismo de desarrollo limpio (MDL) u otras, como parte de los acuerdos firmados entre países, bajo los auspicios de las cumbres mundiales promovidas por la Organización de las Naciones Unidas.

Presencia de sales

Los suelos salinos y sódicos no son adecuados para el cultivo, aunque no son muy abundantes en regiones semiáridas y subhúmedas, en condiciones de buen drenaje del perfil. Ello ocurre con mayor frecuencia si hay un nivel freático elevado (< 2 m de la superficie), el cual impide el drenaje y aporta sales al suelo superficial por movimiento capilar ascendente (contra-lixiviación). Por lo tanto, se debe tener especial cuidado en sistemas de aprovechamiento por humedad capilar desde el nivel freático o con el agua de riego.

Profundidad del perfil de suelo

Las raíces de las plantas exploran un volumen de suelo, generalmente un área circular en torno al tallo que presenta forma de embudo. Cuanto más grande es el volumen de suelo explorado, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas tiende a ser mayor. Un perfil delgado limita el volumen almacenado de agua y la exploración radicular. Un suelo con 20 cm de profundidad presenta un volumen de $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de superficie, mientras que un perfil de 150 cm de profundidad presenta un volumen de $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de superficie, el cual puede ser explorado por las raíces. Cabe recordar que la profundidad del suelo puede ser determinada por aspectos físicos (rocas, capas u horizontes impenetrables, napa freática) y químicos (concentración de sales, presencia de iones tóxicos). Las plagas y patógenos también pueden reducir el desarrollo de las raíces y su capacidad de absorción de agua y nutrientes.

La situación ideal para un perfil de suelo como área de cultivo es que su profundidad alcance, por lo menos, la profundidad que potencialmente pueden alcanzar las raíces del cultivo considerado. Como los terrenos casi siempre no son homogéneos en profundidad de suelo, se debe tratar de verificar que la mayor parte del terreno posea una profundidad adecuada. En las partes del terreno con suelos poco profundos, probablemente el rendimiento del cultivo será menor y podría ser usado como área de captación de agua.

Topografía del terreno

En el área del cultivo interesa que la pendiente del terreno sea reducida (casi plano), preferentemente menor al 5%, aunque podría llegarse al 7% en algunos casos, sin irregularidades en la superficie. Todo ello, con el objetivo de facilitar las labores agrícolas y poder manejar de forma más segura y eficiente la escorrentía (Figura 9-IV).

Un terreno de topografía irregular o rugosa ocasiona una mala distribución del agua, o sea, baja eficiencia de escorrentía.

Características de la vegetación nativa

La vegetación nativa es un importante indicador de la calidad del suelo y del terreno para suplir agua a las plantas. Si la vegetación dominante es herbácea, de hojas grandes y abundantes, y están siempre verdes y turgentes hasta entrado el período seco, probablemente se trate de un lugar con más agua disponible en el suelo que si hubiera una vegetación preferentemente leñosa, con espinas, de pocas hojas, pequeñas, aspecto coriáceo y cerosas (Figura 9-V).

FIGURA 9-IV: Terreno cultivado con sisal (*Agave sisalana*) o henequén muestra dónde sería más adecuado captar escorrentía y dónde sería más adecuado el cultivo. El propio desarrollo de las plantas indica en qué lugares el suelo presenta mejores condiciones para uno y otro objetivo.

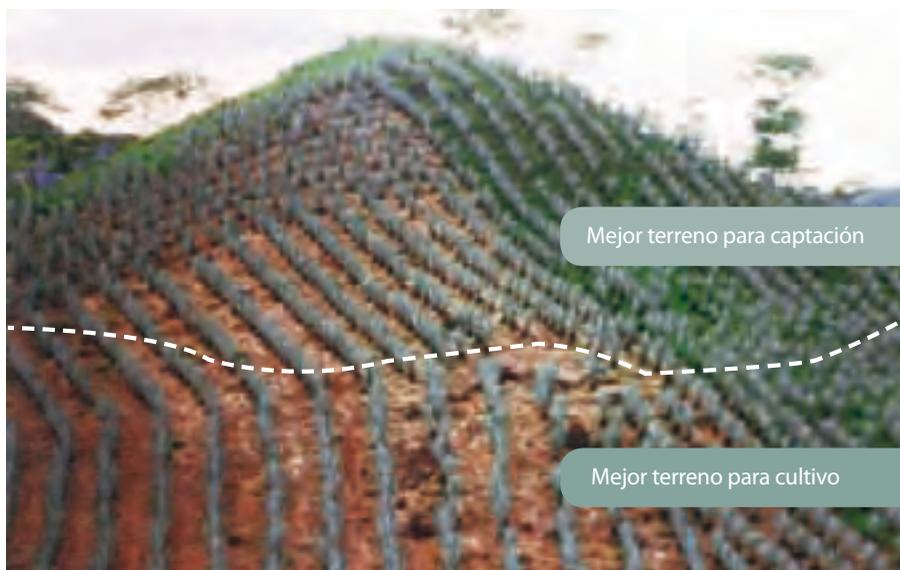


Foto: Marcos J. Vieira.

FIGURA 9-V: Características de vegetación natural con déficit hídrico recurrente, en este caso, en el semiárido del Nordeste brasileño.

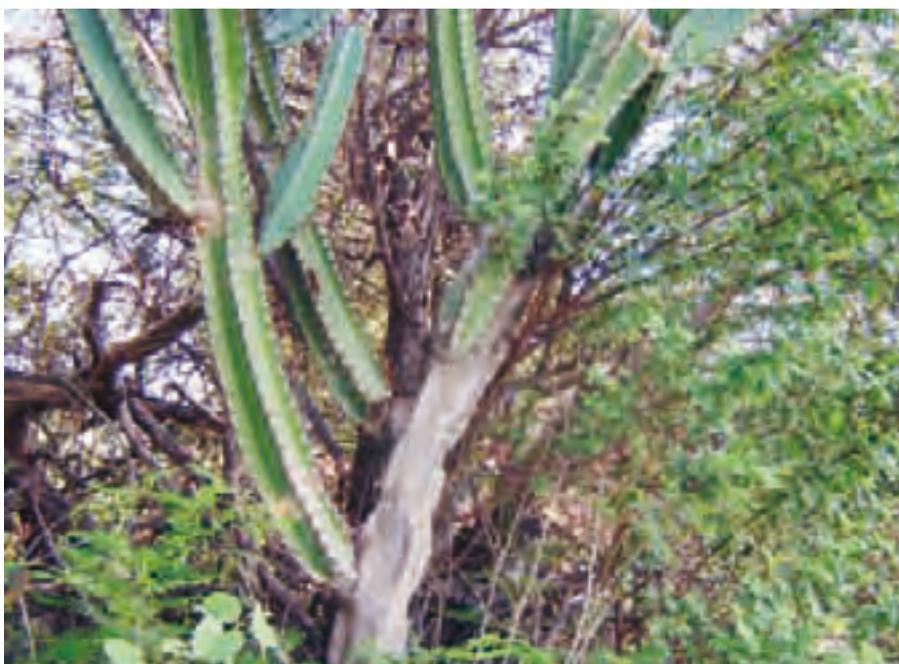


Foto: Marcos J. Vieira.

Exposición del terreno

Por lo general, los terrenos que reciben radiación solar directa e intensa en horas de la tarde son más calientes y tienen mayor evapotranspiración y demanda hídrica que aquellos que la reciben de manera oblicua o por la mañana. Igualmente, en los terrenos más expuestos al viento, la evapotranspiración tiende a ser mayor que en lugares más protegidos.

9.3 Cuidados en el área de captación

Las áreas de captación dentro del terreno de cultivo pueden no tener vegetación o mantenerse rozadas, además de ser lisas (sin rugosidades) y compactadas, todo ello con el objeto de aumentar la escorrentía superficial. También pueden ser cubiertas con láminas plásticas, si no son grandes.

Es importante señalar que los terrenos de captación deben ser aquellos que realmente no se prestan a otro tipo de uso, debido a que, al quedar expuestos a la lluvia, producirán escorrentía y pueden quedar deteriorados después de algunas campañas. Si el terreno presenta alguna otra aptitud (árboles, cultivos resistentes, etc.), ambientalmente no sería recomendable que fuera destinado a la producción de escorrentía.

En las áreas de captación de agua, la escorrentía superficial es un mal que se convierte en aliado, pero, para que así sea, debe ser manejada bien. De no ser así, constituye un problema que puede dañar la calidad del suelo y destruir los terrenos por erosión, inclusive del área de cultivo, al producir surcos y cárcavas. Por lo tanto, la escorrentía debe ser manejada y mantenida bajo control, para que no posea energía suficiente para erosionar el suelo.

La energía cinética (E_c) de la escorrentía es dada por $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ ("m" representa la masa de agua y "v" la velocidad de desplazamiento del caudal). Como en este caso no se pretende reducir el valor de "m", para que un mayor volumen de agua llegue al área de cultivo, se debe manejar el flujo con velocidad baja con el fin de mantener la energía cinética en niveles que no cause daños al suelo.

La utilización de mampostería u hormigón para la impermeabilización de áreas de captación es factible, pero en pequeñas áreas, cuando no hay opciones menos costosas de captación o cuando se plantea asociar el objetivo de captación de agua con otros objetivos, tales como patio de secado de granos, patio para la vivienda o un establo al descubierto, por ejemplo.



10. TÉCNICAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

La mayoría de las técnicas de captación de lluvia tienen un origen empírico y han sido desarrolladas a lo largo del tiempo, a partir de las civilizaciones ancestrales de Meso y Sudamérica y de otras regiones del mundo. En los últimos 30 años, se han perfeccionado muchas técnicas gracias al aporte de diferentes instituciones y países (Silva et al, 2000). Hay una gran variedad de técnicas adaptadas a diferentes situaciones, las que cumplen diferentes finalidades.

Como técnica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia se entiende la práctica (obra o procedimiento técnico) capaz de, individualmente o combinadas con otras, aumentar la disponibilidad de agua en la finca, para uso doméstico, animal o vegetal. Por lo general, son técnicas mejoradas de manejo de suelos y agua, de manejo de cultivos y animales, así como la construcción y manejo de obras hidráulicas que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia.

Estas técnicas pueden ser agrupadas en grandes modalidades de captación de agua de lluvia, como las siguientes:

Microcaptación: Consiste en captar la escorrentía superficial generada dentro del propio terreno de cultivo, en áreas contiguas al área sembrada o plantada, para hacerla infiltrar y ser aprovechada por los cultivos. Las técnicas de microcaptación usan las propiedades hidrológicas de un área con pendiente, lisa, poco permeable y sin vegetación, para que genere escorrentía superficial, y las de otra área contigua y aguas abajo, con surcos, bordos, camellones u hoyos, para captar la escorrentía y abastecer el suelo y los cultivos allí sembrados. También es denominada como captación *in situ*, por tratarse de un proceso de captación y uso en un lugar cercano o contiguo. Por sus características, las técnicas de microcaptación se destinan al suministro de agua para cultivos.

Macrocaptación: Consiste en captar la escorrentía superficial generada en áreas más grandes, ubicadas contiguas al cultivo (macrocaptación interna) o apartadas del área de cultivo (macrocaptación externa), para hacerla infiltrar en el área de cultivo y ser aprovechada por las plantas. Las técnicas de macrocaptación son más complejas que las de microcaptación. Incorporan como principio hidrológico la utilización de un área productora de escorrentía superficial (pendiente más elevada, suelo delgado, área rocosa, etc.), sin o con escasa cobertura vegetal, para que genere un volumen considerable de flujo superficial hacia el área de cultivo. Entre ambas debe haber estructuras de contención, de conducción de agua, como acequias, canales, zanjas, surcos o camellones. El agua captada puede también ser utilizada para abastecer estructuras de almacenamiento, como estanques o embalses temporales, para diferentes finalidades. También se puede considerar como técnica de macrocaptación la derivación de fuentes de agua externas al área de cultivo, como torrentes, avenidas y cuencas, mediante bocatomas. La mayor parte de las macrocaptaciones se utilizan en regiones semiáridas o áridas, aunque algunas captaciones externas se aplican también en regiones subhúmedas.

Derivación de manantiales y cursos de agua mediante bocatomas: No todos consideran la captación y derivación de manantiales y cursos de agua establecidos (nacientes, arroyos, embalses) como captación de agua de lluvia propiamente tal. Sin embargo, estas técnicas son útiles para contrarrestar el déficit hídrico en determinadas zonas. Su utilización puede tener diferentes finalidades, desde riego, abrevadero y hasta consumo doméstico (dependiendo de la calidad del agua y de la severidad de la escasez).

Cosecha de agua de techos de vivienda y otras estructuras impermeables: Esta es la modalidad más conocida y difundida de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Consiste en captar la escorrentía producida en superficies impermeables o poco permeables, tales como techos de viviendas y establos, patios de tierra batida, superficies rocosas, hormigón, mampostería o plástico. La captación de agua de techos es la que permite obtener el agua de mejor calidad para consumo doméstico.

Captación de aguas subterráneas y freáticas: En muchas regiones con déficit hídrico hay posibilidades de aprovechamiento de aguas subterráneas y freáticas para diferentes finalidades, dependiendo de la calidad, disponibilidad y modalidad de extracción.

Captación de agua atmosférica: En algunas condiciones de clima y orografía, es factible la captura y aprovechamiento de la humedad atmosférica que se desplaza cerca de la superficie en forma de niebla.

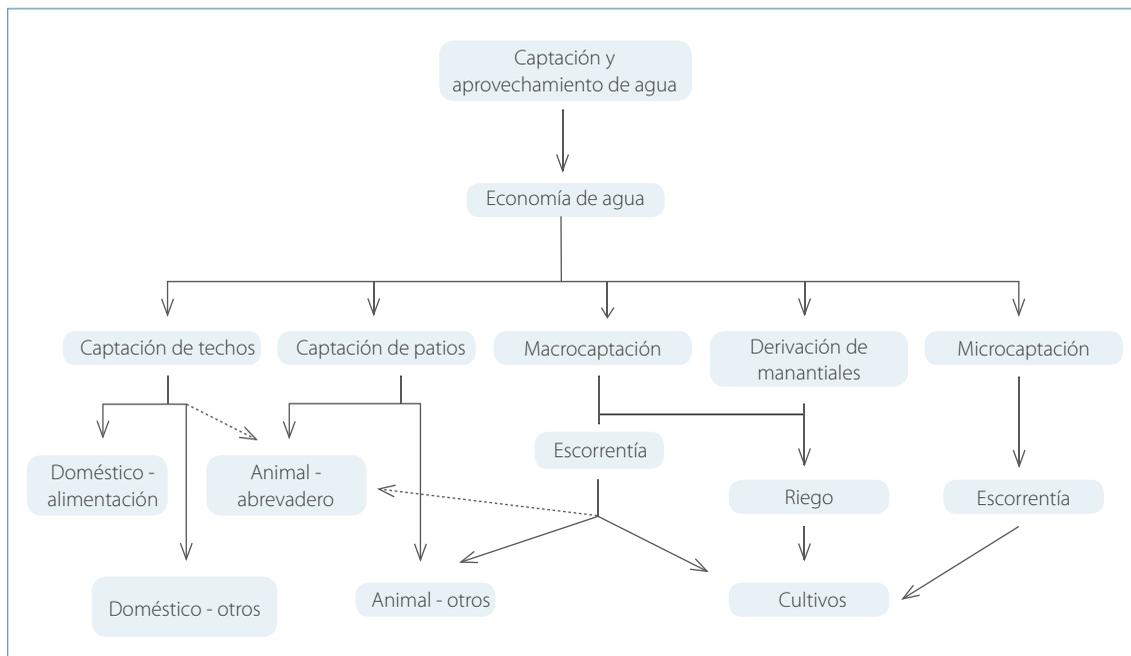
Una etapa importante en la planificación de la captación y aprovechamiento de agua de lluvia es la selección correcta de las modalidades y técnicas necesarias para hacer frente al déficit hídrico recurrente en cada región o localidad, en función de las condiciones ambientales y socioeconómicas presentes y de los objetivos establecidos.

Aunque puede haber situaciones locales específicas, al parecer hay consenso en la literatura revisada acerca de los aspectos que deben incluir los criterios para la selección de las técnicas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Ellos son los siguientes:

Criterio	Cuestión a responder
Cantidad y calidad del agua disponible.	¿Con qué volumen de agua y calidad se puede contar?
Prioridades de los usuarios.	¿Cuáles son las prioridades de uso del agua establecidas por los usuarios, considerando su disponibilidad (cantidad y calidad)?
Conocimiento y experiencias locales.	¿Cuáles son los conocimientos y las experiencias (buenas y malas) con que cuenta la comunidad?
Eficiencia.	¿Cuál es la eficiencia en el uso de los recursos actuales? ¿Se puede mejorar?
Exploración de todas las posibilidades.	¿Cuáles son las opciones de captación para la finalidad de uso establecida, compatibilizando volumen, calidad, costos y disponibilidad económica de los interesados?
Capacidades y habilidades.	De las opciones disponibles, ¿cuáles son aquellas que los usuarios perciben como más factibles de manejar y mantener (considerando las capacidades existentes, la factibilidad de implementarlas y los costos, entre otros aspectos)?

En la Figura 10-I se propone un diagrama orientador para la selección de modalidades de captación, según la finalidad de utilización.

FIGURA 10-I: Modalidades de captación de agua según la finalidad de uso (Adaptado de Critchley y Siegert, 1996; Silva et al, 2007; Gnadlinger, 2011).



Esta propuesta toma en cuenta las relaciones entre las características y calidad del agua que puede ser captada mediante las diferentes modalidades y la escala de prioridades para su uso.

A continuación, en el Cuadro 10-I, se sugieren los sistemas de captación más adecuados, según la finalidad de uso descrita, pudiéndose evaluar localmente, en situaciones específicas, las posibilidades de otras formas de captación, como la captación de niebla, la perforación de pozos tubulares, etc.

CUADRO 10-I: Sugerencias para la selección del sistema de captación preferencial, según la finalidad de utilización del agua, de acuerdo a un orden de importancia.

Finalidad de uso	Subfinalidad de uso	Sistema de captación preferencial
Consumo doméstico	Bebida, alimentación, higiene personal	Techo de la vivienda u otra construcción Pozo con buena calidad de agua
	Lavado de ropa	Techos Pozo
	Higiene de la vivienda	Techos y patios Otras superficies impermeables
Consumo animal	Abrevadero	Techos y patio Pozo Otras superficies impermeables Escorrentía de caminos y cuencas
	Higiene de instalaciones	Otras superficies impermeables Escorrentía de caminos y cuencas
Producción vegetal	Huertos caseros (frutales y hortalizas)	Técnicas de microcaptación de la escorrentía Técnicas de macrocaptación de la escorrentía Aprovechamiento de la napa freática Techos y otras superficies impermeables Pozo
	Forraje	Técnicas de microcaptación de la escorrentía Técnicas de macrocaptación de la escorrentía Aprovechamiento de la napa freática Techos y otras superficies impermeables Derivación de caudales de manantiales
	Áreas de otros cultivos de subsistencia o comerciales	Técnicas de microcaptación de la escorrentía Técnicas de macrocaptación de la escorrentía Aprovechamiento de la napa freática Derivación de caudales de manantiales

Las sugerencias del Cuadro 10-I son indicativas y no deben ser tomadas como recomendaciones sin tomar en cuenta las condiciones locales.

Las propuestas de la Figura 10-I, complementadas con las sugerencias del Cuadro 10-I, están basadas en la escala de prioridad presentada a continuación, la cual puede ser utilizada para definir las opciones de uso dentro de cada comunidad de beneficiarios:

- » Las necesidades de las familias son prioritarias sobre cualquier otro uso y el agua de mejor calidad debe ser utilizada para este consumo.
- » Las necesidades del uso pecuario tienen prioridad al uso agrícola, dado que las plantas resisten más las condiciones de escasez de agua, especialmente si son cultivos adaptados a ecosistemas secos.
- » Las áreas de producción para consumo doméstico y de animales son prioritarias sobre las áreas de producción de cultivos comerciales, aunque una producción comercial bien orientada y lucrativa puede ayudar a sostener otras necesidades.

- » En la producción agrícola, las técnicas de captación de escorrentía son prioritarias sobre otras, porque, en cualquier circunstancia, la escorrentía debe ser bien manejada, haya déficit o no. Las técnicas de microcaptación prevalecen sobre las de macrocaptación debido a que son menos costosas, fáciles de manejar y deben ser aplicadas siempre que hay déficit hídrico. El agricultor tiene que preocuparse en primer lugar de la captación de agua en el terreno de cultivo, para después preocuparse de la captación de otros terrenos y fuentes. Habiendo necesidad, otras modalidades de cosecha deben ser aplicadas.
- » Las técnicas de aprovechamiento de la napa freática, por medio de humedales, y la derivación de caudales de manantiales y cursos de agua para riego pueden tener un gran significado económico para la familia.
- » Utilización responsable del agua disponible. No tiene sentido que el agricultor y su familia se preocupen de captar agua, cual sea el método o técnica, si no la economizan.

En resumen, el agua de mejor calidad debe ser destinada para el consumo familiar en la alimentación (bebida y preparación de alimentos), tomando las precauciones sanitarias correspondientes. La captación de agua de techo parece ser la más adecuada para este fin. Habiendo disponibilidad de agua, su uso se podría extender a otras finalidades de consumo doméstico y abrevadero de animales. Los patios también suelen producir agua de buena calidad, principalmente cuando se encuentran bien impermeabilizados (plástico, hormigón, mampostería) y se evita el acceso de animales domésticos y/o silvestres. El agua allí producida debería ser utilizada preferentemente en la producción animal (abrevadero y otros).

Las obras de macrocaptación de la escorrentía deben ser utilizadas básicamente para la producción de cultivos y en los animales, secundariamente para abrevadero. Las obras de microcaptación, por sus características, se deben destinar solo para la producción de cultivos, pudiendo complementarse con agua de riego. La derivación de manantiales, por el volumen de agua que tienen, se adapta mejor a los objetivos de microrriego.

Otras formas específicas de captación, tales como pozos freáticos y la captación de niebla, deben ser preferentemente utilizadas para el consumo doméstico.

Algunos otros aspectos complementarios ayudan a seleccionar las mejores oportunidades de captación de agua en la finca para diferentes finalidades. Para la producción agrícola es importante verificar y definir:

- » **Áreas más adecuadas para la captación de escorrentía (CAPT) y para los cultivos (CULT):** Para escoger las áreas más adaptadas para la producción vegetal (cultivos, pastos o bosques) y las áreas mejores para la captación de agua, es conveniente revisar la finca detalladamente, especialmente las variables mostradas en el Cuadro 9-II del capítulo anterior.
- » **¿Hay posibilidad de riego?:** Si hay déficit hídrico y los suelos son adecuados para la producción agrícola, es recomendable verificar si es factible desarrollar proyectos de riego por medio de captación interna o externa a la finca, mediante el aprovechamiento de manantiales, derivaciones de cursos de agua, construcción de obras de almacenamiento (presas y embalses), aprovechamiento de aguas subterráneas o la participación como usuario en grandes proyectos de riego. La captación de agua a través de las modalidades de micro o macrocaptación directa de la lluvia en el suelo presenta limitaciones en términos de suministro permanente, mientras que los caudales de manantiales son más predecibles.

- » **Con posibilidad de riego:** Es conveniente escoger los mejores suelos para ponerlos bajo riego y lograr niveles mayores de productividad sustentable. Los proyectos de riego tienen altos costos de inversión, pero son más seguros para una buena productividad agrícola. En este caso, la captación de agua de la lluvia por medio de la microcaptación y/o macrocaptación directa debe contemplarse en otros terrenos.
- » **Sin posibilidades de riego:** Se debe analizar las posibilidades de microcaptaciones y/o macrocaptaciones, recordando que cuanto mayor sea el déficit, mayor debe ser el área de captación en relación al área de cultivo.
- » **¿Hay posibilidad de uso de agua de la napa freática?:** Los terrenos cuya situación topográfica e hídrica (tierras bajas, depresiones, llanuras, orillas de embalses) posibilite la utilización de la capilaridad ascendente deben ser explotados para la producción agrícola con un manejo apropiado. La utilización de la napa freática por medio de pozos se recomienda de preferencia para el uso doméstico, unos pocos animales de corral y un pequeño huerto casero. No es conveniente plantearse expectativas de largo plazo respecto a la utilización de agua de pozo para áreas de cultivos. Una excepción pueden ser los pozos profundos, de elevada producción de agua, generalmente abiertos con apoyo externo y dotados de bombas para la explotación de las aguas subterráneas.
- » **¿Es factible la captación de niebla?:** Los sistemas de captación de niebla son factibles solo donde éstas se desplazan muy bajas y persisten durante gran parte del año, como en algunas condiciones orográficas de la zona andina.

Las técnicas de captación de agua de lluvia deben tener bajo costo, de acuerdo a la situación económica generalmente modesta de las poblaciones que dependen de ellas. Cuando las técnicas son de más alto costo, las comunidades involucradas suelen necesitar de un nivel de organización mayor para hacer frente a inversiones de más envergadura, además de apoyo financiero externo, para que las técnicas puedan ser ejecutadas y adoptadas.

También se deben tomar en cuenta, en el análisis de costos y factibilidad de inversión, las necesidades para el mantenimiento y operación. Muchos proyectos fallan por considerar solamente la viabilidad de adopción para una determinada obra, sin considerar los recursos que son necesarios para mantenerla funcionando. Por ejemplo, crear incentivos para que las personas adquieran estaciones de bombeo de agua, sin considerar cómo enfrentar las limitaciones que tendrán para pagar reparaciones, combustible o energía eléctrica, puede significar el fracaso de la iniciativa.

Además, hay que tener en cuenta que las técnicas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia no siempre aseguran el completo abastecimiento de agua en la finca, aunque estén bien diseñadas, puesto que hay siempre la posibilidad de que el volumen de lluvia en determinado mes o año sea menor que lo planificado.

Dependiendo de las características climáticas locales, de la geografía del terreno, del tipo de suelo y de los objetivos de consumo, las técnicas pueden variar según el caso o se debe recurrir a un conjunto más grande de técnicas para contrarrestar el déficit hídrico.

En este sentido, es conveniente considerar algunos aspectos que no pueden ser olvidados o ignorados por quienes planifican la captación de agua, aspectos que son aplicables a todas las situaciones, entre ellos los siguientes (adaptado de Critchley y Siegert, 1996; Brito et al, 2007b; Gnadlinger, 2011):

- » En la medida que el déficit hídrico se agudiza (menos lluvia), la disponibilidad de agua determina la selección de alternativas productivas en la finca. No hay que intentar opciones cuyas exigencias sobrepasen la cantidad de agua efectivamente disponible.
- » Hay que tener siempre en cuenta que los niveles de riesgo de la producción agropecuaria y forestal, en condiciones de escasez de agua, tienden a ser mayores. Por lo tanto, es necesario establecer objetivos de producción claros y factibles, para evitar falsas expectativas y fracasos.
- » Igualmente, las necesidades de inversión de recursos productivos (capital, trabajo, tecnología, conocimiento) tienden a ser mayores en zonas deficitarias de agua. Consecuentemente, los retornos económicos podrán no ser los mismos si se comparan situaciones productivas en las que no hay déficit de agua.
- » Normalmente, no se resuelve la deficiencia de agua con una sola técnica, sino con un conjunto de ellas. Es necesario establecer una política de convivencia con las características del ciclo hidrológico local, tomando como base los factores ambientales, económicos, culturales y políticos.
- » No basta con captar más agua, hay que utilizarla de forma responsable, economizando y aumentando la eficiencia del uso del recurso.
- » La eficiencia de las técnicas adoptadas depende de un buen manejo y mantenimiento, para lo cual la familia o la comunidad debe estar capacitada e involucrada, de tal manera de dar continuidad a los procesos después del apoyo recibido de los extensionistas. Por ello, es prudente planificar y realizar las actividades “con” los pobladores y no “para” los pobladores.

Por lo tanto, antes de realizar actividades y construir obras de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, es importante dar los siguientes pasos:

- » **Paso 1:** Conocer y cuantificar el ciclo hidrológico local y estudiar cuáles son las posibilidades o actividades que, si son desarrolladas, permiten mejorar el nivel de convivencia con sus características, principalmente sus fases críticas, aumentando los niveles de productividad y de calidad de vida. Es necesario poseer informaciones técnicas suficientes que puedan apoyar y enriquecer el conocimiento y la experiencia local.
- » **Paso 2:** Verificar el conocimiento y experiencia de los pobladores para establecer las posibilidades de mejoramiento y necesidades de cambios. Muchas alternativas tecnológicas buenas y sencillas en uso no tienen la debida divulgación o consideración técnica y son aplicadas de manera aislada.
- » **Paso 3:** Verificar las necesidades inmediatas y prioritarias de los pobladores para definir las finalidades de uso del agua: consumo doméstico, pecuario, agrícola, individual o colectivo. La adopción de una práctica se determina en respuesta a una necesidad sentida por la gente, considerando la factibilidad (económica o social) para su implementación.

- » **Paso 4:** Establecer participativamente los objetivos y metas, claros y factibles, de corto, mediano y largo plazo, en función de definir las mejores técnicas de captación de agua de lluvia. Evitar las falsas expectativas.

Previo al reconocimiento y estudio más detallados del ciclo hidrológico, es posible predecir, en base a observaciones de campo y la evaluación de algunos datos, si existe déficit de agua para cultivos u otros usos. Algunos indicadores sencillos y prácticos pueden alertar al extensionista sobre las posibilidades de ocurrencia de déficit hídrico (Cuadro 10-II).

CUADRO 10-II: *Indicadores sencillos que pueden alertar al extensionista sobre la amenaza de ocurrencia de déficit hídrico en determinada zona.*

Lluvia anual	Considerando 100 mm de lluvia mensual como satisfactorios para la mayoría de las situaciones, si la lluvia anual está por debajo de 1.200 mm, es posible que haya déficit en períodos determinados (semanas o meses).
Lluvia mensual	Precipitación mensual por debajo de 50-60 mm representa déficit para la mayoría de los cultivos, principalmente si la evapotranspiración es elevada.
Meses secos	En la medida que aumenta el número de meses secos (sequía estacional), aumenta la escasez de agua. Menos de dos meses, el déficit generalmente es agronómico. Más de dos meses, se empiezan a secar los manantiales y el déficit se va generalizando a otros usos.
Suelos salinos	La presencia de suelos con salinidad indica que la evapotranspiración es mayor que la precipitación.
Vegetación	Si la vegetación es pobre, leñosa y con pocas hojas pequeñas, coriáceas y cerosas, la condición climática dominante es la de déficit hídrico.

Es fundamental que los técnicos extensionistas que trabajan en una determinada región cuenten con apoyo técnico-operacional para tener acceso a información sobre el ciclo hidrológico, clima, suelo, demanda hídrica de los cultivos, opciones tecnológicas. Si este apoyo es permanente, en tiempo real y coordinado, tanto mejor.

En la medida que se incrementan las posibilidades de déficit hídrico en una zona, pasando de una circunstancia climática de simple ocurrencia de “veranillos” a condiciones semiáridas o áridas, se hace más evidente la necesidad de aplicación de un conjunto de técnicas, en vez de prácticas aisladas. Es importante remarcar la conveniencia de conocer bien las necesidades y establecer objetivos claros, para que las soluciones propuestas sean efectivas.

En las regiones en que hay estaciones muy lluviosas y otras con muy poca disponibilidad hídrica, las prácticas de micro o macrocaptación que se aplican en la época de sequía deben ser reversibles en la época húmeda. De no ser así, probablemente los cultivos en algunas situaciones sufrirán por exceso de agua.

A partir de estas consideraciones y pasos es posible establecer acciones (plan, proyecto, actividades) con más posibilidades de éxito, con objetivos, estrategias y características de diseño que atiendan mejor las necesidades de la población.

Es esencial que los planes sean participativos en todas sus etapas y que los procedimientos de capacitación e incentivos busquen desarrollar la capacidad de autogestión de la gente, en una perspectiva de sostenibilidad de las acciones. La selección final de una técnica o conjunto de ellas depende de cómo se adaptan a las condiciones del clima, terreno, suelo, cultivos, pastos o árboles, y de su factibilidad económica, aceptación de los agricultores y capacidad que tengan de utilizarla y mantenerla.

En los capítulos siguientes, se presentan las modalidades, estrategias generales y técnicas para contrarrestar el déficit hídrico en diferentes situaciones y con diversas finalidades.

A stylized illustration of a sun with rays, a large white cloud, and blue rain falling from it. Below the rain, there are rolling hills in shades of green and brown, and a dark brown ground area at the bottom. The entire scene is overlaid with a semi-transparent teal filter.

11. DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS PARA AHORRAR AGUA

La economía de agua o su utilización de forma eficiente debe ser un objetivo inherente a cualquiera finalidad de utilización y en cualquier circunstancia de disponibilidad hídrica, inclusive cuando no hay déficit, tomando en cuenta la necesidad de utilización responsable del agua (Véase Capítulo 4). En particular, debe ser una norma para quienes disponen de poca agua (ahorrar para tenerla por más tiempo). Por ello, la evaluación de la situación de uso y la aplicación de técnicas que ayuden a ahorrar el agua deben ser parte de todos los proyectos de desarrollo.

A continuación, se presentan algunas técnicas o medidas generales que pueden mejorar el uso de agua en la finca y hacer que la escasez sea, por lo menos, menos severa.

TÉCNICA 11-01: Racionalización y ahorro en el uso doméstico

No se trata de una técnica específica, sino de un objetivo a ser alcanzado por medio de un conjunto de acciones rutinarias en las labores del hogar. Algunas medidas simples de ahorro pueden tener gran significado para la economía del agua, sin que esto represente reducción de la calidad de vida para los habitantes. Se mencionan las siguientes:

Mantener grifos, cañería y estructuras de almacenamiento sin pérdidas: Es una medida simple que puede significar mucho; un grifo o tubería que pierde 30 gotas de agua por minuto, representa aproximadamente 0,45 litros por hora o cerca de 10 litros por día, lo que puede servir para abreviar de 60 a 70 gallinas.

Mantener cubiertas las estructuras de almacenamiento: En condiciones de climas semiáridos y áridos, la evaporación puede consumir buena parte del agua almacenada, si las estructuras de almacenamiento son mantenidas abiertas y expuestas al sol. Mantener las estructuras cubiertas permite ahorrar agua y, además, mayor higiene y reducir la posibilidad de enfermedades y el riesgo de accidentes.

Utilizar en la vivienda pisos impermeables de fácil limpieza: Al utilizar un piso con estas características (cemento liso, por ejemplo), se facilita el aseo, el que se puede realizar con un paño húmedo.

Economía en el baño: La utilización de una ducha artesanal con flujo bajo economiza agua en relación al baño de chorro o con un tiesto. Cerrar el grifo mientras se enjabona es una medida esencial. En situaciones muy drásticas de déficit, el baño de esponja o paño mojado puede ser la opción más adecuada.

Economía en la descarga del inodoro: La utilización de inodoros con sistema de descarga de volumen fijo (caja de descarga) es preferible en relación al sistema de válvula en que el volumen de agua descargado depende del tiempo en que cada usuario presiona el botón. La opción de la letrina seca externa a la vivienda, para utilización durante el día, puede representar una óptima alternativa para reducir el consumo de agua en este ítem.

Lavado de ropa: La utilización de recipientes de volumen adecuado, dejando la ropa el debido tiempo en contacto con jabones o detergentes, facilita la limpieza y evita el uso inútil de más agua. El enjuague con grifo abierto y pieza por pieza debe ser evitado.

Preparación y consumo de alimentos: Preferir los alimentos que pueden ser consumidos crudos (vegetales) y las formas de preparación que no utilizan agua (asados) a aquellas que utilizan mucha agua (cocidos, zancochos, sopas), por lo menos en el periodo de mayor escasez.

Utilizar estas y otras prácticas de ahorro de manera rutinaria, puede reducir de un 10% a un 40% el volumen de agua diario en el consumo doméstico, dependiendo del patrón de uso anterior. En una cisterna o estanque de 20.000 litros, equivale a un ahorro de 2.000 a 8.000 litros.

TÉCNICA 11-02: Selección de especies de cultivos menos exigentes o más tolerantes a la sequía

En todas las regiones con déficit hídrico, hay especies que presentan mayor eficiencia en el uso del agua, sean introducidas o nativas. Si se cultivan dichas plantas, hay un menor consumo y se reduce la necesidad de captación de agua.

Sin embargo, en determinadas zonas, no siempre hay opciones de especies vegetales o cultivares capaces de hacer frente al déficit hídrico recurrente, principalmente cuando se trata de recomendarlas como cultivos comerciales, los cuales deben ser económicamente viables. A pesar de los esfuerzos de diferentes instituciones de investigación para lograr plantas más tolerantes al déficit hídrico, los avances en esta materia aún son limitados.

La buena capacidad que algunas especies presentan frente a la escasez de agua en el suelo es una condición inherente a sus características genéticas naturales, desarrolladas a lo largo de su adaptación al ecosistema en que se encuentran. Sin embargo, estas plantas nativas y perfectamente adaptadas, con capacidad de producir partes comestibles aprovechables por las personas y animales (raíces, tubérculos, tallos, hojas, semillas, frutos o flores), no siempre reciben la debida atención de parte de los centros de investigación, presentando tecnología de producción en desarrollo, lo que compromete su difusión como alternativa de producción a escala comercial.

Una especie vegetal, autóctona o introducida, para presentarse como una opción técnica a ser difundida y adoptada a escala económica, necesita cumplir, por lo menos, con los siguientes requisitos:

- » Tener material genético productivo, estable y uniforme. Una cosa es producir como planta nativa espontánea; otra situación es producir como planta cultivada, para consumo y/o comercialización de sus productos, donde se requiere de factores como calidad, uniformidad y productividad.
- » Métodos de propagación. Deben estar bien definidos, ser eficientes y sencillos, para viabilizar su producción comercial.
- » Exigencias nutricionales, plagas y enfermedades suficientemente conocidas. El cultivo producido a escala comercial presenta una relación diferenciada con el ambiente (agroecosistema) en comparación con la presencia de la planta en el ambiente natural (ecosistema). Lo anterior tiene implicancias relacionadas con la extracción de nutrientes del suelo y el comportamiento de los organismos (plagas y patógenos) con el hospedero (la planta).
- » Tecnologías de producción y utilización definidas. Los procesos de producción (época de siembra, población, espaciamiento, control de malezas, punto de cosecha, etc.) y de poscosecha (almacenamiento, aprovechamiento y transformación) deben estar claramente definidos.

Por lo tanto, plantas tolerantes a la sequía o menos exigentes en agua, adaptadas a ecosistemas locales, no siempre están disponibles para que los agricultores las cultiven comercialmente en sus fincas. Aun cuando las haya, puede ser que aspectos ligados a falta de tradición, dificultades de mercado o de organización, dificulten su cultivo en una zona.

Sin embargo, entre las especies que se cultivan en una zona de manera tradicional, se encuentran aquellas que toleran mejor el déficit hídrico y que presentan menor riesgo para el agricultor.

A veces, dentro de una misma especie hay cultivares con mejor comportamiento en relación a la escasez de agua. En parcelas demostrativas del Proyecto CENTA-FAO-Holanda "Agricultura Sostenible en Zonas de Laderas", en la zona oriental de El Salvador, se observó el comportamiento de dos cultivares de maíz (uno introducido y el otro criollo) sembrados en situación de suelo de ladera, poco profundo. Ambos soportaron 32 días sin lluvia (déficit aproximado de 135 mm), en la fase de desarrollo vegetativo y prefloración. A pesar de que el déficit hídrico afectó los rendimientos de ambos cultivares, el comportamiento del material introducido fue mejor. El agricultor cosechó el doble de granos de maíz en la parcela del cultivar introducido, lo que contradice la idea frecuente de que los materiales criollos son siempre los más adaptados.

En el Cuadro 11-I, se presenta un listado de cultivos que, por lo general, se adaptan mejor que el maíz y el frijol común en zonas con déficit hídrico frecuente. Localmente, puede haber más alternativas. En estos casos, se requiere coordinar e iniciar acciones de selección y organización del cultivo en pequeña escala para luego pasar a áreas más amplias. Generalmente, estas acciones requieren el apoyo de instituciones de investigación.

Si el agricultor continúa sembrando maíz y frijol común, es conveniente ayudarlo a buscar alternativas de cultivares más tolerantes al déficit hídrico, lo que puede ser realizado localmente con parcelas de observación, en las que se comparen diferentes materiales bajo las mismas condiciones climáticas.

CUADRO 11-I: Ejemplos de cultivos que presentan tolerancia relativa al déficit hídrico y menores riesgos a la seguridad alimentaria en zonas de escasez de agua.

Nombre común	Nombre científico	Observaciones
Frijol caupí, arveja o guisante de vaca	<i>Vigna unguiculata</i> y otras especies del mismo género.	Planta de ciclo corto cultivada en diferentes países de la región, donde hay déficit hídrico frecuente. Hay materiales genéticos mejorados. Granos para alimentación humana; hojas y ramas para alimentación de rumiantes.
Frijol gandul, frijol de palo	<i>Cajanus cajan</i> L.	Planta anual o perenne, arbustiva, con producción permanente de legumbres comestibles por humanos. Sus ramas y granos son excelentes para alimentar cabras. Hay materiales genéticos mejorados para fines forrajeros.
Henequén, sisal	<i>Agave fourcroydes</i> (Lem)	Planta perenne, cultivada en diferentes zonas con deficiencia hídrica de México, Centroamérica y Caribe. Sus fibras presentan diferentes utilidades en la industria de embalajes y artesanías.
Jocote	<i>Spondias purpurea</i> , (L.), <i>S. mombin</i> (L.), <i>S. cirouella</i> (Tussac)	Requiere agua en fase del año para su crecimiento vegetativo, pero está bien adaptado a la zona pacífica seca de Centroamérica.

Marañón	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Frutal arbóreo de alta relevancia en la alimentación en algunas regiones secas de América Latina. Es importante en el rubro de exportación del Nordeste brasileño.
Palma forrajera (nopal)	<i>Opuntia</i> spp.	Cactácea forrajera perenne cultivada en el semiárido brasileño y en México. Posee cultivares mejorados en ambos países.
Papa dulce, camote	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	Cultivo anual, rico en carbohidratos, utilizado en la alimentación humana y animal.
Pasto bu el	<i>Cenchrus ciliaris</i> L.	Pasto perenne introducido en la región semiárida del Nordeste brasileño, con buenos resultados de producción de forraje y tolerancia a la sequía.
Pitahaya	<i>Hilocereus</i> spp.	Cactácea nativa en varios países de la región, con materiales mejorados y producción comercial.
Sésamo, ajonjolí	<i>Sesamum indicum</i> L.	Planta anual cultivada en diferentes países de la región, especialmente en Bolivia y Paraguay. Los granos son utilizados en la alimentación humana para preparar dietas especiales, por sus calidades nutricionales.
Yuca	<i>Manihot esculenta</i> (Crantz)	Cultivo anual o bianual, rico en carbohidratos, utilizado en la alimentación humana y animal.

A pesar de las dificultades que se presentan en la aplicación de esta práctica, por los aspectos ya enunciados, un buen proyecto de extensión para una zona deficitaria en agua debe proponer alternativas para el cultivo de especies y cultivares tolerantes al déficit hídrico. Es necesario realizar gestiones a diferentes niveles (concientización, capacitación, entrenamiento, apertura de mercados y canales de comercialización, organización de productores) para que los cambios necesarios puedan ocurrir. Además, se debe contemplar la participación de investigadores para trabajar en el mejoramiento y adaptación de los materiales.

El maíz y el frijol común, aunque son cultivos poco tolerantes al déficit hídrico, principalmente en sus fases reproductivas, se seguirán sembrando en áreas con poca lluvia por razones culturales. En estos casos, el extensionista debe insistir para que, por lo menos, los agricultores diversifiquen su sistema de producción con cultivos más tolerantes, con el objeto de reducir los riesgos y mejorar su seguridad alimentaria y económica.

TÉCNICA 11-03: Población correcta de plantas

En capítulos anteriores, se señaló que la suma del volumen de agua transpirada por las plantas más el volumen que evapora directamente de la superficie del suelo o de la superficie vegetal, se denomina evapotranspiración del cultivo (ETc). También se mencionó que el coeficiente de cultivo, Kc (coeficiente entre la evapotranspiración de cultivo, ETc, y la evapotranspiración de referencia, ET_o), es mayor cuando las plantas se encuentran en fase de máximo desarrollo vegetativo, lo que indica que la biomasa vegetal está utilizando más agua.

Por lo tanto, la evapotranspiración se incrementa con el aumento del área foliar, a través de la cual el agua es transpirada por los estomas. El área foliar, en cualquier cultivo, aumenta con la población de plantas, hasta un límite en el que empieza a producirse una competencia entre plantas por espacio y luminosidad.

Aunque la transpiración represente agua productiva, no sirve que haya una población de plantas necesitando agua sin suficiente suministro, lo que implica que, bajo la condición de escasez de agua, la población de plantas generalmente debe ser más baja que aquella ideal para condiciones sin déficit. Al bajar la población de plantas, se deben tomar en cuenta otros aspectos para que no haya perjuicios al agricultor y los efectos benéficos puedan definirse. Entre tales aspectos, se mencionan los siguientes:

- » Más superficie de suelo quedará descubierta. Hay que aprovechar esta superficie como área de captación de escorrentía (microcaptación) o mantenerla cubierta con residuos para que no aumente la evaporación del agua del suelo.
- » Como característica deseable, el cultivo deberá presentar capacidad de compensación de población. Hay especies o cultivares que, al disponer de espacio para desarrollarse, emiten más ramas laterales y órganos reproductivos que si estuvieran en condición de mayor población. Por ejemplo, algunas leguminosas (*Fabaceae*) como el frijol común, el frijol caupí, el frijol gandul y la soya, entre otras, presentan buena capacidad de compensación y ramifican lateralmente en bajas poblaciones. El trigo, la avena y el centeno pueden macollar más si están en poblaciones más bajas. Al contrario, las plantas de maíz presentan baja capacidad de compensación, a no ser por la emisión de un número mayor de mazorcas, si se trata de un cultivar prolífico, o producir mazorcas más grandes, en poblaciones más bajas.
- » El suelo no debe presentar limitaciones al desarrollo del sistema radicular (capas compactadas, toxicidad de elementos, rocas, etc.), puesto que la reducción de la población de plantas ayudará a las raíces a explorar un volumen de suelo más grande, sin competencia, pero si hay otras limitaciones a su crecimiento, puede que no se obtenga el resultado esperado.
- » Cuando se baja la población del cultivo principal (maíz, gandul, por ejemplo), se puede recomendar un cultivo intercalado con "efecto sombrero" sobre el terreno: cultivos como el ayote, calabaza y otros, que se pueden sembrar a distancias mayores, extraen agua de un volumen de suelo localizado alrededor del hoyo de siembra, pero cubren el terreno con vegetación protectora.

TÉCNICA 11-04: Cobertura de rastrojos

La biomasa vegetal muerta sobre la superficie (rastrojo o mantillo) ejerce una fuerte influencia sobre el agua aprovechable del suelo, debido a diferentes motivos:

- » Aumenta la infiltración de agua porque disipa la energía del impacto de las gotas de lluvia, evitando la dispersión de los agregados y el sellado de la superficie. Como resultado, reduce el volumen de escorrentía superficial.
- » Aumenta la rugosidad de la superficie del terreno y, por lo tanto, disminuye la velocidad inicial de la escorrentía.
- » Reduce la evaporación de agua del suelo, debido a que la superficie recibe menos energía solar y viento y la temperatura del perfil permanece más estable, principalmente si la cobertura está en niveles por arriba del 80%.
- » Es una fuente de materia orgánica para la biota del suelo, con incrementos en la calidad del perfil cultural, principalmente en los aspectos físicos, tales como densidad, porosidad, friabilidad, infiltración y retención de agua.

Los resultados de investigaciones de diferentes instituciones demuestran que con un 80% o más de cobertura de rastrojos es posible mantener un volumen de agua disponible en el suelo de hasta un 20% mayor, comparado con el suelo desnudo. Sin embargo, las posibilidades de utilizar esta práctica se reducen con el aumento del déficit hídrico. Cuanto más severo es el déficit hídrico, más difícil es tener producción vegetal para cubrir todo el terreno antes de la época de siembra de los cultivos. También hay más hambruna animal y la consecuente competencia por los residuos y mayor riesgo de fuego, entre otros factores.

La cobertura puede provenir de los restos del propio cultivo anterior, así como de plantas cultivadas para tal finalidad, en rotación o asociación con el cultivo principal. La cobertura también puede ser producida en un área aledaña y colocada en el cultivo. En cada región o sistema de producción puede haber soluciones locales propias para disponer de cobertura.

FIGURA 11-1: Consumo de rastrojos de maíz por ganado en la época seca y cultivo de yuca con mantillo protector de rastrojos.



Fotos: Eduardo Rodríguez y Fernando Chanduvi.

Aunque las posibilidades del uso de rastrojos van reduciéndose en la medida que aumenta el déficit hídrico estructural de una zona, es una práctica deseable para la economía de agua en condiciones climáticas en que existe por lo menos una estación lluviosa que permite un crecimiento vegetal más intenso.

TÉCNICA 11-05: Selección del método y control eficiente del riego

En condiciones de escasez de agua, el riego, sea artesanal o tecnificado, en pequeña o gran escala, constituye siempre una alternativa técnica deseable. Sin embargo, suele ser una fuente significativa de pérdida de agua.

El agricultor que no maneja bien la tecnología enfrenta varios problemas para lograr eficiencia en el uso del agua para riego. Son muchos los factores que contribuyen a que se produzcan pérdidas. A continuación, se mencionan los más comunes (Vieira, 2008):

- » Falta de control del estado de humedad del suelo, lo que generalmente conduce a excesos de irrigación y escorrentía, lixiviación de nutrientes, deficiencia de aireación, aumento de enfermedades en los cultivos y consumo de energía. Los agricultores que riegan sin control suelen decir que “es mejor que sobre agua a que falte”. Las pérdidas limitan el uso del agua para otras actividades u otros usuarios.
- » Falta de preocupación relacionada con otros factores que limitan la productividad de las plantas. El riego posibilita obtener mayor productividad, pero muchos agricultores descuidan factores como la fertilización y el control de enfermedades, plagas y malezas, lo cual limita la producción y determina que el agua utilizada no muestre la eficiencia que podría presentar.
- » Adopción de métodos de riego poco eficientes en el uso de agua, sea por desconocimiento o falta de recursos financieros para adoptar sistemas con inversión inicial más elevada.
- » Desgaste o falta de mantenimiento de equipos (tuberías perforadas; conexiones, válvulas y tapones en mal estado; goteros y aspersores obturados, etc.), lo que causa grandes pérdidas de agua y determina poca eficiencia.
- » Pérdidas por conducción y distribución. Estas pérdidas son significativas cuando los canales no son revestidos y atraviesan suelos muy permeables.
- » Pérdidas por percolación profunda, cuando los sistemas de riego no son diseñados apropiadamente.

En la Figura 11-II, se pueden observar diferentes situaciones de eficiencia en el uso de agua en sistemas de riego, artesanales o no.

De manera general, el sistema de riego por goteo es más eficiente en el uso de agua. Lo siguen, en este orden, la microaspersión, la aspersión, la inundación por surcos y la inundación general de la superficie. Obviamente, esta escala sufre variaciones según las necesidades y características de cada cultivo. Para ciertos cultivos, la irrigación localizada (goteo, microaspersión) es más adecuada y eficiente. Para otros cultivos, la irrigación por aspersión o por inundación puede ser más idónea, aunque menos eficientes en el uso de agua (por ejemplo, pastos y arroz, respectivamente).

FIGURA 11-II: *Sistemas de riego comúnmente utilizados por agricultores latinoamericanos.*

Sistemas poco eficientes (surcos y aspersión).



Sistemas más eficientes (goteo a cielo abierto, goteo bajo lámina de plástico y goteo en invernadero).



Fotos: Marcos J. Vieira, José Cristóbal Escobar Betancourt y Nelson González.

TÉCNICA 11-06: Selección de especies animales menos exigentes en agua

En periodos con déficit hídrico, los animales compiten con las personas por el agua y los alimentos.

Como la escasez de agua en un determinado ambiente también conlleva a la baja disponibilidad de biomasa vegetal o a dificultades para su producción, no basta que los animales consuman poca agua, sino también que consuman cantidades menores de biomasa (forrajes, granos) y, principalmente, que los alimentos consumidos por ellos no sean los mismos consumidos por las personas (granos de maíz, por ejemplo), para que no haya competencia.

Por lo tanto, es conveniente seleccionar especies de animales que soportan mejor los períodos de mayor escasez de agua y alimentos, sin perder demasiado las condiciones productivas y reproductivas y/o que consumen una variedad más amplia de fuentes de alimentos.

En el Cuadro 11-II, se presenta un orden de preferencia para especies animales, según la severidad de la escasez de agua.

CUADRO 11-II: *Especies animales preferentes para crianza en pequeñas fincas en función de las características del déficit hídrico, sus consecuencias e implicancias.*

Características del déficit hídrico	Consecuencias e implicancias del déficit	Características de las especies preferentes
Severo durante casi todo el año (semiárida a árida).	<ul style="list-style-type: none"> » Biomasa vegetal muy escasa. » Competencia muy elevada entre las personas y animales por alimentos y agua. 	<ul style="list-style-type: none"> » Consumo mínimo de agua. » Consumo de biomasa vegetal no competitiva con las personas. » Ej.: Cuyes, camélidos, cabras (pocos animales).
Severo en gran parte del año (semiárida).	<ul style="list-style-type: none"> » Biomasa vegetal escasa. » Competencia elevada entre personas y animales por alimentos y agua. 	<ul style="list-style-type: none"> » Consumo bajo de agua. » Consumo de biomasa vegetal no competitiva con personas. » Ej.: Cabras, ovinos adaptados, cuyes, camélidos, asnos y mulos (de estos dos últimos, el mínimo para el trabajo).
Severo en parte del año y con veranillos en la estación lluviosa (semiárida a subhúmeda).	<ul style="list-style-type: none"> » Biomasa vegetal abundante en una estación y escasa en otra. » Competencia entre personas y animales es menos severa. » Hay que reservar forraje de una estación a otra. 	<ul style="list-style-type: none"> » Consumo bajo de agua. » Consumo de reserva de alimentos para la estación seca. » Cabras, ovinos adaptados, vacunos, asnos y mulos solo para trabajo. » Aves con alimentación alternativa. » Cerdos deben ser evitados.
Déficit poco severo, normalmente estacional (subhúmeda o húmeda).	<ul style="list-style-type: none"> » Biomasa vegetal abundante en una estación y escasa en otra. » Competencia entre personas y animales poco severa. » Hay que reservar alimento de una estación a otra. 	<ul style="list-style-type: none"> » Consumo de reserva de alimento para la estación seca. » Vacunos, cabras, ovinos adaptados, asnos y mulos para trabajo, aves y cerdos con alimentos alternativos a los granos.
Déficit solo en veranillos (húmeda).	<ul style="list-style-type: none"> » Biomasa vegetal abundante (si no hay otras limitaciones). » Competencia irrelevante entre personas y animales. 	<ul style="list-style-type: none"> » Consumidores de forraje u otros tipos de alimentos. » No hay limitaciones para cualquiera especie, el aspecto económico prevalece en la selección.

Entre las especies que presentan restricciones están los bovinos, por su consumo elevado de agua y forraje y baja capacidad de soportar la escasez hídrica, si se comparan con cabras y ovinos de razas adaptadas (Figura 11-III).

FIGURA 11-III: *Los caprinos están más adaptados a regiones con escasez de agua y alimentos que los bovinos.*



Fotos: Marcos J. Vieira y Nelson González.

Las aves de corral, aunque consumen poca agua, compiten con la familia en el consumo de maíz u otros granos. Es aconsejable que para la crianza de aves de corral se busquen otras fuentes de alimentación. Entre las aves, los pavos deberían ser evitados, por su mayor consumo de agua.

Los cerdos también deberían ser evitados en condiciones de escasez recurrente, debido a que consumen granos, como el maíz, y más agua que las aves, para beber y para su bienestar térmico.

Los equinos, por su elevado consumo de forraje y agua, deben ser evitados en cualquier situación de escasez de alimentos o agua, a excepción de cuando ejercen funciones de trabajo no sustituibles, como la tracción y el transporte.

Cualquier especie animal mal alimentada y libre puede convertirse en un problema para el agricultor y sus vecinos, debido a que consume sin control y destruye la vegetación nativa y las áreas cultivadas, además de que contamina las fuentes de agua. Por esta razón, para alcanzar los objetivos de manejo sustentable del agua en una localidad o cuenca hidrográfica, es indispensable que los animales de cría sean controlados en establos, corral, potreros u otras estructuras de manejo. Inclusive, en aquellas regiones donde se practica el pastoreo nómada, es importante que haya un control acerca de dónde y qué se está consumiendo. En cualquier situación es necesario evitar el sobrepastoreo, una de las causas más importantes de desequilibrio del ciclo hidrológico en una zona, ya que destruye la vegetación protectora y aumenta la escorrentía superficial. La desventaja de los sistemas de manejo animal no extensivos es el aumento de las inversiones en alimentos, instalaciones y mano de obra (Figura 11-IV).

FIGURA 11-IV: Dos situaciones distintas en el manejo animal: izquierda, caprinos sueltos con intenso sobrepastoreo de la vegetación nativa en el nordeste brasileño; derecha, caprinos estabulados en la finca demostrativa del IRPAA (Juazeiro, Brasil).



Fotos: Marcos J. Vieira.

La selección de especies animales de cría no es una tarea sencilla para agricultores y extensionistas. Ella depende de muchos aspectos, además de los niveles de consumo y producción: depende de la cultura local y de las tradiciones de consumo; también depende de si la especie es capaz de ejercer algunas funciones, como transporte y tracción y, por último, si existe mercado para sus productos.

Por esto, la introducción de especies nuevas en una finca o región constituye una tarea compleja, de mediano y largo plazo, que requiere de asistencia técnica continua por varios años.

TÉCNICA 11-07: Descarte de animales superfluos

En muchas regiones, aunque con déficit hídrico acentuado, es común ver animales superfluos que forman parte de los hatos de cría; por ejemplo, exceso de reproductores (toros, macho cabrío, gallos, pavos, etc.), machos o hembras jóvenes no descartados; hembras que ya no producen o procrean, etc. Al respecto, se requiere concientización y capacitación sobre cómo mantener el hato equilibrado y más eficiente.

Desde el punto de vista zootécnico, mantener el equilibrio numérico del hato por condición productiva y reproductiva de sus individuos es una medida esencial para la eficiencia económica de la producción animal. Independientemente de la especie animal del hato, es importante mantener una óptima relación machos/hembras, número de hembras en producción, número de hembras de reposición, número de animales o volumen de producto para consumo o venta, número de animales de descarte, entre otros aspectos.

En las regiones con déficit hídrico, este factor (meramente técnico-económico en otras regiones) constituye un aspecto clave en el manejo del hato, como mecanismo para economizar agua. Los animales poco productivos o innecesarios consumen alimento y agua, contribuyen a aumentar la hambruna y el déficit hídrico, sin que representen un beneficio.

En este sentido, una vez seleccionada la especie o las especies más adaptadas a cada situación, el extensionista debe apoyar al agricultor para conformar el hato de la manera más equilibrada posible. Como este documento no es un manual de zootecnia, no se harán recomendaciones en este sentido, pero el técnico puede buscar información en la vastísima literatura, según la especie animal seleccionada. No obstante, a continuación se plantean algunos temas generales que pueden orientar la búsqueda:

- » ¿Cuántos animales pueden ser manejados en la finca, con eficiencia productiva y con suficiente alimento y agua?
- » ¿Cuál es la finalidad principal de la producción: autoconsumo, venta o ambos?
- » ¿Cuál es el nivel de producción planteado o necesario (leche, carne, huevos) para atender las expectativas de la familia, tanto para autoconsumo como para el mercado?
- » ¿Cuál es la relación ideal entre machos y hembras en la especie seleccionada para crianza?
- » ¿Cuántas hembras hay que mantener en producción para alcanzar la rentabilidad esperada?
- » ¿Es posible mantener producción todo el año o solo por estaciones (número de hembras, estación de reproducción, alimentación suplementaria, etc.)?
- » ¿Cuáles son las mejores condiciones para efectuar la venta de animales (época, edad, sexo, estado sanitario, etc.)?
- » ¿Cuáles son las mejores condiciones para efectuar descartes de animales inservibles o poco productivos (época, edad, estado sanitario, etc.)?

Cuanto más pequeña es la finca y cuanto mayor la escasez de agua, tanto menor debe ser el hato. Por ello, en la selección de la especie, el extensionista debe considerar el número de animales que es posible manejar. En los capítulos anteriores, se observó que un vacuno adulto consume en promedio entre 5 y 7 veces más agua que un caprino. Por lo tanto, donde se estima que pueden ser manejadas 5 cabezas de vacunos, se podrían manejar alrededor de 30 caprinos, con mucho más alternativas para buscar la eficiencia zootécnica del hato y atender las necesidades de la familia. Además, en un hato más numeroso, el riesgo se distribuye mejor. La muerte de un animal en un hato de 5 cabezas significa el 20%, mientras que en un hato de 30 animales la pérdida de un animal significa solo el 3,3%.

TÉCNICA 11-08: Mantenimiento de las estructuras de almacenamiento y conducción

Las estructuras u obras construidas para el almacenamiento de agua de lluvia (barriles, cajas, cisternas, estanques, embalses, canales, etc.), así como las estructuras de conducción (tuberías, conexiones, surcos, zanjas y cauces, etc.) suelen ser una fuente permanente de pérdidas de agua. Actividades tales como impermeabilización, cobertura protectora, sombreado, mantenimiento, son algunos de los aspectos importantes a considerar en este tema, para que el agua captada no se pierda por infiltración, evaporación o escapes fortuitos.

TÉCNICA 11-09: No contaminación del agua para posibilitar su reutilización o utilización múltiple

En cualquier condición climática, aunque haya abundancia de agua, esta debe ser utilizada con responsabilidad, para que el mismo usuario u otros usuarios aguas abajo también puedan disponer de agua de buena calidad y en cantidad suficiente. En situaciones de escasez, la responsabilidad aumenta, puesto que, sin grandes volúmenes, la calidad y posibilidades de reutilización pueden quedar comprometidas debido a la elevada concentración que alcanzan los agentes contaminantes.

Las posibilidades de contaminación del agua más comunes en las zonas rurales son las siguientes:

- » Sedimentos arrastrados por la escorrentía superficial.
- » Desechos animales, por el acceso directo de los animales a los manantiales o disposición de los residuos de la crianza animal en los cursos de agua.
- » Pesticidas, fertilizantes y otros insumos de la agricultura llevados por la escorrentía o por el agua de riego aguas abajo.
- » Jabones, detergentes y otros contaminantes, debido al uso directo de las fuentes en actividades domésticas (lavado de ropa, útiles, baño), sin el uso de estructuras externas dotadas de resumidero.
- » Basura, principalmente desechos plásticos.

Si las acciones de captación y aprovechamiento de agua de lluvia no van acompañadas de medidas de utilización responsable del agua, difícilmente podrá lograrse un buen resultado con cualquier alternativa técnica que se utilice para aumentar su disponibilidad. Las personas que no usan responsablemente un recurso que está en déficit posiblemente tenderán a desperdiciarlo en situación de mayor disponibilidad.



12. TÉCNICAS DE MICROCAPTACIÓN

Las técnicas de microcaptación se utilizan para captar agua de lluvia para la producción de cultivos. Consisten en la cosecha de la escorrentía dentro del área de cultivo, a poca distancia entre el punto de inicio del escurrimiento y su infiltración. Silva et al, (2000) describe la microcaptación (captación *in situ*) como la modificación de la superficie del terreno con el objetivo de que la escorrentía se desplace hacia el cultivo.

En esta modalidad de captación de agua, el área de cultivo es dividida en partes, una con plantas (CULT) y otra adyacente sin plantas (CAPT). La escorrentía producida en "CAPT" se desplaza hacia "CULT", donde se infiltra y es aprovechada por las raíces de las plantas.

En este capítulo, por razones didácticas, se hace una descripción individual de cada una de las técnicas. Esto no significa que en una determinada área trabajada no puedan utilizarse simultáneamente más de una. De hecho, las técnicas suelen combinarse en forma sinérgica para la obtención de una mayor eficiencia, inclusive con técnicas de captación externa y riego. Igualmente, se debe considerar la aplicación de otras prácticas para el manejo y conservación de suelos y agua, tales como: cobertura del terreno; mantenimiento de la calidad física, química y biológica del suelo; y prácticas para controlar la escorrentía y economizar agua, entre otras.

El costo de cada técnica es una variable muy importante para tomar decisiones. En este capítulo no se calculan los costos, debido a la gran diversidad de monedas, cambio, inflación, horas de jornales, costumbres y legislación laboral de los diferentes países. En cambio, se presentan los elementos que forman los costos y que, combinados con los parámetros presentados en el Anexo I, permiten al extensionista, de cualquier lugar o país, adaptar y estimar los costos locales, según sus necesidades.

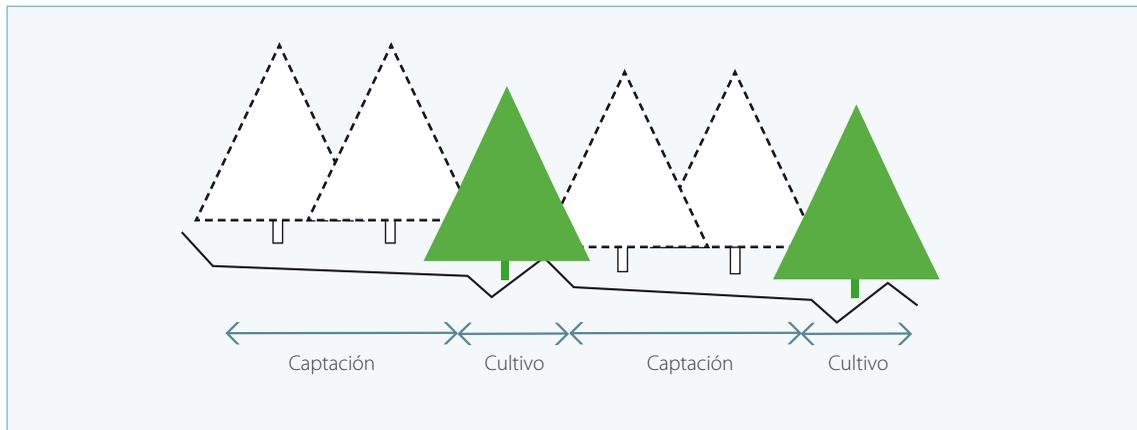
A continuación se describen las técnicas más comunes de microcaptación y con mayores posibilidades de utilización:

TÉCNICA 12-01: Microcaptación entre hileras o fajas de cultivos

Descripción

La microcaptación entre hileras o fajas de cultivos es la forma más simple de microcaptación. Descrita por Anaya (2000), esta técnica consiste en separar las hileras del cultivo, de acuerdo a la relación obtenida CAPT:CULT (área de captación: área de cultivo). Para cada hilera de cultivo sembrada a contorno, se mantiene una franja de captación aguas arriba, tal como se presenta en la Figura 12-I. Es conveniente que el ancho de la franja de captación sea un múltiplo del área de cultivo, lo que facilita la siembra mecánica.

En el lugar de la hilera, con la pasada de un arado de vertedera u otro implemento (azadón, escarda, si fuera a mano), se construye previamente un surco con un pequeño camellón, para facilitar la retención e infiltración de la escorrentía. El cultivo se siembra en el borde o sobre el camellón, si las lluvias son más frecuentes; y en el fondo del surco, si estas son muy espaciadas o el suelo es muy permeable.

FIGURA 12-1: Ejemplo de arreglo espacial de microcaptación entre hileras, con una relación de área CAPT:CULT = 2:1.

Condiciones de adaptación

Es adecuada para terrenos casi planos o de poca pendiente, porque la escorrentía debe producirse, pero no de gran energía, puesto que apenas hay un pequeño surco o camellón para detenerla. Se utiliza en pequeñas o en grandes áreas de siembra, pues se puede hacer la siembra tanto con herramientas manuales, con pequeñas sembradoras de tracción animal o con sembradoras de tracción mecánica, si fueran cultivos de granos.

En suelos permeables, es recomendable desmalezar, emparejar y compactar el área de captación para que se produzca más escorrentía y con buena eficiencia. En suelos con problemas de permeabilidad, es prudente romper, adicionar materia orgánica y mantener cubierta el área de cultivo.

Conformación del terreno

Como medida general de manejo de suelo y agua, las hileras de cultivos se establecen a nivel para que la rugosidad formada por los surcos y camellones pueda detener la escorrentía en el área de cultivo e infiltrarla. Si el área de captación es un múltiplo del área de cultivo, las labores mecánicas se facilitan.

Indicaciones de construcción

Primero, se demarcan (estacan) las curvas de nivel en el terreno, sobre las cuales se rayan los surcos que servirán para detener la escorrentía en el área de cultivo. Si el terreno es uniforme, basta demarcar algunas curvas de nivel, no todas, y ubicar las demás por medio de líneas paralelas a las demarcadas.

Para la demarcación de áreas pequeñas se utilizan instrumentos simples o artesanales (nivel pata de gallina, nivel "A" o nivel de burbuja). Para demarcar áreas más grandes, se recomienda utilizar el nivel de manguera o el nivel de ingeniero.

Los surcos se construyen con una o dos pasadas de arado, preferentemente de vertedera, volcando el suelo hacia abajo y completando el camellón con escardas o azadón, si fuera necesario.

Elementos de costo

Los principales componentes de costo de esta técnica son los siguientes:

- » Mano de obra para la demarcación de las hileras, cuya longitud por hectárea depende de la distancia entre las hileras, en función de la relación CAPT:CULT. A continuación se presenta la longitud por hectárea para 5 distancias entre hileras.

Distancia entre hileras (m)	Longitud en metros por hectárea
1	10.000
2	5.000
3	3.333
4	2.500
5	2.000

- » Remoción de tierra para la conformación del surco y el camellón, lo que puede ser realizado con herramientas manuales, tracción animal o tracción motriz.
- » Mano de obra para terminar el surco de cosecha de agua, aunque esta labor no siempre es requerida.

Los rendimientos promedios de diferentes herramientas para marcar las curvas a nivel, así como los rendimientos de equipos de movimiento de tierra se encuentran en el Anexo I.

Variantes de la técnica

Esta técnica posee variaciones espaciales respecto a la forma en que son preparadas y tratadas las hileras de cultivos, con hileras simples, dobles, triples o fajas de captación, tal como muestra la Figura 12-II. Estas variantes son conformadas para obtener mayor escorrentía y almacenamiento del agua de lluvia o facilitar las operaciones de campo.

FIGURA 12-II: Cultivo sembrado en franja con igual área de captación de escorrentía entre ellas (CAPT:CULT = 1:1).



Foto: FAO (2004).

Posibilidades de recomendación y adopción

La microcaptación entre hileras o fajas de cultivos quizás sea la técnica más sencilla y de más bajo costo entre las técnicas de microcaptación disponibles. Además, es fácil de aplicar en áreas con mecanización.

TÉCNICA 12-02: Microcaptación a dos aguas entre hileras

Descripción

La microcaptación a dos aguas entre hileras consiste en la conformación de un camellón en el área de captación, a dos aguas y con perfil triangular, con pendiente de hasta un 5% en cada faldón, conforme muestra la Figura 12-III.

FIGURA 12-III: Microcaptación entre hileras con faja conformada a dos aguas para mayor escorrentía en un huerto de frutales en Nuevo México, Estados Unidos.



Foto: FAO (2004).

Las fajas de ambos lados del camellón se desmalezan y emparejan. El suelo debe ser compactado y sellado para que el coeficiente de escorrentía (C) sea elevado y la lluvia escurra hacia la línea de cultivo.

Condiciones de adaptación

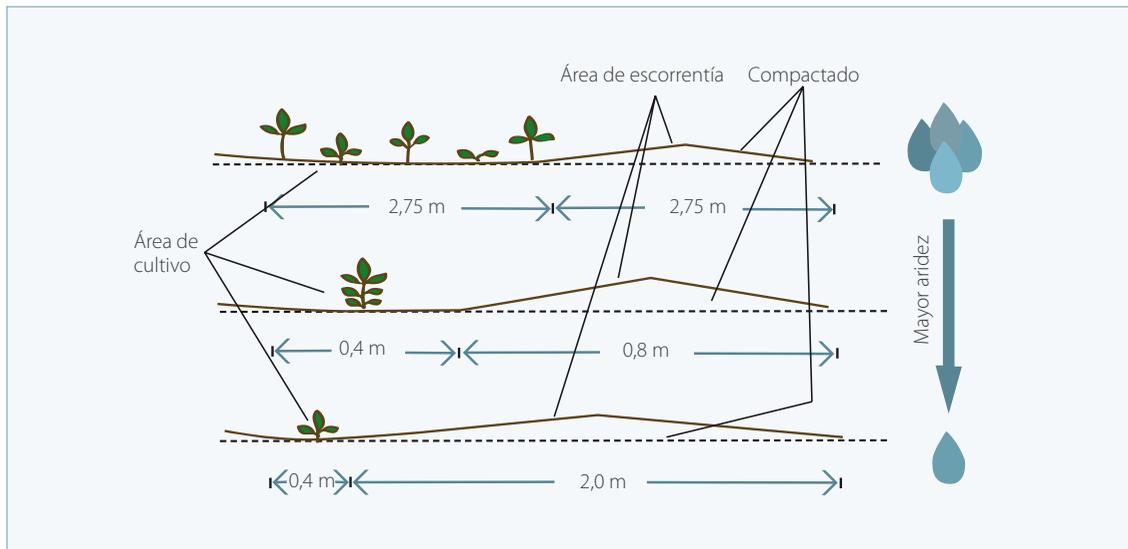
En el Medio Oriente y África se utiliza esta técnica en zonas con 300 a 500 mm de lluvia anual (semiárido a árido), en cultivos de maíz, frijol, mijo, vid y olivos. Sin embargo, si el volumen de lluvia en un período del año es grande, puede que esta práctica no se adapte, por el riesgo de acumulación excesiva de agua en las hileras de cultivo. En este caso, las hileras de cultivo se deben sembrar al comienzo de los taludes de los camellones. La pendiente del terreno debe ser plana o leve.

Conformación del terreno

Los camellones deben ser construidos sobre curvas de nivel previamente trazadas o en terrenos planos, en forma recta, tal como se muestra en la Figura 12-III. La longitud de los camellones por área depende del cultivo y de la relación CAPT:CULT. La Figura 12-IV muestra tres dimensiones frecuentemente utilizadas en la técnica de captación a dos aguas entre hileras (FAO, 2004), con las respectivas longitudes de camellones y surcos por hectárea en cada caso.

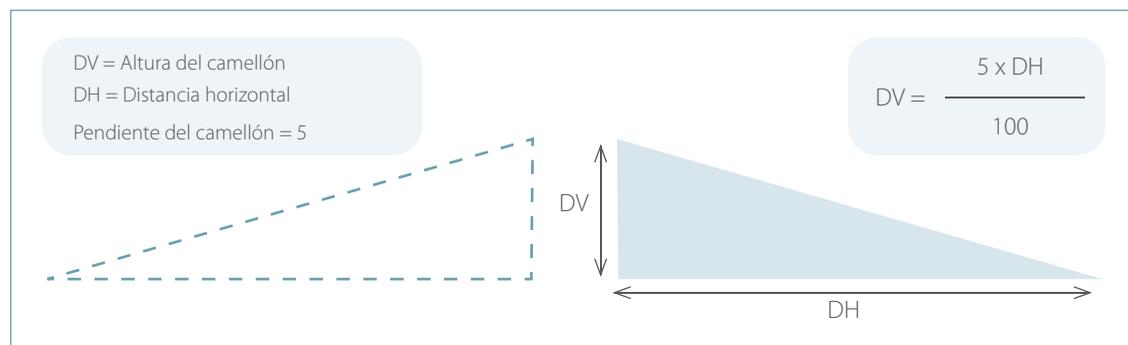
En la medida que se reduce la disponibilidad hídrica (aumento de aridez), aumenta la relación CAPT:CULT, con casos que van de relaciones CAPT:CULT de 1:1 a 5:1.

FIGURA 12-IV: Dimensiones tradicionales de fajas a dos aguas entre hileras (FAO, 2004).



Ancho del área de captación (m)	Ancho del área de cultivo (m)	Longitud por hectárea (m)
2,75	2,75	1.820
0,8	0,4	8.330
2,0	0,4	4.170

Tomando en cuenta que la pendiente de ambos taludes del camellón no debe superar el 5%, la altura máxima del camellón (distancia vertical) debe ser calculada por la relación siguiente:



Indicaciones de construcción

Los camellones y líneas de cultivo se ubican conforme a los espaciamientos del cultivo y la relación entre CAPT:CULT calculada para el área del proyecto.

Esta práctica se puede realizar con maquinaria o a mano, aunque esta última forma requiere mucho trabajo y sería poco factible en la mayoría de las situaciones. Los camellones se pueden construir con arados de discos o vertederas, arados “bordeadores” utilizados para la construcción de terrazas en camellones o motoniveladoras. Los rendimientos de cada uno de estos equipos dependen de la capacidad motriz de tracción, las dimensiones del equipo, el tipo de suelo y terreno y las dimensiones de los camellones a construir, entre otros factores (Anexo I).

Elementos de costo

Los principales componentes de costo para esta técnica son:

- » Demarcación del área con líneas de camellones y líneas de cultivos, los cuales pueden ser realizados con diferentes equipos de demarcación (Anexo I).
- » Construcción de los camellones, los cuales pueden ser estimados con los parámetros técnicos presentados para el movimiento de tierras (Anexo I).

Si el suelo tiene textura limosa o arenosa, es probable que haya mayor riesgo de erosión en los taludes del camellón y acumulación de sedimentos en las líneas de cultivo, lo que aumentará los costos de mantenimiento del sistema y podría causar perjuicios al cultivo sembrado.

Posibilidades de recomendación y adopción

Debido a los costos de movimiento de tierra y a las necesidades de equipos, probablemente esta técnica se adapte mejor en las siguientes condiciones:

- » Cultivo permanente con buena rentabilidad (ejemplo: frutales).
- » En cultivos de ciclo corto, en fincas o comunidades que posean equipos de movimiento de tierra.
- » Asociada al riego para aumentar el retorno económico de la actividad.

TÉCNICA 12-03: Método Guimarães Duque

Descripción

El método Guimarães Duque es una técnica de microcaptación desarrollada en el Nordeste de Brasil y es descrita por Silva et al, (2000) y Anjos et al, (2007). Consiste en camellones conformados con el faldón aguas arriba corto y el faldón aguas abajo más ancho y de menor pendiente. Las plantas son sembradas en el surco formado entre los camellones, como muestra la Figura 12-V. La escorrentía fluye por la pendiente más baja del camellón y abastece el surco donde está sembrado el cultivo. Desde el punto de vista hidrológico, este método puede ser considerado como una variante de la técnica anterior, en este caso con el camellón contribuyendo con escorrentía a un solo lado.

FIGURA 12-V: Esquema del método Guimarões Duque. Se muestra la conformación de los camellones y la posición de las plantas en el surco (dibujo de Silva et al, 2000). Abajo, una parcela de investigación del método en el Centro de Investigación de la EMBRAPA Semi-Árido en Petrolina, Brasil.

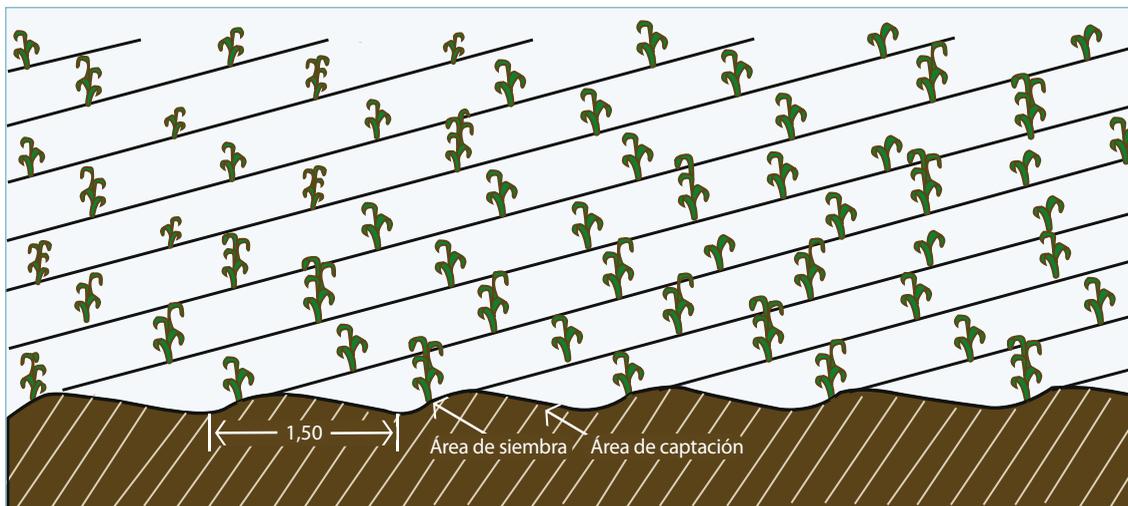


Foto: Marcos J. Vieira.

Las plantas no deben ser sembradas en el fondo del surco debido al riesgo de acumulación de agua, sino en el inicio del talud superior, tal como indica la figura.

Condiciones de adaptación

El método ha sido desarrollado en una región con un promedio de precipitación anual entre 350 y 800 mm, concentrada en cerca de 18 a 20 semanas. Los suelos deben ser de textura media para que el movimiento de tierra no sea demasiado laborioso. La pendiente del terreno debe ser baja, casi plana o plana.

Conformación del terreno

Se aplica en terrenos bastante planos. Si tuvieran cierta pendiente, los surcos se deben trazar sobre curvas de nivel, a una distancia de 1,5 m.

Indicaciones de construcción

El método ha sido ejecutado con una separación fija de 1,5 m entre surcos, por motivos operacionales determinados por el ancho del tractor. Se utiliza un arado reversible de tres discos y se retira el disco más cercano al neumático para conformar los camellones. La profundidad del surco es generalmente de 25 cm hasta la parte alta del bordo o camellón.

En la primera pasada sobre la curva a nivel, se vuelca el suelo hacia abajo. En una segunda pasada, el tractor vuelve con la rueda del tractor bordeando el surco anterior y vertiendo el suelo en el mismo sentido, de manera que hay una superposición parcial del primer movimiento de tierra.

Los surcos y camellones pueden durar hasta tres años. El terreno se puede preparar con un arado de tracción animal para sembrar el próximo cultivo.

Elementos de costo

Los costos de esta técnica se refieren a:

- » Trazado de curvas de nivel maestras para que el tractor pueda preparar el camellón inicial a nivel. Los demás camellones se construyen en paralelo al anterior. El número de curvas maestras por área depende de la uniformidad de la pendiente del terreno. Si el terreno posee pendiente poco uniforme se debe trazar un número mayor de curvas de nivel. Tomando como base la necesidad de que cada camellón sea construido sobre una curva de nivel trazada, habría 6.670 m de camellón por hectárea, considerando un espaciamiento de 1,5 m entre líneas.
- » Conformación de los surcos y camellones. Se requieren de 2,5 a 3,0 horas-máquina, tomando en cuenta que el tractor y el arado tienen que desplazarse unos 13.300 a 13.350 m lineales por hectárea.

Variantes de la técnica

Si hay equipos disponibles más grandes, existe la posibilidad de adaptarlos para construir camellones más anchos y con mayor capacidad de captación, utilizando relaciones CAPT:CULT mayores.

Posibilidades de recomendación y adopción

La técnica se adapta a comunidades que poseen por lo menos un tractor pequeño. Se considera una limitación de este método el hecho de que solo se puede realizar con el equipo referido y las mismas dimensiones (Silva et al, 2000). Otra limitación observada ha sido el aumento de la erosión (Luiza Teixeira Brito, EMBRAPA Semi-Árido, información personal), probablemente por el aumento promedio de la pendiente de la superficie, principalmente en el talud más inclinado del camellón, lo que puede ser observado en la Figura 12-V ya presentada.

TÉCNICA 12-04: Método W

Descripción

El método W es una técnica con dos camellones intercalados: uno triangular ancho a dos aguas y uno estrecho, en formato de semicírculo. Los camellones triangulares anchos constituyen fajas de captación entre surcos. Los camellones estrechos actúan como dique para la escorrentía. Las plantas se siembran a ambos lados del camellón estrecho y a media altura del talud, para evitar el exceso de humedad, conforme lo demuestra la Figura 12-VI.

FIGURA 12-VI: Perfil de la conformación del método W de captación de agua de lluvia (Silva et al, 2000).



Condiciones de adaptación

Los suelos deben ser de textura franca para reducir los costos del movimiento de tierra. La pendiente del terreno debe ser baja, casi plana o plana.

Conformación del terreno

Los camellones y surcos son demarcados y construidos siguiendo las curvas a nivel, para que el agua quede retenida y pueda ser aprovechada.

Indicaciones de construcción

La preparación de camellones anchos y estrechos se efectúa con implementos surcadores, similares a los que se utilizan para hacer los surcos para el cultivo de café o caña de azúcar.

Se ubican tres surcadores en una barra de implementos cada 0,75 m. En una primera pasada se abren los surcos y mueve el suelo. Luego, se retira el surcador central y se atornilla una plancha de hierro (para formar el camellón ancho central) al lado interno de cada uno de los dos surcadores restantes. Se efectúa una segunda pasada en el mismo lugar con este implemento modificado, de perfil triangular, y se deja la mitad del camellón angosto hecho para ser completado al hacerse el que sigue al lado.

Elementos de costo

Hay que considerar los siguientes costos:

- » Trazado de curvas a nivel: máximo 4.500 m lineales por hectárea, si todas las líneas de cada estructura (2,25 m de ancho) necesitan ser demarcadas, en el caso de un terreno irregular; mínimo 100 m lineales, para un terreno uniforme y cuadrado, donde una sola línea maestra a nivel sirve como referencia para las demás.
- » Pasadas de tractor: Dos pasadas por el método W, con desplazamiento de 9.000 metros lineales por hectárea o aproximadamente 2,0 horas-máquina.
- » Adaptación de la plancha a la vertedera.

Variantes de la técnica

También se pueden utilizar barras de implementos de 3,5 m, con cuatro surcadores tirados por un tractor de mayor potencia. En este caso, los dos surcadores centrales deben estar separados por 1,50 m entre ellos; los dos extremos a 0,75 m de los surcadores centrales. A los dos surcadores centrales se les atornillan las planchas de hierro, en el lado interno del surcador. Con implementos así dispuestos y un tractor adecuado, se pueden hacer un camellón ancho, dos estrechos a ambos lados y cuatro surcos en una sola pasada (Silva et al, 2000).

Posibilidades de recomendación y adopción

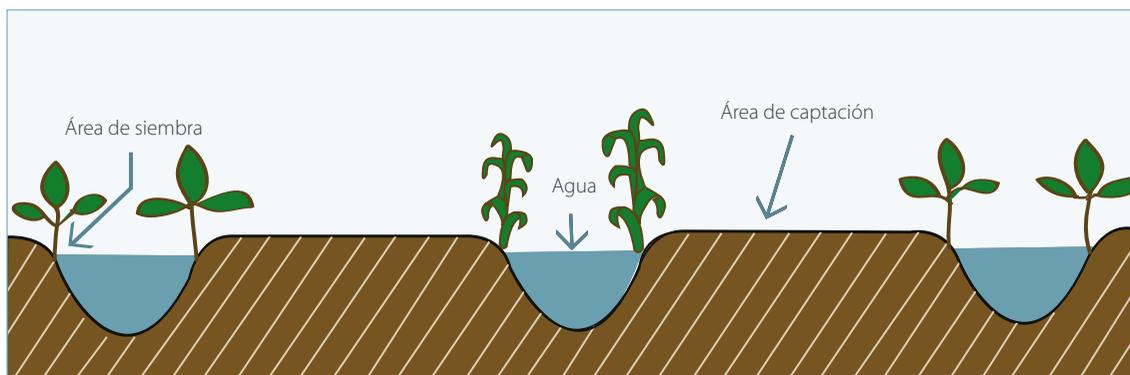
Este método, una variante de los anteriores en sus mecanismos hidrológicos, presenta como desventaja que es más complejo de construir y exige máquinas e implementos difíciles de conseguir en zonas económicamente deprimidas. Es posible ejecutar la conformación del terreno para el método W con tracción animal; sin embargo, el trabajo es más lento. Por otro lado, hay variaciones menos complejas con resultados agronómicos similares.

TÉCNICA 12-05: Método ICRISAT

Descripción

Se denomina método ICRISAT porque fue inicialmente estudiado por el Instituto Internacional de Investigación Agrícola para los Trópicos Semiáridos (ICRISAT, por su sigla en inglés), con sede en India. Consiste en formar surcos de unos 0,20 m de profundidad, distribuyendo el suelo extraído sobre el bordo o camellón, el cual queda ligeramente por encima del nivel original del suelo. Se siembran dos hileras de plantas, cada una de un lado de los taludes del surco y al nivel original del suelo (Figura 12-VII). Se espera que las plantas aprovechen no solo la humedad acumulada en el surco, sino también la humedad del perfil abajo del camellón.

FIGURA 12-VII: Conformación del método ICRISAT de microcaptación entre hileras (Silva et al, 2000).



Condiciones de adaptación

El método ICRISAT es una técnica simple que se aplica en terrenos semiplanos o con una pendiente muy leve. El método adquiere importancia por la sencillez de aplicación y la amplitud de los espaciamientos que pueden tener las áreas de captación entre surcos, aunque no se obtiene mucha escorrentía debido a la conformación plana del camellón. Si el terreno fuera un poco inclinado o el camellón se conformara levemente a dos aguas, la escorrentía podría ser más eficiente.

Conformación del terreno

Si el terreno es plano, los surcos se pueden construir rectos. Si tiene cierta pendiente, los surcos se trazan siguiendo las curvas de nivel.

Indicaciones de construcción

No se requiere mucha fuerza de tracción para construirlos, por lo cual pueden hacerse también con tracción animal o hasta manual, dependiendo de las dimensiones del sembrío. Se puede utilizar un surcador de tracción animal o motriz.

Los surcos son trazados al espaciamiento de diseño en función del cultivo y de la relación CAPT:CULT y con el surcador se abre el surco en una sola pasada. El suelo suelto, en razón de la apertura del surco, se aprovecha para darle forma al camellón, plano o levemente inclinado.

Silva et al, (2000) recomienda que las bordas de los camellones sean redondeadas, para lo cual se coloca un cadena de 1,80 m de largo en el surcador para que funcione como un aplanador de las bordas.

Elementos de costo

En este caso hay que contabilizar los siguientes costos:

- » Demarcación de las curvas a nivel: máximo de 10.000 m lineales por hectárea para todas las líneas demarcadas en caso de que el terreno sea irregular y los surcos con espaciamiento de 1,0 m.
- » Pasadas de surcador: una sola pasada, con una longitud que depende del espaciamiento entre surcos. Por ejemplo, 10.000 m por hectárea para un espaciamiento de 1,0 m entre surcos ó 5.000 m para 2,0 m entre surcos.

Variantes de la técnica

Se puede pensar en tener surcos más profundos o más anchos con camellones más levantados y con mayor pendiente.

Posibilidades de recomendación y adopción

Por la sencillez, es la técnica más fácil de ser comprendida, aceptada y adoptada por los agricultores, principalmente aquellos que no disponen de tractor.

TÉCNICA 12-06: Surcos interceptados

Descripción

La técnica de surcos interceptados consiste en conformar primeramente surcos y camellones en contorno en el terreno. En seguida, se construyen pequeños tapones (bordos o camellones) transversales al surco, cuya función es detener el caudal de escorrentía y favorecer su infiltración en el lugar, sin que se desplace a gran distancia, tal como puede ser observado en la Figura 12-VIII (Silva et al, 2000; Anjos et al, 2007).

FIGURA 12-VIII: Parcela de surcos interceptados en el Centro de Pesquisa de la EMBRAPA Semi-Árido en la región semiárida de Brasil.



Foto: Marcos J. Vieira.

Condiciones de adaptación

Los surcos interceptados son una técnica recomendada en zonas áridas o semiáridas, donde las lluvias intensas son escasas para que puedan mantener los surcos llenos de agua por muchos días. El terreno puede presentar una pendiente suave de hasta un 7%.

Conformación del terreno

Primeramente se demarcan las curvas a nivel que servirán de base para la orientación de la construcción de los surcos y camellones. Dependiendo de la uniformidad del terreno, estas pueden ser espaciadas y algunos surcos y camellones ser orientados en paralelo al anterior.

Una vez que se construyen los surcos y camellones, se conforman los tapones o camellones transversales que impiden el desplazamiento de la escorrentía. Las plantas se siembran al inicio del talud de los camellones longitudinales, pudiendo hacerse a ambos lados del camellón, dependiendo del cultivo.

Los tapones deben permitir que el agua rebalse, antes que esta alcance la parte superior de los camellones, si ocurrieran lluvias muy intensas.

Indicaciones de construcción

Los surcos y camellones se pueden construir con diferentes equipos, adaptándose los espaciamientos entre camellones, altura de camellones, profundidad del surco, dependiendo del equipo disponible o modificándolo para que se adecúe a una situación específica. Se mencionan los equipos generalmente más comunes que se podrían utilizar:

- » arado de vertedera de tracción animal o motriz,
- » arado de discos de tracción motriz,
- » surcador de tracción animal o motriz,
- » arado bordeador.

Es posible que para cada uno de estos equipos se requieran adaptaciones o complementación con herramientas manuales.

Los tapones se pueden construir antes o después de la siembra del cultivo. Si la siembra es realizada con sembradora de tracción mecánica (tractor o animal), es mejor que los tapones no estén presentes y que se construyan con implementos manuales después de la siembra. Si la siembra se realiza con instrumentos manuales, los tapones se pueden construir antes de ella, inclusive utilizando equipos de tracción para facilitar la labor.

En caso de preverse lluvias intensas o de gran volumen, se recomienda anular o reducir los tapones con surcadores u otros instrumentos y volverlos a construir después de pasado el periodo muy lluvioso.

Elementos de costo

Hay que considerar los siguientes costos:

- » Trazado de curvas a nivel: máximo de 7.700 m lineales por hectárea para todas las líneas demarcadas con espaciamiento de 1,3 m.
- » Levantamiento del camellón de 1,3 m entre ellos, con 0,3 m de altura y 0,3 m de base (significa aproximadamente 0,05 m³ de suelo movido por metro lineal y 7.700 m de camellón por hectárea). Tomando como base que para conformar cada camellón hay dos pasadas del equipo seleccionado para realizar la operación, habrá cerca de 15.000 m por hectárea de desplazamiento del mismo.
- » Construcción de los tapones con 2,0 m de distancia entre ellos, 0,2 m de altura y de base. Ello conforma 3.850 tapones por hectárea, con movimiento de tierra de 0,05 m³ por tapón ó 190 m³ por hectárea.

Los costos finales para esta técnica dependerán del tipo de equipo o herramienta utilizado en las diferentes labores, recordando que los camellones y tapones no necesitan ser construidos todos los años, sino darles mantenimiento.

Variantes de la técnica

En la Figura 12-IX, se muestra un ejemplo de utilización de esta práctica, con variaciones de diseño y establecimiento de las plantas, en Malawi, África (Shaxson y Barber, 2005). Según los autores, en el período muy seco, sin agua acumulada, el surco descubierta funciona como cinturones corta-fuego entre las líneas de té, las cuales son sembradas en el camellón protegido con una cobertura de rastrojos.

FIGURA 12-IX: Área sembrada con té en Malawi, África, utilizando el sistema de captación de agua en surcos interceptados, combinado con el uso de mantillo de rastrojos (Shaxson y Barber, 2005).



Fotos: Thomas F. Shaxson.

Posibilidades de recomendación y adopción

El método requiere mantenimiento y posible reconstrucción en cada periodo de cultivo, lo que constituye una limitante. Aunque se puedan realizar muchas labores mecanizadas, esta facilidad no siempre está disponible en comunidades de escasos recursos. Por lo tanto, esta práctica suele ser más recomendable para áreas pequeñas o con gran disponibilidad de mano de obra. También podría adaptarse más a cultivos perennes que a cultivos anuales, dado que en los primeros años requeriría un mantenimiento menos frecuente.

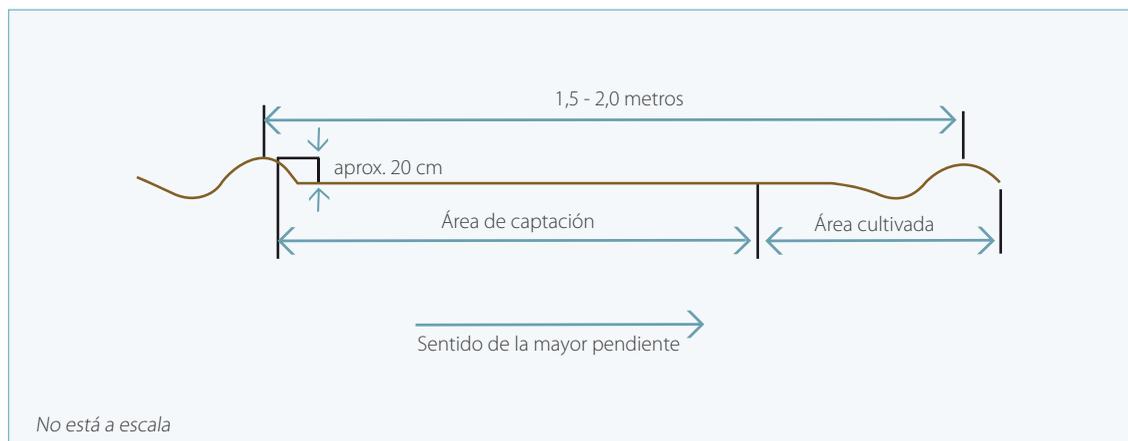
TÉCNICA 12-07: Surcos y camellones en contorno

Descripción

Esta técnica de microcaptación de surcos y camellones en contorno ha sido descrita por Critchley y Siegert (1996). Es la variante más sencilla y barata entre las técnicas que utilizan la construcción de surcos y camellones.

Consiste en la construcción de surcos y camellones a nivel para la colección de la escorrentía de la faja de terreno entre ellos (CAPT). Con el suelo retirado del surco se conforma el camellón de tierra aguas abajo del surco, aumentando la capacidad de almacenamiento de la estructura surco-camellón. El conjunto surco-camellón se construye a distancias de 1,0 a 2,0 m (Figura 12-X).

FIGURA 12-X: Esquema básico de la sección transversal de un área con surcos y camellones en contorno (Critchley y Siegert, 1996).



Condiciones de adaptación

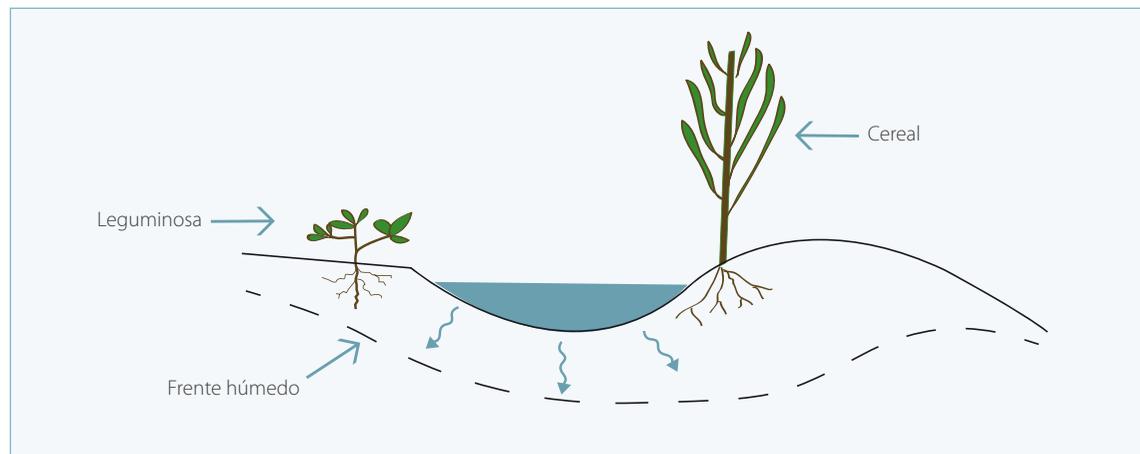
Se recomienda para terrenos con pendiente suave (hasta el 5%) y uniforme, para que los camellones queden equidistantes y el área entre ellos produzca volúmenes similares de escorrentía. Esta técnica ha sido utilizada en climas semiáridos con 350 a 750 mm de precipitación anual. Los suelos de textura franca facilitan la construcción de las estructuras.

Conformación del terreno

Los surcos y camellones se construyen en contorno a distancias que varían de acuerdo a la relación CAPT:CULT. Las plantas se siembran en las cercanías del surco donde el agua se acumula. En terrenos menos inclinados, los cultivos pueden alcanzar una faja más grande que se mantiene más húmeda (Figura 12-XI), aunque en estos casos la eficiencia de la escorrentía es más pequeña.

En regiones áridas, los surcos y camellones se trazan en curvas a nivel, pero pueden tener una pendiente ligera en zonas más lluviosas, como una forma de evacuar los excesos. En este caso, se recomienda terminar las estructuras en cauces o cursos naturales de agua o en zanjas construidas de modo que se evite la erosión (canales vegetados para evacuación).

FIGURA 12-XI: Posición de cultivos sembrados en áreas de surcos y camellones en contorno (Critchley y Siegert, 1996).



Indicaciones de construcción

Este sistema es bastante simple en su trazado y construcción, actividades que pueden ser realizadas a mano o con el apoyo de equipos de tracción animal o mecánica. A veces, se realiza la rotura y el movimiento de tierra a máquina y se conforma el surco y el camellón de manera imperfecta, para luego perfeccionar el trabajo con equipos manuales. El camellón debe tener por lo menos 0,20 m de alto.

El área de captación (CAPT) reducida presenta ventajas en cuanto a la eficiencia y uniformidad de la escorrentía, aunque también produce un volumen menor de la misma. Esto determina que la práctica se adapte más a lugares con lluvia entre 350 y 750 mm.

El área de captación debe mantenerse desmalezada, emparejada y compactada, para favorecer la escorrentía. Es conveniente la aplicación de materia orgánica, generalmente mantillo de rastrojos, compost u otros abonos orgánicos en el área de cultivo.

En lugares con menos lluvia se puede aumentar el área de captación entre surcos y camellones. También el sistema puede ser complementado con escorrentía derivada de fuera del área de cultivo, con obras de macrocaptación (descritas en el capítulo siguiente), sin olvidar que se debe aumentar la altura de los camellones para que no haya desborde.

Al diseñar cualquier obra de aprovechamiento de la escorrentía es importante evaluar si no hay escorrentía superficial que provenga de terrenos aguas arriba y que puede destruir las estructuras. Cuando existe este riesgo, es necesario prevenir, construyendo terrazas, bordos, acequias, zanjas o diques de protección, arriba del área con obras de microcaptación de la escorrentía superficial. El flujo interceptado debe ser evacuado hacia un cauce seguro o curso natural de agua, por estructuras que eviten desbordes o erosión a su paso. Si hay poca lluvia, estas mismas estructuras pueden servir como captación externa al área de cultivo.

Elementos de costo

Para estimar el costo de esta técnica se puede considerar:

Trazado de las curvas a nivel para la construcción de los surcos y camellones: Si los surcos y camellones tienen 1,5 m de distancia, serán 6.670 m lineales por hectárea. A 2,0 m de distancia, serán 5.000 m lineales. Hay que considerar siempre la uniformidad del terreno: para terrenos con pendiente uniforme se pueden trazar líneas paralelas a una curva de nivel principal, lo que reduce la labor de demarcación.

Movimiento de tierra: aproximadamente 300 m³ por hectárea, para surcos y camellones construidos cada 2 m de distancia (5.000 metros lineales por hectárea), con 30 cm de base y 20 cm de alto (Véase Cuadro 12-I).

CUADRO 12-I: Estimación del movimiento de tierra para la construcción de surcos y camellones, considerando los camellones interceptores para diferentes opciones de distancia y tamaño de los camellones. Adaptado de Critchley y Siergert (1996).

Surcos y camellones				Camellones interceptores					
Distancia	Largo por hectárea	Suelo movido por metro	Suelo movido por hectárea	Distancia	Número por hectárea	Largo por hectárea	Suelo movido por metro	Suelo movido por hectárea	Total de suelo movido
m	m	m ³ m ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	m		m	m ³ m ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹
1	10.000	0,04	400	0	0	0	0	0	400
2	5.000	0,06	300	0	0	0	0	0	300
5	2.000	0,15	300	5	400	400	0,15	60	360
5	2.000	0,15	300	10	200	200	0,15	30	330
10	1.000	0,25	250	5	200	200	0,25	50	300
10	1.000	0,25	250	10	100	100	0,25	25	275

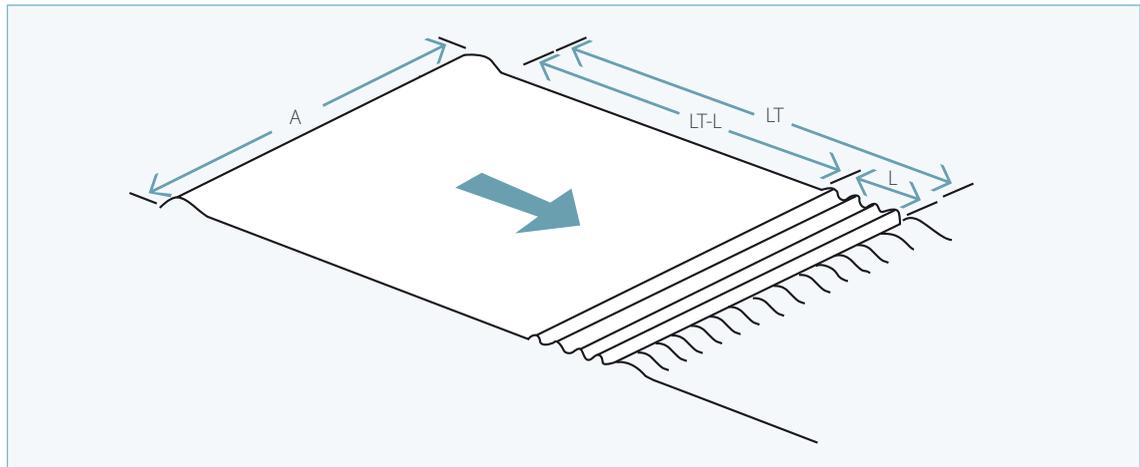
Variantes de la técnica

Dependiendo del régimen de lluvia, relieve, situación de disponibilidad de equipos y mano de obra o cultivos a sembrar, se puede variar el diseño de estas estructuras, con surcos más profundos y anchos, camellones más altos y anchos, franjas de captaciones más anchas, entre otras opciones, aunque con los mismos principios hidrológicos.

Por ejemplo, en la localidad de Lagunita, México, la precipitación media anual es de 326 mm. Los terrenos son ligeramente ondulados con pendientes no mayores de 6 %. Los suelos predominantes pueden considerarse fértiles, poco profundos (10 a 25 cm) en las lomas y profundos en las partes bajas. En este ambiente, Velasco (2000)

refiere que se está utilizando la técnica de microcaptación denominada localmente como bordos antierosivos, en contorno, para cultivos de sorgo, maíz y girasol, con razonable éxito en agricultura familiar de subsistencia. Los bordos antierosivos son llamados así porque la distancia entre ellos (distancia vertical) es determinada según parámetros para controlar la escorrentía y evitar la erosión en surcos. Los bordos son construidos de aprox. 1,0 m de alto utilizando arado de discos o vertedera y arado "bordeador" (Figura 12-XII).

FIGURA 12-XII: Esquema ilustrativo de los bordos antierosivos en contorno, México, según Velasco (2000).



En la faja entre los bordos se establece una faja de captación y una faja de cultivo, siguiendo los cálculos para el establecimiento de la relación CAPT:CULT o la fórmula desarrollada localmente, la cual introduce las variables ancho total entre bordos y ancho de la faja de cultivo.

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

- CE = Coeficiente de escorrentía (sin unidades).
- %P = Porcentaje probable de precipitación pluvial (anual) 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 o captación, la cual es igual a la de cultivo (m).

A pesar del costo de USD 525 por hectárea en el primer año y USD 225 en los siguientes, incluyendo el establecimiento de los cultivos, los agricultores están sacando en promedio USD 570 por hectárea por año, entre maíz y pasto de sorgo. La productividad de maíz en el sistema es tres veces mayor que en las áreas sin el sistema.

Posibilidades de recomendación y adopción

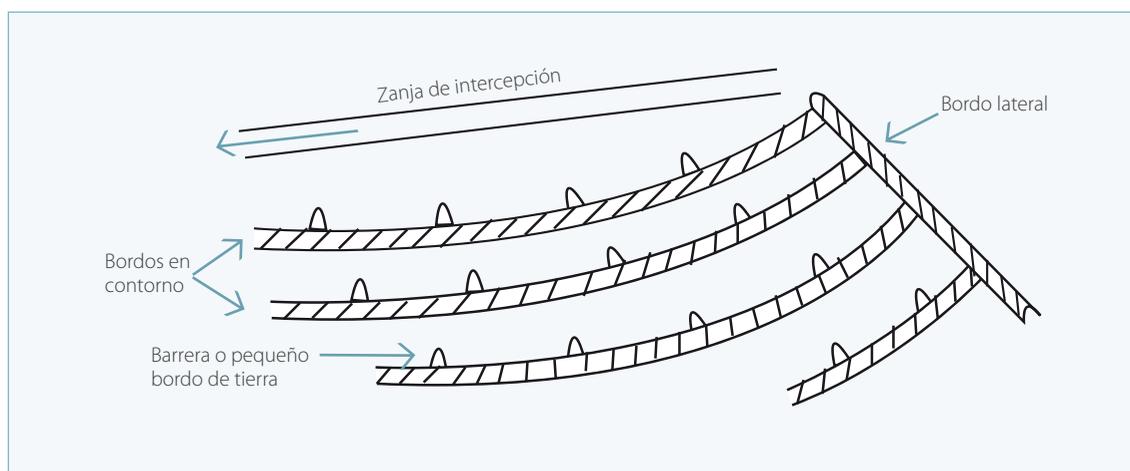
Por los costos relativamente bajos y su fácil construcción y manejo, esta técnica es una de las que presentan mayores posibilidades de aceptación y adopción.

TÉCNICA 12-08: Surcos y camellones en contorno interceptados

Descripción

Esta técnica es una variación de los surcos y camellones en contorno, ambas descritas por Critchley y Siegert (1996). En el conjunto surco-camellón descrito en la Técnica 12-07, se construyen bordos transversales de tierra, piedras o residuos de cultivos como se muestra en la Figura 12-XIII. Estos pueden ser permeables o impermeables y tienen la función de facilitar una distribución más uniforme de la escorrentía por secciones del surco-camellón, quedando cada sección como microcaptaciones individuales. Esta técnica ofrece mayor seguridad en el manejo de la escorrentía, en el caso de que ocurran lluvias más intensas.

FIGURA 12-XIII: Esquema de camellones y surcos en contorno interceptados (Critchley y Siegert, 1996).



Condiciones de adaptación

Esta variación con interceptores se recomienda para tierras de relieve uniforme, con precipitación anual media de 200 a 750 mm. Se adecúa más al cultivo de árboles que a los cultivos anuales. Si se trata de cultivos anuales o pastos sembrados a máquina, el sistema sin los bordos interceptores parece ser el más adecuado.

Conformación del terreno

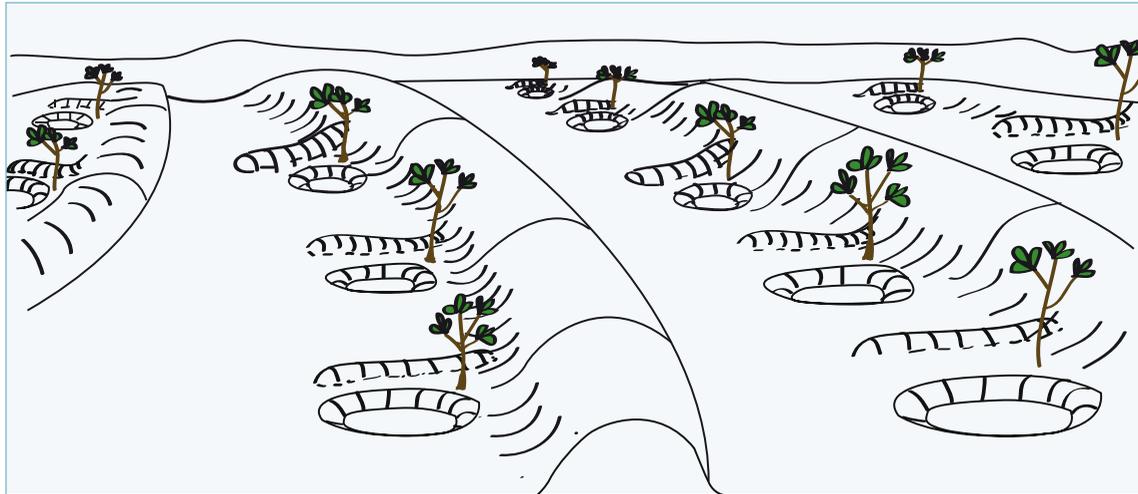
Es similar a la técnica anterior. En este caso, se añaden los camellones interceptores a cierta distancia, tal como muestra la Figura 12-XIII.

Indicaciones de construcción

Las interceptaciones, dependiendo del cultivo, pueden tener variaciones. En el caso de cultivos anuales densos y pasturas, se implementan sin el hoyo de infiltración, tal como en la Figura 12-XIII. Cuando se trata de árboles, se aumenta la distancia entre surcos y camellones a 5 ó 10 metros y se construye el hoyo de infiltración en la con-

vergencia del surco-camellón con los camellones interceptores, tal como muestra la Figura 12-XIV. En este caso, la técnica también se denomina de bordos en contorno para árboles (Critchley y Siegert, 1996).

FIGURA 12-XIV: Esquema de cultivos de árboles en surcos y camellones en contorno interceptados (Critchley y Siegert, 1996).



Elementos de costo

Los costos de esta práctica consideran las siguientes actividades:

- » Trazado de las curvas a nivel, cuya longitud por hectárea depende de las distancias establecidas entre ellas (Anexo I). Si los surcos y camellones son construidos a 1,5 m de distancia, serán 6.670 m lineales por hectárea. A 2,0 m de distancia, serán 5.000 m lineales. Hay que considerar siempre la uniformidad del terreno: para terrenos con pendiente uniforme se pueden trazar líneas paralelas a una curva de nivel principal, lo que reduce la labor de trazado.
- » Movimiento de tierra para construir los surcos y camellones: aproximadamente 300 m³ por hectárea, para la construcción a 2 m de distancia (5.000 metros lineales por hectárea), con 30 cm de base y 20 cm de alto (Véase Cuadro 12-I).
- » Construcción de los camellones interceptores: Conforme el número de interceptores por hectárea, se estima el costo por el movimiento de tierra, según el Cuadro 12-I.
- » Cuando se trata de árboles, también hay que considerar el volumen de suelo movido para construir los hoyos de infiltración, normalmente con dimensiones de 0,8 m x 0,8 m x 0,4 m de profundidad, totalizando un volumen aproximado de 0,25 m³ por hoyo. El suelo retirado del hoyo de infiltración se utiliza en el camellón interceptor.
- » Los surcos y camellones pueden ser construidos con tractor y arado, lo que facilita y reduce la mano de obra.

Posibilidades de recomendación y adopción

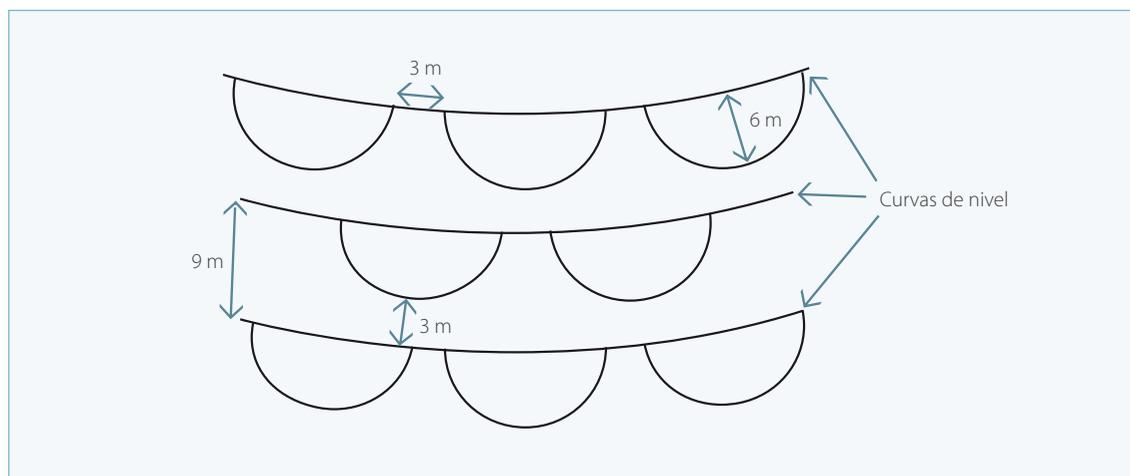
Por las características de esta técnica, se adapta más para cultivos permanentes arbóreos.

TÉCNICA 12-09: Bordos semicirculares

Descripción

Esta técnica, también denominada de medialuna debido a su forma, consiste en bordos o camellones o pequeños diques construidos en la forma de un semicírculo, que comienzan y terminan en una curva de nivel, tal como la presentan Critchley y Siegert (1996), en la Figura 12-XV. El área en medialuna recorre la escorrentía que se desplaza entre una y otra medialuna y es retenida en los camellones para infiltrarse y almacenarse en el suelo.

FIGURA 12-XV: Esquema de diseño de captación de agua en bordos semicirculares o medialunas. Adaptado de Critchley y Siegert (1996).



Condiciones de adaptación

El rango de precipitación en que ha sido utilizada esta práctica es de 200 a 750 mm anuales. Para las condiciones más húmedas dentro de este rango se recomiendan medialunas de menor radio. Para los climas más secos, radios más grandes.

El terreno debe tener una pendiente leve ($< 2\%$) y uniforme para medialunas pequeñas, pudiendo ser un poco menos uniforme en el caso de medialunas más grandes. En los sistemas en que los semicírculos son más grandes, se puede planificar la derivación de escorrentía de áreas externas, no olvidando planificar también la evacuación de los excedentes.

Los suelos deben ser profundos o medianamente profundos y, de preferencia, fáciles de trabajar, principalmente donde la construcción se hace con herramientas manuales.

La práctica se ha utilizado principalmente para la rehabilitación de pastizales, producción de forrajes, árboles y arbustos. Solo en algunos pocos casos se ha usado para cultivos anuales, aunque Shaxson y Barber (2005) demuestran la eficacia de este método para el aumento de la producción de granos de mijo en condiciones africanas.

Conformación del terreno

Los bordos semicirculares pueden ser contruidos con radios de varias dimensiones. Las dimensiones más comunes son:

Pequeños: 6,0 m de radio, con espacio de 3,0 m entre semicírculos y la curva de nivel, estas últimas espaciadas a 9,0 m entre una y otra. Esta dimensión es para pendientes menores a 1%. En esta conformación habrá 70 a 75 bordos semicirculares por hectárea. Los semicírculos deben ser ubicados de manera que las áreas libres entre ellos queden alternadas con las áreas libres de los semicírculos ubicados en la curva siguiente. De esta forma, la escorrentía que pase por entre los semicírculos de una curva de nivel, es captada por los semicírculos ubicados abajo.

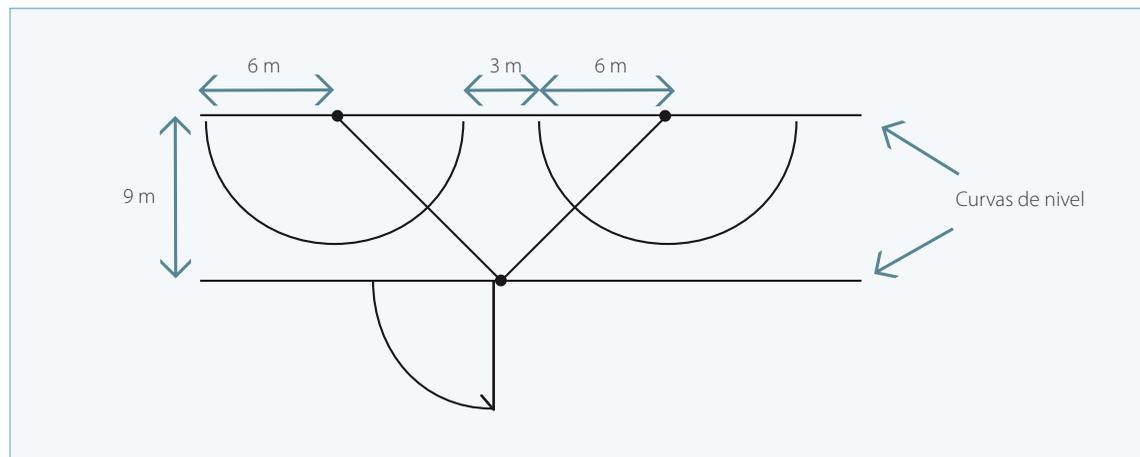
Grandes: 20,0 m de radio, con espacio de 10,0 m entre semicírculos en la curva de nivel, las cuales se ubican a 50,0 m unas de otras. Este diseño es más apropiado para las condiciones más secas y pendientes de hasta el 2%.

Para cualquiera de los diseños, se recomienda que la relación CAPT:CULT no sea mayor a 5:1.

Indicaciones de construcción

Primeramente, se trazan las curvas de nivel en las distancias planificadas. Por ejemplo, cada 9,0 m, como se muestra en la Figura 12-XVI. En seguida, sobre la primera curva, se marca el punto donde se plantea iniciar el primer semicírculo. De este punto inicial, se mide la distancia del radio sobre la curva; por ejemplo, 6,0 m. Este segundo punto es el centro del primer semicírculo y en él se clava una estaca (estaca central).

FIGURA 12-XVI: Ejemplo para el trazado de medialunas en el campo.



Utilizando una cuerda y teniendo como base el centro del primer semicírculo se traza una semicircunferencia de 6 m de radio.

Terminado este primer semicírculo, se miden 9,0 m a partir de su final (3,0 m de área libre + 6,0 m de radio) y se encuentra el punto central del segundo semicírculo, y el proceso se repite.

El centro del primer semicírculo se ubica en la curva de abajo cuando se toma de una cuerda con ambas puntas fijas en los centros de los dos semicírculos contiguos de arriba. Se tira la cuerda en dimensiones iguales (formando un triángulo isósceles) hasta que se alcance la curva de abajo. El vértice de este triángulo es el centro del primer semicírculo de la curva de abajo.

Con un radio de 6,0 m, cada semicírculo tendrá una longitud de 19,0 m en su perímetro. Critchley y Siegert (1996) recomiendan en este diseño que el bordo sea construido en forma trapezoidal, con un alto de 0,25 m, 0,75 m de base inferior y 0,25 m de base superior (cresta).

En el diseño con radio de 20,0 m, los autores recomiendan que el bordo sea también de sección trapezoidal, pero con dimensiones diferenciadas. En las partes altas del semicírculo, donde se acumula menor volumen de agua, el borde comienza con una altura de 0,1 m, 0,7 m de base inferior y 0,1 m de base superior. En la medida que alcanza la parte inferior, donde se acumula más escorrentía, tendrá 0,5 m de altura, 3,1 m de base inferior y 0,1 m de base superior. En este diseño de 20,0 m de radio son factibles cuatro estructuras por hectárea. No se recomienda en terrenos con pendientes mayores al 2%.

En áreas donde hay más posibilidades de volúmenes grandes de escorrentía en lluvias torrenciales, se puede reforzar el camellón con piedras en la parte de mayor acumulación de agua, principalmente si el suelo es muy susceptible a la erosión.

Elementos de costo

Para estimar el costo de esta técnica se considera lo siguiente:

- » Demarcación de las obras: En el diseño de 6,0 m de radio, hay 1.100 m lineales de curva de nivel que se deben trazar y 75 semicírculos por hectárea. En el diseño de 20,0 m de radio, hay 200 m lineales de curvas de nivel que se deben trazar y 4 semicírculos por hectárea.
- » Construcción de las obras: En el diseño de 6,0 m de radio, el movimiento de tierra estimado es de 175 m³ por hectárea, mientras que para el radio de 20,0 m es de 105 m³.

Variantes de la técnica

El ingeniero italiano Venanzio Vallerani, en 1987, desarrolló implementos de tractor para excavar y construir estructuras de microcaptación de lluvia en medialuna, entre ellas el arado Delfín y el arado Tren (Malagnoux, 2006). El arado Delfín es utilizado para excavar y formar bordos semicirculares de 3,0 m de largo, 0,50 a 0,60 m de ancho y 0,40 m de profundidad. El área de estas microcaptaciones es de 1,34 m² y el volumen de 0,26 m³. Un tractor de 130 HP FWD realiza las medialunas a intervalos de 2,5 m a lo largo de cada fila. Las filas están espaciadas en 3,0 m. Se completan 600 de estas pequeñas medialunas por hectárea. El acabado es realizado a mano. Aunque no se trate del mismo diseño de semicírculos descritos en la técnica, lo notable es que se pueden ejecutar entre 5.000 y 7.000 medialunas por día⁷.

Otra estructura que puede ser considerada como una variante de los bordos semicirculares son los bordos en V o triangulares, por su mecanismo hidrológico similar. En lugar de semicírculos, la estructura tiene forma de V. En relación a los semicírculos, presenta la desventaja de que el área mojada tiende a ser más pequeña. Se adapta más para árboles y dentro del vértice se puede construir un escalón para la siembra (si hay riesgo de anegamiento prolongado) o un hoyo de infiltración (en situaciones de mayor aridez).

Posibilidades de recomendación y adopción

Se recomienda esta técnica para extender el período de producción de forrajes para ganado bovino o caprino. Las plantas adaptadas a los ecosistemas con elevado déficit hídrico responden bastante bien a la técnica.

La construcción de las medialunas se facilita con equipos mecanizados, sobre todo porque evita la remoción de tierra con herramientas manuales.

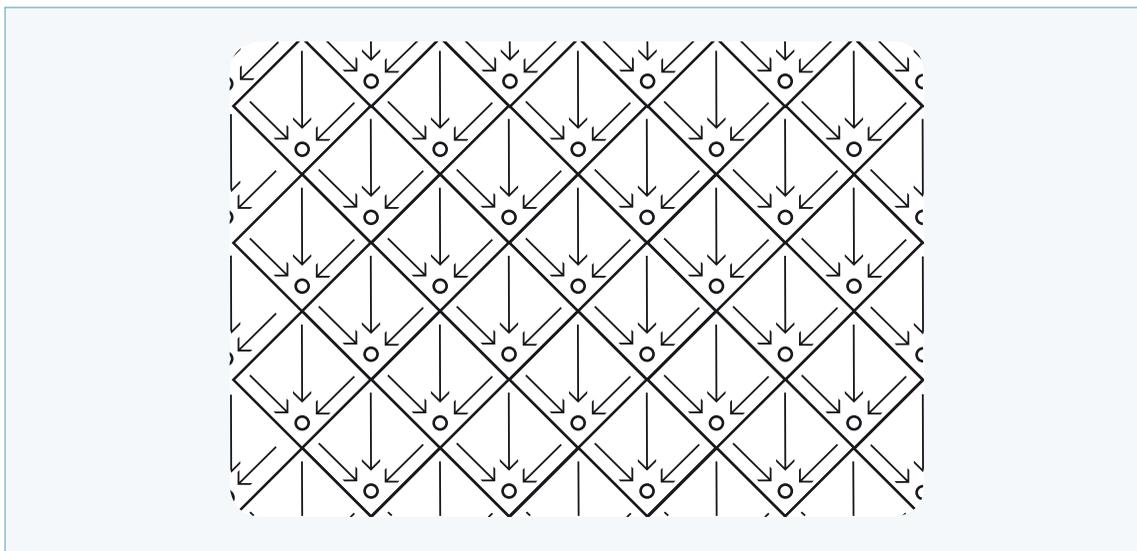
TÉCNICA 12-10: Bordos (camellones) tipo Negarim

Descripción

Los bordos tipo Negarim difieren de los demás tipos de bordos descritos porque son estructuras cerradas y la escorrentía es producida dentro de cada área de captación delimitada por los bordos. El nombre, según Critchley y Siegert (1996), viene de la palabra “neger”, que en hebreo está relacionado a escorrentía.

En realidad, el diseño Negarim está configurado por bordos en forma de V dispuestos de manera contigua, en las que no hay distancia libre entre ellos, es decir, en el vértice de una estructura de captación se inician dos estructuras más en V aguas abajo, tal como muestra la Figura 12-XVII. La conformación final del área es un conjunto de bordos en V contiguos, dispuestos en rombos.

FIGURA 12-XVII: Configuración en campo de un área con bordos tipo Negarim (Adaptado de Critchley y Siegert, 1996).



En cada área de captación cerrada se construye un hoyo de infiltración de agua en el vértice más bajo. La escorrentía se desplaza por el área de colecta y penetra en el hoyo de infiltración.

Condiciones de adaptación

La técnica se adapta a diferentes condiciones de clima y suelo, pero hay que considerar que la escorrentía disponible es aquella producida dentro del área cerrada entre los bordos. En Israel, el Negarim es utilizado en áreas con precipitación de hasta 100 a 150 mm anuales.

La construcción requiere remover el suelo y, por lo tanto, no debe ser un suelo muy denso y compacto. Como su adaptación principal es para árboles, el perfil de suelo debe ser profundo. La pendiente del terreno puede llegar a un 5%, pero, en la medida que esta aumenta o que el clima provee algunas lluvias torrenciales, hay que establecer bloques de captación, donde, luego de un cierto número de áreas de captación Negarim, hay una estructura (cammellón, acequia, terraza) para detener o evacuar la escorrentía que puede sobrepasar los bordos.

Conformación del terreno

La forma geométrica más sencilla del Negarim es el cuadrado dispuesto en el terreno como un rombo. Las dimensiones del cuadrado varían llegando hasta 100 m². Una forma sencilla de definir el tamaño del área es por el espaciamiento recomendado para los árboles a ser plantados. Por ejemplo, si la especie es plantada con un espaciamiento de 6,0 m x 6,0 m, las áreas de captación tendrán 36,0 m² cada una. La Figura 12-XVIII muestra un área de la EMBRAPA Semi-Árido con frutales plantados en Negarim y otras técnicas asociadas.

FIGURA 12-XVIII: Frutales plantados con área de captación del tipo Negarim, en el Centro de Investigación de la EMBRAPA Semi-Árido, Brasil, promedio de 550 mm anuales de precipitación, asociado con “riego de salvación” o “complementario”[®] y bordos alrededor de las copas de los árboles para aumentar la captación en la época seca y evitar anegamientos en la época de lluvias torrenciales.



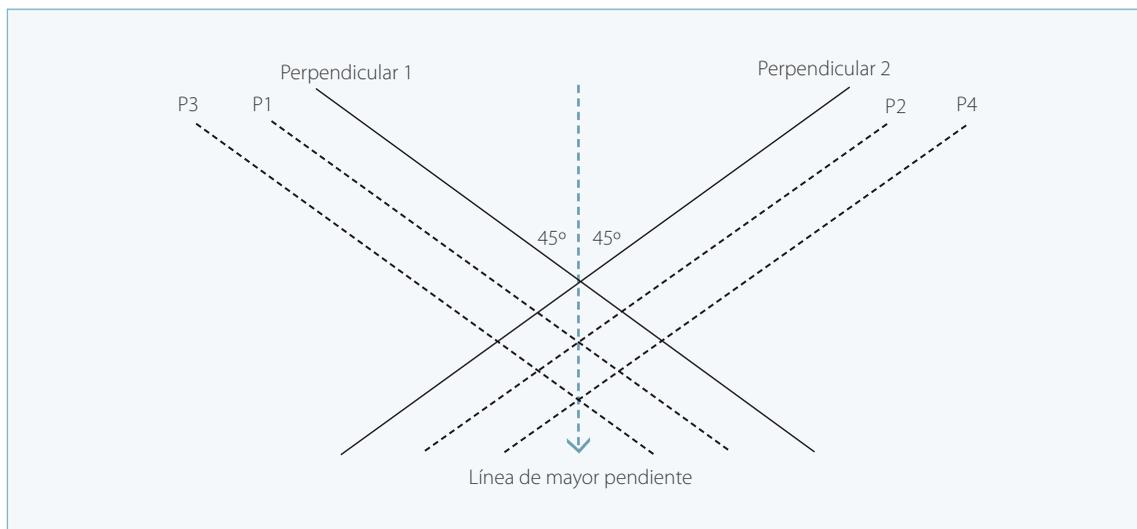
Foto: Marcos J. Vieira.

Indicaciones de construcción

Los bordos son ubicados en el campo, obedeciendo a las dimensiones establecidas y con uno de los vértices en el punto más bajo, de manera que la escorrentía fluya hacia él. Primeramente, se establece la dirección de mayor pendiente en el terreno, la cual es, de manera sencilla, “la línea hacia donde el terreno baja más”. Se la puede demarcar con estacas, una línea o cuerda, como referencia sobre el terreno (Figura 12-XIX).

A partir de cualquier punto de esta línea de mayor pendiente, se traza la dirección de 45 grados (45°) de ambos lados. Para ello, basta tomar un marco cuadrado de madera, bambú o hierro (con 0,5 m por lado, por ejemplo), colocar sus vértices diagonales sobre la línea de mayor pendiente y con los otros dos vértices se obtiene el ángulo de 45° . Se marcan en el terreno ambas direcciones (perpendiculares 1 y 2 en la Figura 12-XIX), utilizando estacas o cuerda. A partir de estas dos líneas perpendiculares se van midiendo y demarcando líneas paralelas (P1, P2, P3, P4, etc.), a una distancia equivalente al largo determinado para el área de captación individual. Al final, en cada cruce se obtienen los vértices del área de captación Negarim.

FIGURA 12-XIX: Esquema sencillo para el trazado de bordos Negarim en el terreno.



Los bordos, antes de la instalación de los cultivos, pueden ser construidos con tracción animal o motriz, trabajando primeramente todas las líneas paralelas en una dirección. Una vez construidos los bordos sobre las líneas de una dirección, se construyen los bordos perpendiculares a las líneas anteriores. También se puede utilizar un equipo de tracción animal o motriz; sin embargo, hay que saltar el bordo ya hecho y al final perfeccionar el trabajo a mano.

Los bordos también pueden ser levantados con herramientas manuales, pero se requiere mucha mano de obra.

Se recomienda que las dimensiones de los bordos posean un mínimo de 0,25 m de altura (Critchley y Siegert, 1996). Sin embargo, estos autores recomiendan que los bordos aumenten de dimensión en su parte más baja, cerca del hoyo de infiltración, en aquellas situaciones en que la pendiente del terreno excede al 2% o el área de captación aumenta. Se podría extender la misma recomendación para los lugares en que ocurren lluvias torrenciales o que los suelos no poseen elevada infiltración. El ideal es que la cresta de cada bordo esté al mismo nivel en toda su extensión.

En el Cuadro 12-II, estos autores proponen dimensiones para los bordos en función de la dimensión del área de captación y pendiente del terreno.

CUADRO 12-II: *Altura del bordo (cm) en captación tipo Negarim, en función de la pendiente del terreno y del área de captación. Adaptado de Critchley y Siegert (1996).*

Área de captación (m ²)	Pendiente del terreno (%)				
	2	3	4	5	
3 x 3 m = 9	Bordo plano con altura de 25 cm				
4 x 4 m = 16				30	
5 x 5 m = 25				30	35
6 x 6 m = 36				35	45
8 x 8 m = 64				35	45
10 x 12 m = 120	30	45	55	No recomendable	
12 x 12 m = 144	35	50			
15 x 15 m = 225	45				

Elementos de costo

Para estimar el costo de esta técnica se considera lo siguiente:

- » Trazado de las áreas de captación: La cantidad de jornales para trazar las áreas de captación depende de las dimensiones que estas tengan: más pequeñas, más necesidad de mano de obra y materiales para la demarcación. Si su tamaño es de 8,0 m x 8,0 m (64,0 m²), será necesario trazar aproximadamente 155 unidades de captación por hectárea. Si se dispone de todos los materiales a mano (estacas, cinta métrica, cuerda fina, cuadrado de madera) se puede demarcar 1,0 ha con 0,5 jornal, entre dos personas, lo que totaliza 1,0 jornal por hectárea. La experiencia puede reducir este tiempo. De lo contrario, puede aumentarlo.
- » Construcción de las obras: El movimiento de tierra depende de las dimensiones de cada área de captación. El Cuadro 12-III presenta el volumen de movimiento de tierra para diferentes dimensiones de área de captación en el caso de bordas de 25 cm de alto. Para construir bordos de mayor altura en la parte inferior, conforme muestra el Cuadro 12-II, ya presentado, habría que sumar el costo mayor que tendría el movimiento de tierra.

CUADRO 12-III: *Volumen promedio del movimiento de tierra en la construcción de bordos tipo Negarim. Adaptado de Critchley y Siegert (1996).*

Unidad de captación		Hoyo de infiltración	Pendientes adecuadas - bordos de 25 cm	Movimiento de tierra	Cantidad por hectárea	Movimiento de tierra
Lados	Área	Lado x lado x profundidad				
m	m ²	m		m ³		m ³
3 x 3	9	1,4 x 1,4 x 0,4	hasta 5%	0,75	1.110	835
4 x 4	16	1,6 x 1,6 x 0,4	hasta 4%	1,00	625	625
5 x 5	25	1,8 x 1,8 x 0,4	hasta 3%	1,25	400	500
6 x 6	36	1,9 x 1,9 x 0,4	hasta 3%	1,50	275	415
8 x 8	64	2,2 x 2,2 x 0,4	hasta 2%	2,00	155	310
10 x 10	100	2,5 x 2,5 x 0,4	hasta 1%	2,50	100	250
12 x 12	144	2,8 x 2,8 x 0,4	hasta 1%	3,25	70	230
15 x 15	225	3,0 x 3,0 x 0,4	hasta 1%	3,50	45	160

La longitud de bordos por hectárea se calcula a partir de la relación $10.000 \div \frac{1}{2} L$, donde L es la longitud del lado del área de captación. En el ejemplo de 8,0 m x 8,0 m, $10.000 \div 4 = 2500$ m lineales de bordos por hectárea.

Variantes de la técnica

Los bordos triangulares o en V pueden ser considerados como una variante del Negarim, así como los bordos trapezoidales o de otra forma geométrica. Buscando diferentes objetivos, tal como mejor adaptación del área de siembra para cultivos, otros diseños pueden ser más adecuados, aunque todos son semejantes en relación al comportamiento hidrológico.

La ventaja de los bordos triangulares, rectangulares o trapezoidales es la posibilidad de la salida del agua por los extremos abiertos, antes de que desborde el camellón.

Posibilidades de recomendación y adopción

La adopción del Negarim requiere, entre otros aspectos, que el usuario tenga muy claros sus objetivos de producción agrícola, sean cultivos forrajeros o frutales, pues las inversiones en movimiento de tierra para la construcción y mantenimiento son importantes.

Por las características de la práctica, probablemente es más fácil que sea adoptada en el caso de áreas pequeñas, con árboles frutales para consumo propio o venta, asociado con otras técnicas que puedan, en conjunto, asegurar la inversión, tal como ocurre en la EMBRAPA Semi-Árido, en Brasil, donde la asociación del método para la retención y aprovechamiento de la escorrentía asociado al "riego de salvación", ha garantizado el desarrollo agrícola y la producción de frutas en una zona con 550 mm de lluvias anuales, concentradas en aproximadamente 18 a 20 semanas (ejemplo en la Figura 12-XX).

FIGURA 12-XX: Árboles de mango (planta que tolera bien la sequía) plantados en áreas de captación de escorrentía y con "riego de salvación", en parcelas de la EMBRAPA Semi-Árido.



Foto: Marcos J. Vieira.

TÉCNICA 12-11: Terrazas individuales de banco o bancales individuales

Descripción

Las terrazas individuales de banco, bancales individuales o terrazas-ceja son nombres para variantes tecnológicas del mismo tipo de estructura hidrológica. Son áreas pequeñas, individualizadas y niveladas, que se construyen en terrenos inclinados con el fin de obtener lo siguiente:

- » Mayor captación e infiltración de agua.
- » Mayor facilidad de aplicación y aprovechamiento de nutrientes.
- » Facilidades de labores agrícolas: desmalezamiento, fertilización, cosecha, microrriego, etc.
- » Control de la erosión hídrica en la zona de desarrollo radicular de las plantas.

Esta técnica también se utiliza en zonas húmedas, en condiciones de terrenos inclinados, principalmente para árboles frutales. Por ello, suele también ser referida como una práctica de control de la erosión en laderas y así está descrita en la literatura.

En la Figura 12-XXI se puede observar un conjunto de terrazas individuales listas para que se hagan en ellas los hoyos para el plantío de árboles frutales.

FIGURA 12-XXI: Terrazas individuales de banco en Costa Rica, construidas con implementos manuales, para árboles frutales.



Foto: Marcos J. Vieira.

Condiciones de adaptación

Las terrazas individuales de banco se adaptan a terrenos inclinados (hay terrazas construidas hasta en un 50% de pendiente), con suelos medianamente profundos a profundos, para el cultivo de plantas individuales, generalmente árboles o arbustos. Si el suelo de los horizontes subsuperficiales es pobre, es conveniente corregir la fertilidad en el área de la terraza, inclusive se puede separar el suelo superficial durante el proceso de construcción para luego devolverlo sobre la terraza.

Conformación del terreno

Las terrazas individuales de banco pueden ser dispuestas sobre curvas de nivel, pero no es una condición determinante. Para que haya más posibilidad de captación de escorrentía en zonas con déficit hídrico, la disposición debe ser alternada de manera que el agua que fluye entre dos terrazas de arriba pueda ser aprovechada por la terraza ubicada más abajo.

Indicaciones de construcción

Primeramente, se define si las terrazas individuales seguirán la orientación de una curva de nivel u otra orientación; por ejemplo, la mostrada en la Figura 12-XXI. También se define la distancia entre terrazas individuales.

En seguida, se define el diámetro de las terrazas y se traza el perímetro del círculo con la ayuda de una cuerda y el centro de la terraza.

Para saber cuánto es necesario cortar el suelo y rellenar en cada terraza, basta tomar una regla rígida de madera, de una longitud igual al diámetro de la terraza y colocar en el centro de la regla un nivel de burbuja de carpintero. Para medir, se acuesta la regla en la posición de la mayor pendiente. La extremidad ubicada en la parte más elevada del círculo queda en el terreno; la otra extremidad se levanta y se busca la horizontalidad con el nivel. En esta situación, se mide la altura de la extremidad de la regla hasta la superficie del terreno. La mitad de este valor es el que se debe cortar y rellenar.

La terraza puede tener también un piso ligeramente inclinado en la zona de corte, para acumular más agua o combinarse con una estructura de captación y derivación de la escorrentía entre terrazas, tales como bordos y acequias. El corte normalmente se realiza a mano, con auxilio de azadón y pala y puede sostenerse mejor con el uso de piedras o madera.

Elementos de costo

- » Trazado de las curvas y terrazas: Considerando curvas de nivel a 8,0 m de distancia y terrazas cada 8,0 m sobre las curvas, serían 1.250 m lineales de curvas de nivel por hectárea y 155 terrazas, labor para la cual se pueden requerir 4 jornales (2 jornales x 2 personas), trabajando con herramientas manuales.
- » Construcción de las terrazas: Para cortar y rellenar cada terraza, el volumen de tierra movilizada depende de la pendiente. Para calcular la mano de obra necesaria en la construcción de una terraza, con 2,0 m de diámetro, se puede usar como referencia la información del siguiente cuadro.

CUADRO 12-IV: Movimiento de tierra en terrazas individuales de banco con 2,0 m de diámetro para diferentes pendientes y alturas de corte.

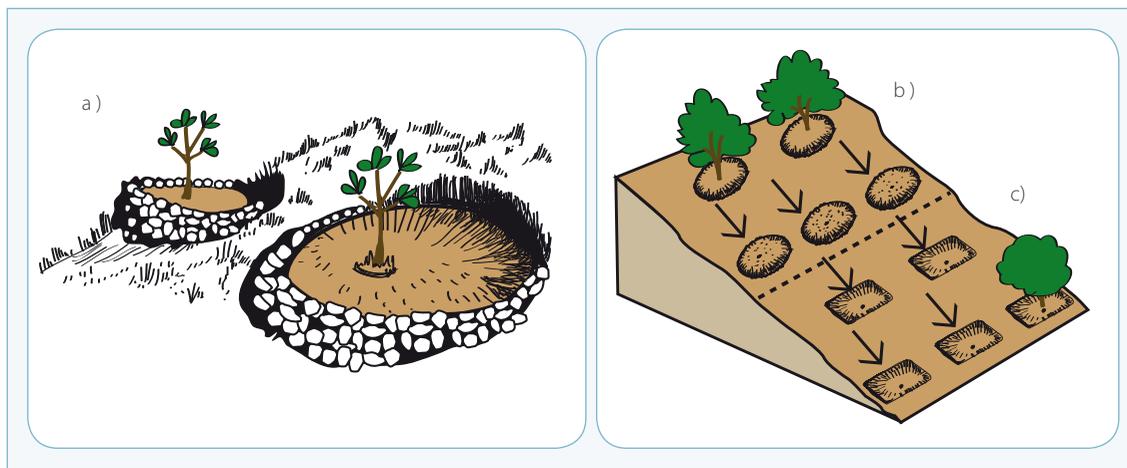
Pendiente (%)	Corte (cm)	Terraplén (cm)	Movimiento de tierra (m ³)
10	10	10	0,16
20	20	20	0,31
30	30	30	0,47
40	40	40	0,63

Considerando que una persona moviliza, en promedio, de 2 a 3 m³ de tierra por jornal, se pueden estimar los costos para la construcción de las terrazas individuales que se prevé construir.

Variantes de la técnica

Las variantes de esta técnica pueden ser: a) Pendiente del piso levemente caída hacia el talud de corte para almacenar más agua; b) Los terraplenes pueden ser sostenidos por un murito de piedras dispuestas unas sobre otras; c) Las terrazas pueden no ser circulares, sino rectangulares para la siembra de cultivos no arbóreos, tal como se muestra en la Figura 12-XXII.

FIGURA 12-XXII: Ejemplos de utilización de la técnica con diferentes configuraciones: a) Terrazas de 1,0 m de diámetro con soporte de piedras (Rocheleau et al, 1988); b) Ubicación alternada y terrazas rectangulares (FAO, 2004).



Posibilidades de recomendación y adopción

Las terrazas individuales de banco son más aceptadas por los agricultores en cuyas fincas no hay terrenos con mejor topografía para sembrar árboles. Los agricultores tienen más interés en adoptarlas, si se trata de establecer un cultivo de alto valor económico en sus terrenos de ladera.

TÉCNICA 12-12: Terrazas de banco o bancales

Descripción

Las terrazas de banco o bancales son estructuras para agricultura de ladera que se han desarrollado en diferentes partes del mundo, pero principalmente en Asia y Sudamérica. Las estructuras construidas en la época precolombina, específicamente en los Andes peruanos, se denominan andenes. Desde el punto de vista hidrológico-funcional, los andenes se caracterizan como terrazas de banco para captar, manejar y conservar el agua.

Las terrazas de banco, además de incorporar a la agricultura tierras en áreas con pendientes muy inclinadas, retardan el flujo del agua de escorrentía producida por la lluvia. Por consiguiente, facilitan la disponibilidad de agua en la terraza y evitan la erosión hídrica del suelo.

Condiciones de adaptación

Las terrazas de banco se construyen en áreas de laderas geológicamente estables, suelos relativamente profundos (para que pueda realizarse el corte) y en regiones sin otras posibilidades de tierras con aptitud para uso agrícola. Los antiguos peruanos transportaban suelos de áreas fuera de los andenes para llevarlos a las terrazas y así formaban suelo “hecho por el hombre”.

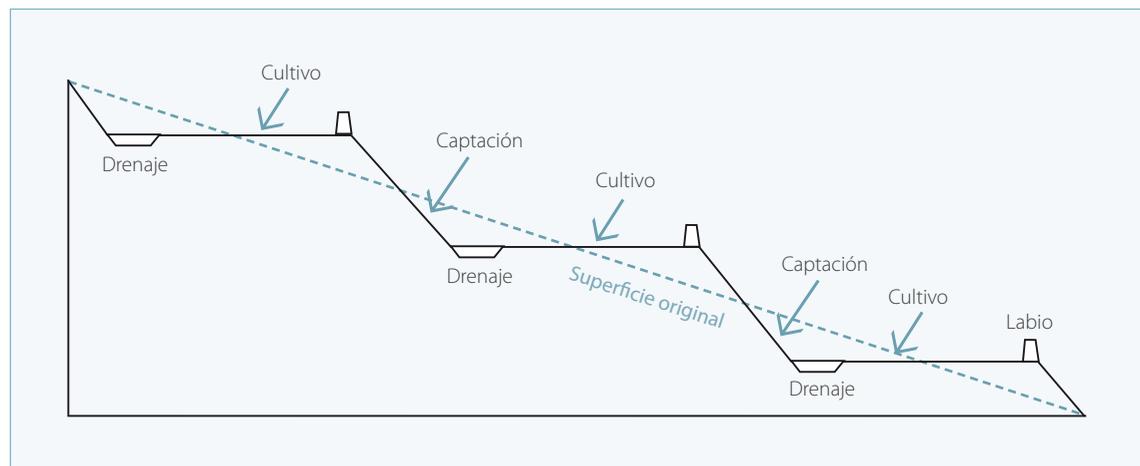
Las terrazas de banco, cuando tienen la finalidad de captación de lluvia, se construyen generalmente en laderas con 20 a 50% de pendiente en zonas con precipitación que va de 200 a 600 mm al año y una relación CAPT:CULT entre 1:1 y 10:1. En el caso de relaciones CAPT:CULT elevadas, las terrazas no son sucesivas. En cambio, se deja inalterada un área de la superficie original de la ladera, aguas arriba de la terraza de banco, para que sirva como área de captación (CAPT).

Conformación del terreno

Las terrazas de banco conforman las laderas como escalones sucesivos, en los cuales hay una parte plana, la terraza, con suelo adecuado para la agricultura, donde se cultiva. Aguas arriba de la terraza hay un talud muy inclinado y sin cultivo, donde se puede producir la captación de la escorrentía (Figura 12-XXIII).

La franja de captación termina en un pequeño dren que conduce los excesos de agua. En el borde de la terraza se construye un pequeño bordo o labio, para detener cualquier flujo que se produzca aguas abajo de la ladera.

FIGURA 12-XXIII: Esquema de perfil de una ladera con terraza de banco. Adaptado de FAO (2004).



La dirección de cada terraza (perfil de corte) debe estar ubicada sobre la curva de nivel del terreno. Se traza esta curva en la parte más alta y se construye la primera terraza. Para la terraza siguiente se puede tomar como parámetro el paralelismo entre ellas, corrigiendo pequeñas diferencias de nivel en la altura de corte y terraplén. Sin embargo, donde se requiera realizar correcciones más significativas para mantener el paralelismo, es conveniente trazar otra curva de nivel para construir la terraza que sigue. En este caso, partes del terreno probablemente quedarán sin terraza, debido al alejamiento de las curvas de nivel. Cabe analizar si en este espacio es factible una terraza más pequeña para completar el área.

Indicaciones de construcción

Para la construcción de la terraza de banco común, se mide la pendiente de la ladera y la profundidad del suelo. La profundidad del suelo debe determinar la altura máxima de corte en el talud superior, puesto que se debe dejar por lo menos 0,5 m de perfil de suelo para cultivo.

Si el suelo es suficientemente profundo y cultivable, como los derivados de cenizas volcánicas, la altura de corte es determinada por la pendiente y por el ancho que se desea, conforme los objetivos de cultivo.

En el Cuadro 12-V, se muestra el ancho promedio de la terraza de banco y el volumen de tierra removida (corte + terraplén) para diferentes pendientes y alturas de corte.

CUADRO 12-V: Ancho de las terrazas y movimiento de tierra, considerando el volumen de corte y el volumen de terraplén, para diferentes pendientes y alturas de corte.

Pendiente (%)	Altura de corte (m)	Ancho de la terraza (m)	Volumen de tierra movilizada m ³ /10 m lineales
20	0,25	2,5	3,1
	0,50	5,0	12,5
	0,75	7,5	28,0
30	0,25	1,7	2,1
	0,50	3,3	8,2
	0,75	5,0	18,8
40	0,25	1,2	1,5
	0,50	2,5	6,2
	0,75	3,8	14,2

Elementos de costo

Trazado de las curvas de nivel: Como base para determinar la longitud de las curvas que se deben trazar por hectárea, se debe tomar el ancho de las terrazas y el ancho de los taludes de captación, si son terrazas continuas o quedará un área de captación inalterada entre ellas.

Movimiento de tierra: Por la pendiente y la profundidad de corte se puede estimar el volumen de tierra removida en cada situación y estimar los costos, con base en los rendimientos de los posibles equipos de construcción considerados (implementos manuales, motoniveladora o *bulldozer*, según el caso).

Variantes de la técnica

Dependiendo de los objetivos de las terrazas de banco y de las condiciones del terreno, el ancho de estas puede variar, tal como se muestra en la Figura 12-XXIV. Localmente pueden recibir otros nombres, pero hidrológicamente cumplen las mismas funciones.

FIGURA 12-XXIV: Terrazas de banco de ancho variable, combinadas con diferentes prácticas y con fines diversos.



Terraza de banco angosta para el cultivo de una hilera, combinada con riego y mantillo orgánico. Foto: José Cristóbal Escobar Betancourt.



Terraza de banco angosta para el cultivo de fresas, combinada con riego y protección del talud. Foto: Nelson González.



Construcción de terrazas de banco. Foto: FAO Library.

Las terrazas de banco pueden tener una superficie cultivable con una pendiente cero (plana) o con una ligera pendiente hacia el talud de corte. Igualmente, el bordo o labio puede existir o no, dependiendo del volumen de agua que se maneja en la terraza.

Posibilidades de recomendación y adopción

Las terrazas de banco facilitan las labores agrícolas, el riego localizado y el aprovechamiento de fertilizantes. A pesar de que para su construcción se requiere realizar un movimiento de tierra importante, lo que representa un alto costo, las ventajas que representan en relación a los terrenos en ladera parecen compensar la inversión, principalmente si se destinan a cultivos de elevada productividad y rentabilidad por área (hortalizas, por ejemplo).

Los andenes, estructuras que pueden ser caracterizadas como terrazas de banco, tienen un profundo significado sociocultural en la agricultura andina, principalmente en el Perú. Fueron construidos por las comunidades precolombinas en las laderas de la Cordillera de los Andes y aún hoy una parte de ellos es utilizada en la agricultura. La construcción de los andenes se inició unos 3.000 años a.C. con la expansión del cultivo de maíz. A lo largo de los años fueron perfeccionándose hasta alcanzar un diseño más o menos estándar. A la llegada de los españoles, había cerca de un millón de hectáreas de andenes en Perú. En 1991, todavía se utilizaban 324.155 ha. Una parte se había destruido, pero las estructuras fueron reconstruidas y rehabilitadas (Blossiers et al, 2000). Existen también andenes en Ecuador, Colombia, Bolivia y Argentina, aunque en menor escala. Hay bancales similares en Venezuela, América Central y México.

FIGURA 12-XXV: Conjunto de andenes en la sierra de Perú.



Foto: Fernando Chanduvi.

El proceso constructivo de los andenes involucra la construcción de muros de piedra, relleno de la estructura con piedras, gravas y suelo, elementos que, en muchos casos, han sido transportados desde lejos. Este proceso laborioso y costoso, de cierta forma explica por qué una práctica ancestral de los pueblos andinos no siguió siendo desarrollada por los descendientes y no se le dio el mantenimiento necesario.

La rehabilitación de algunos andenes ha tenido un costo de USD 2.200 por hectárea (evaluación realizada en 1994). Es difícil para los pobladores asumir estos costos para la rehabilitación de nuevas áreas de andenes precolombinos. A pesar de todas las ventajas que puedan presentar las terrazas de banco para la producción agrícola, comparadas con la situación original de ladera, las posibilidades de recomendación y adopción de esta técnica están muy ligadas a las siguientes condiciones, considerando sus costos de construcción y mantenimiento:

- » Ausencia de tierras de mejor calidad para la producción.
- » Mano de obra disponible y costo.
- » Producción de cultivos de alta rentabilidad.
- » Terrazas sin la sofisticación y envergadura constructiva de los andenes.

TÉCNICA 12-13: Cobertura plástica en el manejo del agua

Descripción

La cobertura parcial del terreno con láminas de plástico puede ser una técnica importante para apoyar el manejo del agua del suelo en un área sembrada. La cobertura plástica en el área de cultivo (CULT) limita la evaporación y aumenta la eficiencia del agua de riego aplicada por debajo de ella. Además, facilita el manejo de malezas.

Si es aplicada como cobertura del área de captación (CAPT), impide la infiltración del agua y maximiza la escorrentía hacia el área de cultivo. Por lo tanto, el uso de láminas plásticas como cobertura no es exactamente otra técnica de captación de agua, sino una variante o complemento de las prácticas de microcaptación descritas anteriormente.

Condiciones de adaptación

Se adapta a terrenos planos o con muy poca pendiente, áreas pequeñas y con cultivos de elevada rentabilidad por unidad de área. En la región, hay diferentes ejemplos de uso del plástico para la producción, principalmente en pequeñas áreas de producción de hortalizas (Vieira, 2008).

Empresas que producen en áreas más grandes con cultivos como melón y sandía utilizan el riego por goteo y el plástico como complemento, principalmente para reducir la evaporación del agua, los costos de manejo del cultivo y el grado de imperfección del producto (enfermedades, manchas, coloración diferenciada, suciedad), aspecto este último que se acentúa si el fruto está en contacto directo con el suelo.

Las prácticas de microcaptación que incluyen surcos y camellones pueden incorporar el complemento de lámina plástica.

Las láminas plásticas, si no se manejan con cuidado, se deterioran rápidamente, dejan de cumplir adecuadamente su función y se transforman en basura de difícil descomposición en la zona rural, al igual que las mangueras de goteo, envases plásticos, etc.

Conformación del terreno

Las láminas plásticas pueden ser utilizadas de dos maneras:

- » Como captación de agua, recubriendo las áreas de captación, aumentan la escorrentía y el agua para el cultivo. En este caso, después de limpiar y emparejar el lugar, en la forma de área de captación, la lámina plástica es extendida sobre el terreno, dejando al descubierto el espacio para el cultivo.
- » Como complemento al riego, la lámina de plástico es extendida sobre el área de cultivo con perforaciones para la siembra del cultivo (Figura 12-XXVI).

FIGURA 12-XXVI: Cultivo de tomate en El Salvador, sembrado en camellones, cobertura plástica y riego por goteo.



Foto: José Cristóbal Escobar Betancourt.

Indicaciones para instalar la cobertura plástica

La superficie que recibirá la cobertura plástica debe estar lisa, pareja, libre de piedras, raíces y desechos que podrían perforarla. La lámina debe ser cubierta con suelo en los bordes para evitar que el viento la levante y remueva.

Es conveniente intercalar espacios sin la cobertura para que se pueda trabajar en el terreno de cultivo sin pisotear la lámina plástica.

Elementos de costo

- » Los costos de la lámina plástica son muy variables, dependiendo del lugar de fabricación, impuestos, disponibilidad en el mercado local, calidad del material utilizado, etc.
- » En un proyecto del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria de El Salvador (CENTA), con apoyo técnico de la FAO, se precisó un monto de USD 65 para instalar la cobertura plástica en una parcela de tomate de 500 m² (incluidos los costos de material y mano de obra). Si se extrapola este costo a una hectárea, este sería de USD 1.300. A pesar del costo elevado, el retorno económico fue positivo (Vieira, 2008).

Variantes de la técnica

Hay mucha literatura técnica sobre plasticultura y las diferentes maneras de utilizarla, ya sea como cobertura directa en el suelo o en invernaderos de diferentes diseños y funciones.

Posibilidades de recomendación y adopción

Se recomienda en cultivos rentables que compensen económicamente la inversión. No es recomendable en cultivos de subsistencia, los cuales no presentan retorno económico directo que pueda hacer frente a los costos externos de compra y reposición de la lámina.



13. CAPTACIÓN EXTERNA AL TERRENO DE CULTIVO

En una finca siempre existen terrenos en los cuales se produce una infiltración limitada de agua de lluvia (perfiles de suelos delgados o con horizontes poco permeables, terrenos inclinados, áreas rocosas o lajas). Estas áreas son productoras de escorrentía superficial. Existen también sitios donde se concentran los flujos superficiales de pequeñas cuencas hidrográficas, caminos vecinales o carreteras. Los flujos superficiales generados en estas situaciones pueden constituirse en surcos de escorrentía, avenidas o torrentes aprovechables. Para ello, la escorrentía debe ser captada y derivada hacia estructuras de contención e infiltración directamente en el área de cultivo o hacia estanques y embalses temporales para abrevadero o riego.

Las técnicas que captan escorrentía de terrenos externos al área de cultivo y la conducen para que se infiltre en el terreno cultivado se incluyen en la modalidad de macrocaptación, tal como se ha descrito en el Capítulo 10.

También existen posibilidades de captación y aprovechamiento de agua de otras fuentes disponibles, ubicadas dentro o fuera de la finca. Caudales de manantiales, riachuelos (arroyos, quebradas), ríos, lagos y embalses pueden ser captados y derivados mediante bocatomas hacia actividades productivas en la finca. Esta modalidad de captación externa a las áreas de cultivo se denomina derivación de manantiales o cursos de agua. Dependiendo de la cantidad de agua disponible, la derivación de cursos de agua puede representar la diferencia entre la escasez y el resguardo productivo en una pequeña finca. La estructura para la derivación puede ser muy sencilla y barata hasta sistemas más grandes y tecnológicamente sofisticados. En el primer caso, un agricultor, o un grupo de productores, puede hacer frente a las inversiones. En el segundo caso, normalmente se requiere de recursos externos a la comunidad y de políticas públicas para su implementación.

Es importante señalar la necesidad de cumplir la legislación para la derivación y el uso de las fuentes de agua, ya sea un ordenamiento oficial o, en su ausencia, el ordenamiento aceptado por la comunidad, respeto a los derechos de uso del agua. Especialmente en zonas deficitarias de agua, suelen presentarse discordancias y disputas entre la población en torno al uso del recurso.

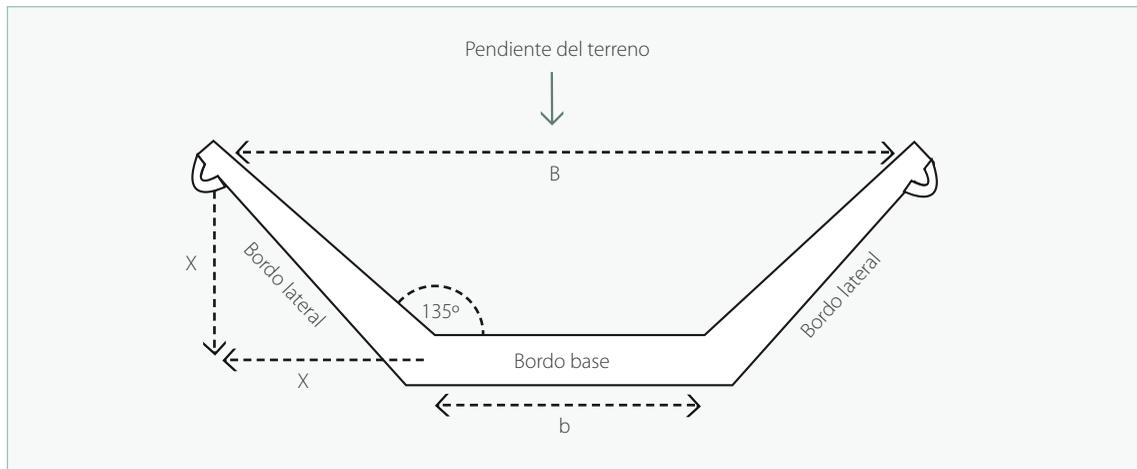
Hay también escorrentía captada en techos y patios de hormigón, la que, igualmente, se considera captación externa al área de cultivo. Sin embargo, por estar mayormente orientada al consumo doméstico, se aborda en otro capítulo.

Las principales técnicas que se encuadran en la modalidad de captación externa al área de cultivo son descritas a continuación, incluyendo la derivación de cursos de agua.

TÉCNICA 13-01: Macrocaptación en bordos trapezoidales

Descripción

Se trata de una técnica tradicional, aplicada en diferentes partes, principalmente en África, la que ha sido presentada por Critchley y Siebert (1996). Consiste en un bordo de suelo construido en forma de trapecio, con un bordo base, perpendicular a la línea de la pendiente, conectado a dos bordos laterales en ángulo, generalmente de 135° (Figura 13-1). Los extremos superiores de ambos bordos laterales poseen una estructura, generalmente en piedra, para evacuar los excedentes de escorrentía hacia otros bordos aguas abajo, sin riesgo de que se erosionen. Los cultivos se siembran en el área entre los bordos.

FIGURA 13-I: Configuración de un bordo trapezoidal en el terreno. Adaptado de Critchley y Siegert (1996).

Desde el punto de vista hidrológico, los bordos trapezoidales no difieren de las estructuras constituidas de bordos de tierra para contener e infiltrar la escorrentía, ya descritas en el capítulo anterior. La diferencia son las dimensiones de captación y cultivo más grandes.

Condiciones de adaptación

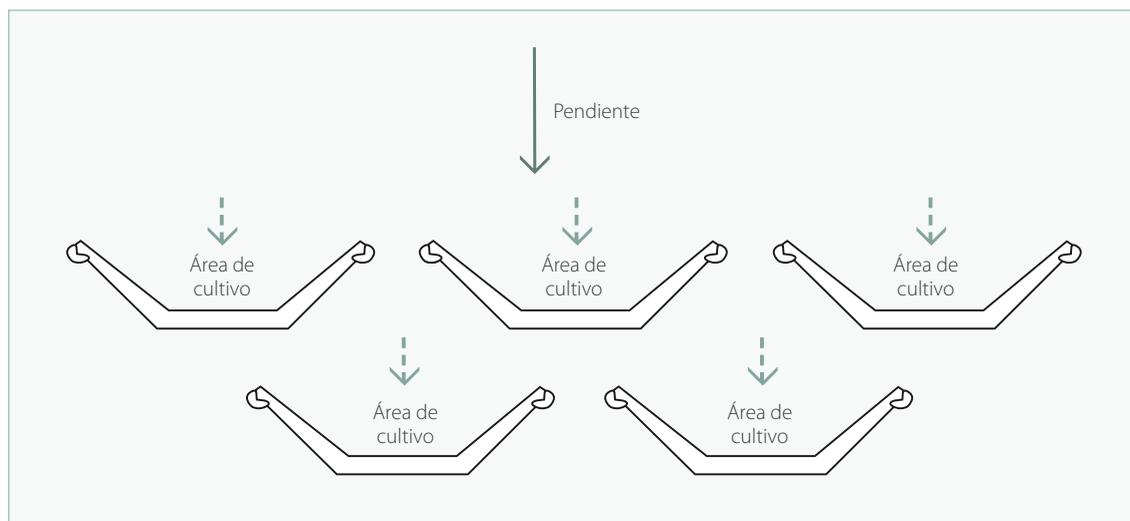
Esta técnica se aplica a zonas áridas y semiáridas, con 250 a 500 mm de precipitación anual. Los suelos deben ser de buena calidad para la agricultura y para la construcción de los bordos, o sea, deben presentar textura y estructura con buena retención de agua y nutrientes y no ser muy compactos, masivos o que se agrieten en el periodo seco. Asimismo, no deben ser muy plásticos y adherentes, cuando están húmedos. Otra condición es que los terrenos sean semiplanos, uniformes, con pendiente desde 0,25% hasta el 1,5%. Lo ideal es que no pasen de 0,5% para que el bordo base no quede muy alto y ancho.

En pendientes más inclinadas se hace difícil manejar adecuadamente la escorrentía superficial y hay gran movimiento de tierra para alcanzar la altura de los bordos, lo que puede determinar que la técnica resulte poco atractiva y factible. La dimensión del área confinada para cultivo puede variar de 0,1 ha hasta 1,0 ha.

Conformación del terreno

Los bordos trapezoidales son dispuestos en el terreno de manera que el bordo base quede con orientación perpendicular a la línea de la pendiente. Los bordos trapezoidales de la línea aguas abajo son dispuestos en posición alternada con la anterior, de tal forma que el agua que rebalse de una estructura o pase entre ellas sea captada por el bordo ubicado más abajo, tal como se muestra en la Figura 13-II.

FIGURA 13-II: Ubicación alternada de los bordos trapezoidales en el terreno. Adaptado de Critchley y Siegert, (1996).



Las distancias que se manejan entre los bordos dependen de las dimensiones de cada estructura trapezoidal y del área de captación establecida por los parámetros ya discutidos en capítulos anteriores.

Primeramente, se debe determinar la dimensión total del terreno con que se cuenta y calcular la relación CAPT:CULT. Determinado el valor de la relación, basta dividir la dimensión total del área por dicho valor y se obtiene el valor del área de cultivo.

El área de cada estructura trapezoidal se calcula de la siguiente manera: $A = x (B + b) \div 2$. B es la distancia entre las extremidades de los bordos laterales; b es la longitud del bordo base y x es la distancia entre las proyecciones B y b, tal como se observa en la Figura 13-I.

Con el área total de cultivo determinada y el área de cada estructura trapezoidal calculada, se establece el número total de estructuras trapezoidales que se necesita o que puede construirse en dicha área.

En el Cuadro 13-I, a título de ejemplo, se muestran las dimensiones de diseño utilizadas para las estructuras individuales de bordos trapezoidales en regiones de Kenia, para tres niveles de pendiente (Critchley y Siegert, 1996).

CUADRO 13-I: Dimensiones de bordos trapezoidales para tres grados de pendiente y los correspondientes movimientos de tierra para su construcción, en Kenia (Critchley y Siegert, 1996).

Pendiente	Longitud del bordo base	Longitud de los bordos laterales	Distancia entre extremos	Movimiento de suelo por bordo	Área cultivada por bordo	Movimiento de suelo por área cultivada
%	m	m	m	m ³	m ²	m ³
0,5	40	114	200	355	9.600	370
1,0	40	57	120	220	3.200	670
1,5	40	38	94	175	1.800	970

Los mencionados autores estandarizan la longitud del bordo base en 40 m y calculan la longitud de los bordos laterales por medio de la siguiente relación:

$$X = \frac{0,4 \times 100}{s}$$

X = Cateto del triángulo rectángulo formado entre el bordo base y el bordo lateral.
s = Pendiente del terreno (%)

A continuación, se transcribe el ejemplo presentado por Critchley y Siegert (1996), con las siguientes características:

<p>Datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Área total del campo: 20 ha. - Necesidad de agua del cultivo: 475 mm. - Lluvia de diseño = 250 mm. - Coeficiente de escorrentía = 0,25. - Eficiencia de la escorrentía = 0,50. - Pendiente = 1%. 	<p>Cálculo:</p> $\frac{\text{CAPT}}{\text{CULT}} = \frac{475 - 250}{250 \times 0,25 \times 0,50} = \frac{225}{31,25} = 7,2$
--	--

Interpretación:

Si la relación CAPT:CULT es de 7,2 unidades, para 20 ha de terreno se tendrá 2,8 ha de área de cultivo.

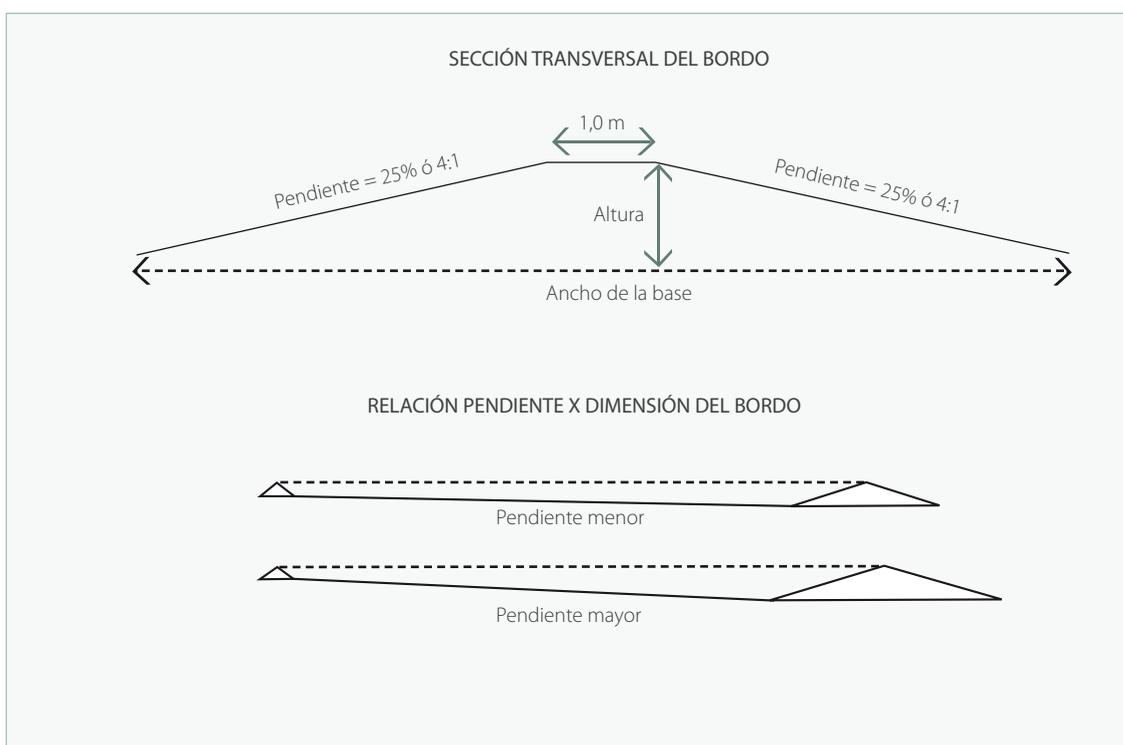
Para esta pendiente de 1%, se recomienda que cada bordo trapezoidal posea 0,32 ha de área cultivada, según el cuadro ejemplo, lo que equivale a tener 8 unidades de cultivo (2,8 ÷ 0,32) en este campo de 20 ha.

Indicaciones de construcción

Los bordos pueden ser contruidos con implementos manuales o de tracción animal, si hay suficiente mano de obra local. Sin embargo, por las dimensiones, es deseable y factible que sean contruidos a máquina, utilizando arado bordeador o motoniveladora.

Para definir la altura del bordo, se toma como base la altura de los extremos, la cual debe ser de mínimo 0,2 m. A partir de allí, se mantiene el nivel en la cima del bordo lateral hacia el bordo de base. De esta manera, la altura final del bordo de base dependerá de la pendiente del terreno y de la longitud del bordo lateral. Cuanto más inclinado sea el terreno o más largo el bordo lateral, más altura tendrá el bordo de base, para mantener el nivel de la cima (Figura 13-III).

FIGURA 13-III: Sección transversal del bordo y relación entre la pendiente del terreno y la dimensión del bordo de base. Adaptado de Critchley y Siegert (1996).



Se recomienda que los bordos sean construidos con sección transversal en forma trapezoidal con 1,0 m de ancho en la cima y taludes laterales con 25% de pendiente o 4:1. Si la altura del borde en la cima es de 0,5 m, cada talud tendrá 2,0 m horizontales. En este caso, el ancho total del borde en este punto sería de 5,0 m (2,0 + 1,0 + 2,0), correspondiendo a la proyección horizontal de la cara interna + cima + proyección horizontal de la cara externa, respectivamente.

En ambos extremos, los bordos deben estar protegidos por una barrera de piedras para que el agua sobrante salga del límite del trapecio sin daños al bordo.

Elementos de costo

El Cuadro 13-I muestra el movimiento de tierra que conlleva la aplicación de esta práctica, el cual constituye el principal costo de la misma, pudiendo ser ejecutado por diferentes equipos.

Los demás elementos de costo son:

Trazado de las curvas de nivel: La longitud de las curvas de nivel por área para la aplicación de esta práctica es pequeña y su trazado requiere poca labor. Por ejemplo, tomando el caso descrito de 20 ha con 8 bordos, serían apenas cerca de 1.200 m de curvas de nivel trazadas.

Trazado de los bordos laterales: Una vez ubicados los bordos base sobre las curva de nivel y determinadas las dimensiones de los bordos laterales, estos son trazados con una cinta métrica. En el ejemplo anterior, son 16 bordos laterales en 20 ha.

Construcción de la protección de piedras en los extremos del bordo: 0,25 m³ de piedra por extremo, lo que puede resultar fácil de ejecutar si hay disponibilidad de piedras de buen tamaño en las cercanías (diámetro entre 15 y 30 cm) y difícil, si no las hay.

Variantes de la técnica

El sistema de bordos rectangulares y los grandes bordos semicirculares (descritos en el Capítulo 12) pueden ser considerados como variantes, porque guardan los mismos principios hidrológicos cambiando la figura geométrica y la conformación en el campo.

Posibilidades de recomendación y adopción

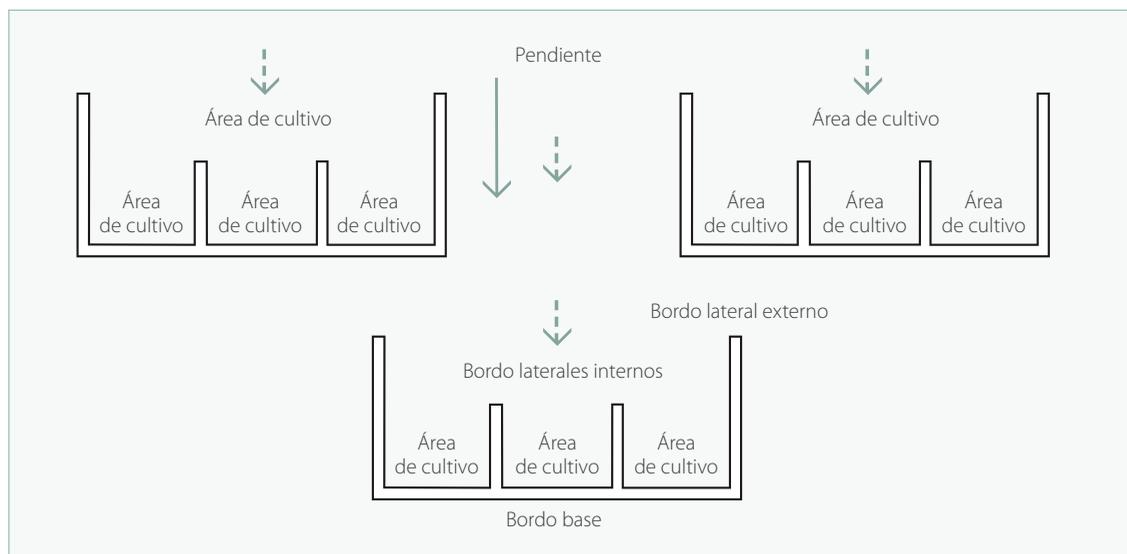
Las dimensiones de los bordos y el movimiento de tierra imponen limitaciones al desarrollo de esta técnica a nivel de pequeños agricultores, si no hay un sistema de apoyo externo que permita, por ejemplo, el uso de maquinaria.

TÉCNICA 13-02: Macrocaptación en bordos rectangulares (Teras)

Descripción

Es un sistema de macrocaptación similar a los bordos trapezoidales, cuya variante es la posición paralela de los bordos laterales, formando un rectángulo sin el lado de arriba, espacio por donde ingresa la escorrentía superficial al sistema de captación. Este sistema también puede ser dotado de grandes brazos (bordos) laterales principales, para adaptarse mejor a las condiciones de terreno, conteniendo rectángulos más pequeños al interior (Figura 13-IV). Desde el punto de vista hidrológico, responden al mismo principio (Critchley y Siegert, 1996).

FIGURA 13-IV: Esquema de bordos rectangulares sobre el terreno. Adaptado de Critchley y Siegert, 1996.



Se trata de una técnica utilizada en las grandes planicies arcillosas de Sudán Occidental y en Somalia. Cultivos más sensibles al déficit hídrico pueden ser sembrados dentro de los rectángulos menores, los más tolerantes, arriba de ellos, en la parte superior del rectángulo grande.

Para las demás características, son aplicables los mismos conceptos de los bordos trapezoidales.

TÉCNICA 13-03: Bordos permeables de piedra en contorno

Descripción

Los bordos de piedra en contorno son estructuras construidas con piedras sueltas, amontonadas en la forma de un camellón, con el propósito de reducir la velocidad de la escorrentía superficial, favorecer su infiltración y capturar sedimentos (efecto de colador de la escorrentía). El origen de la escorrentía puede ser del propio terreno donde se construyen los bordos de piedra, de terrenos alledaños o de avenidas y torrentes que pasan por el área y son derivados.

Es una práctica tradicional en algunos países, utilizada principalmente para reducir los riesgos de erosión hídrica. En zonas semiáridas, es más utilizada en África, especialmente en Burkina Faso. El trazado cuidadoso a lo largo de las curvas de nivel hace que la técnica sea considerablemente más efectiva. No necesita aliviaderos o vertederos, distribuye la escorrentía mejor que los bordos de tierra y requiere menos mantenimiento.

Condiciones de adaptación

Los bordos de piedra en contorno son implementados en zonas áridas y semiáridas en la que hay disponibilidad de piedras, en cantidad considerable, sueltas sobre el terreno y de tamaños manejables, no muy grandes, que sea arduo moverlas, y no tan pequeñas, que no permitan ser amontonadas para formar una barrera. Entre 15 y 30 cm de diámetro es el tamaño ideal.

Se han implantado en zonas con precipitación entre 200 y 750 mm por año, con buenos suelos agrícolas y en terrenos con menos de 2 % de pendiente. No es necesario que el relieve sea completamente uniforme (Critchley y Siegert, 1996).

Conformación del terreno

Los bordos son construidos en curva de nivel, con espaciamientos que varían normalmente entre 15 y 30 m.

Indicaciones de construcción

La altura del bordo es de 0,25-0,30 m como mínimo y la base debe ser suficientemente ancha para dar buena sustentación a la estructura, generalmente 1,5 a 2,0 veces el valor de la altura. Se puede aplanar el terreno en la base del bordo antes de construirlo y colocar las piedras más grandes abajo y del lado inferior para mayor estabilidad.

En la Figura 13-V, se pueden observar bordos de piedra construidos en zonas de ladera, como práctica para reducir la velocidad de la escorrentía superficial.

FIGURA 13-V: Ejemplos de bordos de piedras construidos en ladera con el objetivo de reducción de la velocidad de la escorrentía.



Fotos: Proyectos MAG-FAO-Holanda, Costa Rica, y CENTA-FAO-Holanda, El Salvador.

Elementos de costo

Los componentes de costos para la construcción de bordos de piedra son los siguientes:

- » Trazado de curvas de nivel: A 15 m de distancia son 670 m lineales por hectárea; a 30 m, la mitad.
- » Recolección, transporte y colocación de las piedras (considera distancias pequeñas, dentro del mismo terreno): Entre 1,5 y 2,5 m lineales por hora de trabajo por persona (bordo de piedra de 0,35 m de alto y 0,55 de base), rendimiento equivalente entre 0,15 y 0,24 m³ de piedras removidas y colocadas por hora de trabajo por persona. Los rendimientos son muy variables, determinados por la ubicación de la materia prima (si las piedras están en la superficie, sueltas, semienterradas, disponibilidad, tamaño, distancia, etc.); las herramientas utilizadas; la tradición y habilidades de la población (acostumbrada o no al tipo de tarea). Hay datos de casos en otras partes del mundo con rendimientos menores.

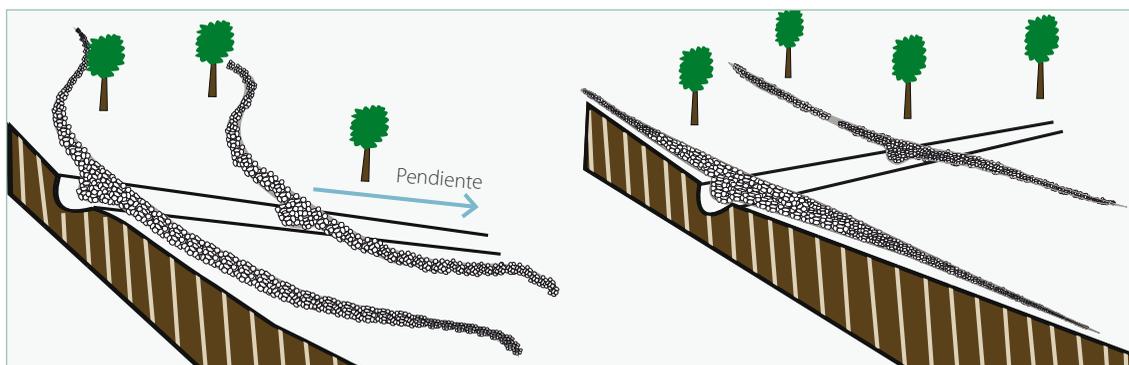
Variantes de la técnica

Los bordos de piedra presentan variaciones, entre ellas las siguientes:

- » Bordos de tierra con vertederos de piedra: Cumplen una función similar al bordo de piedra. Esta estructura combina bordos en contorno de tierra con vertederos de piedra para el paso gradual de la escorrentía. Se construye principalmente donde no se cuenta con suficiente material de piedra disponible. Los vertederos permiten un esparcimiento lento de la escorrentía aguas abajo. Presenta también la ventaja que se pueden seleccionar los lugares donde se desea que la escorrentía sea esparcida aguas abajo.
- » Presas permeables de piedra: Donde hay un cauce o cárcava que acumula gran volumen de escorrentía, esta puede ser detenida en una presa construida en piedra, como si fuera un dique, conectada a bordos de piedra, en nivel o paralelos, que distribuyan el volumen de agua por los terrenos aledaños (Critchley y Siegert, 1996). La presa puede alcanzar unos 2,0 m de altura desde el fondo de la zanja y debe sobrepasar la altura de la borda, para conectarse con los bordos de piedra (Figura 13-VI). Si no hay suficientes piedras, se puede optar por bordos de tierra, con o sin vertederos de piedras. También se puede optar por bordos paralelos, siempre y cuando el terreno sea bien uniforme.

Los bordos permeables de piedra y sus variantes pueden asociarse con otras técnicas ya descritas, tales como: bordos triangulares, trapezoidales, rectangulares o semicírculos, el que se adecúe mejor a cada objetivo de uso de la tierra.

FIGURA 13-VI: Conformación en el terreno de presas permeables de piedras, con bordos de piedra laterales, en nivel y paralelos. Adaptado de Critchley y Siegert (1996).



Posibilidades de recomendación y adopción

Es una técnica de aplicación relativamente sencilla. Las mayores limitaciones son la disponibilidad de piedras, la mano de obra para la construcción y la eficiencia de la propia técnica.

TÉCNICA 13-04: Captación de cuenca y embalse superficial para riego

Descripción

Esta técnica consiste en la captación de escorrentía generada en una pequeña cuenca hidrográfica o en partes de ella, la cual es represada en embalses estratégicamente construidos aguas abajo, para utilización principalmente en riego por gravedad. En el noreste de Brasil, donde ha sido estudiada y difundida por la EMBRAPA Semiárido, es conocida como “embalse para riego de salvación”, aunque el concepto de “riego de salvación” puede incluir agua captada en otras estructuras.

Según Brito et al, (1999) y Silva et al, (2000b; 2007b), el agua captada durante el periodo lluvioso sirve para irrigar los cultivos durante periodos de veranillo, los cuales son frecuentes en regiones semiáridas, así como para extender la época de disponibilidad de agua para los cultivos dentro del período seco, al final de la estación de lluvias.

En lugares donde se puede perder una buena cosecha por la ocurrencia de períodos secos y donde la estación lluviosa no va más allá de 20 semanas por año, tener agua disponible por más tiempo, aunque no sea en cantidades ideales, puede tener un gran impacto para la seguridad alimentaria.

Condiciones de adaptación

Se ha utilizado en zonas con 400 a 800 mm de precipitación anual en el semiárido brasileño. El terreno del área de captación aguas arriba debe presentar baja capacidad de infiltración de agua, de preferencia suelos delgados y rocosos, con pendiente moderada (arriba del 2%), para que el coeficiente de escorrentía sea más elevado.

El área donde se construye el embalse debe poseer suelo poco permeable, de preferencia rocoso en profundidad para que el agua almacenada no se infiltre. El dique de contención del embalse es construido con el suelo del terreno mismo y este debe contener un alto porcentaje de arcilla para garantizar su impermeabilidad (Porto et al, 1999). Se deben evitar los sitios con suelos arenosos.

Por último, el área de cultivo aguas abajo del embalse debe poseer topografía suave y suelo con buenas características para cultivos (profundos, friables, buen almacenamiento de agua).

Conformación del terreno

La estructura completa incluye el área de captación aguas arriba, la presa en cota intermedia y el área de cultivo aguas abajo (Brito et al, 1999).

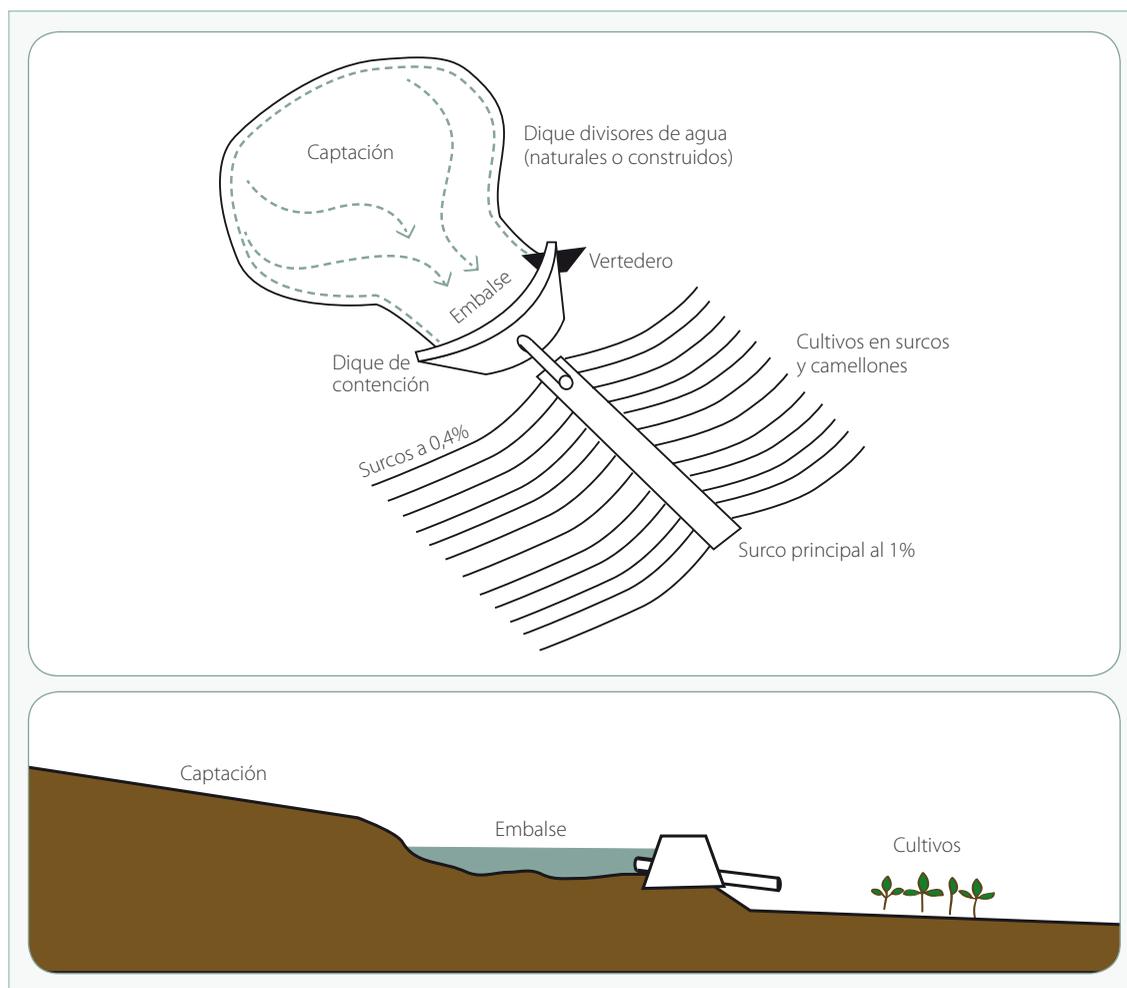
El área de captación es una pequeña cuenca hidrográfica o una parte de ella. En este caso, es necesario que en la parte que no es un límite natural del área de captación se utilicen bordos o surcos que funcionen como divisores de agua y conduzcan la escorrentía al embalse.

El embalse se ubica en el punto de convergencia del drenaje natural del terreno, con dique de contención en forma de un semicírculo. Opcionalmente, el embalse puede ser dividido longitudinalmente por un dique interno, como forma de evitar un espejo de agua muy grande cuando no hay suficiente agua para llenar completamente todo el embalse. Primero, se llena y se utiliza un lado del embalse y, después, el otro.

El área de cultivo se ubica aguas abajo del embalse, de tal manera que el agua pueda ser distribuida por gravedad, por medio de un surco principal con pendiente entre 0,5 y 1% y surcos laterales, con pendiente de 0,4% para que fluya a lo largo del surco.

En la Figura 13-VII se puede observar la configuración general de esta práctica.

FIGURA 13-VII: Conformación en el terreno de la técnica de captación de cuenca y embalse superficial para riego. Adaptado de Silva et al, (2000b; 2007b).



Indicaciones de construcción

Primeramente, se hace una prospección en el área y se identifica preliminarmente el área de captación, el mejor sitio para el embalse y el área de cultivos. Estas estructuras deben estar lo más cerca posible, a fin de evitar costos y pérdidas en la conducción del agua.

Existiendo las condiciones de terreno y suelo para ubicar cada una de las estructuras, por aproximaciones sucesivas se estiman las dimensiones de cada estructura. Silva et al, (2000b, 2007b) señala que el éxito del sistema está en la selección correcta de las mejores condiciones para cada una de las estructuras (área de captación, embalse y área de cultivo), como conjunto y no individualmente.

Área de cultivo

La dimensión del área de cultivo se estima preliminarmente considerando los siguientes factores:

- » Área que el agricultor planea (y logra) manejar para garantizar la seguridad alimentaria de la familia y, de ser posible, para la venta.
- » Terreno de buena calidad para el cultivo (suelo y topografía).

Es mejor tener áreas pequeñas, bien manejadas y con productividad más segura, que áreas de cultivos más grandes, donde no se practica un manejo adecuado por falta de mano de obra, insumos y agua.

Con el área de cultivo estimada, se definen las especies y variedades a sembrar y el consumo de agua de cada una de ellas con base en los valores de ETo , Kc y ETc del lugar. En seguida, con base en el patrón de lluvia local, utilizando P50 ó P75, se estima la lluvia de diseño y finalmente el déficit de agua. Este déficit de agua es el que deberá ser complementado con el agua del embalse. Estos cálculos han sido discutidos en los capítulos correspondientes.

Embalse

El volumen del embalse debe cubrir el volumen de agua a complementar. No hay que olvidar que hay pérdidas por infiltración de fondo y evaporación de la superficie expuesta, las cuales no son bajas. Aunque haya variaciones dependiendo del material de fondo, dique y paredes, así como de las condiciones climáticas (radiación solar, temperatura, humedad atmosférica, viento), Silva et al, (2000b) trabaja con 50% de pérdidas para las condiciones semiáridas brasileñas.

El volumen del embalse se calcula de la siguiente manera (Adaptado de Silva et al, 2000b):

$$Vemb = \frac{Da \times As}{Pe}$$

Vemb = Volumen del embalse (m³)

Da = Déficit de agua (m)

As = Área de siembra (m²)

Pe = Pérdidas en el embalse (decimal)

Área de Captación

Partiendo del volumen del embalse, se verifica cuál es la superficie de captación necesaria, tomando en cuenta la precipitación local y el coeficiente de escorrentía, con base en las características de suelo, terreno y vegetación. Es deseable que el terreno sea en pendiente; tenga suelo delgado, con mínima rugosidad y sin ondulaciones que impidan la escorrentía superficial; y cuente con poca vegetación. Los autores citados utilizan un coeficiente de escorrentía (C) de 0,2.

El área debe ser evaluada para identificar los sitios en que la escorrentía discurrirá libremente hacia el embalse (divisores naturales de la cuenca) y los lugares en que necesitará ser contenida y conducida hacia el embalse por medio de camellones y zanjas (divisores artificiales). También se deben identificar los sitios en los cuales podrá formar pozas o humedales y ser drenada con zanjas hacia el embalse.

El área de captación se calcula de la siguiente manera (Adaptado de Silva et al, 2000b):

$$AC = \frac{Vemb}{C \times P}$$

Ac = Área de captación (m²)

Vemb = Volumen del embalse (m³)

C = Coeficiente de escorrentía (decimal)

P = Precipitación media anual - P50 ó P75 (m)

Si al estimar la dimensión del área de captación se concluye que no hay suficiente superficie para llenar el embalse y atender las necesidades de complementación de agua en el área de cultivo, se redimensiona el sistema, partiendo ahora de la disponibilidad de área de captación y volumen de escorrentía.

Puede ocurrir también que, habiendo suficiente escorrentía y área de cultivo, el lugar del embalse sea adecuado solo para un volumen de escorrentía más pequeño, o no adecuado para soportar un embalse de mayor volumen (altura y largo del dique, conformación del terreno, calidad del suelo, costos, etc.), lo que requerirá también un redimensionamiento del sistema.

Ubicación, diseño y construcción del embalse

Para la ubicación, diseño y construcción del embalse, es necesario tomar en cuenta algunos factores que se consideran importantes, como los siguientes:

- » El material de fondo debe ser lo más impermeable posible para evitar pérdidas excesivas de agua por infiltración, pero no debe estar a menos de 1,0 m de la superficie inicial.
- » No debe estar en áreas con problemas de salinidad.
- » La forma del dique en semicírculo reduce el movimiento de tierra y horas-máquina para la construcción.
- » En caso de pérdidas por filtraciones predecibles, se puede impermeabilizar todo el embalse con lodo arcilloso.
- » Siempre se debe contar con un vertedero de excesos, con por lo menos 0,5 m de diferencia de altura en relación a la cima del dique.

Según Silva et al, (2000b), para el diseño del embalse se considera inicialmente la lámina media de agua (L_m) que almacenará, la cual es dada por la siguiente relación:

$$L_m = \frac{(A_d - A_v) + A_e}{2}$$

L_m = Lámina media de agua (m)
 A_d = Altura del dique (m)
 A_v = Altura del vertedero (m)
 A_e = Altura de excavación (m)

Con la lámina media y el volumen total del embalse, se puede calcular el área del embalse y el radio del semicírculo a partir de las siguientes relaciones:

$$A_e = \frac{V_{emb}}{L_m}$$

A_e = Área del semicírculo (m^2)
 V_{emb} = Volumen del embalse (m^3)
 L_m = Lámina media de agua (m)

$$R = \sqrt{\frac{A_e \times 2}{\pi}}$$

R = Radio del semicírculo (m)
 A_e = Área del semicírculo (m^2)
 π = 3,1416

Definido el radio del semicírculo, se traza una línea de base en el sentido longitudinal a las tres estructuras (área de cultivo, embalse y área de captación) que pase por el punto de convergencia de las aguas donde será ubicado en dique. De este punto, sobre la línea longitudinal, se mide la distancia del radio (R) y se demarca el centro del semicírculo. Con una cuerda de la longitud del radio (R), se traza todo el perímetro del semicírculo, ubicando estacas como demarcación de la línea circular interna. Se traza una línea externa a 7 m de distancia de la primera. Así se determina la base del dique.

Para la construcción del embalse, según Silva et al, (2000b; 2007b), se siguen los pasos indicados a continuación:

- » Se hace una limpieza en el área seleccionada para el embalse, retirando vegetación, raíces y el suelo superficial; si hay suelo con elevado material orgánico, también se extrae.
- » Se pasa una rastra para uniformizar el área.
- » A lo largo de toda la base del dique se abre una zanja de por lo menos 2,0 m de ancho y profundidad que alcance material firme e impermeable.
- » Sobre la línea de base longitudinal se abre otra zanja perpendicular a la primera, para instalar un tubo de 100 mm (4 pulgadas) de salida del agua del embalse y derivarla hacia el área de cultivo. Este tubo no debe estar exactamente en el fondo del embalse y la zanja en la que se coloca debe rellenarse con material arcilloso para una buena impermeabilización. El extremo del tubo dentro del embalse debe estar alejado del pie del talud y del fondo en por lo menos 0,5 m.

- » La zanja debe ser rellenada con material arcilloso con buena compactación. El dique debe ser levantado con el mismo material. Es importante que las diferentes capas colocadas sobre el talud vayan siendo compactadas por la misma máquina que realiza el movimiento de tierra.
- » La cima del dique debe estar a nivel en toda su extensión y tener una leve pendiente hacia los taludes, para que el agua no quede estancada sobre él.

Cuando el embalse posee un dique interno sobre la línea de base longitudinal que lo divide en dos embalses más pequeños que almacenan agua con menor espejo expuesto a la evaporación e infiltración de fondo, el tubo de salida debe ser equipado con una T y conectado a dos brazos, para extraer el agua de uno y otro lado del embalse.

Elementos de costo

Los costos de este tipo de práctica son muy variables, al depender de las dimensiones y requerimientos de la obra en las diferentes situaciones. El Cuadro 13-II presenta información de Silva et al, (2007b) con elementos de costos necesarios para la ejecución de uno de estos proyectos, los cuales podrán servir de base de cálculo y adaptaciones para otros lugares.

CUADRO 13-II: Servicios y materiales necesarios para la construcción de un embalse para riego de salvación, tomando en cuenta vegetación de estepa xerófila y área de cultivo ya trabajada. Silva et al, (2007b), citando trabajo de Silva et al, (1981).

Servicios y materiales	Unidad*	Cantidad
Remoción de la vegetación y 0,20 m de suelo superficial	Horas TO	2
Abertura de las zanjas de base del dique y tubo tragante - 135 m ³	Horas TO	4
Excavación y construcción del dique - 2.645 m ³	Horas TO	65
Construcción de diques y zanjas de recolección de agua - 1.100 m	Horas TO	4
Construcción del vertedero - 30 m ³	Horas TO	1
Preparación del suelo en el área de cultivo	Horas TA	12
Surcación y camellones en el área de cultivo	Horas TA	4
Instalación del tubo tragante	Jornal	5
Tubos de PVC de 4' (100 mm)	m	36

* TO = Tractor de oruga; TA = Tractor agrícola - llantas.

Por la complejidad y dimensiones del dique y volumen almacenado, se recomienda que el extensionista siga las disposiciones de la legislación del país respectivo para la construcción de estructuras de contención de agua y medidas generales de seguridad, principalmente cuando existan áreas pobladas aguas abajo. Por este motivo, es conveniente que los diques no sean muy altos (no más de 4 metros) y que el volumen almacenado no sea demasiado grande.

Variantes de la técnica

El embalse no necesita ser exactamente un semicírculo y el área de captación puede incluir cosecha de agua de caminos y carreteras.

Posibilidades de recomendación y adopción

Por los costos involucrados relativamente elevados y la poca capacidad económica de los pobladores que viven en áreas de sequía recurrente, es una técnica a ser implementada con apoyo externo. Sin este, los proyectos de esta naturaleza son solamente factibles en zonas con gran disponibilidad de mano de obra en régimen de trabajo comunitario.

TÉCNICA 13-05: Derivación de escorrentía de caminos y carreteras

Descripción

Las áreas cubiertas por caminos y carreteras son generadoras de escorrentía superficial debido al grado de compactación y al tipo de piso poco permeable que poseen. Como la sección transversal de los caminos y carreteras generalmente posee forma elíptica, el agua de lluvia escurre hacia los lados y las estructuras construidas en sus orillas permiten captar un elevado volumen de escorrentía que puede ser almacenado y utilizado para abreviar animales y para pequeños sistemas de riego. Dependiendo de la situación, el volumen de escorrentía puede ser muy considerable.

Principalmente en los caminos y carreteras de piso no asfáltico, la cantidad de sedimentos transportados puede ser grande, razón por la que generalmente se requieren sedimentadores y filtros antes de que el agua llegue a la estructura de almacenamiento.

Condiciones de adaptación

La derivación de escorrentía de caminos se puede realizar siempre que su superficie tenga una cierta pendiente, tanto en el sentido de la longitud como en el ancho (superficie elíptica). De esta manera, la escorrentía fluirá primero hacia las orillas y después en el sentido de la pendiente longitudinal y podrá ser captada con mayor eficiencia.

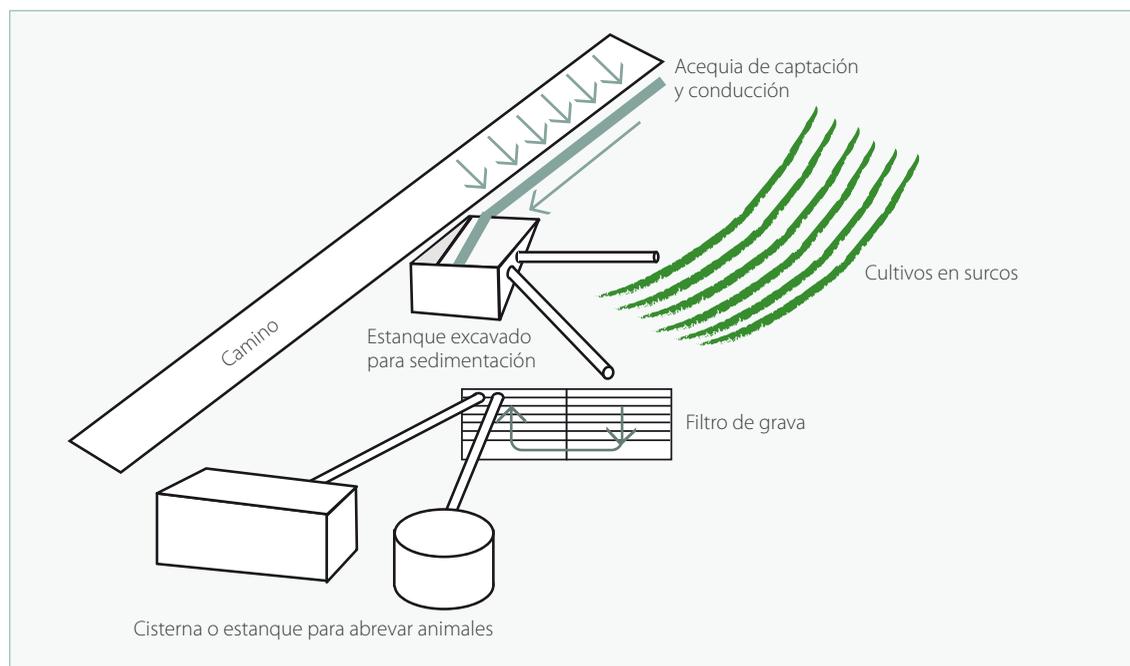
Conformación del terreno

Las carreteras principales de mucho tránsito no deben tener obras a su alrededor o sobre ellas. De esta manera, el productor solo podrá captar la escorrentía fuera de la zona propiamente del camino o carretera.

En los caminos vecinales se puede explotar la escorrentía disponible en las orillas. De allí, puede ser conducida por zanjas y camellones cortos hasta la estructura de decantación y filtraje, la cual puede tener diferentes configuraciones y eficiencias de limpieza, conforme los objetivos de uso del agua.

Si es para uso en riego por surcos, un simple estanque de decantación es suficiente. Este estanque se puede excavar de tal manera que, de un lado quede la rampa de captación de la escorrentía, por donde resulte fácil que una máquina o una persona, equipada con carretilla y pala, extraiga periódicamente los sedimentos depositados en el fondo. Del otro lado, por una zanja o un tubo ubicado en la parte más alta, la escorrentía pasa más limpia a otras estructuras de filtro, almacenamiento o distribución (Figura 13-VIII).

FIGURA 13-VIII: Esquema general de una captación y derivación de escorrentía a lo largo de camino hacia diferentes finalidades de uso.



Indicaciones de construcción

Las estructuras de captación de escorrentía de caminos son muy variables y están de acuerdo con las condiciones locales. Se espera que la propia conformación elíptica de la superficie del camino conduzca la escorrentía hacia sus orillas, donde una zanja lleve el agua hacia el estanque de sedimentación.

Como referencia, el estanque de sedimentación podría tener las siguientes dimensiones: 2,0 m de ancho, 4,0 ó 5,0 m de largo y 1,0 m en el lado más profundo. Con estas dimensiones, el estanque tendría entre 4,0 y 5,0 m³ de volumen.

Si la finalidad del agua es riego, se debe construir una zanja que conduzca el agua desde el estanque de sedimentación hasta el área de cultivo, donde el agua se distribuya mediante surcos en ligero desnivel.

Si la finalidad es abreviar animales, es necesario que el agua sea nuevamente filtrada, lo que puede ser realizado en un estanque de grava con dos divisiones conectadas en la parte baja, de tal manera que la escorrentía entre por la parte alta de un lado y drene por la parte alta del otro lado, pasando a través del volumen de grava.

Para calcular el volumen de escorrentía esperado se pueden utilizar las mismas variables utilizadas para calcular el agua de techos y superficies impermeables, considerando el valor de coeficiente de escorrentía correspondiente al tipo de piso del camino y las posibles pérdidas por conducción y filtración (eficiencia de la escorrentía).

Costos

Los costos dependen de los requerimientos relativos a los movimientos de tierra y la construcción de las estructuras de sedimentación, filtro y almacenamiento.

Variantes de la técnica

La técnica puede tener muchas variantes, dependiendo de las condiciones locales del terreno, tipo de camino o carretera, disponibilidad de recursos, objetivos del proyecto de utilización del agua, etc. En la Figura 13-IX se presentan dos ejemplos de derivación de escorrentía de caminos, uno con almacenamiento en estanque excavado tipo trinchera, promovido por el IRPAA en comunidades rurales, y otro con almacenamiento en cisterna, para abreviar cabras, en un proyecto de la EMBRAPA Semiárido.

FIGURA 13-IX: Dos situaciones de captación de agua de caminos: captación directa, sin filtro, con almacenamiento en estanque excavado tipo trinchera; otra, con filtro tipo estanque de grava, con almacenamiento en cisterna, ambos para abreviar caprinos.



Fotos: Marcos J. Vieira e Luiza T. L. Brito.

Posibilidades de recomendación y adopción

Hay bastantes posibilidades de adopción, por la simplicidad de la técnica y por el volumen de agua que se puede obtener.

TÉCNICA 13-06: Derivación de torrentes y cursos de agua

Descripción

La derivación de torrentes y cursos de agua para el aprovechamiento en cultivos u otras finalidades presenta gran amplitud de variaciones técnicas, dependiendo de la fuente de agua (torrentes o avenidas de agua que solo existen como escorrentía superficial durante períodos de lluvias intensas, manantiales, cursos de agua efímeros o permanentes, etc.).

Generalmente, las técnicas de derivación de estas fuentes incluyen los siguientes componentes:

Estructura de contención en el cauce:

- » Es una estructura que se utiliza para detener el desplazamiento del caudal (escorrentía o curso de agua) y facilitar su derivación hacia los puntos de interés.
- » Cumple también con el objetivo de elevar la columna de agua en el cauce para facilitar la derivación y/o almacenar el agua como si fuera una presa.
- » Puede ser muy sencilla, como una barrera de piedras o de bolsas de arena, o muy sofisticada, como una presa de hormigón, dotada de sistema de compuertas de derivación.

Estructura de conducción de agua:

- » Es una estructura que conduce el agua del lugar de captación (bocatoma) y derivación hasta el lugar de utilización o almacenamiento.
- » Puede ser por conducción directa, por medio de zanjas excavadas (impermeabilizadas o no), construidas con un pequeño desnivel para facilitar el flujo del agua. También se pueden utilizar tubos de PVC o mangueras tipo poliducto. La selección del medio de transporte depende del objetivo y características técnicas del proyecto, volumen y finalidad de uso del agua captada y de los recursos disponibles.
- » La conducción debe ser preferentemente por gravedad. No habiendo alternativas, puede ser estudiada la factibilidad de bombeo por medio de bombas a motor, arietes o ruedas hidráulicas.

Estructura de almacenamiento y distribución:

- » No siempre el agua derivada es almacenada. En efecto, puede ocurrir que las características del proyecto permitan que ella sea conducida en canales o bordos hasta el área de cultivo y distribuida directamente. En este caso, es posible utilizar estructuras complementarias de macro o microcaptación sobre el terreno, según el caso.
- » Hay situaciones en que la opción es almacenar el agua en estructuras transitorias, para su posterior distribución, la cual se puede realizar por medio de canales o tuberías, generalmente para uso en riego y/o abrevadero.

Es importante señalar que antes de construir estructuras y derivar torrentes, nacimientos o cursos de agua, es necesario recabar la siguiente información a nivel de región, provincia y país:

- » ¿Cuál es la legislación vigente sobre el tema?
- » ¿Qué tipo de obras son permitidas en los cauces?
- » ¿Cuáles son las dimensiones de obras permitidas en proyectos individuales privados?
- » ¿Cuáles son las dimensiones a partir de las cuales se exigen proyectos de ingeniería aprobados por organismos de regulación?
- » ¿Cuál es la legislación ambiental en el tema?
- » ¿Qué autorizaciones o permisos de agua son necesarios?

Considerando la importancia que la derivación de torrentes y cursos de agua constituye para las posibilidades de producción, el tema se aborda a continuación a través del análisis de casos específicos (dada la existencia de un gran número de variantes), cada uno con sus características propias, las que pueden adecuarse a las diversas condiciones locales.

Caso 13-06-01: Derivación de escorrentía en bordos interceptores (México)

Descripción

Los torrentes o avenidas con gran flujo de escorrentía se pueden derivar hacia terrenos aledaños, utilizando canales o bordos de tierra distribuidos en el terreno para esparcir el volumen, de tal manera que la escorrentía se distribuya sin riesgo y abastezca el suelo de agua para los cultivos. Estas derivaciones pueden estar asociadas secundariamente con estructuras de captación sobre el terreno, tales como los bordos en V, rectangulares o semicirculares.

Velasco (2000) relata la aplicación de técnicas de derivación de la escorrentía de torrentes ocasionales en México, por medio de bocatomas o bordos interceptores ubicados y construidos estratégicamente sobre el terreno. Los bordos interceptores permiten manejar la escorrentía derivada de las avenidas en áreas de cultivos aledaños. Es una técnica similar a la presentada por Critchley y Siegert (1996), utilizada en Pakistán, bajo la denominación de derivación de torrentes en bordos escalonados.

Condiciones de adaptación

La técnica se adapta a situaciones de torrentes o avenidas ocasionales, en áreas cercanas al abanico aluvial. Los suelos deben ser profundos y con topografía suave, que permita el manejo seguro de la escorrentía derivada.

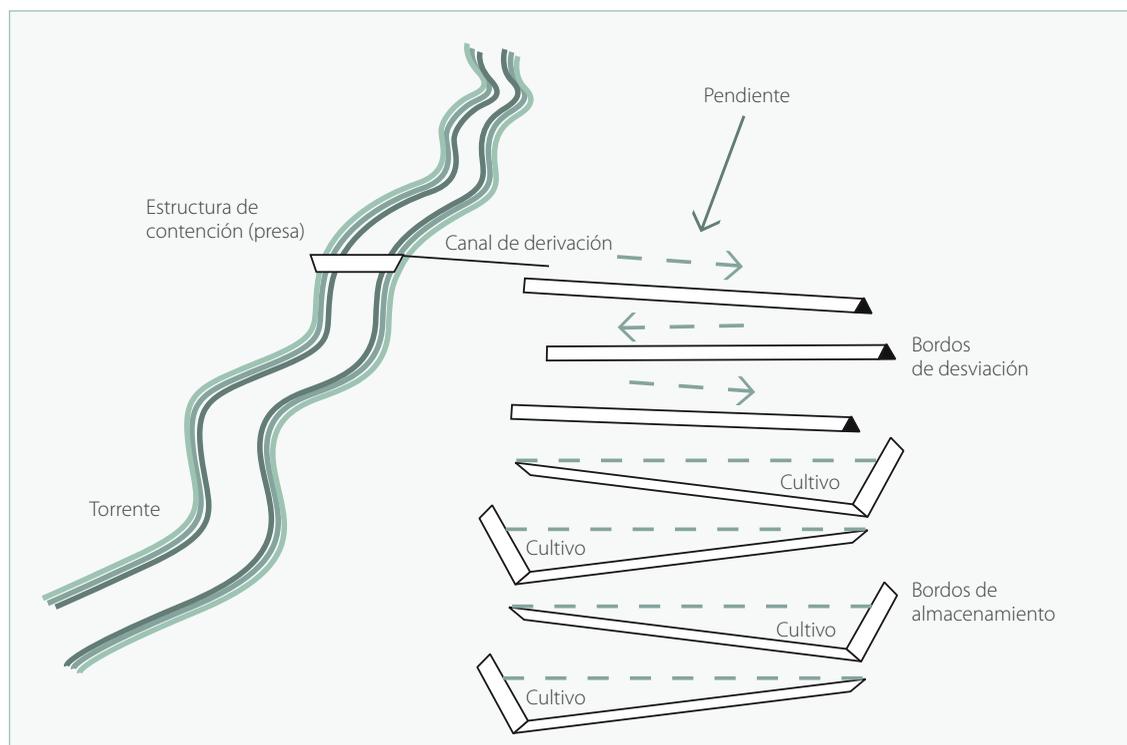
Critchley y Siegert (1996) refieren que, en el caso de Pakistán, las condiciones apropiadas a este tipo de práctica comprenden la existencia de suelos profundos y fértiles en abanicos aluviales y precipitaciones anuales de 100 a 350 mm; por lo tanto, condiciones áridas. Recomiendan terrenos con pendientes menores al 1% para el área de distribución del agua.

Conformación del terreno

El método incluye la construcción de una presa de retención en el cauce natural y, a partir de ella, un canal que derive el agua hasta los terrenos cultivables aledaños, donde el agua se distribuye mediante bordos de desviación.

Estos bordos, en número variable, dependiendo del volumen de escorrentía y de las características del terreno, reducen la velocidad del agua que proviene de la zanja de derivación y la distribuyen sobre bordos de retención o almacenamiento, área que se utiliza para la siembra de los cultivos. Una vez que un bordo de almacenamiento se llena, la escorrentía pasa a otros aguas abajo y sigue el proceso de distribución del agua en el área (Figura 13-X).

FIGURA 13-X: Esquema de la técnica de bordos interceptores sobre el terreno. Adaptado de Critchley y Siegert (1996) y Velasco (2000).



Indicaciones de construcción

La técnica incluye las siguientes obras de ingeniería: presa, canal de derivación, bordos de desviación y bordos de almacenamiento.

Para realizar un diseño detallado de las obras, es necesario conocer el caudal máximo del torrente, analizar los datos de lluvias máximas de por lo menos 10 años y compararlos con mediciones en el lugar. Si no es posible conseguir esta información, se recomienda que, tanto la presa como el canal de derivación, tengan estructuras de desagüe para mayor seguridad del sistema. En este caso, la presa puede consistir en un dique de contención. Si el caudal es grande, sobrepasará el dique y seguirá su curso. En el paso de la bocatoma hacia la zanja de derivación se puede ubicar un sistema sencillo de compuerta con tablas superpuestas, de tal manera que, si el sistema está saturado de agua, la compuerta pueda detener el paso del agua hacia el sistema.

Sin embargo, en ambos casos, un volumen de agua valioso se perdería. Una solución que podría ser evaluada es la construcción de un estanque tipo trinchera, aguas abajo de la derivación, pero aguas arriba del área de distribución. El volumen en exceso sería almacenado en el estanque, para ser utilizado en otra ocasión en que falte agua.

La zanja de derivación es recomendable que tenga una pendiente de hasta 0,1-0,2% para que el agua fluya sin erosionar las paredes y el fondo.

Los bordos de desviación deben ser construidos con una leve pendiente para que el agua desagüe pasando de uno a otro hasta alcanzar el primer bordo de almacenamiento. Estos últimos deben ser construidos de forma tal que el agua quede retenida dentro del área de cultivo. Uno de los extremos debe dar paso al agua y evacuarla hacia el bordo aguas abajo. En este punto es recomendable que haya una protección de piedras para que no se erosione la estructura del bordo.

Del último bordo de almacenamiento, si hay excedente de agua, esta puede volver al cauce del torrente, por medio de otra zanja de conducción.

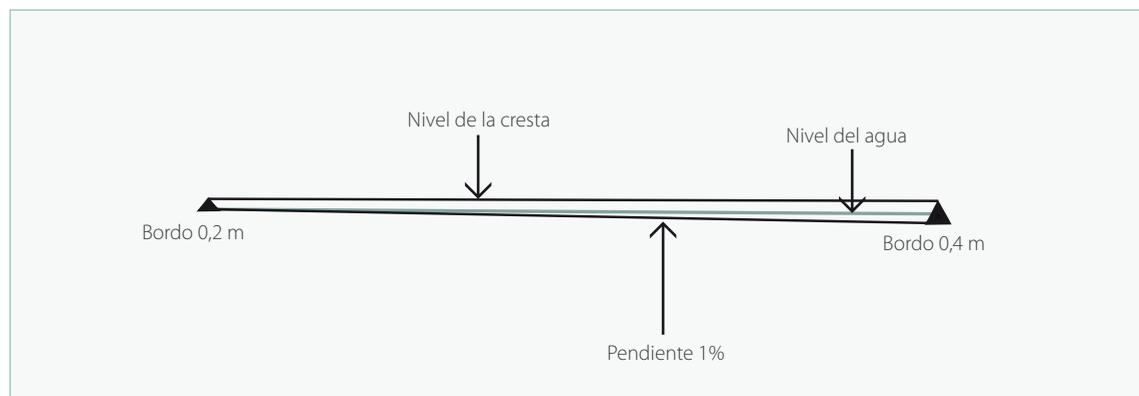
Para definir la altura de los bordos, se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- » tipo de suelo (drenaje rápido o lento),
- » tipo de cultivo (tolera anegamiento o no),
- » disponibilidad de agua y área que se quiere irrigar.

Si el suelo posee drenaje lento, es recomendable que los bordos sean más pequeños, para que no queden anegados por mucho tiempo, principalmente si hay cultivos sensibles. Si hay mucha disponibilidad de agua y el área destinada al cultivo es amplia, se pueden hacer bordos más grandes para asegurar mayor área anegada o humedecida.

Por ejemplo, para un bordo de almacenamiento con altura mínima de 0,2 m en el extremo del desagüe, si la pendiente del terreno es de un 1%, a los 20 m de distancia horizontal, aguas abajo, acumulará una columna de agua de aproximadamente 0,2 m y el bordo deberá tener, en este punto, 0,4 m de altura, por lo menos. En la Figura 13-XI se ilustra tal ejemplo.

FIGURA 13-XI: Conformación del terreno para altura de bordos de almacenamiento. Note que el nivel de la cima debe mantenerse en toda la extensión del bordo.



Elementos de costo

Los componentes de costo para esta práctica son los siguientes:

- » Materiales de construcción de la presa. Dependerán de lo siguiente: nivel de sofisticación tecnológica que tendrá el sistema; si serán utilizados materiales locales o adquiridos; dimensiones del cauce (ancho y profundidad) y dimensiones de la presa.
- » Mano de obra para la construcción de la presa.
- » Mano de obra para el trazado del sistema: zanja de derivación, bordos interceptores y bordos de almacenamiento.
- » Construcción de la zanja de derivación y de los bordos, utilizando maquinaria o mano de obra.

Posibilidades de recomendación y adopción

Es una técnica que requiere condiciones ambientales muy específicas para ser aplicada.

Caso 13-06-02: Derivación de escorrentía en áreas niveladas (México)

Descripción

En este caso, descrito por Velasco (2000), el cauce de torrentes o avenidas es interceptado por un bordo de contención que conduce el agua de manera controlada hacia las áreas de cultivo previamente niveladas, situadas en el abanico aluvial del torrente. Difiere un poco del caso anterior porque no se aprovecha la escorrentía en la superficie natural del terreno, sino en una superficie preparada y nivelada, como si fuera una terraza para arroz anegado.

Condiciones de adaptación

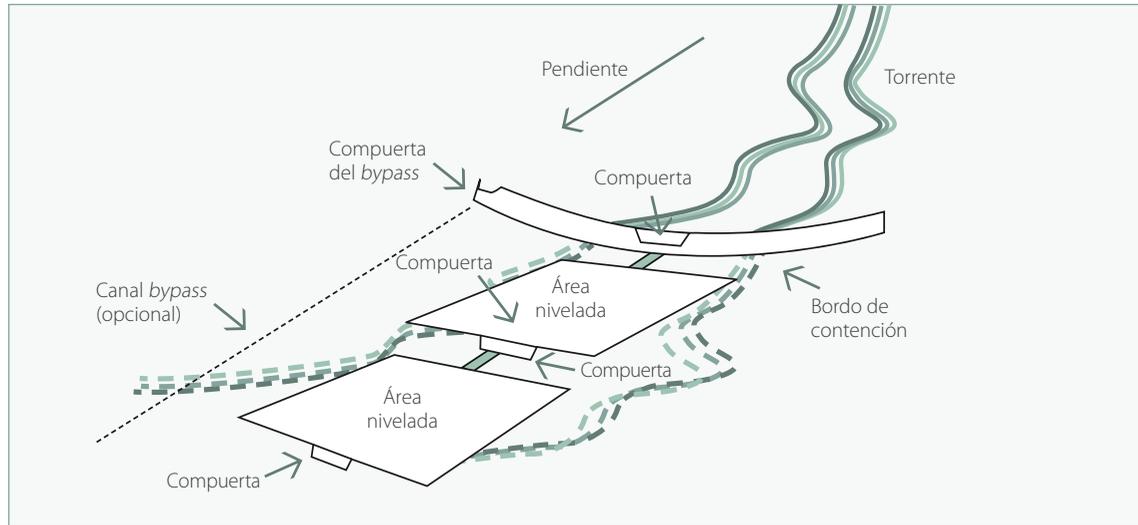
La técnica se adapta para cauces de torrentes o avenidas ocasionales, en áreas cercanas al abanico aluvial, donde la escorrentía pierde energía y es más fácil contenerla y manejarla (generalmente en terrenos casi planos para nivelarse).

Conformación del terreno

El método incluye la construcción de un bordo de contención dimensionado para recibir la escorrentía máxima y detenerla. Si los datos para un cálculo más preciso no están disponibles, se puede optar por construir un bordo de dimensión que almacene agua suficiente para inundar las áreas niveladas y una derivación externa (*bypass*) al sistema de captación, como seguridad. Una compuerta y un canal paralelo al sistema devuelven el exceso de agua del bordo de contención hacia el cauce natural del torrente aguas abajo.

Un sistema de compuerta en el bordo de contención permite que el agua pase de manera controlada a las estructuras niveladas, las cuales poseen una compuerta de salida que también permite descargar los excesos de agua hacia otra estructura nivelada aguas abajo y así, en secuencia, hasta que el volumen de agua sea suficiente (Figura 13-XII).

FIGURA 13-XII: Esquema de captación de torrentes con camellón de contención y riego de áreas niveladas. Adaptado de Velasco (2000).



Indicaciones de construcción

La técnica incluye las siguientes obras de ingeniería: bordo de contención del torrente y de las áreas niveladas, compuertas y nivelación del terreno.

Para la nivelación del área se requiere de servicios especializados o de un técnico con experiencia práctica, puesto que se trata de un área por naturaleza casi plana. La nivelación misma puede ser realizada con equipos manuales (si no se requiere de mucho movimiento de tierra) o con equipos mecanizados.

El bordo de contención debe ser bien reforzado para sostener el volumen del torrente y tener por lo menos un margen de seguridad (altura) por sobre el caudal máximo calculado. Si esto no es posible, se debe optar por el sistema de *bypass* ya descrito.

Los bordos de las áreas niveladas se pueden construir de acuerdo al volumen de agua que se proyecta manejar en las inundaciones, optando por unos 0,20 m de altura por encima de la altura del agua. Por ejemplo, si se manejará una lámina de agua de 5 cm (50 mm), el bordo deberá tener al menos 0,25 m de altura (25 cm).

Para la compuerta del bordo de contención, en función de la elevada energía y volumen de agua, se recomienda una estructura más segura, combinando postes de madera u hormigón con tablas superpuestas (una solución barata y funcional), las cuales se retiran o ponen, según el nivel que se proyecte manejar.

Para las compuertas entre las áreas niveladas, se pueden utilizar estructuras más simples, como bolsas de arena con tablas superpuestas, tubos de descarga de altura controlada y hormigón, dependiendo del presupuesto disponible.

Elementos de costo

Los componentes de costo para esta práctica son los siguientes:

- » Nivelación del área de cultivo, que debe ser realizada por un técnico con experiencia.
- » Mano de obra u horas-máquina para la construcción del bordo de contención principal y de los bordos de las áreas niveladas (estos pueden ser construidos manualmente o con equipos de tracción animal, puesto que son más pequeños).
- » Materiales de construcción para las compuertas, pudiéndose optar por materiales locales.

Posibilidades de recomendación y adopción

Se trata de una técnica que requiere condiciones específicas para ser aplicada (abanico aluvial del torrente, con terrenos prácticamente planos y suelos cultivables).

Caso 13-06-03: Derivación de vertientes (Chile)

En la provincia de Cauquenes, VII Región de Chile, en el secano costero, la precipitación promedio anual es de 660 mm. La mayor parte de la lluvia ocurre en el invierno, entre mayo y agosto. En este sector, la agricultura es de subsistencia, principalmente de trigo y pastos. En primavera y verano, hay poca precipitación y escorrentía ocasional y solo se cultivan pequeños huertos de hortalizas en la primavera.

En esta región, Cabas (1996) menciona que se probaron estructuras simples y sólidas para derivar las vertientes que permanecen con algún caudal en el periodo seco para aprovechamiento en pequeños sistemas de riego, para vid e invernaderos.

La estructura de captación consiste básicamente en una bocatoma con base de hormigón construida en el cauce donde se concentra el caudal. Sobre esta base se instala un sistema de láminas metálicas dotadas de compuertas y vertederos que controlan el caudal.

La estructura funciona como una presa que detiene el caudal durante toda la noche, recuperando un buen volumen de agua para utilización al día siguiente. Por un vertedero, el agua fluye a través de tuberías hacia los lugares de uso, donde es almacenada o utilizada directamente. Por otro vertedero fluye el caudal sobrante que abastece el cauce aguas abajo, en el cual se pueden instalar otras estructuras de derivación. Es posible instalar varias derivaciones en la misma vertiente, ya que esta recoge también el agua que brota del subsuelo del cauce aguas abajo.

La lámina metálica de derivación se retira en el invierno, cuando las descargas de caudal son mayores y se vuelve a instalar en la siguiente estación.

El autor menciona un costo de 58.950 pesos chilenos (USD 143), en 1996, para la estructura de derivación, sin considerar las necesidades de conducción y almacenamiento.

Caso 13-06-04: Derivación de manantiales y cursos de agua (El Salvador)

Descripción

En El Salvador, a partir de 1996, se desarrollaron muchas experiencias en fincas de productores para la captación y derivación de manantiales y cursos de agua con diferentes finalidades, principalmente para uso en la vivienda y riego de pequeñas áreas de cultivos diversificados. La mayoría de las modalidades de captación y derivación están descritas en Vieira (2002) y, algunas más recientes, en Vieira (2008)⁹.

Las diferentes formas y diseños de captación, adecuados a cada situación específica de tipo de manantial o curso de agua, se divulgaron con facilidad debido a su sencillez, funcionalidad y bajo costo, por lo que se lograron viabilizar muchos proyectos con productores individuales o grupos de ellos.

En esta publicación se muestran algunas de las posibilidades de captación implementadas en El Salvador, con ejemplos y proyectos muy sencillos orientados a ofrecer más opciones de disponibilidad de agua y calidad de vida a la gente.

EJEMPLO 1: Derivación de caudal efímero para riego de hortalizas.



Derivación de caudal de un arroyo efímero (quebrada), a partir de la construcción de una presa sencilla de piedras y lámina plástica. La conducción del agua se hace por tubería, por gravedad, hacia sistemas de riego por goteo en hortalizas. También se pueden aprovechar pozas naturales del cauce para iniciar la derivación. Normalmente, se utiliza el período de reducción del caudal, pasada la estación lluviosa, para complementar el ciclo de cultivos o sembrar nuevos cultivos de ciclo corto, mientras el caudal sea suficiente. Se trabaja con grupos de productores. Fotos: José Cristóbal Escobar Betancourt.

⁹ Ambas publicaciones están disponibles en la web, entre las publicaciones de la FAO.



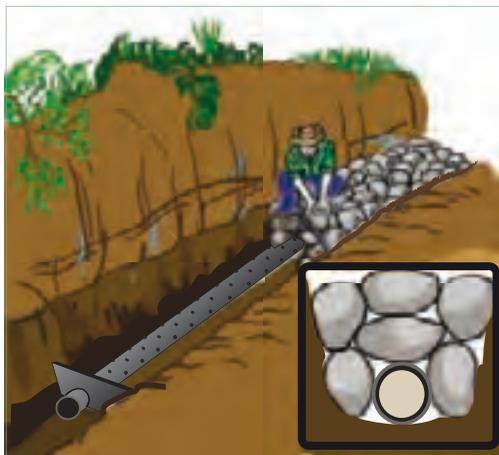
Los sistemas de captación de cursos de agua para riego u otras finalidades son complementados con estanques de transición y derivación, estratégicamente ubicados. En estos estanques de derivación es posible establecer volúmenes de utilización para cada usuario. Fotos: Nelson González.

EJEMPLO 2: Captación de manantial de bajo caudal ubicado en humedales entre rocas.



Captación de manantial de caudal crítico (0,5 litros min⁻¹), con pequeña presa de mampostería, relleno de piedras para drenaje, cobertura con lámina plástica, protección superior con piedras, tubo para desagüe y conducción. Esta estructura de captación tuvo un costo de USD 20, a precios de 2002. El manantial no estaba en uso por el productor, por ser muy pequeño y casi imperceptible sin la estructura de captación. Foto: Marcos J. Vieira.

EJEMPLO 3: Captación de manantial ubicado en humedal, sin nacimientos de agua específicos.



El nacimiento no es específico y aflora en la forma de un área humedecida. Se abre una zanja, se instalan tubos de PVC perforados para drenar el agua hacia dentro de ellos, se recubren los tubos con piedras, cuidando para que no se aplasten. Esta estructura funciona como dren o canal de conducción hacia un estanque de transición.



Las piedras son cubiertas por una lámina plástica para evitar que el suelo y detritos vayan sellando el dren.



Una nueva capa de piedras más pequeñas es colocada por encima de la lámina plástica con la finalidad de fijación y protección. Se pueden fraguar las piedras como cobertura. La salida del tubo se conecta a un tubo de conducción primario hasta un estanque de derivación construido aguas abajo.



Estanque de derivación en construcción. Al lado izquierdo, la estructura de derivación para diferentes familias. Esta estructura también sirve como filtro, porque el tubo que la conecta al estanque no está exactamente en el fondo, lo que permite la decantación de sedimentos dentro del estanque. El estanque de derivación cuenta con varias salidas que corresponden a cuotas de agua para diferentes usuarios. Después del mejoramiento de la estructura de captación, este nacimiento más que duplicó su caudal aprovechable para 13 familias. Foto: Marcos J. Vieira.

TÉCNICA 13-07: Riego complementario o riego de salvación

Descripción

Debido a que la lluvia en zonas de sequía recurrente es incierta en cantidad y frecuencia, cuando se quiere obtener un buen rendimiento del cultivo y hacer frente a los costos adicionales por la adopción de otros sistemas de captación (micro o macrocaptación), existe la opción del riego, si hay disponibilidad de agua.

El riego complementario o, como se denomina en el nordeste de Brasil, el “riego de salvación”, no es una técnica específica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. El riego complementario se define como la lámina de agua que se aplica en periodos de déficit hídrico dentro del periodo lluvioso de modo de no permitir el estrés vegetal o la muerte de las plantas. En esta definición parece estar implícito que el volumen de agua aplicado, si no es el ideal, el propósito es, por lo menos, la mantención del cultivo y alguna producción. El sistema utiliza como principio el agua aplicada en condiciones técnicamente apropiadas, de ser posible. Si no lo es, se aplica un volumen de agua suficiente para garantizar la supervivencia del cultivo y cierta producción (mayor que en áreas sin riego), asegurando alimentos para la familia (Brito et al, 1999).

En China se utiliza un concepto similar. Zhu Quiang et al, (2007) describe que el agua de lluvia captada y almacenada en estanques es aplicada con muy alta eficiencia en complemento al uso de sistemas de microcaptación en camellones e hileras cubiertos con lámina plástica. En este caso, se consideran los siguientes aspectos:

- » El riego es limitado o deficitario, por lo cual solamente se aplica agua en los periodos críticos del desarrollo vegetativo de las plantas y en una cantidad menor a la demanda de la planta, evitando así daños irreversibles en el cultivo.
- » Se considera que en los periodos no críticos para las plantas, estas resisten el estrés y se recuperan, si reciben agua de lluvia posteriormente. Sin embargo, la aplicación plena de agua para cubrir las necesidades del cultivo puede hacerse siempre que haya suficiente disponibilidad.
- » Se aplica muy poca cantidad de agua en cada oportunidad, comparada con un riego normal. Son cantidades solamente para humedecer una pequeña porción de suelo alrededor de la zona de raíces.
- » Las aplicaciones se efectúan con métodos simples y de bajo costo, incluyendo aplicaciones a mano, con recipientes regadores al pie del cultivo o usando mangueras unidas al estanque de almacenamiento.

Las fuentes de agua para el riego complementario o de salvación pueden ser varias:

- » Captación de techos y otras superficies impermeables para pequeños huertos caseros.
- » Captación de escorrentía de áreas de baja infiltración y embalses, para cultivos de subsistencia.
- » Captación de la escorrentía generada en caminos y carreteras y almacenada en embalses o estanques de trinchera, para huertos y cultivos de subsistencia.
- » Derivación de manantiales y pequeños cursos de agua.

El riego de salvación debe estar asociado a otras técnicas de microcaptación, que involucran camellones, surcos e hileras para captar la escorrentía. Asimismo, a técnicas de conservación del agua, como la cobertura de residuos vegetales o láminas plásticas.

Condiciones de adaptación

El riego de salvación se adapta a condiciones donde haya por los menos un ciclo lluvioso anual, durante el cual se pueda recolectar la escorrentía o cursos de agua efímeros y almacenar el volumen en alguna estructura (cisterna, estanque o embalse) para realizar el riego en los periodos de déficit. Por lo tanto, las condiciones semiáridas y subhúmedas o húmedas, con largo período seco o lluvias erráticas, parecen ofrecer las oportunidades para la aplicación de esta tecnología.

Conformación del terreno

No hay una conformación exacta del terreno. Pueden variar la fuente de agua, las formas de captación, las estructuras de almacenamiento y el área que se va a irrigar. La técnica descrita en el punto 13-04 (Captación de cuenca y embalse superficial para riego), así como el Ejemplo 2 del Caso 13-06-04 (Derivación de manantiales y cursos de agua, El Salvador), de este mismo capítulo, utilizan el concepto del riego de salvación.

En la EMBRAPA Semiárido, en Brasil, Brito (2011) posee diferentes experiencias exitosas con el concepto de riego de salvación, inclusive cosechando el agua de techos y superficies impermeables. En el Cuadro 13-III se muestra un esquema de riego de salvación para 36 árboles frutales, irrigados a partir de cisternas con volúmenes diferentes, con objetivos de producción casera y pequeños excedentes. La región posee un promedio de 550 mm de precipitación anual y la captación se realiza utilizando techos u otras superficies impermeables, como patios de hormigón. El área recibe prácticas complementarias de microcaptación (camellones tipo Negarim) y cobertura muerta de residuos vegetales.

CUADRO 13-III: Esquema de riego de salvación para dos condiciones de almacenamiento de agua. Brito (2011).

Periodo	Frecuencia de riego*	Plantas	Volumen de la cisterna			
			52.000 litros		16.000 litros	
Semanas	Veces por semana	Número	Volumen aplicado			
			l / dia ⁻¹	litros	l / dia ⁻¹	litros
Lluvioso - 14	3	36	4	6.048	1	1.512
Intermedio - 18	3	36	7	13.608	3	5.832
Sin llluvias - 20	3	36	14	30.240	4	8.640
Total				49.896		15.984

* La aplicación es suspendida si ocurre 8 mm de lluvia diario.

La Figura 13-XIII muestra algunas de las experiencias llevadas a cabo en la EMBRAPA Semiárido con el riego de salvación.

FIGURA 13-XIII: Ejemplos productivos utilizando el concepto de riego de salvación en la región nordeste de Brasil.



Frutales irrigados en la Estación de la EMBRAPA Semiárido. Al fondo, las cisternas y estanque elevado para goteo por gravedad. Observe el tubo de riego y la cobertura con rastrojos. Foto: Luiza T. L. Brito.



Cosecha de acerola (ciruela tropical). Observe el tubo de distribución de agua y el cultivo de frijol caupí asociado a frutales en la estación lluviosa. Foto: Luiza T. L. Brito.

Indicaciones de construcción

No hay indicaciones de construcción, puesto que la técnica es una forma de utilización del agua y no una forma de captación. Pueden ser utilizadas las diferentes formas de captación y estructuras de almacenamiento descritas, las que más se adecúen a cada caso.

Elementos de costo

Normalmente, la distribución de agua en sistemas de riego de salvación se realiza por surcos y camellones, por goteo, o hasta por regadores manuales, como es el caso de huertos caseros de hortalizas, de unos pocos metros cuadrados. Por lo tanto, los costos quedan más concentrados en el sistema de captación y almacenamiento de agua que en su distribución en pequeña escala.

Posibilidades de recomendación y adopción

Habiendo disponibilidad hídrica, es fácilmente aceptada por la gente, aunque resulta ardua como práctica continuada cuando implica extraer manualmente agua de pozos.

The background features a landscape with mountains under a clear sky. A large, semi-transparent blue oval is centered in the upper half of the image. The text is overlaid on the lower half of the image.

14. CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA DE TECHOS Y OTRAS ÁREAS DE ESCURRIMIENTO

14.1. Captación de agua de lluvia de techos

La captación de agua de lluvia proveniente de techos de viviendas, establos, galpones, invernaderos y otras construcciones que existen en una finca debe destinarse prioritariamente al consumo humano y utilización doméstica, por sus buenas características de calidad, normalmente mejor que el agua captada en otras estructuras (Brito et al, 2007).

Los techos, por su condición impermeable, producen un volumen de escorrentía cercano al volumen de lluvia. El hecho de que estén en posición elevada e inclinada facilita la captación y almacenamiento del agua. Canaletas colocadas en la parte inferior del plano inclinado recogen la escorrentía del techo y, por una tubería, la conducen hacia la estructura de almacenamiento, generalmente estanques o cisternas, de donde el agua es retirada para su utilización (Figura 14-1).

FIGURA 14-1: Ejemplos de captación de agua de lluvia de techos en diferentes situaciones.



Izquierda: Cosecha de lluvia de un solo faldón del techo acoplado a cisterna en mampostería, en Brasil. Foto: Luiza T. L. Brito.

Centro: Cosecha de lluvia de dos faldones, acoplado a cisterna en mampostería, en Brasil. Foto: Marcos J. Vieira.

Derecha: Cosecha de lluvia en techo tipo cuatro faldones, acoplado a tanques de PVC, en El Salvador. Foto: Mario Samayoa.

14.1.1. Componentes del sistema

Los componentes del sistema de captación en techos son los siguientes:

Techo

El techo es el componente más importante del sistema. Debe ser de material impermeable, liso y uniforme (sin deformidades) para que el coeficiente de escorrentía sea elevado (arriba de 0,8 u 80%). En las zonas rurales, los materiales constructivos varían bastante. Los más comunes son: lámina galvanizada, lámina de asbesto (material que puede encontrar restricciones de uso en algunos países), tejas de arcilla o concreto. El techo se debe mantener limpio, libre de hojas y otros detritos, para que el agua recogida sea de buena calidad.

Canaletas

Las canaletas son las estructuras que se colocan en la parte donde termina el techo para captar el agua que escurre y cae por el declive y conducirla a un lugar de almacenamiento. Las canaletas deben tener las siguientes características:

- » Dimensiones adecuadas al volumen de escorrentía.
- » Pendiente uniforme hacia el tubo de conducción.

- » Suficiente estructura de apoyo para soportar el peso del agua cuando esté bajo plena carga.
- » Ser mantenidas limpias, sin impedimentos al desplazamiento de la escorrentía.
- » Boca de salida suficiente para el caudal máximo.

La Figura 14-II muestra cuatro tipos de canaletas: a) canaleta en forma de U profunda, construida en lámina galvanizada, con extensor para ubicar y sujetar a las vigas por debajo del techo; b) canaleta rectangular en PVC con presillas de acero de construcción como soporte; c) canaleta también rectangular de lámina galvanizada; y d) canaleta en V, tal vez la de construcción más fácil, pero menos resistente y segura para la conducción del agua.

FIGURA 14-II: Formas y materiales de canaletas para recolección y conducción de la escorrentía del techo.



Fotos: Marcos J. Vieira y José Cristóbal Escobar Betancourt.

Las canaletas se convierten, con frecuencia, en una fuente de pérdida de agua debido a una mala posición en relación al flujo del agua en caso de lluvias intensas, mala fijación para soportar la carga plena de agua, deformaciones y taponamiento con detritos que se acumulan en los días sin precipitación.

Acople canaleta-tubo de conducción y sistema de limpieza

Normalmente se utilizan tubos de 100 mm ó 4 pulgadas para la conducción o desagüe. En la foto a) de la Figura 14-III, se puede observar un sistema de acople entre la canaleta y los tubos de conducción y desagüe. El tubo de desagüe es conectado al fondo de la canaleta de tal forma que cualquiera sedimento pueda salir a través de él. El tubo de conducción es conectado lateralmente a la canaleta. En la conexión se ubica una malla fina de metal que actúa como filtro.

También se puede utilizar una conexión del tipo T o Y, tal como se observa en la foto b). El tubo horizontal es el que conduce el agua al depósito de almacenamiento. El tubo vertical es la estructura de limpieza, cuya parte inferior se presenta en la foto c). Normalmente, en la primera lluvia después de un período seco, el techo está sucio, con detritos traídos por el viento. La primera escorrentía es desechada por la estructura de limpieza. Luego, es tapada y el agua pasa a fluir hacia el almacenamiento.

Cuando el agua es utilizada para consumo doméstico, se deja que la primera lluvia corra libremente a manera de remover la basura y polvo acumulados en el área de recolección y canaletas. La fuente más importante de contaminación la constituyen las deposiciones de aves y otros animales. La contaminación bacteriana puede ser minimizada manteniendo limpia la superficie de los techos y desagües, pero no puede ser completamente eliminada.

FIGURA 14-III: Sistema de acople entre la canaleta y los tubos de conducción y de desagüe para limpieza.



Foto: Marcos J. Vieira.

Conducción al estanque o cisterna

El tubo de conducción debe entrar por la parte superior del estanque o cisterna (Figura 14-IV), en cualquier tipo de sistema de almacenamiento. El lugar de entrada del tubo debe estar ubicado en el lado opuesto a la ventana de acceso y retirada del agua. Normalmente, en el lugar de entrada del tubo es donde se deposita mayor cantidad de sedimentos provenientes del techo.

FIGURA 14-IV: Sistema de acople entre el tubo de conducción de agua y la estructura de almacenamiento.



Foto: Nelson González.

14.1.2. Elementos de costo del sistema

Los componentes de costo del sistema de captación de agua del techo, sin incluir la construcción del estanque o cisterna de captación, son los siguientes:

- » Material de la canaleta (de lámina galvanizada, PVC, etc.) en metros lineales correspondientes al borde de caída del techo. Las canaletas de PVC pueden ser más caras, pero hay que considerar que eliminan la mano de obra de hojalatería.
- » Tubo de PVC de 100 mm ó 4 pulgadas de una extensión suficiente para unir el extremo de la canaleta al estanque o cisterna de almacenamiento.
- » Dependiendo de las particularidades de la conducción, se requiere contar con, por lo menos, 1 conexión en T, 2 codos y 1 tapa, todos ajustados al diámetro del tubo.
- » 0,20 m² de malla fina de acero galvanizado para el filtro.
- » Alambre de acero o tornillos para fijar la canaleta al techo.
- » Mano de obra para la instalación: de 1 a 2 jornales (0,5 jornal x 2 personas a 1 jornal x 2 personas).

14.2. Captación de estructuras impermeables superficiales

Si el área de los techos existentes en la finca no es suficiente para captar la cantidad de agua necesaria para hacer frente a la demanda, se pueden mantener estructuras específicas para la captación de agua, como canchas, patios impermeables y estacionamientos, los cuales pueden ser de diferentes materiales:

- » mampostería u hormigón (Figura 14-V),
- » cubierta de lámina plástica,
- » piso emparejado y compactado,
- » lajas de piedra natural (rocas calizas, por ejemplo), donde existan.

FIGURA 14-V: Patio y cisterna en hormigón para abrevadero de animales y riego en pequeño huerto, promovido por el IRPAA-Brasil.



Fotos: Marcos J. Vieira.

Las superficies impermeables construidas sobre el terreno para la captación de agua presentan algunas ventajas en relación a la captación de techos:

- » Son más flexibles en términos de dimensión del área de captación que la captación de techo. La superficie se puede aumentar sin necesidad de construir una estructura (casa o galpón) para sostenerla.
- » Pueden ser construidas en las proximidades del lugar donde será usada el agua.

- » La familia puede ampliar las áreas de producción agrícola y/o el hato de animales, si aumenta la superficie de las estructuras de captación.
- » Las superficies impermeables pueden ser utilizadas también para secado de granos, por ejemplo.

Las desventajas de la captación de agua en estas estructuras en relación a la opción de captación en techo están relacionadas a los siguientes aspectos:

- » Construir y mantener la estructura representa un costo adicional para el agricultor, mientras que el techo ya existe.
- » La estructura de almacenamiento debe quedar en un nivel inferior a la superficie del suelo, lo que dificulta la utilización del agua almacenada.
- » Por estar al nivel del suelo, la superficie de captación está más expuesta a la contaminación, lo cual limita la utilización del agua para consumo doméstico.

Para la planificación de estas estructuras de captación de agua es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- » ¿Dónde ubicar la estructura de almacenamiento, en relación al lugar de mayor utilización del agua? La cercanía facilita el uso de la estructura.
- » ¿Qué posibilidad hay de establecer la estructura de captación y la estructura de almacenamiento sobre la superficie del terreno, aprovechando la diferencia de niveles?
- » ¿Qué material será empleado para impermeabilizar la superficie de captación?
- » ¿Cuál será el modelo, el tamaño y el material de la estructura de almacenamiento?

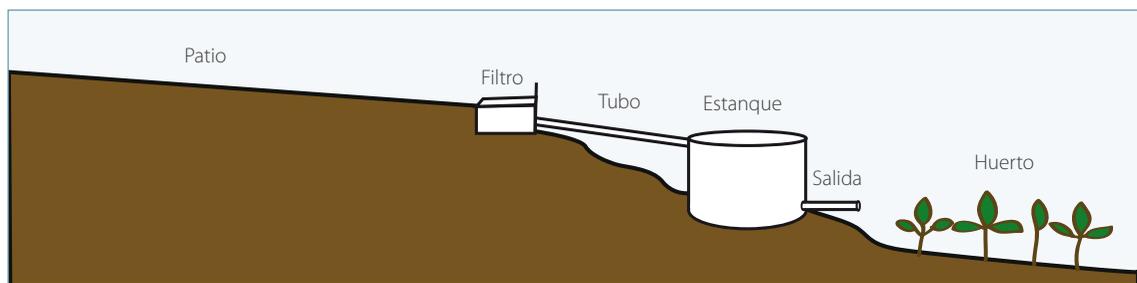
14.2.1. Componentes del sistema

El sistema de captación de agua de lluvia en superficies impermeables sobre el terreno incluye, entre otros aspectos y acciones, los siguientes:

Reconocimiento y preparación de la superficie del terreno:

El terreno donde será construido el patio de captación debe ser casi plano. Si es posible debe tener la misma pendiente que tendrá la estructura impermeable, para que haya poco corte o relleno. La condición ideal para el sistema se presenta en la Figura 14-VI.

FIGURA 14-VI: Perfil ideal del terreno con facilidades para la construcción de un sistema de captación con superficie impermeable.



Al no existir estas condiciones, el lugar del estanque de almacenamiento deberá ser excavado.

La superficie del patio se prepara con una ligera pendiente hacia el punto de salida (1%, como máximo) para que el agua escurra, pero suavemente. Si se emplea hormigón, la pendiente puede llegar a un 2%.

Delimitación del patio:

La superficie definida como patio debe estar delimitada por una barrera (10 a 20 cm de alto), construida generalmente de ladrillos. También se pueden utilizar otros materiales más baratos, como piedra-mortero, tablas usadas u otros materiales que cumplan la función. La selección dependerá de los recursos disponibles y del nivel de eficiencia que se proyecta.

Tipo de piso:

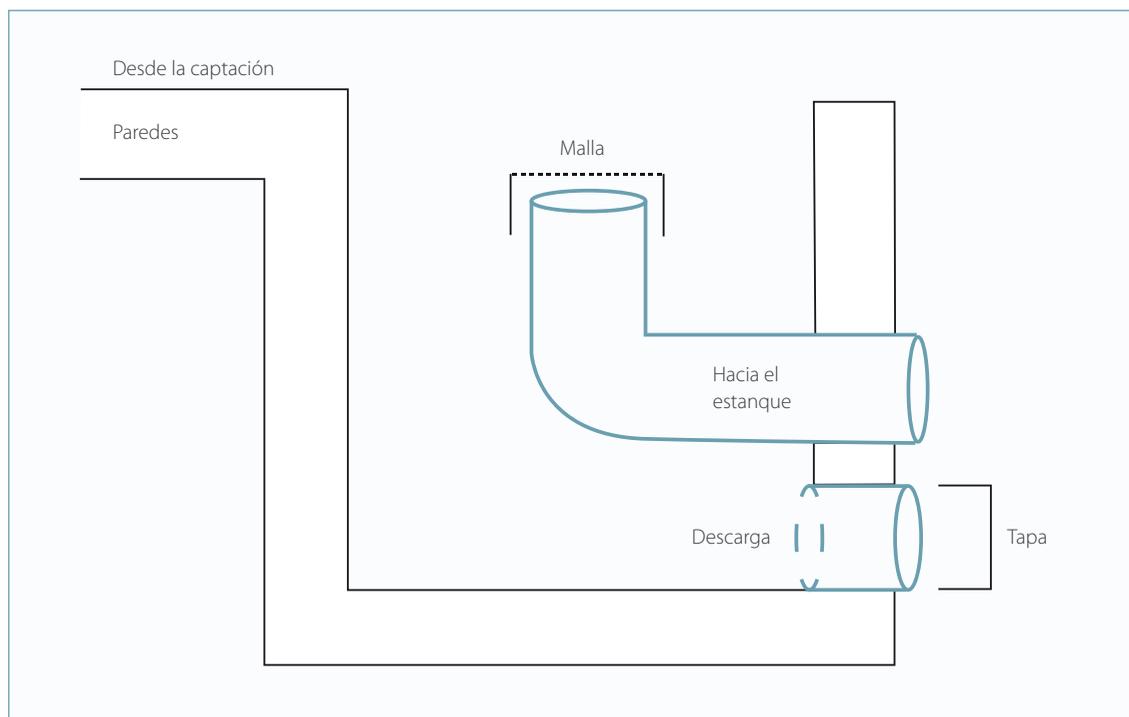
El piso del área de captación puede ser de diferentes materiales, dependiendo de la capacidad económica, objetivos de uso y condiciones del lugar. A continuación, se describen algunas opciones, que van de la más sencilla y barata a la más sofisticada:

- » **Suelo emparejado y compactado:** Es la superficie más simple y barata, pero el agua que se capta suele no ser de buena calidad para consumo doméstico. Igualmente, el coeficiente de escorrentía (C) es bajo (normalmente, menor que 0,5), lo que implica la necesidad de un área de captación más grande. Se empareja bien el suelo en las pendientes deseadas y se compacta, humedeciendo y presionando repetidas veces. El suelo tiene que ser arcilloso, pero sin grietas cuando se encuentra seco.
- » **Lajas de rocas:** Si existen en el lugar lajas de rocas expuestas en la superficie, se pueden aprovechar para establecer el área de captación. Si no existen en el terreno seleccionado, se pueden combinar con la opción anterior. Es una opción barata. Los mayas, en Mesoamérica, solían utilizar las lajas calizas para cosechar agua. Si el tipo de roca es impermeable y la superficie es uniforme (sin deformidades que frenen la escorrentía), el coeficiente de escorrentía puede ser alto (> 0,8).
- » **Lámina plástica:** La cobertura plástica presenta como ventaja la facilidad y rapidez para establecer la captación y el elevado coeficiente de escorrentía, si el terreno está bien emparejado y uniforme. Como desventaja principal está la dificultad de manejo por el riesgo de daños y el tiempo de vida eficiente relativamente corto. El coeficiente de escorrentía es elevado (> 0,8), si el plástico está bien colocado, parejo y sin perforaciones. Cubierto de piedras como protección, baja el coeficiente de escorrentía.
- » **Hormigón:** Probablemente es la opción de piso más trabajosa y de costo más alto, pero es la más eficiente, duradera y fácil de manejar. Puede ser utilizada para otros fines. En el nordeste de Brasil, el patio de hormigón (*calçada*) es la alternativa implementada por el sistema de extensión (Articulación en el Semiárido Brasileño, ASA) para la cosecha de agua en la superficie del terreno, con fines de abrevadero y huerto en pequeñas unidades caseras. El coeficiente de escorrentía C está por encima de 0,80.

Caja de sedimentación y filtro:

El filtro es un elemento importante porque en las captaciones de agua de la superficie del terreno siempre existe presencia de detritos e impurezas en la escorrentía. La caja de filtro se construye en la salida de la estructura de captación hacia la estructura de almacenamiento. Uno de los modelos más sencillos se muestra en la Figura 14-VII.

FIGURA 14-VII: Caja de sedimentación con filtro de malla en sistema de captación de agua de la superficie del terreno. (Adaptado de ASA, sin fecha de publicación).



La escorrentía viene del patio de captación y penetra en la caja. Los sedimentos tienden a quedar en el fondo, mientras que el agua más limpia es colada por el tubo de salida hacia el estanque de almacenamiento. Cada cierto tiempo, se deben descargar los sedimentos y detritos que se han acumulado en la caja por el tubo de descarga. Cuando el patio está muy sucio después de un largo periodo sin lluvias, es conveniente descargar la escorrentía de la primera lluvia. De la caja de sedimentación en adelante, el agua sigue hacia la estructura de almacenamiento (estanque o cisterna).

14.2.2. Elementos de costo del sistema

Los componentes de costo del sistema de captación en patios impermeabilizados, sin incluir la construcción del estanque o cisterna de captación, son muy variables, dependiendo de la dimensión del patio y el tipo de material utilizado.

Sin embargo, el extensionista puede determinar elementos que configuran el costo, según el tipo de superficie, de acuerdo con el Cuadro 14-I.

CUADRO 14-I: Elementos de costo para diferentes tipos de piso de áreas de captación impermeables sobre el terreno.

Elemento de costo	Tipo de piso			
	Suelo compactado	Laja de piedra	Plástico	Hormigón
Mano de obra para la preparación del terreno (emparejar, compactar)	Sí	Eventual	Sí	Sí
Mano de obra de albañil y auxiliar para la pared delimitadora del área de captación	Eventual	Sí	Eventual	Sí
Mano de obra de albañil y auxiliar para construir el piso	No	No	No	Sí
Mano de obra de albañil y auxiliar para construir la caja de sedimentación	Sí	Sí	Sí	Sí
Lámina plástica	No	No	Sí	No
Cemento	Sí	Sí	Sí	Sí
Arena	Sí	Sí	Sí	Sí
Grava	No	No	No	Sí
Tubos, conexiones y codos de PVC	Sí	Sí	Sí	Sí

14.3. Dimensionamiento de la captación y almacenamiento

Una etapa importante de los proyectos de captación de agua de lluvia para su aprovechamiento posterior es la estimación correcta de las dimensiones del sistema, el cual debe estar en conformidad con la lluvia local, las necesidades de uso y la relación que debe existir entre los componentes de captación y almacenamiento.

Si el área de captación o la estructura de almacenamiento, o ambos, no están diseñados adecuadamente, puede que sobre agua captada sin almacenar o que falte agua para llenar la estructura.

Una vez establecidas las necesidades de consumo de agua y el volumen requerido para las diferentes finalidades (tema tratado en el Capítulo 5), se puede calcular el área de techo o de superficie impermeable que se necesita y el tamaño de la estructura de almacenamiento, según lo demuestra Moura et al, (2007), por medio de la relación:

$$A_c = \frac{VT}{C \times P_m}$$

A_c = Área de captación - m²

VT = Volumen total de la estructura - l

C = Coeficiente de escorrentía

P_m = Precipitación promedio anual - mm

Los mencionados autores consideran un coeficiente de escorrentía C para techos con un valor promedio de 0,70. Para Pm, se recomienda utilizar el valor P75, el cual representa la precipitación en por lo menos el 75% de los años, lo cual es más seguro que el valor P50.

En el recuadro a continuación se presenta un ejemplo de cálculo para una situación hipotética.

Ejemplo:

Datos:

- Consumo humano estimado por persona por día = 25 litros
- Número de personas en la vivienda = 5
- Precipitación media anual P75% = 360 mm
- Coeficiente de escorrentía del techo = 0,70
- Número de días de uso del agua = 365

Cálculo:

- Consumo anual = $25 \times 5 \times 365 \text{ días} = 45.625 \text{ litros} = VT$
- $Ac = 45.625 / (0,70 \times 360) = 181 \text{ m}^2$

La familia del ejemplo, integrada por cinco personas, consume 25 litros de agua por día por persona. Por lo tanto, en 365 consumirá 45.625 litros. Imaginando que no hay otra fuente de agua en la vivienda, este es el volumen de agua y la estructura de almacenamiento que la familia requiere para todo el año (VT). Para llenarla, ocurriendo la lluvia P75, la familia necesita 181 m² de techo, lo que es difícil de encontrar en las zonas rurales deprimidas por déficit hídrico. Si no hay techo suficiente, la alternativa es usar otras captaciones de agua de superficies impermeables. Ahora, si el período de uso del agua es menor, porque durante el período lluvioso se utiliza un pozo u otra fuente, entonces el número de días debe ser el correspondiente y el volumen VT más pequeño.

El coeficiente de escorrentía en cualquiera superficie no es de un 100% porque generalmente hay pérdidas de agua en el proceso, debido a los siguientes motivos, entre otros:

- » La primera lluvia no se almacena porque se utiliza para lavar la superficie de captación (techo u otra superficie). Lo mismo se hace con la primera parte de la lluvia, después de periodos de veranillo.
- » Los techos de construcciones rurales y otras superficies de captación suelen no ser totalmente uniformes, razón por la cual parte del agua puede no ser captada.
- » Los techos de tejas de arcilla absorben la parte inicial de la lluvia cuando están secas.
- » Las canaletas pueden saturarse, taponarse o desprenderse durante alguna lluvia intensa, lo que se traducirá en que una parte del agua se pierda.
- » También pueden taponarse los filtros y provocar pérdida de parte del agua captada.

Para techos que presentan características de buena impermeabilidad, sistemas de canaletas y tubos bien puestos y mantenidos, el coeficiente C mayor de 0,7 puede ser utilizado, lo que reduce el área de techo necesaria para captación. Para saber exactamente el coeficiente C de cada superficie, basta con medir la lluvia con un pluviómetro y la cantidad de escorrentía captada. La relación entre ambas es el coeficiente del techo específico.

En cuanto a la precipitación promedio, se utiliza el valor P75 para asegurar mayor probabilidad de ocurrencia. De esta manera, por lo menos en el 75% de los años la estructura realmente se llenará.

En el caso de uso del agua para diferentes finalidades, se recomienda contar con estructuras de almacenamiento separadas (Brito et al, 2007; Gnadlinger, 2011). Por ejemplo, utilizar el agua de una misma cisterna para consumo doméstico y el hato de animales de cría puede representar un riesgo al volumen planificado para cada una de las finalidades. La experiencia ha demostrado que es muy raro que la familia monitoree y controle correctamente ambos consumos de manera estricta, lo que puede conducir a que llegue a faltar para ambas finalidades. Por ello, se recomienda la separación, tal como muestra la Figura 14-VIII.

FIGURA 14-VIII: Vivienda con sistema de captación de agua de lluvia con dos cisternas separadas: una para consumo doméstico y la otra para riego de un huerto, como estrategia para mantener la seguridad hídrica de la familia. La recomendación de tener estructuras de almacenamiento separadas para diferentes objetivos se basa en que es muy difícil regular el consumo para uno y otro objetivo cuando hay una sola estructura.



Foto: Luiza T. L. Brito.

Este capítulo abordó la captación de agua de lluvia en techos y otras superficies impermeables y cómo calcular el área necesaria de captación y de almacenamiento. Las opciones de almacenamiento, así como sus detalles constructivos y costos, se presentan en el Capítulo 17.



15. CAPTACIÓN DE AGUA DE LA NAPA FREÁTICA

La captación de agua de la napa freática es una técnica utilizada en las zonas áridas y semiáridas para extraer el agua del subsuelo y, de esta manera, disponer de una fuente complementaria de agua, además de la captación de la escorrentía o de la lluvia en los techos. El aprovechamiento de la napa freática, donde es posible, permite obtener agua para uso doméstico, animal y para los cultivos en regiones donde el recurso hídrico es escaso.

Se mencionan cuatro modalidades de aprovechamiento de la napa freática:

Humedad capilar: Se utiliza la altura de la napa freática y la capacidad capilar del suelo para conducir la humedad de abajo hacia arriba, la cual es aprovechada por las raíces de las plantas.

Humedad residual: Se utiliza la humedad del subsuelo en la medida que esta va bajando durante el periodo de cambio de la estación húmeda para la estación seca.

Pozos artesanales: La napa freática es alcanzada directamente por medio de pozos artesanales. El agua es extraída y utilizada para diferentes finalidades.

Pozos profundos: La perforación de pozos de pequeño diámetro a gran profundidad permite la explotación de aguas subterráneas presentes en acuíferos. En algunas oportunidades esta perforación produce aguas artesianas.

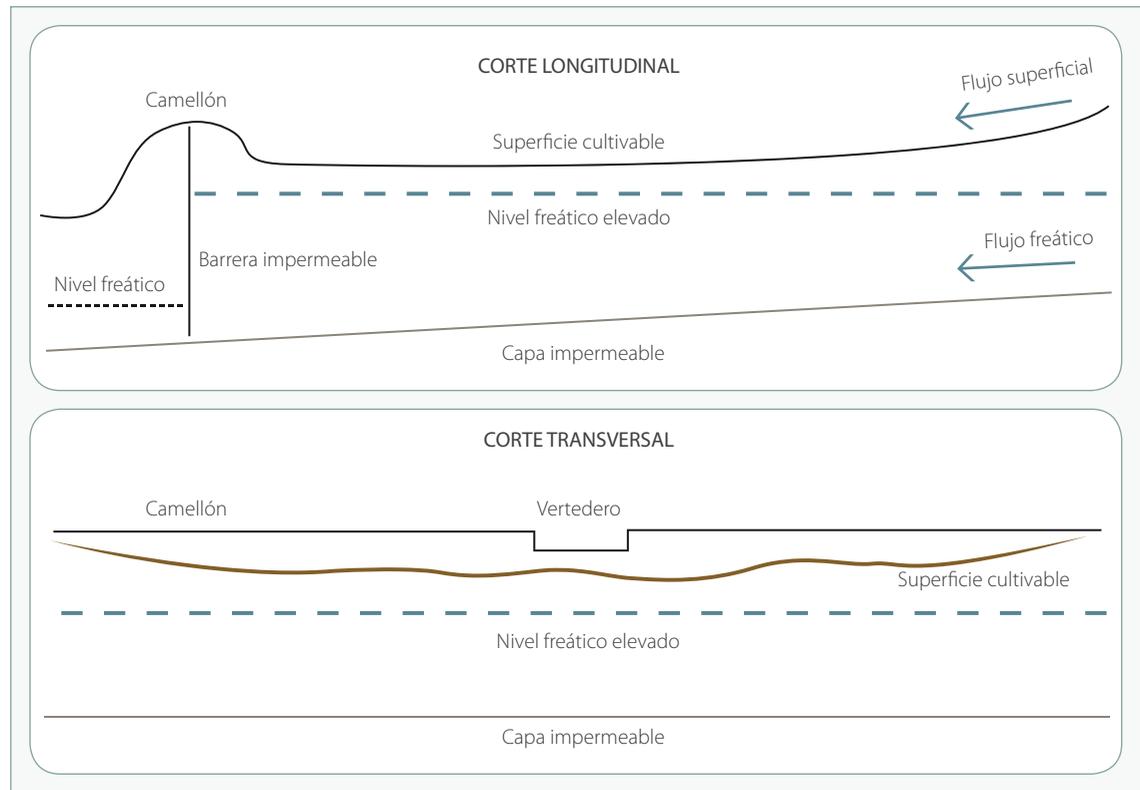
A continuación, se presentan algunas técnicas que utilizan la humedad freática.

TÉCNICA 15-01: Embalses subterráneos

Descripción

La técnica consiste en interceptar el flujo freático y el flujo superficial producidos por quebradas estacionales, torrentes o cauces de pequeños cursos de agua, colocando una barrera impermeable, transversal a la dirección de desplazamiento. Esta barrera llega hasta la roca o capa impermeable en el subsuelo y literalmente embalsa el flujo freático. En la cima de la barrera, se construye un camellón para detener los caudales superficiales y reforzar la infiltración del agua en la zona del embalse.

Como efecto de la barrera, el nivel freático se eleva hasta cerca de la superficie del suelo por algún tiempo, como si fuera un embalse subterráneo. Desde ese nuevo nivel del agua subterránea, la humedad asciende por capilaridad en el perfil y puede alcanzar la zona de raíces, activada por la evapotranspiración. Por otro lado, las raíces, estimuladas por la presencia de humedad, se desarrollan más y encuentran más humedad. La Figura 15-1 ilustra lo descrito.

FIGURA 15-I: Vista longitudinal y transversal de un embalse subterráneo. Adaptado de Silva et al, (2000).

Estudios realizados por la EMBRAPA Semi-Árido, desde 1982, sobre embalses subterráneos, han permitido aplicar la práctica a nivel de campo con agricultores (Porto et al, 1999; Silva et al, 2000; Silva et al, 2007e). Hay también información sobre experiencias anteriores en Israel, en el desierto de Sahara (norte de África), así como en Irán y en el Estado de Arizona, Estados Unidos. Para la descripción de esta técnica se ha tomado la experiencia desarrollada en Brasil.

Condiciones de adaptación

En el nordeste de Brasil estas estructuras han tenido buenos resultados en suelos de 1,5 m a 2,0 m de profundidad, de textura franca y buena permeabilidad y con precipitación anual entre 400 y 800 mm. Las pendientes del terreno son menores al 5%. La pared subterránea ha sido de 10 a 100 m de largo (Silva et al, 2000; Silva et al, 2007e).

Para seleccionar el sitio más adecuado para realizar el embalse subterráneo es necesario verificar lo siguiente:

- » La hidrología del área y la existencia de un lugar que sirva de desagüe de la microcuenca o de parte de ella, hacia el cual confluyen el agua superficial y subterránea de un área de captación, pero que no presente grandes valores instantáneos de caudal que pongan en riesgo la obra y los cultivos.

- » La existencia de suelos aluviales, fáciles de excavar y cultivar, con profundidad mínima de 1,5 m para que un volumen apreciable de agua pueda ser almacenado en el subsuelo.
- » La presencia de una capa impermeable de roca o arcilla hasta unos 2,5 m de profundidad, en el perfil del suelo y del subsuelo, que impida el desplazamiento del agua a mayor profundidad y que sirva de fondo del embalse. Profundidades más grandes determinan que el embalse sea poco factible, debido a las dificultades de operación de la obra y costos, a pesar de que hay referencias de hasta 4,0 m de profundidad (Silva et al, 2007e).
- » Que el área aguas arriba de la barrera posea superficie plana o con pendiente máxima de un 5%, para que el embalse tenga una extensión lo suficientemente amplia destinada al cultivo que compense los costos de la obra.
- » Que el contenido salino del suelo y del agua sea aceptable, de tal manera de evitar lugares afectados por problemas de salinidad.

Conformación del terreno

La conformación del terreno y la disposición del embalse subterráneo (cortes longitudinal y transversal) se puede observar en la Figura 15-1, ya presentada.

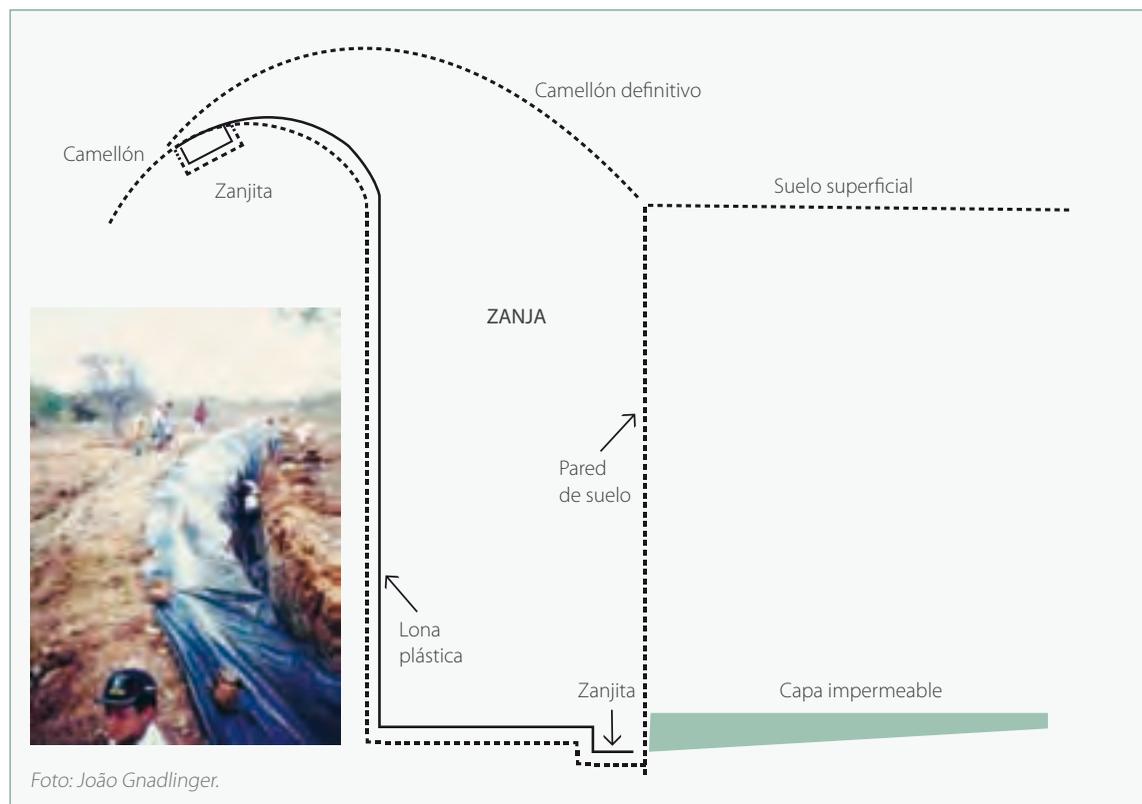
Indicaciones de construcción

Una vez que se ha seleccionado el lugar para construir el embalse subterráneo, la estructura que actuará como barrera al flujo freático es el principal componente tecnológico de esta práctica. Para construirla, se siguen los siguientes pasos:

- » Se excava una zanja en el material aluvial, con profundidad que alcance la capa impermeable (horizonte rocoso, arcilloso masivo, capa endurecida químicamente, etc.) El ancho debe ser suficiente para que entre y trabaje una persona, generalmente de 0,6 a 0,8 m. Esta zanja puede ser cavada con implementos manuales, pero el movimiento de tierra es demasiado elevado y el empleo de una pala mecánica es recomendable, por el rendimiento de trabajo que representa.
- » En la superficie se construye un camellón de por lo menos 0,7 m de altura y 0,7 a 1,0 m de base, para actuar como barrera al flujo superficial en caso de lluvias torrenciales y alimentar la napa freática con este excedente. La cima del camellón debe estar nivelada en toda su extensión y debe terminar en las cotas laterales del terreno, donde este se eleva.
- » En la parte central del camellón o donde se juzgue mejor su ubicación (generalmente en el lugar donde se concentran los mayores caudales de escorrentía), se construye un vertedero de hormigón o mampostería, para descargar controladamente los excesos de agua, sin erosionar y destruir el camellón. La base del vertedero aguas arriba debe quedar aproximadamente a 0,3 m sobre el nivel original del terreno para favorecer la acumulación temporal de la escorrentía y facilitar la recarga del manto freático en el embalse.
- » Se selecciona el material a ser utilizado para impermeabilizar la presa, el cual puede ser una lámina de plástico (Silva et al, 2007e recomiendan polietileno de 200 micras), pared de piedra, ladrillo o arcilla humedecida y compactada. El material a ser utilizado depende de las condiciones del lugar, disponibilidad, costo y capacidad de inversión del productor. El plástico parece ser el material preferido, por la facilidad y costo.

- » Si se usa plástico, se excava una zanja pequeña, al lado de la pared aguas arriba del fondo de la zanja para la fijación del plástico. La superficie del fondo y la pared aguas abajo de la zanja se empareja, alisa y se sacan piedras, raíces u otros objetos que podrían perforar el plástico. Se aplica una mezcla húmeda de arcilla y arena en toda esta superficie, lo que facilita la adherencia del plástico.
- » La colocación de la lámina plástica se inicia ubicando su extremo inferior en el fondo de la zanja pequeña y rellenándola con barro para fijación. Luego se extiende la lámina sobre el fondo y sobre el lado vertical (aguas abajo) de la zanja hasta fijarla en la parte alta sobre el camellón, en una zanja pequeña de fijación previamente abierta (Figura 15-II). Esta operación debe hacerse tratando de no exponer mucho la lámina al sol porque absorbe calor y se dilata.
- » Utilizando implementos manuales o pala mecánica, se rellena cuidadosamente la zanja con el material de excavación, al cual se le han retirado piedras, ramas, raíces y otros elementos que puedan perforar la lámina plástica.
- » Al terminar de rellenar la zanja, se finaliza el camellón hasta la altura definitiva, recubriendo la parte superior con la lámina plástica. Cuando sea necesario más suelo, se utiliza del terreno aguas arriba.

FIGURA 15-II: Esquema de colocación de la lámina plástica, según Silva et al, (2000).



Para evitar el incremento de la salinidad del suelo por ascenso capilar, se presentan las siguientes alternativas:

Instalación de un tubo sifón invertido: Durante la construcción de la estructura, se coloca un tubo de PVC de 100 mm de diámetro en el fondo de la zanja, pasando por debajo del camellón y saliendo aguas abajo. En el extremo aguas arriba, donde habrá presión del agua, se construye una estructura de drenaje, con piedras y grava, para que el agua ingrese en el tubo. En el extremo aguas abajo, se conecta un codo y una pieza de tubo que mantiene la altura de salida por encima de la altura máxima que se quiere manejar el agua. Cuando se desee drenar el “embalse”, basta que el extremo del tubo de PVC quede bajo el nivel del agua. Así, se drena el perfil de suelo y la concentración de iones solubles, como el sodio, son transportados.

Construcción de un pozo artesanal: Dentro de la zona del embalse se construye un pozo artesanal para uso del agua con otros fines. La extracción del agua del pozo determina que el perfil esté siendo drenado. La ventaja de esta modalidad es que el agua está siendo utilizada y su extracción es relativamente fácil porque el pozo es de poca profundidad.

FIGURA 15-III: Ejemplos de embalse subterráneo.



Vista del área destinada a cultivos desde el vertedero instalado en el camellón de contención. El relieve es suave para que el espejo de agua subterránea sea grande. La estructura que se observa a la izquierda es un pozo artesanal para sacar agua con otros fines, el que también se puede drenar para evitar salinidad del suelo.



Vista del camellón de contención desde el vertedero. Observar que el camellón posee la cima nivelada hasta perderse en el terreno lateral más elevado. Nótese que el camellón fue conformado con suelo de aguas arriba.



Vista del vertedero desde el área de cultivo. Observar que la base está a unos 0,30 m arriba del nivel del suelo, para retener parte de la escorrentía y recargar la napa freática. Aguas abajo, se puede observar el lugar donde se concentran los flujos de agua superficiales.



Embalse subterráneo en producción, a los siete meses sin lluvia, en la finca de la EMBRAPA Semi-Árido, Brasil.

Fotos: Marcos J. Vieira.

Elementos de costo

Los componentes de costo de esta práctica:

- » Excavación de la zanja: el movimiento de tierra depende de la longitud, profundidad y ancho de la misma. Una zanja con 100,0 m de longitud, 2,0 m de profundidad y 0,6 m de ancho representa 120 m³ de volumen de suelo excavado.
- » Ubicación de un dren de descarga del fondo: 10 m de tubo de PVC de 100 mm, 3 codos y 3 conexiones.
- » Cemento, arena y grava para 1,5 a 2,0 m³ de hormigón.
- » Lámina plástica de 200 micras (m² = longitud x altura de la zanja: fondo + lado + camellón).
- » Mano de obra de albañil y auxiliares.
- » Horas-máquina para excavación y relleno de la zanja.
- » Mano de obra para servicios generales.

En el Cuadro 15-I, se detallan los elementos de costo para la construcción de un embalse subterráneo (Silva et al, 2007e). No se presentan los costos debido a las variaciones de moneda, cambio, inflación, entre otros factores.

CUADRO 15-I: Materiales y mano de obra para la construcción de un embalse subterráneo con 100 m lineales de zanja. (Adaptado de Silva et al, 2007e).

Materiales		Equipos y mano de obra	
Elemento de costo	Cantidad	Elemento de costo	Cantidad
Cubierta plástica	400 m ²	Pala mecánica	8 horas
Malla de gallinero	30 m	Albañil	1 jornal
Cemento	6 bolsas	Ayudante	5 jornales
Arena gruesa	2 m ³	Mano de obra no específica	20 jornales
Grava N° 2	1 m ³		

Variaciones de la técnica

Se puede variar la altura de la pared impermeable, haciendo que no llegue hasta la superficie. Así, el agua subterránea fluye antes de alcanzar la superficie del suelo. También se pueden variar los materiales para crear la barrera impermeable, aunque el plástico parece ser el más práctico y barato.

Posibilidades de recomendación y adopción

Los aspectos que dificultan la adopción de esta práctica son:

- » Encontrar un lugar dentro de la finca que cumpla con las exigencias ambientales (suelo, relieve, capa impermeable, drenaje, etc.).
- » Hacer frente a la inversión inicial, por lo que se recomienda buscar apoyo externo.

Si hay apoyo externo, el manejo adecuado del área de embalse subterráneo asegura alimentos y productividad para la familia campesina. Con la técnica del embalse subterráneo se ha conseguido en el nordeste de Brasil elevar la productividad de cultivos anuales, tales como: frijol caupí, maíz y sorgo; también se ha elevado la productividad de especies frutales, tales como: mango, guanábana, limón, guayaba y cereza tropical (cereza de las Antillas o acerola).

TÉCNICA 15-02: Agricultura de humedad residual

Descripción

Al final de la estación de lluvias los niveles de ríos, lagos, lagunas y embalses descienden dejando al descubierto suelos con buen potencial agrícola en las orillas, los cuales quedan húmedos por algún tiempo, lo suficiente para que se realice la producción de un cultivo temporal. Hay humedad residual en el perfil y humedad capilar (que asciende hacia la zona superficial debido al nivel freático elevado y en la medida que el perfil pierde humedad superficial).

Esta práctica ha sido descrita por Silva et al, (2000c) y se basa en varias investigaciones conducidas en el nordeste semiárido de Brasil, donde existen más de cien mil embalses de distintos tamaños y en donde los campesinos realizan esta técnica y cosechan los beneficios de la humedad residual.

Condiciones de adaptación

La condición ideal para el establecimiento de la práctica de humedad residual es la existencia de un lago, laguna o embalse de buen tamaño y la disponibilidad de tierras cultivables de relieve suave alrededor del cuerpo de agua. Los cuerpos de agua muy enclavados y con terrenos inclinados a las orillas no son adecuados para la práctica de aprovechamiento de la humedad residual porque la franja húmeda es angosta y se seca muy rápidamente.

Es necesario que haya una estación de lluvias para que el nivel de las aguas aumente y una estación seca, para que las aguas bajen. Localmente, los sistemas de producción deben estar adaptados a la velocidad de la transición de la estación lluviosa hacia la estación seca y la rapidez de descenso de disponibilidad de agua de los cuerpos correspondientes.

Conformación del terreno

A medida que el nivel del agua baja y deja al descubierto una franja de suelo, el agricultor hace los hoyos en el suelo húmedo y siembra, de tal forma que van quedando fajas de siembra secuenciales alrededor de la línea de agua. Es una técnica de uso popular y presenta una variedad de formas de implementación.

El método tradicional practicado comúnmente por los campesinos presenta problemas de eficiencia. En algunos casos, para aprovechar la humedad, la siembra se efectúa prematuramente en hoyos abiertos directamente en el suelo cuando el contenido de humedad todavía es elevado y la napa freática está muy cercana a la superficie, por lo que frecuentemente se pudren semillas y/o partes vegetativas plantadas (tallos, brotes o tubérculos). Hay otros casos en que el nivel del agua baja muy rápido, por lo que el suelo se reseca, produciendo estrés hídrico en el cultivo muy tempranamente.

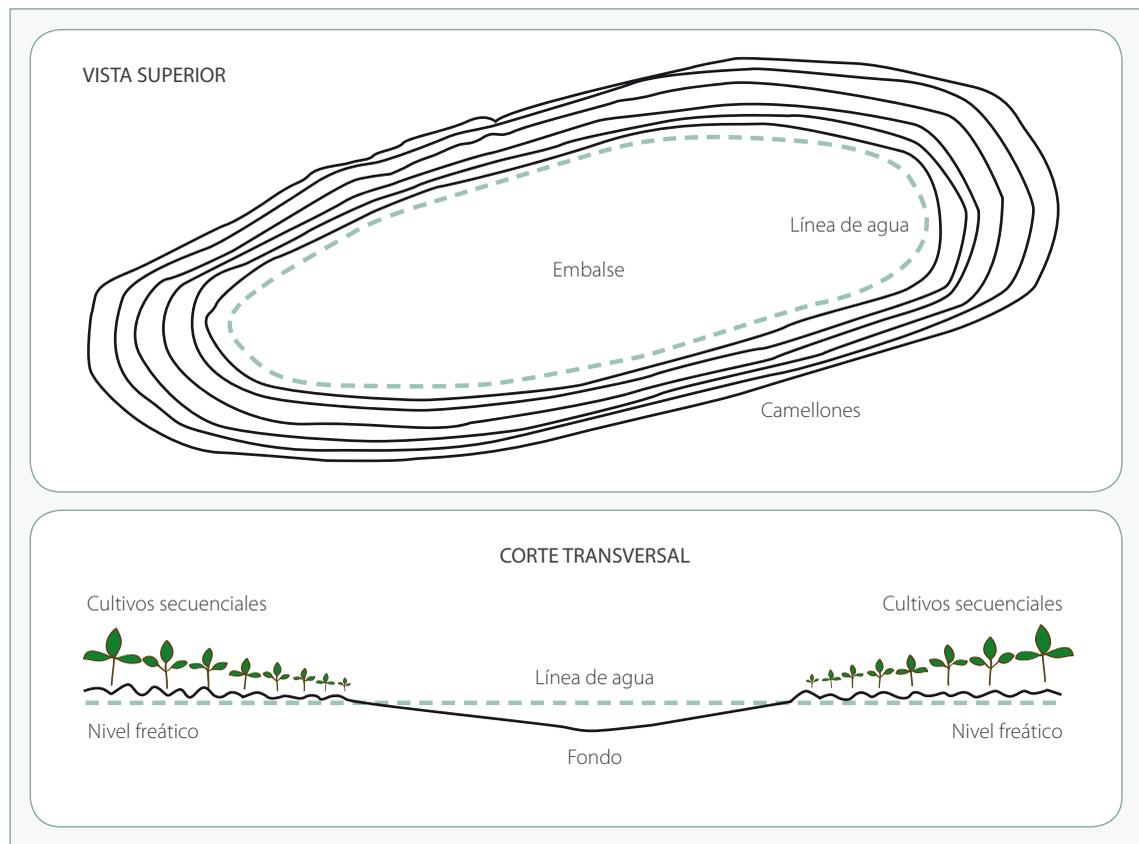
Para reducir los efectos de estos problemas, se recomienda un método simple que asocia surcos y camellones en curvas de nivel alrededor de la línea de agua. Debido a que los bordos o camellones drenan el suelo saturado, las semillas son sembradas, o partes vegetativas plantadas, en los taludes del camellón. En suelos muy drenados y cultivos sensibles a la sequía, se siembra más abajo. En suelos más retentivos de humedad y cultivos sensibles al exceso de humedad, más arriba en el talud del camellón. Así, hay humedad adecuada para la siembra más temprana comparada con la práctica tradicional de hoyos abiertos en el suelo, sin los camellones. De esta manera, las semillas

no se pudren y, conforme crecen las raíces, las plantas tienen un mayor periodo para aprovechar la humedad del perfil. Si el agricultor quiere regar cuando el suelo se seca, puede hacerlo aprovechando los surcos. El riego complementario se inicia obviamente en los surcos ubicados aguas arriba, consiguiendo mejores rendimientos agrícolas.

Indicaciones de construcción

Se empieza con el trazado de las curvas de nivel en el campo. Esta actividad no requiere de equipo topográfico. Simplemente se colocan estacas cada 5 ó 10 metros de longitud marcando la línea de agua en las orillas del embalse, lago o río. Cuando el nivel de agua desciende, queda demarcada la curva de nivel con mucha precisión. Siguiendo esa línea, se construyen surcos y bordos (camellones) con arado de tracción animal, azadas y azadones u otros implementos agrícolas manuales. Se pueden construir varios surcos y camellones paralelos a partir de una sola demarcación, pero donde las curvas se empiezan a salir mucho del nivel, es necesario demarcar otra curva tomando como base la línea del espejo de agua y, luego, empezar el proceso desde este nuevo nivel. Esto se repite varias veces, en la medida que el agua baja y, de esta manera, se trazan y construyen las líneas de surcos y bordos, tal como se observa en la Figura 15-IV.

FIGURA 15-IV: Vista general y corte transversal de un embalse con surcos y camellones para aprovechamiento de la humedad residual. Adaptado de Silva et al, (2000c).



Elementos de costo

La utilización de esta práctica supone que el espejo de agua ya existe. En caso contrario, habría que evaluar la utilidad de construir la presa e incorporar sus costos al costo total de la práctica, distribuyéndolos en por lo menos 20 años de existencia del embalse y por todas las utilidades que genere el agua utilizada.

En este capítulo solo se consideran los costos de la práctica, los que se reducen a la construcción de los surcos y camellones, porque el estacado de la línea de agua es una tarea prácticamente sin costos.

La longitud de camellones por área depende de la distancia entre ellos y la del cultivo que será sembrado. Para facilitar el cálculo de costos, se puede considerar que para un camellón de 0,25 m de alto y 0,5 m de ancho en la base, se mueve cerca de 0,6 m³ de suelo para cada 10 m de camellón, para construcción manual. En el Anexo I se presentan los rendimientos del arado de tracción animal.

Variaciones de la técnica

La técnica puede tener alguna variación de diseño, como un sistema de bombeo hasta la parte más alta para el establecimiento de riego por gravedad en los surcos.

Posibilidades de recomendación y adopción

Es una práctica sencilla que puede ser fácilmente adoptada, si existe el embalse, lago o río. Sin embargo, es más fácil sin los surcos y camellones, probablemente por la mano de obra que representa su construcción. En Brasil, los surcos y camellones tuvieron poca aplicación en el nordeste semiárido en los años 80 y 90, básicamente por falta de capacitación a los agricultores (Porto et al, 1999).

TÉCNICA 15-03: Galerías filtrantes para subirrigación

Descripción

Los países con climas áridos y semiáridos (Australia, México, Israel, Brasil, entre otros) han desarrollado experiencias con el aprovechamiento de escorrentía producida en caminos para diferentes necesidades y modalidades de captación, almacenamiento y distribución del agua.

En Brasil se desarrolló un sistema que capta la escorrentía superficial de caminos y la conduce por gravedad, a través de canales, hasta el campo de cultivo, donde, a través de galerías previamente construidas, el agua es infiltrada en el perfil del suelo (Silva et al, (2000d). El sistema tiene un área de captación o recolección de la escorrentía del camino, un sistema de subirrigación compuesto de un canal que abastece líneas paralelas de capas de cascajo permeables y, sobre estas, van zanjas rellenas de suelo preparado para los cultivos.

Se trata de un sistema de macrocaptación de la escorrentía para almacenarla y conducirla al subsuelo previamente preparado, desde donde las raíces de los árboles podrán extraer el agua.

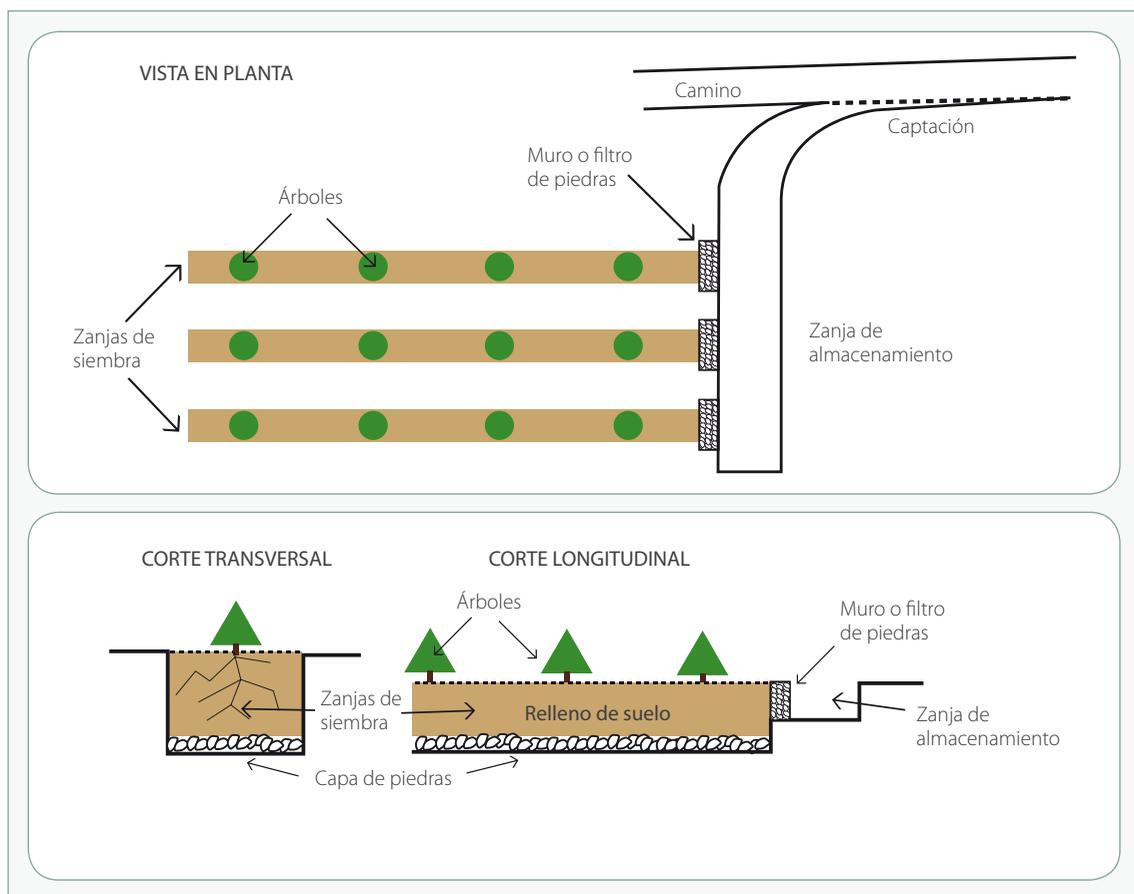
Condiciones de adaptación

La zona donde se ha implantado exitosamente esta técnica presenta 2.850 mm de evaporación y 350 mm de precipitación anual. El objetivo es complementar la lluvia directa con abastecimiento de agua a un huerto de árboles frutales por 2 a 3 meses después de las lluvias.

Conformación del terreno

El área de captación puede estar constituida por carreteras y caminos vecinales que reciben la escorrentía en sus drenes laterales. El sistema de captación también se puede conectar a redes naturales o construidas de drenaje (torrentes, avenidas, terrazas) para recibir las descargas de escorrentía. El agua es conducida por acequias o canales hacia una zanja principal de almacenamiento (Figura 15-V). De ésta se derivan zanjas de infiltración, donde son plantados los árboles. Entre ambos tipos de zanjas, hay un dique de piedra o ladrillo perforado para que el agua fluya de manera controlada.

FIGURA 15-V: Conformación en el terreno de un sistema de galerías filtrantes. (Silva et al, 2000d).



Indicaciones de construcción

La derivación de la escorrentía del camino se hace por medio de zanjas laterales. Las zanjas laterales pueden estar inicialmente conectadas a un estanque de contención excavado a la orilla del camino, destinado a la sedimentación de la escorrentía (opcional). Del camino, la escorrentía es derivada por medio de zanjas o tubos, si el terreno es muy permeable, a una zanja de almacenamiento. Esta zanja es una trinchera excavada en forma de un canal rectangular, de 1,0 m de ancho por 1,0 m de profundidad y longitud de acuerdo con las necesidades y disponibilidad de agua, la que es construida en curva de nivel o con una pendiente menor del 1%. Se debe construir un dissipador de energía (piedras u otros obstáculos) al inicio del canal de derivación para disminuir la velocidad de la escorrentía y, por consiguiente, la erosión.

La longitud de la zanja de almacenamiento depende del número de hileras de plantas que tenga el huerto y llega hasta la última hilera.

Perpendicularmente a la zanja de almacenamiento se construyen las zanjas de infiltración, espaciadas de acuerdo a la distancia entre hileras de plantas. Las zanjas de infiltración deben tener una pendiente entre 0,5 a 1,0%. El ancho es de 1,0 m y la profundidad de por lo menos 1,3 m.

En el fondo de la zanja de infiltración se distribuye una capa de cascajo o canto rodado, cuya función es distribuir el agua por toda la extensión de la zanja y constituirse también como un almacén de agua libre.

Si el suelo excavado no presenta buenas condiciones de retención de agua, es importante mejorarlas. En este caso, el suelo removido es mezclado con un 20 a 25% de materia orgánica y nuevamente colocado en su lugar, mejorando las condiciones de suelo donde se van a plantar los frutales. Si hay otras limitaciones, es necesario corregirlas.

Donde el agua pasa de la zanja de almacenamiento a las zanjas de infiltración se construyen paredes de bloques de concreto o ladrillos con modelos perforados, para que funcionen como elementos filtrantes de detritos y suelo entre ambas zanjas.

El agua necesaria es estimada empíricamente por los autores calculando el volumen de suelo en las zanjas de infiltración multiplicado por la capacidad de campo (CC), o sea, estimando el volumen de agua que puede llenar la zanja con el suelo hasta capacidad de campo.

Como ejemplo, se utiliza un caso mostrado en el siguiente recuadro:

Características del proyecto:

- Zanjas de infiltración = 3
- Dimensión = 1,0 m de ancho x 1,3 m de profundidad x 24,0 m de largo
- Capacidad de campo (CC) del suelo = 0,3
- Eficiencia del sistema = 70%
- Pérdidas de conducción del agua = 10%

Cálculo del volumen de agua necesario para completar el sistema:

- Volumen de la zanja = $1,3 \times 1,0 \times 24,0 = 31,2 \text{ m}^3$
- Volumen de agua en CC = $31,2 \times 0,3 = 9,4 \text{ m}^3$
- Volumen total de 3 zanjas en CC = $3 \times 9,4 = 28,2 \text{ m}^3$ de agua
- Agua efectivamente necesaria = $28,2 \div 0,7$ (eficiencia) = $40,3 \text{ m}^3$ de agua
- Volumen total necesario con pérdidas en el sistema = $40,3 \div 0,9 = 44,8 \text{ m}^3$ de agua en toda la estación lluviosa

Elementos de costo

El costo principal de la aplicación de esta técnica es el movimiento de tierra. Tomando como base el ejemplo de la Figura 15-V y del recuadro e imaginando cada árbol a 6,0 m de distancia y las dimensiones descritas, el movimiento de tierra se podría estimar de la siguiente manera:

- » Volumen de la zanja de almacenamiento = $1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 16,0 \text{ m de largo} = 16,0 \text{ m}^3$.
- » Volumen de las zanjas de infiltración = $1,0 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} \times 24,0 \text{ m} \times 3 \text{ zanjas} = 93,6 \text{ m}^3$.
- » Relleno de las zanjas de infiltración = $1,0 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} \times 24,0 \text{ m} \times 3 \text{ zanjas} = 93,6 \text{ m}^3$.
- » Volumen total = $203,2 \text{ m}^3$.

Otros costos que hay que considerar son:

- » Zanja de derivación y conducción desde el camino.
- » $1,0 \text{ m}^2$ de pared de ladrillos o bloques perforados por cada zanja de infiltración.
- » $0,2 \text{ m}^3$ de grava o canto rodado por metro lineal de zanja de infiltración.
- » $0,5$ jornal x 2 personas para trazar el sistema.

Posibilidades de recomendación y adopción

Aunque los resultados de producción presentados por los autores (Silva et al, 2000d) sean positivos, se trata de una técnica que puede ser adoptada en condiciones muy específicas, no en gran escala. Primero, porque el movimiento de tierra es grande, tomando en cuenta el número de árboles plantados; segundo, porque requiere mantenimiento permanente, debido principalmente a la cantidad de sedimentos que generalmente es transportada y; tercero, porque el costo de implementación es alto.

TÉCNICA 15-04: Aprovechamiento de mallines por subirrigación

Descripción

Esta técnica ha sido descrita por Morales (2000) del INTA¹⁰, Centro Regional de la Patagonia, Argentina. Los mallines son tierras bajas inundables (vegas) existentes en la región patagónica (ocupan entre 1,5 y 3% del territorio en algunas formaciones geomorfológicas). Por sus características ambientales específicas (relieve plano y protegido de los alrededores, disponibilidad de agua y capacidad productiva), los mallines representan un buen ambiente para la producción ganadera regional.

Los mallines reciben recarga de agua de las siguientes fuentes:

- » Lluvia o nieve en otoño-invierno.
- » Cierta escorrentía superficial de áreas aledañas algo más elevadas.
- » Acuíferos freáticos superficiales que los recargan horizontalmente.
- » Acuíferos artesianos que producen flujos ascendentes.

Condiciones de adaptación

Los mallines son unidades fisiográficas que ocurren donde la temperatura media varía entre 6 °C a 10 °C y la precipitación anual es de 200 a 400 mm. El relieve es plano o semiplano y la calidad del agua es buena para su utilización en riego. El suelo debe presentar buena conductividad hidráulica horizontal para que el agua disponible a lo largo de los surcos de riego (regueras) sea relativamente uniforme.

Conformación del terreno

Para aprovechar mejor los mallines como altos productores de forrajes, se identifican áreas donde se puede ampliar la influencia del mallín en base a levantamientos topográficos detallados.

Se estudian también los suelos, particularmente la conductividad hidráulica horizontal. Se acota el nivel de agua en el mallín, tanto del nivel freático, como el de acuíferos confinados. Luego, se diseñan y construyen, a partir del mallín, canales o zanjas principales de conducción de agua, de los cuales salen pequeñas zanjas o canales secundarios denominados regueras.

El nivel de agua en el mallín se va elevando gradualmente durante la temporada de lluvias, en otoño e invierno. En el invierno, el agua no tiene aprovechamiento productivo porque la vegetación está en receso debido a las bajas temperaturas. Al final del invierno, el nivel de agua está alto y se abren las compuertas o boquetes de tierra para que se produzca el flujo hacia la red de conducción construida, la cual puede ser controlada con pequeñas compuertas (Morales, 2000).

10. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.

Indicaciones de construcción

Primeramente, se hace un diseño altimétrico del área que se plantea aprovechar. Se evalúan los niveles de agua, su cantidad y calidad. Se determinan los caudales críticos para la época más seca del año y se determina el área de pastizales de posible mejoramiento con la disponibilidad hídrica.

En terrenos que presentan pendientes de hasta 0,2 a 0,3%, los canales principales van con esa pendiente y las regueras salen transversalmente en curvas de nivel, a pendiente cero. Las regueras tienen espaciamiento entre 15 y 20 metros, según el tipo de suelo (conductividad horizontal). El humedecimiento del área de cultivo así ampliada es subsuperficial (subirrigación) o por desborde de las zanjas. Si los terrenos tienen mayor pendiente, los canales principales y secundarios (regueras) se trazan en curvas de nivel y así actúan directamente humedeciendo los nuevos terrenos por subirrigación.

Las zanjas se pueden construir con tractores, arados o surcadores. Eventuales irregularidades se corrigen con azadas, azadones y palas.

Elementos de costo

Los componentes de costos de esta tecnología son los indicados a continuación:

- » Identificación del área y estudio altimétrico, lo que debe ser realizado por un ingeniero o topógrafo experimentado.
- » Diseño y construcción de los canales, los cuales dependerán de las dimensiones de las áreas irrigadas, de las características del terreno y del suelo.
- » Mano de obra para afinar la obra realizada con tractor y arado o surcador.

Variantes de la técnica

Sistemas de riego en terrenos inundables (vegas) o a partir de ellos hacia áreas aledañas son factibles, siempre y cuando existan las siguientes condiciones:

- » agua en la vega por un período razonable del año,
- » terrenos irrigables y con características cultivables,
- » agua de buena calidad para riego,
- » capacidad económica y logística para realizar el diseño de ingeniería del área.

En regiones sin limitaciones de temperatura, como las que existen en la Patagonia, el comportamiento de la técnica puede dar resultados de producción vegetal y animal aún mejores.

Posibilidades de recomendación y adopción

En los mallines se producen generalmente forrajes de especies nativas. Este tipo de aprovechamiento del recurso hídrico ayuda a evacuar el exceso de agua en la parte del mallín original, por lo que mejora el rendimiento de forraje en ambas áreas: la que recibe riego y la que es drenada. En las áreas ampliadas se han sembrado gramíneas y leguminosas forrajeras con buenos resultados.

En una región con déficit hídrico severo, este tipo de aprovechamiento del terreno es siempre una opción auspiciosa, quizás un poco limitada por las bajas temperaturas sobre la producción vegetal en parte del año.

TÉCNICA 15-05: Aprovechamiento de pozos freáticos artesanales

Descripción

El aprovechamiento de pozos freáticos artesanales casi siempre es la primera opción que la familia selecciona como fuente de agua, en zonas donde no hay suministro por medio de proyectos públicos o privados o no existen manantiales. Por ello, de todas las prácticas descritas en esta publicación, el pozo artesanal tal vez sea la más difundida y utilizada.

La denominación de pozo freático artesanal se debe a que se explota el agua de la parte superior del manto freático y son construidos manualmente con azadón, pico y pala.

Se caracteriza como un hoyo en forma circular, generalmente con un diámetro de 1,0 a 1,5 m en la parte superior y ligeramente menor en la inferior, perforado a través del perfil de suelo-subsuelo-manto rocoso, hasta tener acceso a por lo menos 1,0 m de la napa freática.

Condiciones de adaptación

Cuanto más superficial esté la napa freática tanto mejor, ya que los costos de construcción y mantenimiento son menores y la extracción de agua es menos ardua, entre otras ventajas.

Lo ideal es que el pozo no tenga más de 10 m de profundidad y opere con por lo menos 1,0 m de columna de agua, lo que significa aproximadamente 0,78 m³ de agua, si el diámetro es de 1,0 m. Más allá de esta profundidad, es muy difícil que un pozo pueda ser utilizado para otros fines que no sea el suministro de agua para consumo doméstico, debido a las dificultades operativas para la extracción del agua, sin bombeo motorizado.

Donde hay posibilidad de bombeo, mecánico o eléctrico, las opciones aumentan, pero hay que considerar los costos de inversión y mantenimiento. Las ventajas del bombeo están relacionadas a la reducción de la mano de obra, posibilidad de mantenimiento de una estructura más grande de almacenamiento y posibilidad de aumento de producción de agua. Por lo general, la extracción más constante de agua del pozo tiende a aumentar el nivel de producción de agua del mismo.

En las zonas rurales, principalmente en lugares económicamente deprimidos, donde la población enfrenta muchas necesidades, el sistema de bombeo de agua de pozos es generalmente manual (con cuerda y balde) y, cuando mucho, se utiliza una polea y una manija.

Para ubicar el lugar donde cavar un pozo es necesario conocer el comportamiento geomorfológico de la zona (aunque empíricamente) para determinar los puntos con más posibilidades de que la napa freática esté más cercana a la superficie.

Algunos indicadores prácticos para la explotación de agua mediante pozos freáticos artesanales son los siguientes:

- » Posición en el relieve: valle aluvial o piedemonte bajo, con menos de 10,0 m de cota en relación a un manantial superficial, aunque este desaparezca en el periodo seco.
- » Forma de relieve cóncavo en relación a los alrededores (“fondo de cuchara”).
- » Aspecto de la vegetación: más robusta y más verde hasta bien entrado el periodo seco.
- » Presencia de humedales temporales superficiales en la época lluviosa, los que tardan más en secarse que otros lugares del entorno, cuando empieza el periodo seco.
- » Tramos de ríos y arroyos cercanos que mantienen caudal entrecortado, con filtración de humedad en los taludes.

Conformación del terreno

Los pozos normalmente son circulares, con la boca protegida con obra de mampostería u hormigón. Deben estar siempre cercados, para que los animales no se aproximen, y tapados para que no haya riesgos de caídas.

Indicaciones de construcción

En Vieira (2002) se presentan detalladamente los pasos para la construcción de un pozo artesanal¹¹.

La construcción de un pozo puede variar de acuerdo al terreno: suelto y algo inestable, denso y estable o rocoso. Los pozos construidos en terrenos inestables necesitan de protección lateral (paredes) en toda su profundidad. Igualmente, los pozos cuya napa freática oscila hasta capas menos estables del subsuelo suelen desplomarse debido a su estado de saturación. Por el contrario, en terrenos rocosos, la perforación del pozo suele ser extremadamente difícil o hasta imposible. Sin embargo, al encontrar buenas vetas de agua entre las rocas, el pozo suele ser duradero.

Durante la construcción, se debe perforar el yacimiento hasta que haya suficiente caudal de aprovechamiento, el cual se puede medir por la diferencia de altura del espejo de agua después de cierto tiempo de reposo (1,0 hora, por ejemplo). El volumen (en m³) producido por hora es la diferencia de altura en metros multiplicado por el área (m²) del pozo. Por ejemplo, si el diámetro del pozo es de 1,0 m y la diferencia de altura es de 0,2 m (20 cm), significa que la producción fue de 0,16 m³ ó 160 litros por hora.

La boca del pozo debe siempre estar protegida por una estructura de mampostería u hormigón, dotado de pared lateral, una tapa de hormigón con ventana de acceso y acera. Esta estructura superior tiene las siguientes funciones:

- » seguridad para las personas, sobre todo niños;
- » seguridad para animales de corral y silvestres;
- » seguridad para el pozo: evita el desplome de la parte superior por humedecimiento continuado de la región cercana a la boca y evita que detritos y otros objetos caigan en el agua.

Cabe recordar que cualquier tipo de pozo se debe construir en el periodo crítico de sequía, cuando el caudal está en su nivel mínimo. Habiendo producción de agua en este periodo, en los demás periodos del año la tendencia es que la producción sea mayor.

Para que los recursos financieros no sean desperdiciados, se recomienda que el pozo sea ubicado y construido por una persona con conocimientos, habilidades y entrenamiento para ejecutar las tareas.

Elementos de costo

Los elementos que componen los costos de construcción de un pozo artesanal se listan a continuación (las cantidades de algunos de ellos dependen de la profundidad del pozo):

- » Mano de obra para excavación: Se deben considerar dos jornaleros como mínimo. Un pozo generalmente presenta un diámetro medio de 1,0 m, lo que representa 0,80 m³ de suelo removido, en promedio, por metro de profundidad. También hay que considerar que el rendimiento de trabajo se reduce en la medida que aumenta la profundidad y en caso de que el terreno se presente más rocoso. Se puede considerar que, hasta 5,0 m de profundidad, el rendimiento promedio diario es de 2,0 a 3,0 m³. Más profundo, normalmente el rendimiento diario se reduce a 1,5 m³ o menos, dependiendo de la dureza del material.
- » Mano de obra para construcción del brocal o parapeto alrededor de la parte superior del pozo: 1 jornal de albañil experimentado + 1 jornal de auxiliar es suficiente.
- » Material para las paredes: Para terrenos inestables se deben considerar ladrillos y mortero para las paredes (3,10 m² por metro de profundidad) o tubos de alcantarilla (hormigón) de 1,0 m de alto y 1,0 m de diámetro.
- » Mano de obra para la construcción de las paredes: Son aproximadamente 3,10 m² de pared por metro de profundidad o tubos de alcantarilla (hormigón) de 1,0 m de diámetro. Si el terreno es inestable, es recomendable que la pared se vaya construyendo a medida que se profundiza el pozo.
- » Materiales:
 - ladrillos para brocal: para 4,7 m² de pared (1,5 de alto por 3,14 de perímetro);
 - cemento para brocal: 2 bolsas;
 - arena para el brocal: 0,25 m³;
 - grava para la tapa y calzada: 0,10 m³;
 - hierro de construcción para la tapa: 2 varillas de 3/8´.

Posibilidades de bombeo

La ausencia de posibilidad de bombeo limita la utilización del pozo porque el esfuerzo físico para extraer el agua manualmente, sin auxilio de un mecanismo físico que reduzca la necesidad de energía, es arduo. El pozo mostrado a continuación ilustra la condición tradicional de extracción de agua en la zona rural.



Cuerda y polea: Sistema sencillo de extracción de agua en el que no hay bombeo. Está compuesto por un balde, cuerda, polea y manija, con movimiento circular. Es poco eficiente y laborioso, principalmente si el agua se destina a otros usos que no sean el estrictamente doméstico y unos pocos animales de corral. El contacto del balde, el cual es manoseado, con el agua suele ser una causa de contaminación del pozo. Foto: José Cristóbal E. Betancourt

El bombeo, sea manual o motorizado, es siempre una opción deseable, porque abre otras posibilidades de utilización del agua de forma menos laboriosa. Existen muchos modelos de bombas, desde manuales muy sencillos hasta modelos más sofisticados, como las bombas que trabajan sumergidas.

La variación de denominaciones para un mismo modelo o para modelos similares que adoptan el mismo principio físico también es muy grande, incluso dentro de un mismo país.

A continuación se muestra una serie de posibilidades de bombeo, manual o motorizado:



Modelo sencillo de bomba manual. La manija es de movimiento semicircular vertical, lo que no permite movimiento inercial, es decir, cada movimiento hacia abajo (el que produce agua) necesita que el movimiento hacia arriba sea realizado con esfuerzo del brazo, aunque leve. En diferentes países hay variaciones del mismo modelo o más grandes. Se le conoce con el nombre de bomba catracha. Foto: Marcos J. Vieira.



Modelo manual sencillo, similar al anterior. La manija es de movimiento semicircular horizontal sin movimiento inercial, es decir, cada movimiento hacia un lado (el que produce agua) necesita que el movimiento contrario sea realizado con esfuerzo del brazo, aunque leve. Hay en el mercado modelos más grandes. Foto: Marcos J. Vieira.



Modelo manual sencillo, pero ligeramente más grande y pesado que los anteriores. Posee manija de movimiento circular, lo que permite cierto movimiento inercial, es decir, el movimiento de bajada del brazo ayuda en parte al movimiento de subida. Si las necesidades de agua son mayores, este modelo sería más adecuado que los presentados anteriormente. Foto: Marcos J. Vieira.



Modelo manual un poco más sofisticado que los anteriores. Es más grande y pesado y succiona mayor volumen por unidad de tiempo que los demás. La rueda que sostiene la manija es grande para permitir mayor movimiento inercial y menor esfuerzo. La manija está a medio radio de la rueda para que el movimiento de los brazos no sea exagerado. Si las necesidades de agua son relativamente grandes, el modelo se adapta más que las bombas anteriores. El modelo se conoce con el nombre de bomba volante. Foto: Marcos J. Vieira.

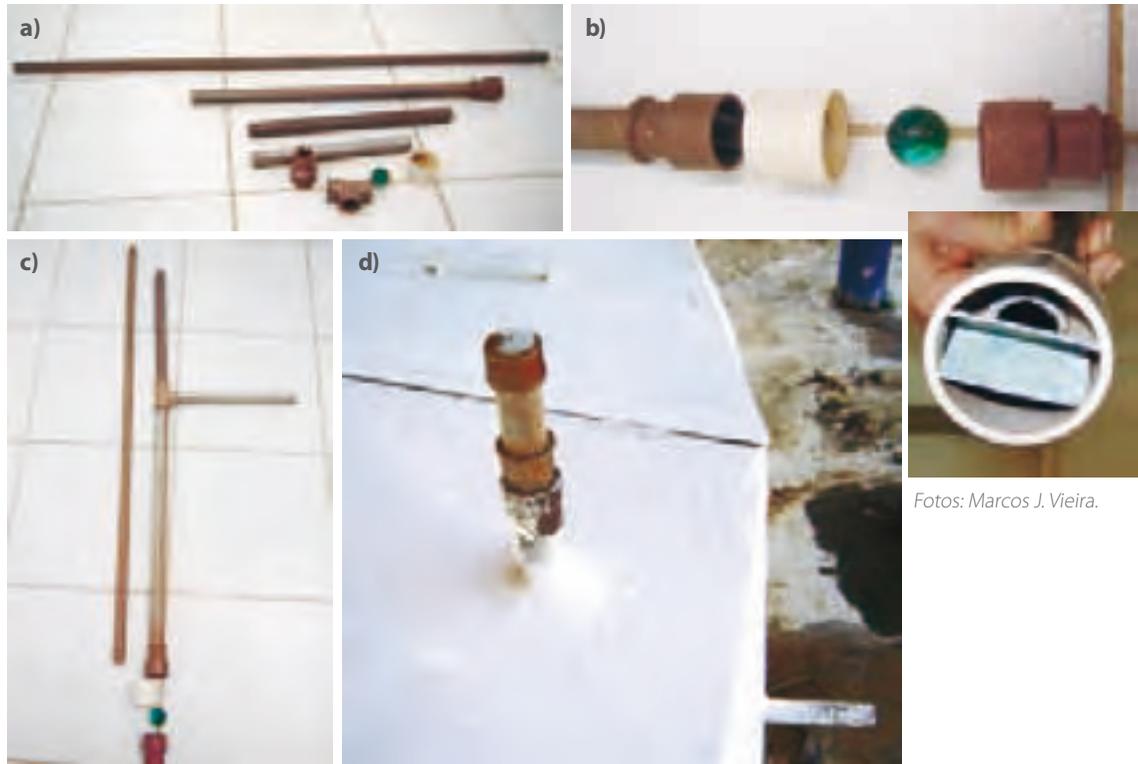
Modelo dotado de motor eléctrico (podría ser a combustión), con elevada capacidad de recalque, dependiendo de la profundidad del pozo y potencia del conjunto motobomba. Se adapta a situaciones en que el pozo es productivo y el agua se destina a rubros con resultado económico, lo que permite hacer frente a los costos de funcionamiento (electricidad o combustible) y mantenimiento. Foto: José Cristóbal E. Betancourt.

A continuación, se presentan dos modelos de bomba recomendados para bombeo en condiciones socioeconómicas más deprimidas y necesidades de volúmenes de agua para consumo familiar y pocos animales de corral:

Bomba artesanal con tubos de PVC (Modificaciones de la bomba Flexi OPS o EMAS)

Este modelo fue desarrollado y puesto en operación en la EMBRAPA Semi-Árido, Brasil, y se trata de una adaptación más sencilla de la bomba Flexi OPS o bomba EMAS. Se construye con tubos de PVC y algunas conexiones y materiales, tal como muestra la Figura 15-VI. En a), se observan los materiales necesarios; en b) y c), los detalles de la parte de succión con lámina de hojalata para no permitir que la pelota cierre el paso del agua (la hojalata es pegada al interior del tubo); en d), la bomba semiensamblada con el tubo pistón al lado izquierdo; en e), la bomba instalada para operar, en este caso, en una cisterna.

FIGURA 15-VI: Bomba de succión de agua construida artesanalmente, con materiales de PVC y una bola de vidrio. Modelo de la unidad de investigación de aguas de la EMBRAPA Semi-Árido, Brasil.



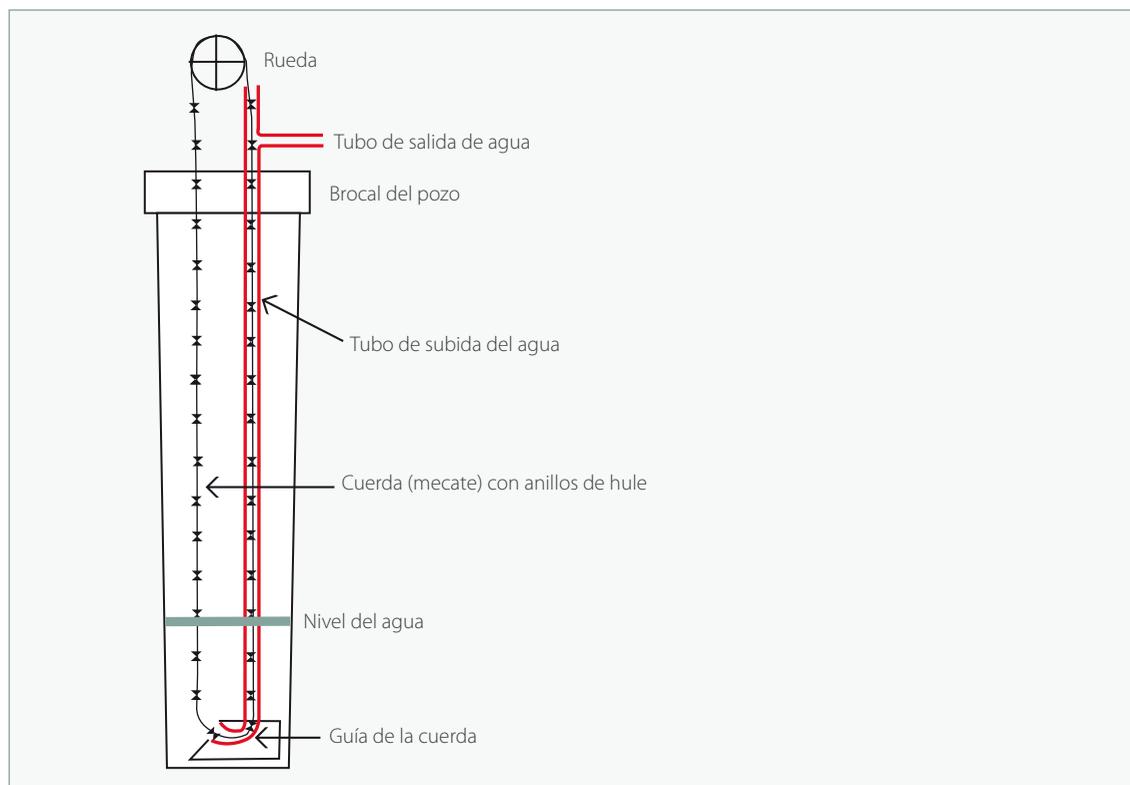
Fotos: Marcos J. Vieira.

Bomba de cuerda (mecate)

Se trata de un tipo de bomba manual muy utilizado en diferentes países de América Latina. Es barato, sencillo de construir y no requiere de mucho esfuerzo para el bombeo. Hay modelos artesanales y modelos más sofisticados, con componentes disponibles en el comercio, los cuales permiten extraer agua de pozos más profundos, superiores a 10 m de profundidad.

En la Figura 15-VII, se presenta un corte sin escala de una bomba de cuerda, con sus componentes principales. La secuencia de labores para el ensamblaje de la bomba de cuerda se describe sumariamente a continuación:

- » Sobre el pozo se instala una rueda (polea), cuyo perímetro tiene una sección en U (puede ser una rueda de bicicleta) dotado de manija.
- » Exactamente en la posición tangente con un lado de la polea, se instala un tubo de PVC (entre $\frac{3}{4}$ y 1 pulgada) que debe alcanzar casi el fondo del pozo.
- » En la extremidad inferior de este tubo se instala una guía de madera u hormigón para facilitar la entrada de la cuerda al tubo sin que se atasque.
- » Se ensambla la cuerda con piezas circulares y flexibles de hule a cada espacio (entre 20 y 50 cm), del diámetro interno del tubo de PVC y sobre un nudo para que no se desplace.
- » Se instala la cuerda, de una longitud que pase por sobre la polea, baje al pozo, penetre la guía y suba por el tubo de PVC hasta la polea y cierre el circuito.
- » Arriba, a unos 30 cm de la extremidad superior del tubo, se instala un tubo lateral para la cosecha del agua.

FIGURA 15-VII: Corte sin escala de una bomba de cuerda de las más sencillas, con sus componentes principales.

Al girar la polea en el sentido, en este caso, contrario al de las agujas del reloj, la cuerda con los retenedores desplaza el tubo ascendente y trae consigo el agua retenida entre los retenedores de hule. Una buena bomba de cuerda produce flujo continuo, sin interrupciones, tal como otros modelos mecánicos de bombas.

Para finalizar, lo importante al seleccionar un equipo de bombeo es considerar los aspectos siguientes:

- » finalidad de uso versus el volumen de agua a ser bombeado;
- » profundidad del pozo;
- » altura de bombeo;
- » meses en que el pozo se mantiene operativo por año;
- » uso individual o colectivo;
- » capacidad de la bomba;
- » costos de inversión y mantenimiento;
- » asistencia técnica.

The background of the page is a landscape with rolling hills and mountains under a pale sky. A large, faint, light-blue oval shape is superimposed on the sky. The text '16. CAPTACIÓN DE NIEBLA' is centered in the middle of the page.

16. CAPTACIÓN DE NIEBLA

16.1. La niebla como fuente de agua

La niebla, según Cruzat-Gallardo (2004), es una nube que se desplaza cercana al suelo y se forma cuando una masa de aire húmedo y cálido entra en contacto con aire más frío. Como el aire caliente puede contener más vapor de agua que el aire frío, cuando ambos se encuentran, hay condensación formando nieblas, con gotitas muy pequeñas, las cuales pueden ser captadas y aprovechadas.

En la costa de Sudamérica occidental (principalmente en el norte de Chile y Perú), el clima es condicionado por el anticiclón del Pacífico, el cual genera una situación de aridez costera y vientos cargados de humedad desde el océano hacia el continente. En contacto con las aguas frías de la corriente de Humboldt, la humedad da origen a densa nubosidad que se desplaza hacia el continente, entre 600 y 1.200 m de altitud (Cruzat-Gallardo, 2004).

Las primeras cadenas de montañas de la Cordillera de los Andes representan un obstáculo a los estratocúmulos formados en el océano. Soto (2000) describe que donde estas nubes encuentran las montañas, parte de ellas son detenidas; otra parte se interna por los valles, formando bancos de niebla de altura, o sea, nubes rasantes o nieblas.

En áreas con nieblas persistentes y rasantes, es posible que las gotitas suspendidas (< 40 micrones) sean captadas por medio de paneles ensamblados con malla atrapanieblas y su volumen aprovechado para diferentes finalidades de consumo (Cereceda, 2011).

En la Figura 16-I, se observa un panel atrapaniebla montado en el seco costero, en la Región de O'Higgins, centro de Chile.

FIGURA 16-I: Panel de malla atrapaniebla para la captación de humedad atmosférica en la Comuna de Navidad, Región de O'Higgins, Chile.



Foto: Nelson González.

16.2. Condiciones para el aprovechamiento de la niebla

La captación de niebla con fines de cosecha de agua es una modalidad que requiere condiciones climáticas y orográficas muy particulares. Básicamente, debe existir niebla densa, constante y desplazándose al ras de la superficie del terreno para que pueda ser captada con eficiencia (Cereceda, 2011). Un aspecto importante es la persistencia de la niebla. Para la factibilidad de un proyecto, debe estar presente, en condiciones de producción de agua, por un tiempo razonable durante el año.

En América Latina, estas condiciones ocurren en el norte de Chile, Perú y algunas partes de Ecuador (Soto, 2000). En estos sitios, la precipitación media anual es menor a 100 mm y la niebla representa una fuente de agua importante. También se conocen estructuras de captación de nieblas, en diferentes niveles de desarrollo, en República Dominicana, Nepal, Norte de África, Sudáfrica, Islas Canarias e Israel.

En el norte de Chile, en una zona árida llamada Chungungo, se ha implementado un proyecto que es considerado como uno de los más exitosos en la utilización de esta tecnología.

A continuación se describen las principales características de la masa nubosa para su aprovechamiento en sistema de cosecha de agua (Soto, 2000; Cereceda, 2011):

Variable	Característica
Estabilidad	Se presenta en la mayor parte del año
Espesor vertical	Entre 200 y 400 m
Altitud	Entre 600 y 1.000 m.s.n.m.
Contenido de agua	0,22 g m ⁻³ a 0,73 g m ⁻³
Tamaño de las gotas	10,8 a 15,3 micrones
Concentración del agua	400 gotas cm ⁻³

Algunos criterios tomados en cuenta en la decisión de invertir en proyectos de captación de niebla en regiones del norte de Chile y Perú:

- » Se presenta como la única opción de captación de agua para uso doméstico en sectores de la costa desértica. A ello se suma que la escasa agua subterránea presenta alto contenido salino.
- » Por encontrarse en la cima de los cordones montañosos, no requiere de energía para su captación ni conducción, pudiendo dirigir el agua hacia los sectores deseados sin mayores dificultades.
- » Presenta bajos riesgos de contaminación, en comparación con otras fuentes de agua.
- » Permite un mejor manejo de los recursos naturales de altura y en el entorno inmediato.

16.3. Captación de la niebla

La captación del agua de la niebla es realizada por medio de paneles atrapaniebla que consisten en dos postes de madera fuertemente fijados en el suelo, a los cuales se sujetan cables que soportan una cortina de malla, generalmente doble. La altura de cada panel varía de 4,0 a 6,0 m, estando entre 1,0 a 2,0 m del suelo. La cortina de malla tiene de 3,0 a 4,0 m de alto. La longitud de cada panel es de 10,0 a 12,0 m, aunque pueden ser de menor tamaño, si los postes y cables no son suficientemente resistentes. Para sostener la estructura se utilizan por lo menos tres cables de acero, los cuales cumplen la función de tirantes.

El agua en suspensión, al chocar con la malla, queda atrapada. Una gotita se une a otras formando gotas más grandes que se desplazan hacia la base del panel donde precipitan a una canaleta ubicada debajo de la malla. Desde allí es conducida por una tubería al estanque de almacenamiento y distribuida para diferentes usos.

La Figura 16-II muestra la malla del panel de condensación y la canaleta ensamblada en la parte inferior.

FIGURA 16-II: Disposición de la canaleta debajo del panel con la malla atrapaniebla.



Foto: Nelson González.

La malla utilizada en los paneles es de polipropileno, generalmente denominada malla sombra, sombrite o malla "Raschel", al 35% de sombreado.

La ubicación exacta y orientación del panel en el terreno, así como su altura de la superficie del suelo, dependen del comportamiento de la niebla en el área. El atrapaniebla debe quedar en posición perpendicular a la dirección dominante de desplazamiento de la niebla para una absorción máxima.

El volumen de agua captado dependerá de los siguientes factores:

- » concentración de agua en la niebla;
- » velocidad de desplazamiento de la masa de niebla a través de la malla;
- » dimensión de la cortina de malla;
- » tiempo de captación considerado;
- » eficiencia de aprovechamiento (volumen efectivamente atrapado del agua que pasa por la malla como niebla, llega a la canaleta de captación y baja por la tubería).

16.4. Elementos de costo y posibilidades de implementación

Esta técnica se adapta más para proyectos colectivos dirigidos a atender comunidades o pequeños pueblos, debido a que el uso de mallas atrapanieblas requiere de estudios técnicos previos para verificar su potencial de captación (densidad, persistencia, estabilidad de la niebla), orientación y altura de los paneles, dimensión de los paneles necesarios, etc.

Los costos de instalación dependen básicamente del número y del tamaño de los paneles que deben ser construidos para captar el volumen de agua necesario, así como de la distancia y dificultades para hacer llegar la tubería de conducción hasta los puntos de utilización. Los paneles se ubican en las crestas de las lomas y la población generalmente vive en áreas más bajas. Soto (2000) presenta los costos del proyecto de Chungungo, en Chile, en donde la conducción representó aproximadamente el 36% del presupuesto total, mientras que la captación el 23%. Los demás costos corresponden a los ítems de almacenamiento (13%), tratamiento del agua (1,5%) y distribución al pueblo (27%). El presupuesto total fue de USD 122.000 para una producción diaria de 10.600 litros. El sistema es cerca del 34% más barato que la distribución con un camión cisterna, que es la modalidad más común en la región.

16.5. Ejemplos de utilización de la práctica

Soto (2000) describe el sistema implementado por el proyecto de Chungungo, en Chile. Este consiste en un conjunto interconectado de paneles atrapanieblas localizados a unos 900 msnm. Los paneles se ubican a dos metros de la superficie del suelo y están formados por una malla doble de polipropileno (malla de sombra tipo "Raschel", al 35%). Totalizan 3.528 m² de superficie de captación de niebla, los cuales producen 10,6 m³ diarios. El agua captada es transportada por gravedad, mediante tuberías, a una distancia de 6,2 km, con 750 m de diferencia de cota, hacia un estanque de almacenamiento, de donde es distribuida en la red de agua para la población.

El mencionado autor también describe los resultados de evaluaciones realizadas en otros proyectos en Chile. En 17 puntos muestreados, las altitudes variaron entre 530 a 900 msnm, lo que indica las cotas en que esta tecnología suele ser aplicada. Las producciones de agua variaron desde 51,3 litros por metro cuadrado de malla por mes hasta 403,3 litros por metro cuadrado por mes, aunque los años y el número de años de evaluación variaron de lugar a lugar.

Tomando como ejemplo el menor rendimiento de $51,3 \text{ l m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$, la familia que tuviera disponible un panel de 100 m^2 lograría cosechar cerca de 5.000 litros mensuales, cantidad nada despreciable para una región en que la precipitación anual no pasa de 100 mm.

En Perú, hay registros de utilización de esta técnica en las regiones donde la precipitación anual es de 68 mm. La temperatura promedio va de $13,6 \text{ }^\circ\text{C}$ en agosto a $22,2 \text{ }^\circ\text{C}$ en febrero. La captación de niebla produjo un promedio de 2,8 litros por metro cuadrado por día en las Lomas de Lachay, Lima, y de 1,7 litros por metro cuadrado por día en Atiquipa, Arequipa, durante el periodo de mayo a agosto de 1988 (Pinche, 1996).



17. ESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

Los sistemas de captación de agua de lluvia requieren de una estructura para almacenar el agua captada, desde donde se utiliza gradualmente de acuerdo a las necesidades. Una etapa muy importante de un proyecto de captación de agua es la definición de la estructura de almacenamiento.

En los sistemas de microcaptación en terrenos de cultivos, el almacenamiento de agua se realiza en el suelo mismo, el cual debe tener una capacidad de retención adecuada y estructuras para captar e infiltrar la escorrentía. Se recomienda la lectura de manuales de técnicas de manejo de suelos para mejorar la capacidad de retención y almacenamiento de agua en el suelo.

En los casos de captación externa de agua, principalmente cuando se plantea utilizar una parte o toda en sistemas de riego, se necesitan estructuras de almacenamiento para regular adecuadamente el uso en diferentes periodos de consumo del cultivo.

En la captación para uso doméstico o para abrevadero, la necesidad de almacenar el agua es ineludible, porque el ritmo de consumo doméstico y animal es diario, muy diferente de la ocurrencia aleatoria de las precipitaciones.

17.1. Criterios para la selección de la estructura de almacenamiento

Tomando como base el conocimiento disponible en relación a las características de cada tipo de estructura de almacenamiento y las exigencias de cada finalidad de uso, en el Cuadro 17-I se proponen algunos criterios para la selección de los sistemas de almacenamiento de agua más adecuados a cada situación, sin excluir otros criterios que puedan ser considerados importantes en situaciones locales.

La estructura de almacenamiento ideal es aquella que cumple con los siguientes requisitos:

- » Responde a las necesidades del tipo de uso previsto (doméstico, animal o vegetal) en términos de volumen almacenado y de calidad de agua requerida en cada caso.
- » Permite mantener, alterar mínimamente y ser capaz hasta de mejorar la calidad del agua captada, por medio de sistemas de filtro, decantación u otro mecanismo.
- » Es segura y ofrece facilidades de manejo y mantenimiento.
- » Es de bajo costo y fácil de construir, de tal forma que puede ser asumida por la población afectada por la escasez de agua.

CUADRO 17-I: Propuesta de criterios para apoyar la selección del sistema de almacenamiento más adecuado para cada situación.

Criterio	Variables
Finalidad de uso	<ul style="list-style-type: none"> » Consumo doméstico » Consumo animal » Consumo vegetal
Requerimientos de la finalidad de uso (doméstico, animal, cultivos)	<ul style="list-style-type: none"> » Volumen requerido » Calidad de agua requerida » Calidad que mantiene el agua en la estructura de almacenamiento » Facilidades de manejo del sistema
Características de diseño de la estructura de almacenamiento versus las características locales	<ul style="list-style-type: none"> » Ubicación de la estructura versus ubicación del lugar de mayor utilización de agua » Material de la base » Riesgos de derrumbes (aguas arriba o aguas abajo) » Riesgo de sismos
Adaptabilidad del lugar de construcción	<ul style="list-style-type: none"> » Posibilidad de disponer de agua por gravedad para captar y distribuir » Calidad del material de la base y construcción (resistencia, permeabilidad, disponibilidad, etc.) » Conformación de la estructura (forma, profundidad, lámina de agua, etc.)
Reducción de las posibilidades de pérdidas del agua almacenada	<ul style="list-style-type: none"> » Material de construcción e impermeabilización » Durabilidad de material » Necesidad y complejidad de mantenimiento » Área de lámina de agua expuesta
Costos de construcción y mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> » Costo de materiales y logística de oferta » Costo de mano de obra externa o especializada » Costos de mantenimiento
Disponibilidades locales	<ul style="list-style-type: none"> » Conocimiento y habilidades de construcción y manejo » Materiales locales » Tradiciones de uso del agua

En base a estos criterios y de acuerdo a las circunstancias locales, se indican a continuación, en el Cuadro 17-II, las estructuras de almacenamiento que podrían ser las más adecuadas de acuerdo al tipo de captación y a la finalidad de uso prevista.

CUADRO 17-II: Relación entre la finalidad de uso, tipo de captación y estructura de almacenamiento para agua de lluvia.

Finalidad de uso	Tipo de captación	Estructura de almacenamiento
Consumo doméstico	Cosecha de agua de los techos	» Cisternas y estanques de hormigón, » tanques de PVC u otros materiales, » barriles.
Consumo animal	Cosecha de agua desde techos, patios y macrocaptación	» Cisternas, » estanques (trinchera, piedra, hormigón), » presas y embalses.
Consumo vegetal	Captación de agua en el terreno (microcaptación)	» Surcos o zanjas, » camellones o bordos, » bancales.
Consumo vegetal y animal	Captación externa de agua y conducción hacia el terreno (macrocaptación)	» Presas y embalses, » cisternas o tanques de transición.

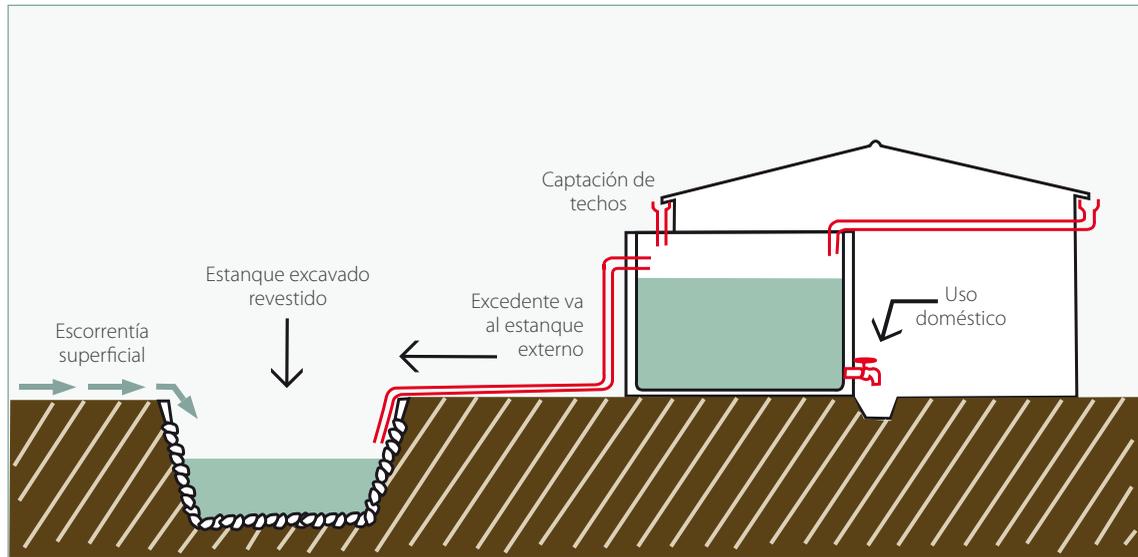
La escorrentía que proviene de techos, generalmente más limpia que el agua captada de otras fuentes, debe ser almacenada preferencialmente en cisternas o estanques cerrados. Su utilización prioritaria debe ser el consumo doméstico, consumo animal en pequeña escala, como segunda opción, y, finalmente, si hay disponibilidad, consumo vegetal en pequeña escala (huertos caseros), en régimen de “riego de salvación”. Para finalidades de uso que suponen volúmenes más grandes de consumo de agua, las cisternas y estanques son menos económicos.

Para el consumo animal de hatos más grandes o cría comercial se puede optar por diferentes estrategias, tanto en lo que se refiere al sistema de captación como de almacenamiento, pudiendo ser por medio de cisternas, estanques o embalses. La evaluación local y la economía del sistema pueden determinar el mejor método.

En el caso de almacenamiento de agua para la producción de cultivos, en razón de los volúmenes requeridos, probablemente los embalses constituyen la opción más adecuada, cuando se trata de sistemas de macrocaptación o derivación de caudales de cursos de agua. En la microcaptación, las estructuras de almacenamiento utilizadas son aquellas que detienen la escorrentía: surcos, zanjas, camellones, bordos y terrazas.

En regiones semiáridas con lluvias intensas ocasionales o en regiones subhúmedas, donde hay agua suficiente, pero interrumpida por periodos o estaciones secas, es conveniente prever excedentes que se producen de la captación de techos y almacenamiento en cisternas, estanques o barriles (Figura 17-I). Una vez sobrepasada la capacidad de almacenamiento para uso doméstico en estructuras más costosas, tales como estanques y cisternas, el agua excedente puede ser derivada a estructuras de almacenamiento más baratas; por ejemplo, estanques excavados, y ser destinada a otros usos. De ese modo, se aprovechará más eficazmente la estructura de captación y el agua captada.

FIGURA 17-I: Conducción de excedentes de la captación de techos para estructuras más simples y baratas, para aprovechar mejor la estructura de captación, según Pacey y Cullins, 1986, citados por FAO (2004).



17.2. Reducción de las pérdidas de agua en el almacenamiento

Si el sistema de almacenamiento no es adecuado, es mal manejado o no recibe un adecuado mantenimiento, una parte significativa del volumen de agua captada puede perderse. Se mencionan los siguientes motivos que son causa frecuente de pérdidas:

- » **Evaporación:** El volumen de agua evaporada aumenta cuando las estructuras de almacenamiento permanecen abiertas y con superficie de agua expuesta al aire. En zonas áridas y semiáridas, este volumen evaporado puede ser considerable.
- » **Infiltración:** La presencia de material poroso en las paredes, fondos o bordas de la estructura hidráulica aumenta la pérdida de agua.
- » **Escapes:** Cuando los revestimientos de impermeabilización presentan problemas de calidad o de mantenimiento y cuando hay fallas constructivas, pueden producirse problemas de porosidad, perforaciones o fisuras del material, los cuales aumentan las pérdidas de agua.
- » **Aspectos de diseño:** Cuando el sistema de captación excede la capacidad de almacenamiento o su construcción no es correcta, parte del agua captada puede no ser aprovechada.

Tomando en cuenta estos aspectos, es importante considerar en la selección y diseño de las estructuras de almacenamiento algunas medidas preventivas de mitigación de las pérdidas (Cuadro 17-III).

CUADRO 17-III: Medidas básicas de mitigación de las posibles pérdidas en estructuras de almacenamiento.

Factor de pérdida	Medidas de mitigación
Evaporación	<ul style="list-style-type: none"> » Mantener las estructuras cubiertas o cerradas. » Construir estanques excavados más profundos que anchos para tener más volumen almacenado y menor lámina de agua expuesta al aire. » Construir embalses en lugares con cauce profundo, sombreados y fondo impermeable, por el mismo motivo anterior.
Infiltración	<ul style="list-style-type: none"> » Seleccionar el lugar de almacenaje con rocas o capas poco permeables, evitando suelos porosos y permeables. » Impermeabilizar paredes, bordas y fondos. » Construir surcos, canales o zanjas de conducción angostos y no muy largos. » Mantener velocidades máximas no erosivas del agua en los surcos y zanjas.
Escapes	<ul style="list-style-type: none"> » Utilizar materiales de buena calidad y con especificaciones técnicas correctas. » Manejar la estructura con cuidado, principalmente cuando es de plástico. » No dejar las estructuras de mampostería u hormigón completamente secas. » Asegurar el mantenimiento permanente de la estructura.
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> » Diseñar las obras de acuerdo a especificaciones técnicas y a la disponibilidad de lluvia y mantener una óptima relación entre captación y necesidad de almacenamiento.

17.3. Construcción de estructuras de almacenamiento

17.3.1. Cisternas

Son reservorios de agua cerrados, contruidos con diferentes tipos de material y de formas diversas. Generalmente almacenan agua para consumo doméstico u otros pequeños usos, como el abrevadero de animales de corral y huertos caseros. Los volúmenes almacenados pueden alcanzar hasta unos 50 m³; sin embargo, los diseños económicamente más factibles están por debajo de los 20 m³. Se compone básicamente de un estanque de almacenamiento, un sistema filtrante y el área de captación (Brito, 1999).

Quizás la mayor experiencia en construcción y manejo de cisternas se esté desarrollando en el nordeste de Brasil, donde los programas de Gobierno presentan cifras millonarias en términos de metas de construcción, con un modelo estándar de 16 m³. Por esta razón, gran parte de este capítulo se basa en materiales publicados por la EMBRAPA Semiárido, el IRPAA y el ASA, entidades de investigación y extensión con programas de construcción de cisternas y mitigación de la escasez de agua.

Algunos aspectos a ser considerados en la construcción de cisternas son generales y otros son específicos de cada modelo. Los aspectos específicos serán tratados en la descripción de cada modelo. Los aspectos generales se presentan a continuación:

Ubicación

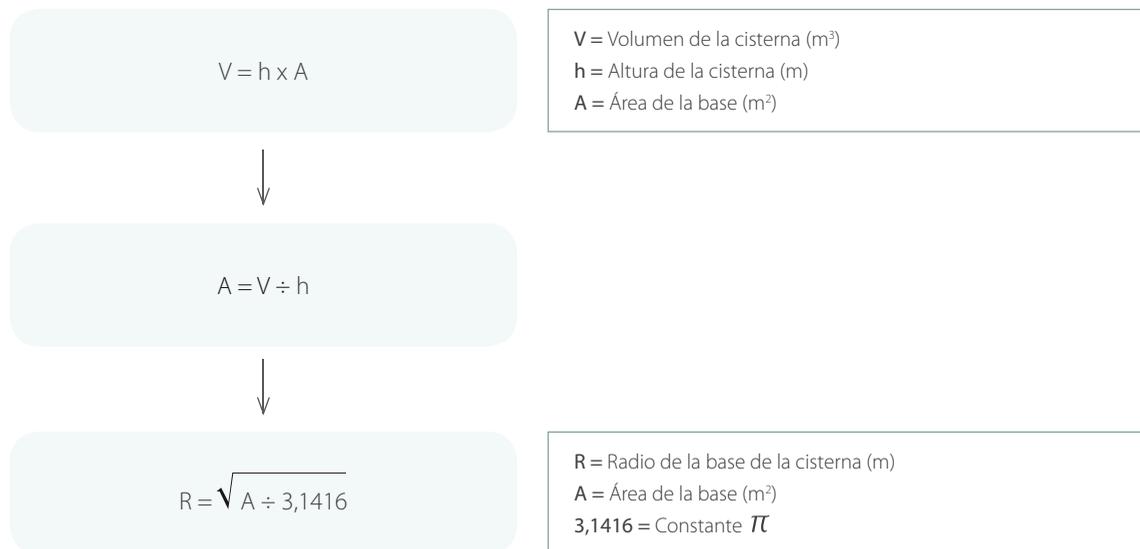
Se recomienda que el lugar elegido para la construcción de la cisterna sea de suelo firme, sin presencia de arcilla del tipo que se agrieta al secarse ni rocas de gran tamaño. El terreno debe ser plano. Si es inclinado, debe ser nivelado previamente, mediante excavación. No se recomienda construir la cisterna en áreas de relleno. El lugar de construcción debe encontrarse lo más cerca posible a la estructura de captación (techo, patio impermeable u otra) y del lugar de la principal utilización, para reducir los costos de conducción.

Forma

Se recomienda, de preferencia, la forma circular porque es la más eficiente, desde el punto de vista de la construcción, la operación y el mantenimiento. La forma circular facilita también la limpieza de las esquinas internas (uniones fondo-pared y pared-cubierta), las cuales deben ser suaves y redondeadas.

Trazado

Una vez definido el volumen de la cisterna, es posible definir el radio de la base. Cabe recordar que para cisternas de forma circular el volumen es dado por la siguiente relación:



El volumen es definido por las necesidades de uso. La altura de la cisterna es definida previamente por el modelo y generalmente no pasa de dos metros.

Con el valor del radio y utilizando una cuerda y estacas, se traza una circunferencia en el lugar seleccionado.

Excavación

La mayoría de los modelos de cisternas son construidos parcialmente por debajo del nivel del terreno. Por lo tanto, el lugar debe ser excavado y nivelado, de acuerdo al trazado realizado. Normalmente, la excavación debe corresponder a un círculo de un diámetro mayor (de 20 a 50 cm) que el diámetro de la cisterna para facilitar las obras de construcción.

Preparación de la base

En el área de la base, el suelo debe ser emparejado, nivelado y compactado. La compactación debe hacerse con el suelo húmedo. El contenido de humedad del suelo es óptimo para la compactación cuando una pelotita de suelo húmedo no recupera su forma original al ser presionada con los dedos. Sobre el suelo compactado se distribuye una capa de 5 cm de grava (de 2 a 5 cm de diámetro) y otra de 5 cm de arena lavada (sin arcillas o materia orgánica). Se compacta nuevamente, se empareja y nivela. De esta manera queda preparada la base para recibir la construcción de la cisterna.

Lugar de mezcla

Antes de cualquier construcción, es necesario definir un lugar para la preparación de la mezcla, el cual debe ser plano, estar cerca de la obra y aislado del suelo para que no contamine la mezcla.

Construcción del piso falso

Por encima de la base se construye el piso falso con una mezcla de cemento, arena y grava, en la proporción de 1:3:4, respectivamente. El piso falso debe tener entre 7,5 y 10 cm de espesor y debe estar completamente a nivel. En el proceso de secado es importante el humedecimiento periódico de la mezcla para que no se seque demasiado rápido y forme rupturas y fisuras. Sobre esta estructura se pueden construir diferentes modelos de cisterna.

Para cisternas más grandes se recomienda la utilización de una malla de hierro al interior del piso falso, lo que debe ser evaluado por un albañil experimentado. En la Figura 17-II se muestran diferentes etapas de la fase de preparación y construcción de las cisternas. Las fotografías corresponden a una capacitación proporcionada por el IRPAA a una comunidad rural.

FIGURA 17-II: Fases de la preparación de la base de una cisterna circular, con la excavación, compactación con capa de grava y arena y piso falso de mezcla.



Fotos: Haroldo Schistek, del IRPAA.

A continuación se presentan tres modelos constructivos que están siendo implementados por diferentes organizaciones que apoyan a familias rurales en el nordeste de Brasil.

Modelo 1 – Cisterna de placas de cemento

Quizás sea el modelo más utilizado en el nordeste de Brasil. En esta descripción se ha tomado información de Gnadlinger (1999), ASA (s/f) y PRODHAM (2010).

Descripción

Es una cisterna de forma circular, con pared conformada por placas de mezcla de cemento y arena previamente preparadas y acopladas una sobre otra, hasta conformar la estructura de la cisterna. La estructura queda enterrada en dos tercios de su altura, por lo que es necesario excavar para la construcción. La mezcla de cemento y arena tiene una proporción de 1:4. Las placas poseen dimensiones entre 0,5 m x 0,6 m y un espesor de 3 a 5 cm. Las placas deben tener la curvatura exacta para conformar el círculo del perímetro de la cisterna, por lo que se requiere realizar una medición cuidadosa previa para la confección de los moldes de madera.

Materiales de construcción

Cemento, arena y grava para el piso falso; alambre de acero galvanizado N° 12 (2,77 mm); moldes de madera para la confección de las placas laterales y para las placas de la cobertura; y madera para el sostén de la estructura.

Etapas de la construcción

Preparación del lugar: El terreno debe ser excavado hasta la profundidad de 2/3 de la altura proyectada de la cisterna. El diámetro de la excavación debe ser de por lo menos 1,0 m más grande que el de la construcción, para facilitar el trabajo del albañil. Se requiere nivelar y compactar el fondo.

Construcción del piso falso: El piso falso, de 7 cm de espesor, se debe hacer con una mezcla de relación cemento-arena-grava de 1-3-4. Para cisternas construidas sobre suelo se recomienda una malla de hierro (1/4") dentro del piso falso, como medida de refuerzo. Sobre horizontes rocosos o muy densos, no es necesaria la malla de hierro.

Preparación de los moldes: Si no hay moldes de madera listos para uso, es necesario prepararlos. Hay tres tipos de moldes básicos (Figura 17-III):

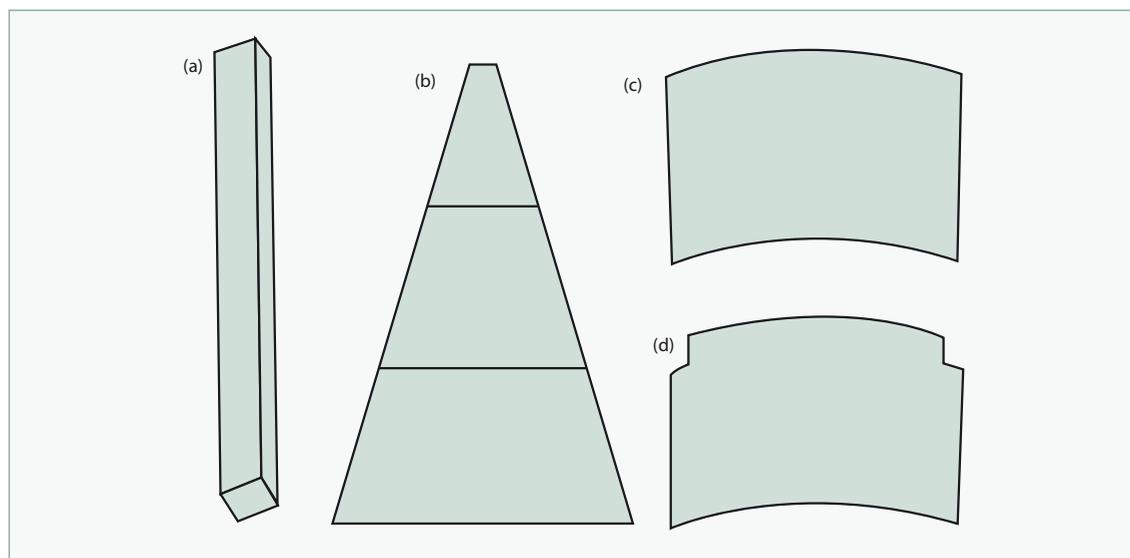
Molde de las vigas de sostén de la cubierta: Un extremo de la viga debe sostenerse sobre la pared lateral de placas; el otro extremo, al centro, debe quedar en posición de apoyo recíproco con los extremos de las vigas opuestas, fijadas por una varilla de hierro interna de la propia viga (varilla anzuelo). El molde debe tener un largo igual al radio de la cisterna, 6 cm de ancho y 8 cm de altura.

Molde de las placas de la cubierta: Posee la forma de V, con un largo similar al de la viga para cerrar el espacio vacío entre ellas. La dimensión de la placa en la parte más ancha es igual al ancho de las placas laterales. Se recomienda dividir las placas de la cubierta en tres partes para facilitar el trabajo de ajuste entre ellas. La parte que se apoya sobre la pared circular debe corresponder al mismo círculo de la pared.

Molde de las placas laterales: Posee 0,60 m de alto por 0,50 m de ancho, como patrón; podrá tener variaciones de acuerdo al diámetro de la cisterna, para lograr un ajuste perfecto entre las placas en el cierre del círculo o altura de la construcción. Este molde debe poseer la curvatura exacta de la pared para que se pueda cerrar el círculo.

Se recomienda marcar sobre el terreno el círculo exacto de lo que será la base de la cisterna. Se divide el círculo en partes iguales; por ejemplo, 20 partes y se pasa una cuerda fina en los extremos de una de las partes. De esta figura trazada se obtiene el largo de las vigas de sostén de la cubierta, el largo y ancho de las placas de la cubierta y el ancho y la curvatura de las placas laterales.

FIGURA 17-III: Moldes requeridos para construir las estructuras de la cisterna (sin escalas). Adaptado de PRODHAM (2010).



Fabricación de las placas y vigas: Todas las placas laterales y de la cubierta, así como las vigas de sostén de las placas de la cubierta deben ser preparadas con antelación para lograr un secado lento y una perfecta cohesión de la mezcla.

- » **Vigas:** Mezcla de relación 1:2:2 (cemento-arena-grava), con dos varillas de hierro de $\frac{1}{4}$ ”, dobladas en el extremo superior en 5 cm, a modo de un anzuelo.
- » **Placas de la cubierta:** Mezcla de relación 1:3 a 1:4,5 (cemento-arena), con espesor entre 3,0 y 5,0 cm. En una de las placas se debe dejar un orificio de 100 mm para la entrada del tubo que viene de la superficie de captación. En otra placa se deja un orificio más pequeño para la entrada del tubo de la bomba. En otro punto, se deja el espacio de la ventanilla de acceso, generalmente al lado opuesto a la entrada de agua. En las placas perforadas y donde queda la ventanilla, se recomienda un refuerzo de la mezcla.
- » **Placas laterales:** Mezcla de relación 1:4 a 1:4,5 (cemento-arena), con espesor entre 3,0 y 5,0 cm. Las placas de la hilera superior deben poseer un recorte en el molde (Dibujo d de la Figura 17-III), cuya altura debe ser igual a la altura de la viga y tener un ancho igual a la mitad del ancho de la viga. De esta manera, en la parte superior de la pared, entre las placas, quedarán ranuras donde encajarán a la perfección los extremos de las vigas. En una de las placas superiores, se debe dejar un orificio de 76 ó 100 mm para la instalación del vertedero de la cisterna.

Las placas y vigas deben ser fabricadas con una buena anticipación para el secado de la mezcla. Por ello y por si alguna se rompe o presenta problemas, deben ser fabricadas placas y vigas extras.

Construcción de la pared: Las placas laterales se colocan una al costado de la otra hasta completar la circunferencia de una hilera. Las uniones de las placas de la segunda hilera no deben coincidir con las de la primera para que haya un mejor amarre. Se deja un espacio de por lo menos 1,0 cm entre las placas para que penetre la mezcla de unión. Las placas son unidas con la aplicación por ambos lados de la misma mezcla utilizada en su fabricación. La estructura se va apoyando con estacas de madera hasta que la mezcla se haya secado.

Colocación de las cinchas de alambre: Por el lado externo de la pared, cada 10 cm, se pasan cinchas de alambre galvanizado Nº 12 (2,77 mm), las cuales deben ser debidamente tensionadas y atadas. La función de estas cinchas es ofrecer resistencia a la estructura. Hay que cuidar que cada vuelta sea independiente y que la tensión sea uniforme.

Vertedero: En la parte de arriba de la pared se coloca un tubo de 3 ó 4 pulgadas (76 ó 100 cm) de diámetro y unos 50 cm de largo, para servir como vertedero. Se recomienda que este tubo no sea de plástico o PVC, porque se reseca y deteriora cuando está expuesto al sol. El tubo puede ser de PVC si es reforzado externamente con la malla de alambre y recibe una capa protectora de mezcla de cemento y arena.

Recubrimiento de la pared y el fondo: Se aplica una capa de mezcla 1:4 ó 1:5 sobre el lado externo de la pared, como refuerzo de la estructura e impermeabilización. Se aplanan y se finalizan con la paleta de madera. La parte interna también recibe una capa de mezcla 1:3, de tal manera que la pared y el fondo sean recubiertos en el mismo día, para un buen sellamiento entre ambos.

Construcción de la cubierta: Una vez que las paredes y el fondo están secos, se instala en el centro de la cisterna un poste de madera equipado con un disco, también de madera, en su extremo superior. Este disco de madera sirve como soporte para los extremos de las vigas. La altura del poste debe ser suficiente para conseguir lo siguiente:

- » sobrepasar la altura de la pared,
- » que el techo tenga inclinación y sostén,
- » que las vigas queden apoyadas sobre la pared (en las ranuras entre las placas),
- » que los extremos centrales de las vigas queden lo suficientemente cerca para unir entre ellos los hierros doblados en forma de anzuelo, utilizando el mismo alambre de las cinchas.

El extremo superior de las vigas, sobre el disco de madera, recibe un relleno de hormigón rico en cemento. La pared de la cisterna, a la altura de los extremos inferiores de las vigas, recibe una última cincha de alambre como refuerzo.

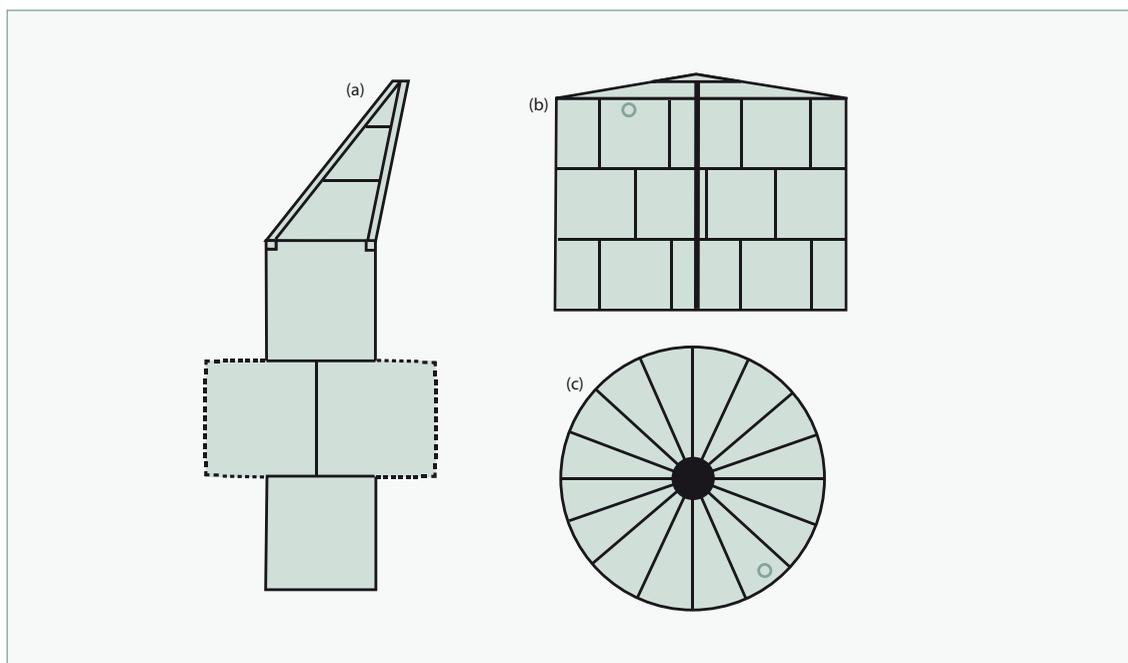
En seguida, se montan las placas de la cubierta sobre las vigas. Toda la estructura recibe una capa de mezcla similar a la pared externa.

No olvidar que se debe colocar un calce de madera bajo el poste para quitarlo más fácilmente después del secado de la estructura.

Pasta de cemento: En la parte interna se aplica una pasta espesa de cemento y agua a fin de impermeabilizar la cisterna. Se puede añadir un impermeabilizante industrial a la pasta.

En la Figura 17-IV se observa: a) la estructura de una parte de la pared y el techo de la cisterna; b) un corte lateral de la cisterna que muestra las placas laterales dispuestas de manera intercalada y la estructura de madera para sostener la cubierta mientras se seca; y c) la cubierta vista desde arriba.

FIGURA 17-IV: Perspectivas sin escala de la cisterna de placas de cemento. Adaptado de Gnadlinger (1999) y PRO-DHAM (2010).



Una vez concluida la construcción de la estructura, se rellena cuidadosamente el espacio lateral excavado como área de trabajo, hasta la altura de la superficie del terreno.

Costos

La estructura de costos para la construcción de este tipo de cisterna varía de acuerdo al número de unidades construidas, dado que muchos materiales (moldes, madera, lona plástica, instrumentos, equipos y mano de obra) se aprovechan en diferentes obras. El Cuadro 17-IV presenta solo los costos directos de materiales y mano de obra para cisternas de dos dimensiones. Los otros costos pueden ser prorrateados entre muchas cisternas. Solo se presentan las cantidades requeridas, a las que se les pueden aplicar la moneda y precios locales. Lo mismo sucede con la mano de obra: como hay horas de espera entre una etapa y otra, si el albañil posee varias obras cercanas, el costo puede ser prorrateado entre ellas.

CUADRO 17-IV: Estructura de costo para la construcción de cisternas de placas, con capacidad de almacenamiento de 11 y 20 m³. (Adaptado de Gnadlinger, 1999).

Material	Unidad	Cantidad	
		10 m ³	20 m ³
Cemento	Bolsas (50 kg)	11	18
Arena	m ³	1,3	2,0
Grava	m ³	0,13	0,18
Hierro de 1/4'	kg	4,5	7,5
Alambre galvanizado BMG 12 (2,77 mm)	kg	10	14
Mano de obra			
Albañil o persona entrenada para la construcción	Jornal 8 h	5	8
Auxiliar de albañil	Jornal 8 h	5	8
Mano de obra no especializada (preparación del terreno y servicios)*	Jornal 8 h	5	8

* Se considera mano de obra local.

MODELO 2 - Cisterna de malla de alambrado o cisterna de fierro-cemento

Los detalles de este modelo han sido preparados por Schistek (s/f) y Gnadlinger (1999).

Descripción

Es un modelo de cisterna circular, con pared única de mezcla de cemento y arena, colocada en dos capas internas y dos externas a una malla de alambre galvanizado, la cual posee la función de sostén y amarre de la estructura de cemento. La abertura de la malla es de 15 cm vertical por 5 cm horizontal, con hilos de 3 mm y resistencia de 65-70 kgf mm². Para dar soporte a la estructura durante la construcción y mantener la forma circular, la pared de malla es atada en sus extremos, en el cierre del círculo, nivelada, anclada en el piso y sostenida por estacas de madera hasta que toda la estructura esté seca y firme.

Materiales constructivos

Cemento, arena, grava, malla de alambre galvanizado (de 15 cm de abertura vertical por 5 cm de abertura horizontal, con hilos de 3 mm y resistencia de 65-70 kgf mm² y malla fina de polietileno.

Construcción en pasos

Preparación del lugar: Conforme a lo descrito en el párrafo 17.3.1

Construcción de piso falso: Conforme a lo descrito en el párrafo 17.3.1. En este caso, el piso falso es construido hasta el límite exacto de la pared (piso falso interno) y el restante de 20-25 cm (piso falso externo) es construido luego que se fija la malla de alambre.

Fabricación de placas de la cubierta: Antes de empezar la construcción, es necesario que se construyan las placas que componen la cubierta de la cisterna. Estas son fabricadas con anticipación para que se sequen y adquieran suficiente resistencia para sostenerse como cubierta. Para tener la medida exacta de dichas placas, se recomienda trazar la circunferencia externa de la cisterna y estacar el sector correspondiente a una placa. Con las medidas exactas, se puede proceder a la fabricación utilizando un molde de madera hecho con las mismas medidas. Las placas son fabricadas con mezcla de cemento y arena (relación 1:3), colocando en su interior un pedazo de la misma malla de alambre utilizada en las paredes. No hay que olvidar que la posición correcta de la cubierta es inclinada del centro hacia el extremo y que dos placas necesitan poseer perforaciones para la entrada del tubo de captación de agua y para la entrada del tubo de la bomba. Además, en una placa se deja la ventanilla de acceso.

Fijación de la pared de malla de alambrado: Se mide el perímetro de la cisterna y se corta la malla sobrepasando la medida en unos 20 cm, para que haya traslape en los extremos y el amarre sea más fácil y firme. Cada extremo del alambre debe ser doblado como gancho, pasado en la parte opuesta de la malla y apretado firmemente para que no se suelte. Es importante que el círculo formado por la malla en la parte superior de la pared sea el mismo que el de la base.

Cerrado el círculo, la pared de malla es nivelada y fijada con la aplicación del piso falso externo. Si es necesario, la estructura puede ser sostenida provisoriamente con estacas de madera.

Recubrimiento de la malla con la malla fina para revoque: El alambrado se cubre con una malla de abertura bien pequeña para que se pueda aplicar una capa de revoque. El material utilizado puede ser: malla fina de alambre, malla de sombra, bolsas de malla de polietileno. La malla fina se fija firmemente al alambrado con cinchos de polietileno.

Vertedero: En la parte de arriba de la pared se ubica un tubo de 4 pulgadas de diámetro (100 mm) y unos 50 cm de largo, para que sirva como vertedero. Se recomienda que este tubo no sea de plástico o PVC, porque se reseca y deteriora cuando se encuentra expuesto al sol. El tubo puede ser de PVC si es reforzado externamente con la malla de alambre y recibe una capa protectora de mezcla de cemento y arena.

Aplicación de la primera capa de mezcla (revoque): Una primera capa de mezcla, proporción 1:3 (1 de cemento + 2 de arena gruesa + 1 de arena media), se aplica sobre la estructura, utilizando una espátula flexible de plástico o hule, con movimientos semicirculares de abajo hacia arriba. La malla fina retendrá la mezcla que, después de seca, servirá de base para el revoque de la pared con las demás capas de recubrimiento. No es necesario un acabado fino en esta etapa del revoque, pues la rugosidad favorecerá la adherencia de las demás capas.

Aplicación de las capas de mezcla (recubrimiento): Una primera capa de mezcla, de 1,5 cm de espesor, se aplica externamente utilizando una aplanadora dentada (paleta para aplicar la argamasa para pisos cerámicos) y con movimientos de abajo hacia arriba, usando presión para que la mezcla penetre bien en la malla. Se debe cuidar que haya una buena unión con el piso falso y que el trabajo sea realizado ininterrumpidamente para asegurar el secado uniforme de la mezcla. Se deja secar por 12 horas.

Una segunda capa de mezcla, de 1,0 cm de espesor, se aplica sobre la primera, después de humedecerla. Se utiliza el lado liso de la aplanadora de metal, aplicando presión para que haya buena unión entre ambas capas. Se hace la terminación externa con una aplanadora de madera. En la parte inferior se debe hacer un buen acabado en la unión con el piso falso, mientras que el borde superior debe quedar toscamente terminado para que pegue con la parte de la cubierta.

El mismo procedimiento se hace por el lado interno, con dos capas de mezcla, de tal manera que la pared quede con un espesor de 5 cm aproximadamente.

Aplicación del piso: El piso se aplica unas 12 horas después de la segunda capa interna, con mezcla 1:3 (cemento - arena), teniendo cuidado de limpiar y mojar bien el piso falso y unir firmemente el piso falso con la pared, conformando una esquina suave en media luna en la unión. El piso debe tener 4,0 - 5,0 cm de espesor, con una pequeña depresión de 1,0 cm para facilitar la limpieza del fondo en el proceso de mantenimiento. Esta depresión debe ubicarse en la misma posición de la ventanilla de entrada de la cubierta.

Pasta de cemento: Para la finalización interna se prepara una pasta espesa de cemento y agua y, con el auxilio de una brocha, se aplica por toda la estructura interna, para que actúe como impermeabilizante.

Colocación de la estructura de la cubierta: Primeramente se coloca un poste de madera al centro de la cisterna, que alcance la altura deseada (más alto que el borde superior de la cisterna). Este poste es un apoyo temporal para la estructura. Por eso, se apoya sobre un calce de madera que será retirado fácilmente después del secado. En el extremo superior se coloca horizontalmente un disco de madera de 50 cm de diámetro, donde se apoyan los extremos de las placas de cemento previamente preparadas. El otro extremo de cada placa se coloca sobre el borde superior de la pared de la cisterna. Terminado el ajuste de las placas (separadas de 2 cm), se debe humedecer y aplicar sobre las juntas una capa de mezcla, cuidando que no quede ninguna fisura o imperfección. Se debe hacer una buena aplicación al espesor de la placa, a modo de una viga. Sobre estas placas se coloca hormigón en la proporción 1:3:3 (cemento - arena - grava). Se cubre toda la estructura con lona plástica y se deja secar, humedeciéndola periódicamente.

La Figura 17-V muestra algunos detalles constructivos de este modelo de cisterna.

FIGURA 17-V: Detalles constructivos del modelo de cisterna hecho con malla de alambre y mezcla de cemento y arena.



Construcción de las placas de la cubierta. Observe el molde de hierro y la malla de alambre al interior de la mezcla. Al lado, una placa en proceso de secado.



Ubicación de la pared de malla de alambre alrededor del piso falso externo. Observe la excavación y nivelado del terreno, previos a la construcción del piso falso.



Fijación de la pared de malla de alambre al piso falso.



Aplicación del revoque sobre la malla de alambre recubierta por malla fina de polietileno (en este caso, bolsas nuevas y abiertas, de las que se utilizan para comercializar cebolla o papa).

Aplicación de la primera capa externa de recubrimiento. Observe los tirantes de cuerda para mantener la forma circular perfecta de la estructura. Internamente hay estacas de madera para mantener la forma.

Colocación de las placas de la cubierta sostenida por la estructura provisoria de madera y la pared. El espacio entre las placas es relleno con mezcla y la parte superior con hormigón.

Aspecto final de la parte superior de la cisterna con la aplicación de mezcla en las juntas de las placas y acabado en la unión pared-cubierta. Fotos: Haroldo Schistek y João Gnadlinger.

Costos

La estructura de costos para la construcción de este tipo de cisterna varía de acuerdo al número de unidades construidas, dado que algunos materiales (moldes, lámina plástica, instrumentos, equipos y mano de obra), se aprovechan en diferentes obras. El Cuadro 17-V presenta solo los costos directos de materiales y mano de obra para una cisterna, debido a que otros costos pueden ser prorrateados entre muchas cisternas. Se presentan solo las cantidades requeridas para facilitar los cálculos en moneda y precios locales. El costo de la mano de obra del albañil puede ser prorrateado entre varias obras cercanas que está realizando en las horas de espera entre una y otra.

CUADRO 17-V: Estructura de costo para construcción de una cisterna del tipo malla de alambrado, de 16m³ de capacidad de almacenamiento. (Adaptado de Schistek, s/f).

Material	Unidad	Cantidad
Cemento	Bolsas (50 kg)	14,5
Arena gruesa	m ³	2,2
Arena media	m ³	0,35
Grava	m ³	0,13
Malla de alambrado 15 cm x 5 cm, diámetro 3 mm	m	20
Malla de sombra (2 m de altura)	m	10,5
Cinta de polietileno fina	kg	1
Mano de obra		
Albañil o persona entrenada para la construcción	Jornal 8 h	5
Auxiliar de albañil	Jornal 8 h	5
Mano de obra no especializada (preparación del terreno y servicios)*	Jornal 8 h	5

* Se considera mano de obra local.

MODELO 3 –Cisterna de malla de gallinero y alambre

Este modelo ha sido descrito por Schistek (1998) y Gnadlinger (1999).

Descripción

Esta cisterna es de forma circular, con pared única de mezcla (cemento + arena) construida aplicando dos capas internas y dos externas a una estructura de sostenimiento y amarre, consistente en una malla de gallinero envuelta por cinchas de alambre galvanizado. Para dar soporte a la estructura durante la construcción y mantener la forma circular, la malla y las cinchas se ajustan externamente a un molde de placas de metal flexible, el cual es retirado después del secado de las dos aplicaciones externas de argamasa. Entonces, se realizan las dos aplicaciones internas, donde se ubicaba el molde metálico. Este puede ser reutilizado en otras cisternas.

Materiales constructivos

Cemento, arena, grava, malla de gallinero de 2 pulgadas con alambre BMG 18 (1,24 mm), galvanizado; alambre BMG 12 (2,77 mm) galvanizado y molde con chapa de metal flexible.

Construcción en pasos

Preparación del lugar: Conforme a lo descrito en el párrafo 17.3.1.

Construcción del piso falso: Conforme a lo descrito en el párrafo 17.3.1.

Construcción de la cubierta: Antes de empezar la construcción es necesario que se construyan las vigas y las placas que componen la cubierta de la cisterna. Estas son fabricadas con antelación para que se sequen y adquieran la resistencia requerida. Para tener la medida exacta de las vigas y placas, se recomienda que se realice una simulación con estacas y líneas de la misma dimensión de la cisterna. Las vigas son fabricadas con mezcla de cemento y arena (relación 1:3), con 3 varillas de hierro internamente. Las placas son hechas con la misma mezcla, utilizando una malla de alambre al interior para lograr mayor resistencia. No hay que olvidar que la posición correcta de la cubierta es inclinada del centro hacia afuera, como un “sombrero chino”.

Fijación del molde de metal: El molde de metal está compuesto de placas de metal flexible que se ubican en forma circular en el diámetro exacto de la base de la cisterna. Con la mezcla del piso falso aún fresca, se traza nuevamente la circunferencia. Dependiendo de la longitud de las placas de metal flexible, se hacen hoyos de unos 15 -20 cm de profundidad en el piso falso y se clavan pequeños postes que se atornillan a las hojas de metal del molde a fin de sostenerlo y fijarlo. Todo este conjunto debe ser nivelado, aplomado y fijado (aunque provisoriamente). La altura final de las placas de metal debe ser igual a la altura de la cisterna.

Colocación de la malla: Externamente al molde montado, se extiende la malla de gallinero, teniendo el cuidado de sobrepasar la dimensión del molde en 0,5 m hacia dentro en el piso falso y en 0,2 m en la parte superior, para que haya una mejor unión de la pared con el piso y la cubierta, respectivamente. La malla debe ser cortada para permitir la colocación de las vigas de sostén.

Colocación del alambre: Sobre la malla extendida se dan vueltas de alambre cada 5 cm en la parte de abajo (hasta 1,0 m de altura) y arriba cada 10 cm, cuidando que cada vuelta sea independiente, que la tensión sea uniforme y que haya doble vuelta en la primera de abajo y en la última de arriba.

Vertedero: En la parte de arriba de la pared se ubica un tubo de 3 pulgadas de diámetro y unos 50 cm de largo, para servir como vertedero. Se recomienda que este tubo no sea de plástico o PVC, porque se reseca y deteriora al estar expuesto al sol. El tubo puede ser de PVC si es reforzado externamente con la malla de alambre y recibe una capa protectora de mezcla de cemento y arena.

Preparación de la mezcla: La mezcla se prepara en una proporción 1:3 (cemento: arena).

Aplicación de la primera capa de mezcla: Una primera capa de mezcla, de 1,5 cm de espesor, se aplica externamente al molde, sobre la malla de gallinero + vueltas de alambre, utilizando una aplanadora dentada (paleta que se utiliza para aplicar la argamasa para pisos cerámicos) y con movimientos de abajo hacia arriba, aplicando presión para que la mezcla penetre bien en la malla. Se debe cuidar que haya una buena unión con el piso falso y que todo el trabajo se realice ininterrumpidamente para asegurar el secado uniforme de la mezcla.

Secado de la mezcla: La estructura debe ser cubierta con una lámina de plástico por un periodo mínimo de 12 horas, para que ocurra el secado uniforme y lento de la mezcla, la cual debe ser mojada periódicamente.

Aplicación de la segunda capa de mezcla: Una segunda capa de mezcla, de 1,5 cm de espesor, se aplica sobre la primera, entre 12 y 24 horas y después de humedecerla bien. Se utiliza el lado liso de la aplanadora de metal, aplicando presión para que haya un buen contacto entre ambas capas. El acabado externo se realiza con una paleta de madera. En la parte inferior, se debe hacer un buen acabado para unir al piso falso, mientras que el borde superior debe quedar terminado de manera tosca para que pegue bien con la parte de la cubierta.

Secado de la mezcla: La estructura se cubre nuevamente con una lámina plástica por un periodo mínimo de 12 horas, para que ocurra el secado uniforme y lento de la mezcla aplicada como segunda capa. Se debe mantener humedecida.

Retiro del molde y aplicación del revoque: Con el auxilio de una escalera, se retira cuidadosamente el molde y los postes de sostén. Se prepara una mezcla de 1:3 (cemento: arena), se humedece la pared y se aplica como revoque de la pared interna. Se cubre nuevamente para el secado uniforme y lento de la mezcla.

Aplicación de la primera capa de mezcla interna: Después de humedecer la pared, interna y externamente, se aplica la primera capa de mezcla interna, de manera similar a la primera aplicación externa. Se cubre la estructura para secado.

Aplicación de la segunda capa de mezcla interna: Después de humedecer la pared, interna y externamente, se aplica la segunda capa de mezcla interna, de manera similar a la primera aplicación externa. Se cubre nuevamente la estructura para secado.

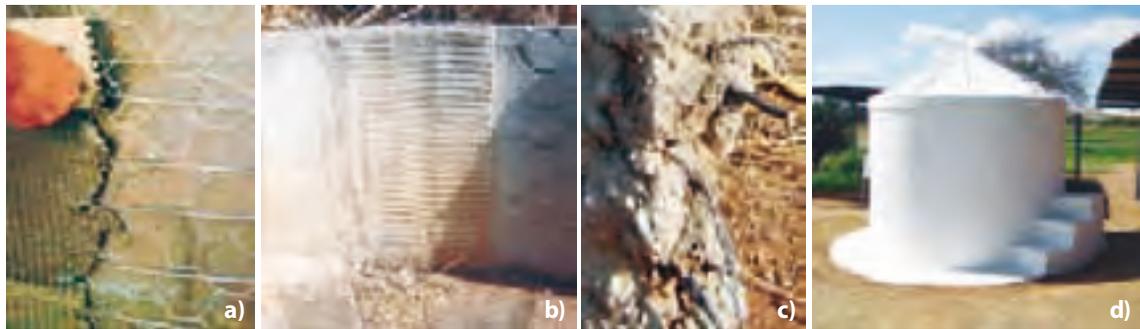
Aplicación del piso: El piso se aplica inmediatamente u horas después, teniendo el cuidado de limpiar y mojar bien el piso falso y unir firmemente el piso con la pared, conformando una esquina suave en media luna en la unión con la pared lateral. El piso debe tener 5,0 cm de espesor, con una pequeña depresión de 1,0 cm para facilitar la limpieza del fondo en el proceso de mantenimiento. Esta depresión debe ubicarse en la misma posición de la ventanilla de entrada de la cubierta. Toda la estructura es humedecida nuevamente y cubierta con lámina plástica para secado.

Pasta de cemento: Para la finalización interna, se prepara una pasta espesa de cemento y agua y, con el auxilio de una brocha, se aplica a toda la estructura interna, para que actúe como impermeabilizante.

Colocación de la estructura de la cubierta: Primeramente se coloca un puntal vertical de madera al centro de la cisterna, que alcance la altura deseada. Este puntal es un apoyo temporal para la estructura. Por eso, este se apoya sobre un calce de madera que puede ser retirado fácilmente después del secado de la estructura. En el extremo superior se coloca un disco de madera de 50 cm de diámetro, horizontalmente, donde se apoyan los extremos de las vigas de cemento previamente preparadas. El otro extremo de cada una de estas vigas se coloca sobre el borde superior de la pared de la cisterna. La distancia entre una viga y otra obedece al molde de cuerda fina previamente hecho para la cubierta. Las placas de cemento se colocan considerando el lugar de la ventanilla de acceso y los hoyos para la entrada y salida de agua del techo. La parte sobrante de la malla (0,20 m) que ha sido dejada sobre la pared se dobla por encima de la estructura de la cubierta y se fija fuertemente con alambre fino. Terminado el montaje de la estructura, se debe mojar y aplicar sobre la cubierta una capa de mezcla, cuidando que no quede ninguna fisura o imperfección. Se cubre toda la estructura con lámina plástica y se deja secar, siempre humedeciendo periódicamente.

La Figura 17-VI muestra algunos detalles constructivos de este modelo de cisterna hecho con argamasa, malla de gallinero y alambre. En a) se observa molde de metal, la malla de gallinero, los cinchos de alambre y la aplicación de la primera capa de argamasa. Note que la herramienta para esta primera aplicación es una paleta dentada de metal. Para la segunda aplicación, se utiliza una paleta plana de madera.

FIGURA 17-VI: Detalles constructivos del modelo de cisterna hecho con argamasa, malla de gallinero y alambre sobre molde de placas de metal.



Fotos. Haroldo Schistek y Marcos J. Vieira.

En b) se observa una estructura demostrativa en la finca del IRPAA y una secuencia de capas de argamasa para la construcción de este modelo, vista por el lado interno de la cisterna. De derecha a izquierda: la primera y segunda capa interna y, por último, la aplicación de la pasta de cemento. Note la unión del piso falso con la pared, en forma redondeada.

En c) se observa la posición de la malla y de los alambres al interior de la argamasa y; en d) la cisterna ya construida, con su escalera externa de acceso y acera.

Costos

Los costos para la construcción de este tipo de cisterna varían de acuerdo al número de unidades construidas, ya que muchos materiales (moldes, madera, lámina plástica, instrumentos, equipos y mano de obra) se aprovechan en diferentes obras. El Cuadro 17-IV presenta solo los costos directos de materiales y mano de obra para una cisterna. Los otros costos se pueden prorratear entre varias cisternas. Por esta razón, se registran solo las cantidades requeridas para facilitar los cálculos en moneda y precios locales. El costo de la mano de obra del albañil puede ser prorrateado en varias obras cercanas que realiza en las horas de espera entre una etapa y otra.

CUADRO 17-IV: Estructura de costo para construcción de una cisterna del tipo malla de gallinero y alambre, de 11 m³ y 20 m³ de capacidad de almacenamiento. (Schistek, 1998; Gnadlinger, 1999).

Material	Unidades	Volumen de la cisterna	
		11 m ³	20 m ³
Cemento	Bolsas (50 kg)	13	22
Arena	m ³	1,5	2,5
Grava	m ³	0,8	1,3
Malla de 2', 2,5 m de altura, alambre galvanizado BMG 18 (1,24 mm)	m	9	11,5
Alambre galvanizado BMG 12 (2,77 mm)	kg	14,5	51(*)
Mano de obra			
Albañil o persona entrenada para la construcción	Jornal 8 h	3,5	4,5
Auxiliar de albañil	Jornal 8 h	3,5	4,5
Mano de obra no especializada (preparación del terreno y servicios)	Jornal 8 h	3,5	4,5

(*) Alambre galvanizado BMG 8 (4,19 mm).

Cuidados generales de manejo de cisternas

Los aspectos descritos son válidos para todos los tipos de cisternas y estanques de almacenamiento de agua, principalmente los de consumo doméstico. Ellos son recomendados por Schistek (1998) y Brito (1999).

Cubierta: Toda cisterna debe ser cerrada, para evitar la evaporación, contaminación y posibles accidentes con animales domésticos o silvestres y, sobre todo, niños. La cubierta debe ser en forma de "sombrero chino", para conseguir mayor resistencia constructiva y evitar la acumulación de agua sobre ella o que sea utilizada para depositar materiales, poniendo en riesgo la estructura.

Escalera externa de acceso: Se recomienda construir una escalera de acceso a la ventanilla o al lugar de la bomba para evitar accidentes. La escalera debe tener una altura que permita a un adulto trabajar bien con los brazos extendidos en la parte superior de la cisterna (cerca de 1,0 m debajo del borde superior).

Acera: Toda cisterna debe tener una vereda a su alrededor de por lo menos 0,5 m de ancho, con el objeto de proteger la obra de la humedad externa.

Filtros: Los elementos filtrantes que se utilizan en cada modelo necesitan estar siempre limpios.

Ventanilla de acceso: Una ventanilla de acceso, ubicada en la cubierta, de preferencia del lado contrario al tubo de entrada de agua, debe mantenerse cerrada con llave, principalmente para evitar riesgos de accidente y problemas de contaminación.

Extracción de agua: Se recomienda que la extracción de agua sea por medio de bombas manuales. Evitar abrir y cerrar la cisterna e introducir baldes u otros recipientes para evitar la contaminación del agua.

Pintura de las paredes externas: Se recomienda que se utilice pintura de color blanco (cal, por ejemplo) para reflejar la radiación solar y mantener temperaturas más bajas en el interior.

MODELO 4 - Cisterna de acero con techo-cuenca

Este modelo, denominado techo-cuenca, ha sido desarrollado por la Universidad de Monterrey, México, y ha sido introducido en comunidades donde la precipitación promedio anual es de 326 mm, con el propósito de abastecimiento de agua para el uso doméstico (Velasco, s/f y Velasco y Carmona, 1984).

Descripción

Consiste en un techo de láminas metálicas galvanizadas, dividido en dos aguas inclinadas hacia dentro, con pendiente de 5,3% y confluentes hacia una canaleta colectora central que desagua sobre una cisterna construida en láminas de acero (Figura 17-VII).

Materiales constructivos

Láminas metálicas galvanizadas y corrugadas, malla cedazo, perfiles metálicos y láminas de acero.

Características de las partes

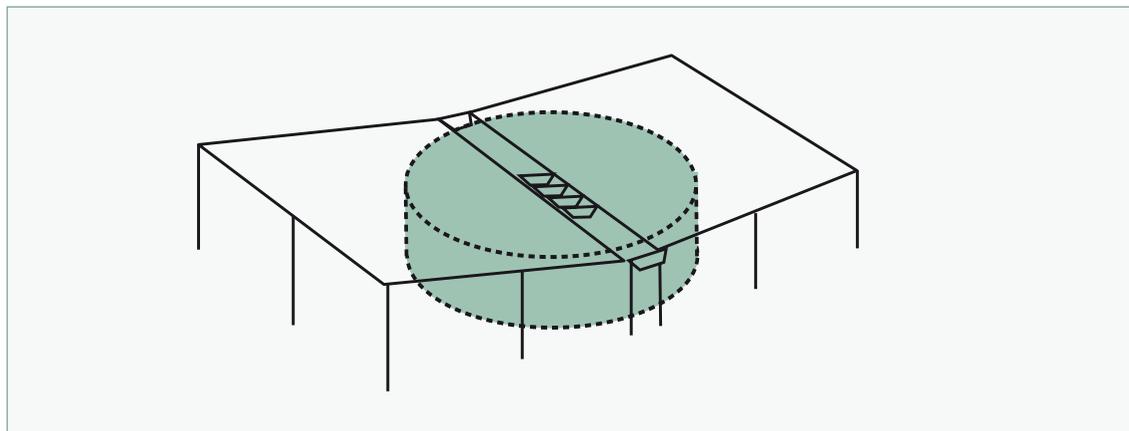
Techo: El techo está conformado por piezas de lámina metálica galvanizada y corrugada, calibre 28 (0,43 mm), las cuales son traslapadas en el sentido transversal y una onda y media en el sentido longitudinal.

Canaleta central: La canaleta central está unida herméticamente a cada uno de los lados inferiores del techo y tiene 0,10 m de profundidad en sus extremos y 0,30 m de profundidad en el centro, de modo que el agua de lluvia fluya hacia el centro de la canaleta. En la zona central de la canaleta se construyen 4 cajas-sumidero de 0,19 m de ancho por 0,21 m de largo y 0,39 m de profundidad, cubiertas por una malla-cedazo para retener las partículas grandes. Las cajas-sumidero están espaciadas 1,0 m, alrededor del punto central de la canaleta. Ellas trabajan a modo de filtro para el agua que baja por la canaleta.

Base del techo: El techo está sostenido por columnas constituidas por perfiles metálicos dobles de 2" x 4" cada uno, soldados entre sí y apoyados en zapatas de concreto armado. Las vigas también están conformadas por perfiles metálicos.

Cisterna: Se trata de un cilindro metálico de 6,0 m de diámetro y 3 m de altura, instalado en una excavación de 1,80 m de profundidad. El cilindro fue construido con láminas corrugadas de acero de 4,76 mm (3/16 de pulgada) de espesor, soldadas eléctricamente. Tiene una capacidad de 86 m³, con un volumen útil de 81 m³.

FIGURA 17-VII: Esquema simplificado de una cisterna techo-cuenca. Adaptado de Velasco y Carmona (1984).



Costo

El costo total de la estructura piloto fue de USD 8.847, evaluado en la época de construcción. Aunque parezca un monto muy elevado, difícil de asumir para una familia común de una región con déficit hídrico, el costo por metro cúbico almacenado fue bajo, de aproximadamente USD 2 m⁻³, considerando una durabilidad de 40 años para la estructura.

Tomando en cuenta otras ventajas, como el volumen y calidad del agua almacenada y el bajo costo de mantenimiento de la estructura, resulta una tecnología de captación y almacenamiento de agua que podría ser implementada en comunidades o grupos de familias, a partir de políticas públicas municipales.

MODELO 5 - Cisterna de mampostería

Este tipo constructivo abarca diferentes modelos y formas (rectangulares, cuadrados, ovalados, etc.) y materiales constructivos (puramente hormigón, hormigón con ladrillos y mezcla, bloques de cemento y mezcla, ladrillos y mezcla, entre otras combinaciones). Por esta razón, esta publicación describe solo los aspectos generales a tomar en cuenta en la construcción de cisternas utilizando cada tipo de estos materiales.

Preparación del terreno

El terreno de construcción de cada estructura de almacenamiento debe poseer suelo compacto y firme, que permita soportar la estructura construida. Se debe evitar lugares con suelos muy arenosos y suaves. El terreno debe ser excavado

y nivelado, hasta que toda el área de construcción quede sobre suelo firme, sin relleno. Sobre este piso firme es deseable aplicar una capa de grava y una capa de arena y compactarlas fuertemente para que sirvan de base al piso falso.

Si hay recursos y materiales, se puede optar por aplicar una base de suelo-cemento, principalmente si el suelo no es demasiado firme. Para ello, se excava, nivela y se aplica una capa de unos 10 cm de suelo-cemento-cascajo-agua.

Hormigón o concreto armado

El hormigón se utiliza tanto en las estructuras de almacenamiento como en las obras de captación de agua de lluvia, como componente estructural y revestimiento impermeable. Por su costo, generalmente se utiliza en estructuras relativamente pequeñas, como en las cisternas para almacenamiento de agua para consumo doméstico y animal. En obras más grandes, como en estanques, muros de piedras en estanques excavados o en estructuras específicas como vertederos de embalses, puede ser utilizado combinado con otros materiales.

Como revestimiento de patios, cabe evaluar si es necesaria la adición de grava y acero para mayor resistencia de la estructura, considerando que no tendrá grandes tensiones. Por lo general, la proporción es de 1 parte de cemento por 3 partes de arena y 3 ó 4 partes de grava.

Al utilizar el hormigón, se deben recordar algunos aspectos prácticos importantes:

- » La resistencia del hormigón depende de la estructura de hierro interna; por lo tanto, no se debe pensar en economizar en este material.
- » Utilizar el cemento dentro de su plazo de validez y eficiencia.
- » Utilizar arenas y gravas limpias, sin contaminación con suelo o materia orgánica.
- » Utilizar inmediatamente la mezcla recién preparada.
- » El hormigón debe secar despacio y se deben mantener las estructuras humedecidas hasta el completo proceso de secado.
- » No se deben utilizar en la misma obra, sobre todo en partes de la misma, diferentes marcas comerciales de cemento, para asegurar un comportamiento técnico similar.
- » La construcción completa de una estructura en hormigón debe concluir en un plazo de 12 horas.

Ladrillos

Los ladrillos pueden ser una buena opción constructiva de cisternas u otras estructuras, principalmente en aquellas regiones donde hay disponibilidad de material y son relativamente baratos. Generalmente, en estas regiones, muchos pobladores dominan las técnicas constructivas con ladrillos, lo que representa una ventaja.

Al utilizar ladrillos, se deben considerar los siguientes aspectos importantes:

- » Adquirir ladrillos bien quemados, poco permeables.
- » Utilizarlos en el modo ladrillo entero y no medio ladrillo.
- » Utilizar mezcla de buena calidad en cemento (1:3 a 1:4).
- » Hacer el recubrimiento de mezcla de ambos lados, interno y externo.

Bloques de cemento (ladrillos de cemento)

La opción de utilizar bloques de cemento (los cuales poseen vacíos para pasar las varillas de hierro y rellenar con mezcla) en la estructura de obras de almacenamiento de agua puede representar una reducción de costos en relación al uso de ladrillos y columnas o vigas de hormigón. Sin embargo, hay que considerar que los bloques son generalmente muy porosos y permeables, requiriendo una gruesa capa de mezcla de buena calidad de ambos lados para recubrimiento e impermeabilización.

La Figura 17-VIII muestra diferentes casos de estanques o cisternas construidas con diferentes finalidades de uso del agua.

FIGURA 17-VIII: Cisternas construidas con diferentes formas y materiales para uso doméstico del agua.



Cisterna cuadrada construida con bloques de cemento rellenos con varillas de hierro y mezcla. La aplicación de una cobertura de mezcla también del lado externo podría reforzar la impermeabilización. Foto: Efraín Rodríguez.

Cisterna de hormigón rectangular con captación desde su propio techo de chapas galvanizadas ensambladas en forma de V. Foto: Fernando Chanduví.

Cisterna enterrada hecha de ladrillos y con forma de huevo. Los ladrillos han sido colocados en posición transversal y acostados para mayor resistencia e impermeabilidad. Foto: João Gnadlinger.

17.3.2. Reservorios

Similar a las cisternas, la construcción de reservorios abarca diferentes formas (rectangular, cuadrado, trapezoidal, etc.) y materiales constructivos, desde aquellos excavados en el suelo hasta los construidos de hormigón y mampostería.

En esta publicación se presentan algunas opciones de reservorios, considerando aspectos generales de construcción.

MODELO 1 – Estanque trinchera en suelo excavado

Descripción

La trinchera es una estructura excavada en el terreno, con área superficial rectangular y profundidad suficiente para alcanzar una capa rocosa u otro tipo de material impermeable. La forma de trinchera (larga, angosta y profunda) presenta un limitado espejo de agua expuesto al aire por metro cúbico de agua almacenada, lo que permite reducir la pérdida por evaporación.

Esta práctica se adecúa bastante bien cuando se trata de grandes volúmenes de escorrentía a almacenar; por ejemplo, para agua captada de caminos o pequeñas cuencas hidrográficas, destinada a uso como abrevadero de animales o en pequeños sistemas de riego. Dependiendo de las condiciones locales, disponibilidad de recursos y del área de captación, se puede pensar en trincheras entre 500 y 1.000 m³ de capacidad.

Conformación del terreno

El lugar de construcción se selecciona tomando en cuenta los siguientes factores:

- » Lugar hacia el cual se puede canalizar el caudal de escorrentía de una cuenca, de una parte de ella o de un camino. Sin embargo, el ingreso del agua al canal debe hacerse por medio de una toma lateral del canal principal con el fin de evitar posibles dificultades para controlar el azolve.
- » El terreno debe presentar condiciones de suelo y subsuelo para excavación con máquinas del tipo retroexcavadora o bulldozer, y que sea impermeable a cierta profundidad. La situación ideal es que el fondo de la trinchera quede sobre manto rocoso impermeable y las paredes sean conformadas por materiales impermeables de los horizontes subsuperficiales.
- » Distancia del lugar de utilización principal del agua para evitar costos y labor de transporte o conducción.

Antes de llegar a la trinchera, es recomendable que el agua pase por un sistema de decantación y filtraje de los sedimentos, a fin de reducir la posibilidad de azolve y asegurar la calidad del agua. Esta estructura de decantación puede ser una trinchera pequeña, poco profunda para facilitar la retirada periódica de los sedimentos. Esta trinchera pequeña, al reducir la velocidad del agua, favorece la sedimentación y, al llenarse, desagua en la trinchera principal de almacenamiento.

Las dimensiones de la trinchera se deben establecer de acuerdo a las necesidades de agua y tomando en cuenta el área de captación disponible, considerando su potencial de producir escorrentía en función del patrón de precipitación del lugar.

La dimensión más larga del tanque es ubicada a lo largo de una curva de nivel y la profundidad es determinada por la capa impermeable. Su ancho, de ser posible, debe ser el mismo del implemento de corte de la máquina utilizada o un múltiplo de él, para aumentar la eficiencia de trabajo.

Indicaciones de construcción

Para la construcción de la trinchera, si hay condiciones, es conveniente considerar la combinación del trabajo de un bulldozer, equipo más apto al corte de material intacto, con una retroexcavadora o pala mecánica, más apta al manejo y transporte corto del material removido, principalmente si se trata de una trinchera de gran dimensión.

El fondo de la trinchera debe tener una leve inclinación hacia uno de los extremos para que, al bajar el nivel del agua, el espejo vaya quedando concentrado a un lado y se evapore menos. También es mejor para el acceso de los animales.

Una de las paredes debe quedar en rampa, para acceso y salida de animales. Asimismo, la rampa permite más fácilmente la limpieza de sedimentos.

La Figura 17-IX muestra trincheras promovidas por el IRPAA, en Brasil. En a), se puede ver una recién construida, aún vacía. Nótese el material rocoso del fondo y paredes. Se observa, también, la rampa de acceso y, al fondo, el camino generador de la escorrentía. En b), se muestra la trinchera en uso y la rampa por donde los animales tienen acceso al agua.

FIGURA 17-IX: Trincheras promovidas por el IRPAA en el nordeste de Brasil.



Foto: Marcos J. Vieira.

Se debe vigilar que el material de la excavación no quede en un lugar donde pueda erosionarse y en parte volver a la trinchera. Para ello, es importante que el terreno de las orillas de la trinchera tenga pendiente hacia fuera de la trinchera.

La Figura 17-X muestra una trinchera no terminada que ilustra lo señalado: en primer plano, el terreno de la orilla con pendiente hacia fuera (aunque exista erosión en la pared, el azolve será menor). En los planos secundarios, se observa que el terreno de las orillas tiene pendiente hacia la trinchera y la presencia de erosión azolvando y bajando la calidad del agua. Una solución sencilla en este caso sería construir un pequeño muro de madera o piedra alrededor de la orilla, que posibilite el relleno con el propio material retirado y la reversión de la pendiente hacia fuera.

FIGURA 17-X: Ejemplo de una trinchera con erosión en las orillas debido a la pendiente hacia dentro.



Foto: Marcos J. Vieira.

Costo

Los elementos de costo que componen la construcción de un estanque trinchera son los siguientes:

- » Horas-máquina del equipo de excavación (retroexcavadora y/o bulldozer) a ser calculado por medio del volumen de remoción de tierra (volumen de la trinchera) y por el rendimiento de la máquina específica a ser contratada.
- » Trinchera de decantación (opcional).
- » Obras complementarias deseables y opcionales: cerco en las orillas para evitar riesgos de accidente; zanja de entrada de la escorrentía con protección de piedras para evitar la erosión; pequeño muro de piedras o madera, gaviones u hormigón, para evitar la erosión en las orillas, si hay riesgo.

Las trincheras excavadas para las mismas finalidades pueden tener otras formas. Se recuerda que, si el espejo de agua es más grande por metro cúbico almacenado, habrá más pérdidas por evaporación.

MODELO 2 - Estanques de mampostería

Los estanques construidos en mampostería generalmente son rectangulares o cuadrados, con materiales variados (hormigón, hormigón con ladrillos y mezcla, bloques de cemento y mezcla, ladrillos y mezcla, piedra y mezcla, entre otras combinaciones).

La preparación del terreno para la construcción de estanques es similar a la descrita para la construcción de cisternas.

También los estanques pueden ser construidos sobre el terreno o estar parcialmente o totalmente bajo la superficie. Cuando son construidos en corte (excavados), la estructura normalmente gana en resistencia. Sin embargo, en las estructuras ubicadas bajo el nivel de la superficie es más difícil detectar escapes de agua.

La selección del material constructivo para estanques sigue los mismos criterios considerados para la construcción de cisternas, tomando en cuenta: objetivos del proyecto, finalidad del uso del agua, volumen a almacenar, costos, logísticas de los materiales constructivos y habilidades locales para la construcción.

FIGURA 17-XI: Estanques construidos con formas y materiales diferentes, para cumplir con diversas funciones y finalidades de uso del agua.



Estanque de hormigón para almacenamiento primario en captación y derivación del yacimiento para pequeño riego. Note que una parte está enclavada en la roca lateral y al lado del torrente de la quebrada. Foto: José Cristóbal Escobar Betancourt.



Estanque de hormigón para almacenamiento primario en la captación del yacimiento y derivación para pequeño riego. Note que la tapa evita que la basura contamine el agua y cause problemas de tapo-namiento o contaminación. Foto: José Cristóbal Escobar Betancourt.



Estanque rectangular construido con ladrillos y hormigón para almacenamiento de agua derivada de yacimientos y cursos de agua efímeros para uso en riego. El techo puede servir como área de captación. Foto: Gilberto Herrera.



Estanque rectangular construido con ladrillos y hormigón para su utilización en pequeños sistemas de riego. La aplicación de una capa de revoque también del lado externo podría aumentar la impermeabilización. Foto: José Cristóbal Escobar Betancourt.



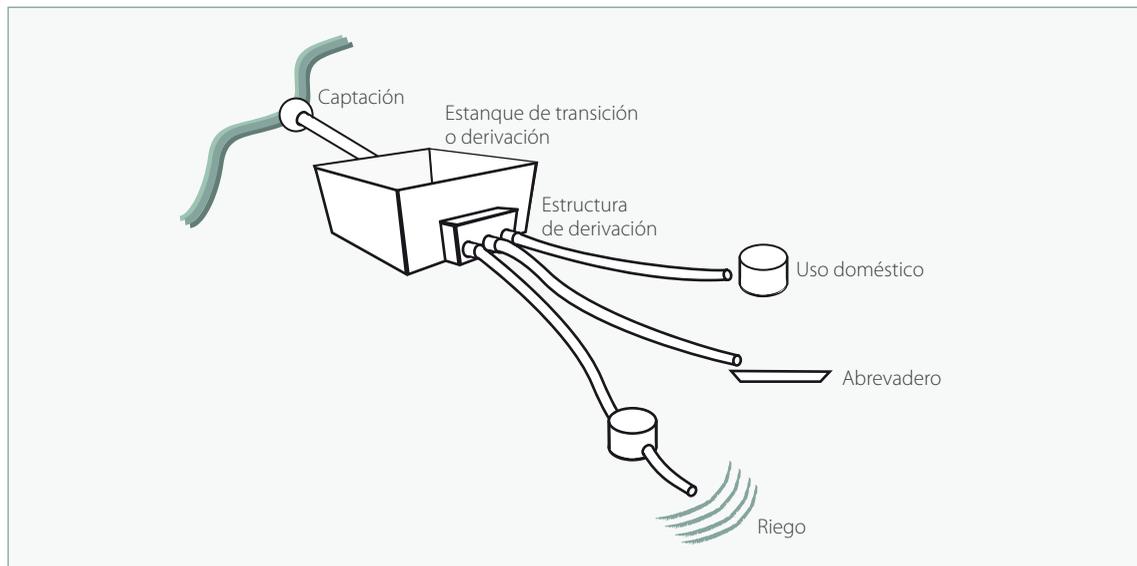
Estanque rectangular construido con ladrillos y mezcla (observe la posición de los ladrillos) para su utilización en abrevadero. Las esquinas redondeadas ofrecen mayor seguridad y facilidad de limpieza. El revoque fue aplicado en la parte interna. Foto: Marcos J. Vieira.

MODELO 3 – Estanque de transición o derivación

No se trata de un modelo de estanque o cisterna propiamente tal; sin embargo, es interesante considerar este tipo de estructura porque su objetivo principal no es almacenar el agua, sino recibir la captación y derivarla hacia diferentes finalidades y usuarios, principalmente cuando se trata de captación colectiva de una misma fuente de agua.

Descripción

Estanques construidos con diferentes tipos de materiales, según las facilidades, exigencias y costos locales. Generalmente, se ubican en lugares estratégicos, cercanos a la captación, desde donde el agua es distribuida por gravedad. Por lo general, el agua se capta de un manantial o curso de agua. La Figura 17-XII muestra en perspectiva lo que sería el sistema.

FIGURA 17-XII: Captación y derivación de agua por medio de estanque con almacenamiento transitorio.

Materiales constructivos

Pueden ser construidos con los diversos materiales mencionados: hormigón, hormigón con ladrillos, etc. La selección dependerá de las condiciones locales: dimensión, terreno, materiales disponibles, presupuesto, habilidades, etc.

Características de las partes

La única parte que diferencia esta estructura de un estanque o cisterna de almacenamiento es la estructura de derivación, generalmente lateral, equipada con salidas hacia los diferentes usos o usuarios. El tubo de salida del estanque principal hacia la estructura de derivación está colocado a unos 10 centímetros sobre el fondo para que los sedimentos se depositen. Igualmente, los tubos de salida de la estructura de derivación no están ubicados en el fondo, sino a unos 15 cm de la base. Ello también garantiza que el estanque no quede totalmente seco, lo que favorecería las rajaduras y fisuras en la estructura.

MODELO 4 - Estanques de material sintético industrializado

Se trata de estanques de material sintético industrializado (polietileno, polipropileno y mezclas con fibra de vidrio) para el almacenamiento de agua de lluvia y destinados normalmente a uso doméstico o abrevadero. Están disponibles en volúmenes que permiten utilizarlos con tal finalidad. Hay desde 0,5 m³ hasta 50 m³.

La opción por este modelo dependerá de una evaluación local, tomando en cuenta algunos factores, tales como:

- » Costos locales, en comparación con otras alternativas.
- » Capacidad de desembolso del usuario, dado que el costo de la estructura es enteramente externo, al contrario de otras alternativas que poseen algunos costos no desembolsables (mano de obra, por ejemplo).

- » Logística local de mercado de tales productos y posibilidades de mantenimiento.
- » Empoderamiento de una estructura adquirida en el mercado en comparación con otra construida por los mismos usuarios.

La experiencia sugiere que, en programas de introducción de nuevas tecnologías en comunidades rurales, la participación de la gente es fundamental para su apropiación. Si hay un tipo de asistencia paternalista (por ejemplo, donación de los estanques de material sintético para las comunidades) con una tecnología que no exige casi ningún esfuerzo de la gente, su apropiación puede ser baja y peligrar la continuidad de la utilización y mantenimiento de la estructura. La Figura 17-XIII muestra diferentes opciones de utilización de estanques de material sintético para almacenar agua de lluvia.

FIGURA 17-XIII: Estanques de material sintético destinados al almacenamiento de agua para uso doméstico y riego por goteo.



Fotos: Efraín Rodríguez y José Cristóbal Escobar Betancourt.

17.4. Revestimientos de áreas de captación y de almacenaje

Se usan diversos materiales para impermeabilizar áreas de captación de lluvia y estructuras de almacenamiento de agua, como estanques, cisternas, embalses y otros tipos de reservorios. Los principales materiales utilizados son los siguientes:

17.4.1. Hormigón y argamasa

El hormigón y la argamasa (mezcla de cemento con arena, sin el uso de hierro y grava) son muy utilizados como superficies impermeables en obras de captación y almacenamiento de agua de lluvia. El hormigón es más utilizado como superficie de impermeabilización cuando se asocia a la necesidad de sostenimiento de la estructura. La argamasa o mezcla es más utilizada como recubrimiento de otros materiales, tales como ladrillos, bloques o el mismo hormigón. Por los costos relativamente elevados, el hormigón es poco factible a medida que las estructuras aumentan de tamaño.

Hay productos sintéticos disponibles en el mercado que, al ser adicionados al hormigón y la argamasa, aumentan su capacidad impermeabilizante.

La Figura 17-XIV muestra, a título de ejemplo, el uso de hormigón en patio de captación de agua y una cisterna.

FIGURA 17-XIV: Patio y cisterna de hormigón.



Foto. Fernando Chanduvi.

17.4.2. Revestimientos de materiales sintéticos (plásticos)

Las estructuras de captación, conducción o almacenamiento de agua pueden ser recubiertas por material sintético, impermeables al agua. Los materiales sintéticos pueden ser rígidos (canaletas, tubos, conexiones, cajas de paso, llaves de paso, etc.) o flexibles (mantas, láminas o geomembranas).

La Figura 17-XV presenta un estanque de almacenamiento en Jamaica, excavado y recubierto con una manta de material sintético.

FIGURA 17-XV: Estanque excavado de almacenamiento de agua revestido con una manta de material sintético PPL-24 (polietileno reforzado de 24 mil, con 5 capas: 3 de baja densidad y 2 de alta densidad intermedia).



Foto: Fernando Chanduvi.

Los materiales sintéticos más comúnmente utilizados son:

- » **PVC (cloruro de polivinilo):** normalmente utilizado en materiales como canaletas, tuberías rígidas, conexiones y cajas de paso. Los productos de PVC poseen la ventaja de ser livianos, sencillos de trabajar, fácilmente disponibles y sustituibles. Además, son relativamente baratos.
- » **HDPE o PEAD (*high density polyethylene* o polietileno de alta densidad):** Con este material se fabrican productos rígidos (cajas y tanques) y mantas (láminas) para recubrir e impermeabilizar superficies. Actualmente, es uno de los materiales más difundidos en el mercado.
- » **LDPE o PEBD (*low density polyethylene* o polietileno de baja densidad):** Se utiliza como manta en las estructuras de almacenamiento de agua.
- » **EPDM (*ethylene propylene diene monomer*):** Las mantas de este material se utilizan principalmente para impermeabilizar techos.

Es conveniente tomar en cuenta algunos factores importantes, si se quieren utilizar mantas plásticas para impermeabilizar estructuras de conducción o almacenamiento de agua. Se mencionan los principales:

- » El terreno de base (fondo y paredes) debe estar perfectamente compactado, alisado y limpio de piedras, raíces y otros detritos que puedan forzar y perforar el material.
- » Las uniones deben estar pegadas con equipo especial, para que no haya riesgo de escape de agua.
- » El lugar debe estar cercado para impedir que los animales, principalmente los de mayor tamaño (bovinos, equinos y cabras), lleguen a beber agua al estanque, dañen la manta impermeable y corran el riesgo de ahogarse.
- » El sistema de extracción de agua de la estructura impermeabilizada con manta plástica debe contemplar que los instrumentos o equipos (válvula de pie, balde, tubo, etc.) no tengan contacto con la manta, para no dañarla.

La falta de tradición y habilidades para el uso eficiente de materiales sintéticos destinados a impermeabilizar estructuras de almacenamiento conlleva muchas veces a que no se tengan los cuidados mínimos requeridos en su manejo.

The background features a stylized landscape illustration. At the top, a large, light blue sun is partially obscured by a darker blue, textured sky. Below the sun, rolling hills in shades of green and brown are visible. The bottom of the image shows a blue, textured ground surface. The overall style is soft and artistic.

18. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones sugeridas en este capítulo se derivan de los temas tratados en esta publicación. Ellas pueden contribuir a facilitar el proceso de adopción de las prácticas y, principalmente, a desarrollar la autonomía de la gente y a lograr la sostenibilidad de los procesos de desarrollo, después de que los asesores técnicos dejen la comunidad, al concluirse los proyectos de apoyo institucional.

18.1. De carácter estratégico

Desarrollar la autonomía de la gente

Un rol principal del extensionista y de las instituciones de extensión rural es favorecer el desarrollo de las personas y de las comunidades para que busquen y construyan su propio desarrollo.

Trazar objetivos claros y alcanzables

¿La meta debe ser mejorar en algo las condiciones de vida de las familias rurales (alivio a la pobreza) o producir de manera competitiva? Las expectativas y las inversiones en cada situación son muy diferentes y, obviamente, las decisiones técnicas también. Ambas situaciones pueden ser fases de un mismo proceso de desarrollo.

No crear falsas expectativas

Es necesario que la población de zonas carentes de agua y los técnicos tengan en cuenta que, en la medida que se reduce la disponibilidad de agua, las posibilidades económicas relacionadas con la producción agrícola y pecuaria también se reducen drásticamente. En este sentido, es conveniente ser realista y no hacerse ni generar falsas expectativas.

Puede ser necesario el desarrollo de actividades no rurales

Se debe considerar la posibilidad de generar ingresos económicos derivados de otras actividades no relacionadas directamente con la producción agropecuaria, que dependan menos del agua (microindustria; artesanía; turismo ecológico, rural, cultural, etc.).

Evaluar los costos y beneficios de cada acción a ser desarrollada

Se deben evaluar los costos y beneficios de cada opción. Si los beneficios no ayudan a conseguir una vida digna, es probable que los jóvenes emigren hacia otras zonas que ofrezcan más oportunidades o vayan a poblar los suburbios de las ciudades, donde la mayoría apenas sobrevive.

Necesidad de apoyo externo

En situaciones críticas de escasez de agua, aunque las poblaciones pueden organizarse y autoayudarse, el apoyo externo es necesario, principalmente técnico y financiero, para hacer frente a los costos de las obras necesarias para almacenar mayores volúmenes de agua.

18.2. De carácter técnico-institucional

Mantener servicios de apoyo para realizar investigaciones, monitorear las condiciones climáticas y aportar datos e información

Es esencial que los extensionistas cuenten con servicios de apoyo técnico-operacional para tener acceso a información sobre el ciclo hidrológico, aspectos agroclimáticos, suelos, demandas hídricas, alternativas tecnológicas, amenazas y riesgos, entre otros temas. Mejor aún si este apoyo puede ser permanente, en tiempo real y coordinado.

Es importante que para las regiones climáticamente homogéneas de cada país las instituciones competentes realicen trabajos de obtención y divulgación de información útil para los extensionistas, tales como:

- » Valores de precipitación: P50, P75, lluvia de diseño.
- » Valores de evapotranspiración: ETo, Kc y ETc de cultivos más comunes.
- » Coeficientes de escurrimiento C.
- » Especies y cultivares adaptados.

Desarrollo de planes de acción integrales

Es importante que las instituciones de apoyo técnico determinen con las comunidades las estrategias y medidas prioritarias a tomar. Un buen plan de acción debe tener objetivos, metas, estrategias, acciones y responsabilidades claramente definidas, lo que contribuirá a evitar la aplicación de prácticas aisladas, duplicación de metas, duplicación de actuación institucional, desperdicio de esfuerzos y desconfianza de la gente.

Organización de las comunidades

La organización comunitaria es esencial para el desarrollo de actividades orientadas a buscar mejoras en la convivencia con el déficit hídrico. Para ello, es esencial el apoyo del extensionista.

18.3. De carácter político-institucional

Es necesario generar soluciones locales

Aunque las técnicas desarrolladas y adoptadas en otras regiones puedan servir de base y tener sus principios hidrológicos evaluados y adaptados a situaciones locales, es necesario que las instituciones públicas y del sector privado inviertan recursos en la generación de soluciones según las características específicas del ciclo hidrológico de cada localidad o zona climática. Hay que recordar que algunas de las variables que definen la selección de las técnicas (suelo, terreno, período seco, aspectos sociales y culturales) no se repiten de una región a otra.

No a las acciones asistencialistas

Las políticas públicas o del sector privado de tipo asistencialista suelen alejar a los pobladores de las posibilidades de autogestión de su propio desarrollo. El asistencialismo, entendido como el apoyo sin un esfuerzo orientado al desarrollo de las capacidades humanas, debe ser erradicado como enfoque de los planes y acciones hacia la población rural.

Planes integrales de convivencia digna con el déficit hídrico

Las políticas públicas focalizadas en las zonas con déficit hídrico deben priorizar el diseño y la ejecución de planes integrales de desarrollo, que contemplen el incremento de las posibilidades de convivencia digna de las personas con su ambiente. Las prácticas, aunque sean eficientes y adaptadas, si son aplicadas de manera aislada, tendrán poco efecto para cambiar la realidad.

“Antes de llenar una cisterna de agua, es necesario llenarla de información y conocimiento”.

Wallas Rodrigues Marra, extensionista.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, Richard G.; PEREIRA, Luis S.; RAES, Dirk; SMITH, Martin. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56. FAO, Rome, 1998.

ALLEN, Richard G.; PEREIRA, Luis S.; RAES, Dirk; SMITH, Martin. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje, 56. FAO, Roma, 2006.

ANAYA G., Manuel. Microcaptación, cultivos anuales y perennes. En: FAO - Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13. PNUMA-Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, 2000.

ANJOS, José B. dos; CAVALCANTI, Nilton de B.; BRITO, Luiza T. de L.; SILVA, Maria S. L. Captação in situ: Água de chuva para a produção de alimentos. In: BRITO, Luiza T. L.; MOURA, Magna S. B. de; GAMA, Gislene F. B. (Eds.). Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro. EMBRAPA Semiárido, Petrolina, 2007, p. 140-155.

ARAUJO, Francisco P. de; PORTO, Everaldo R.; SILVA, Maria S. L. Agricultura de vazante: uma opção de cultivo para o período seco. MAPA, EMBRAPA Semiárido, Petrolina, 2004. (Instruções Técnicas 56).

ASA-Articulação no Semi-Árido Brasileiro. Cisterna calçadão. Recife, 32 p. (Cartilla sin fecha: Tecnologías sociales para convivência com o semi-árido). Série Estocagem de Água para Produção de Alimentos.

BLOSSIERS P., Javier; DESA P., Carmen; LEÓN H., Bárbara; SAMANÉ M., Ricardo. Agricultura de ladera a través de andenes, Perú. En: FAO, Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13. PNUMA-Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 2000.

BRITO, Luiza T. L. Cisterna rural – água para consumo humano. In: GNADLINGER, João. (Ed). A captação de água de chuva: a base para a viabilização do semi-árido brasileiro. Anais do 1º. Seminário, 17-20, Novembro, Petrolina, 1997. EMBRAPA, IRPAA, IRCSA, Petrolina, 1999, p. 59-62.

BRITO, Luiza T. L. Captação e uso da água da chuva: aspectos construtivos e de manejo. EMBRAPA Semiárido, Petrolina. (Charla magistral proferida en 22 de noviembre de 2011 para extensionistas de la región semiárida de Brasil – 38 slides).

BRITO, Luiza T. L.; PORTO, E. R.; ANJOS, J. B. dos. Barreiro para uso em irrigação de salvação. In: GNADLINGER, João. (Ed). A captação de água de chuva: a base para a viabilização do semi-árido brasileiro. Anais do 1º. Seminário, 17-20, Novembro, Petrolina, 1997. EMBRAPA, IRPAA, IRCSA, Petrolina, 1999, p. 69-71.

BRITO, Luiza T. L.; SILVA, Aderaldo de S.; PORTO, Everaldo R.; AMORIM, Miriam C. C.; LEITE, Wéydjane de M. Cisternas domiciliares: água para consumo humano. In: BRITO, Luiza T. L.; MOURA, Magna S. B. de; GAMA, Gislene F. B. (Eds.). Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro. EMBRAPA Semiárido, Petrolina, 2007a, p. 79-101.

BRITO, Luiza T. L.; MOURA, Magna S. B. de; GAMA, Gislene F. B. (Eds.). Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro. EMBRAPA Semiárido, Petrolina, 2007b, 179 p.

CABAS M., Néstor. Experiencias en captación y utilización de agua en el secano de la VII Región, Provincia de Cauquenes. CNR-INIA, Cauquenes, Chile, octubre 1996. Publicación 025 del CNR en (www.cnr.gob.cl/opensite_20050412122828.aspx#20050420115859). Acceso el 25 de febrero de 2012.

CERECEDA, Pilar. Los atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural. Revista Medio Ambiente y Desarrollo, Cipma, Universidad Católica de Chile, Vol. XVI, No. 4, p. 51-56. Disponible en la web: Acceso 19 de diciembre de 2011.

CHAUCA, L.; LÉVANO, S. M.; HIGAONNA, O. R.; SARAVIDA, D. J. Efecto del agua de bebida en la producción de cuyes hembras en empadre. INIA. Estación Experimental Agraria La Molina. En: INIA-CIID. Investigaciones en Cuyes. Resúmenes. Serie Informe Técnico. Lima, Junio, 1994.

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. Applied hidrology. New York: McGraw-Hill, 1988.

COLACELLI, Norberto. Consumo de agua por el ganado. Revista Producción Agroindustrial del Norte Argentino. Universidad Nacional de Tucumán. Edición Febrero/Marzo, 1997.

CRITCHLEY, Will; SIEGERT, Klaus. Water harvesting. FAO, AGL/MISC/17/91. Rome, 1991.

CRITCHLEY, Will; SIEGERT, Klaus. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo I: Bases Técnicas y Experiencias en África y Asia. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 1996. (Serie Zonas Áridas y Semiáridas 11).

CRUZAT-GALLARDO, Alejandro A. El uso de las nieblas en la recuperación del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. In: SQUEO, F. A.; GUTIÉRREZ, J. R.; HERNÁNDEZ, I. R. (Eds). Historia natural de Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, 2004, Cap. 16, p.281-292.

DASTANE, N. G. Effective rainfall in irrigated agriculture. Irrigation and Drainage Paper 25. FAO, Rome, 1978.

DJOROVIC, M. Use of runoff plots to evaluate soil loss. En: FAO Conservation Guide No. 1, FAO, Rome, 1977.

FAO. Training Course on Water Harvesting. FAO, Rome, 2004. Land and Water Digital Media Series 26.

FELIPE-MORALES, Carmen. Evaluaciones en la parcela de escorrentía y erosión. Condesan-Aspaderue -GTZ, Lima, 1996.

GALENO ROJAS, Raúl. Curso informaciones útiles en sanidad animal. Consumo de agua. Melbourne. Universidad de Melbourne, Capítulo 10. (www.unimelb.edu.au).

GNADLINGER, João. Apresentação técnica de diferentes tipos de cisternas construídas em comunidades rurais do semiárido brasileiro. In: GNADLINGER, João. (Ed). A captação de água de chuva: a base para a viabilização do semiárido brasileiro. Anais do 1º. Seminário, 17-20, Novembro, Petrolina, 1997. EMBRAPA, IRPAA, IRCSA, Petrolina, 1999, p. 81-93.

GNADLINGER, João. A busca da água no sertão: convivendo com o semiárido. 5ª Edição. Juazeiro, Brasil: IRPAA, 2011, 84 p.

HUARAS, U.; COOK, F. Cuatro raciones en el engorde de cuyes (*Cavia porcellus*) destetados. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. En: INIA-CIID. Investigaciones en Cuyes. Resúmenes. Serie Informe Técnico. Lima, Junio, 1994.

HUDSON, Norman W. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. FAO, Roma, 1997 (Boletín de Suelos de la FAO 68).

IPCC/ONU – Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática. Mudança climática 2007: A base da ciência física. IPCC/ONU, Ecolatina. Paris, fevereiro, 2007. (Grupo de Trabalho I - Quarto Relatório de Avaliação).

IZZARD, C. F. Hydraulics of runoff from developed surfaces. Proc. Highway Res, Board. Vol. 26, pp. 129-150, 1946.

LINSLEY, Ray K.; PAULHUS, Joseph I.; KOHLER, Max A. Hydrology for engineers. New York, McGraw Hill, 1958, 340p.

LINSLEY, Ray K.; FRANZINI, J. B. Water resources engineering. New York, MacGraw Hill, 3rd Ed., 1979.

LINSLEY, Ray K.; FRANZINI, Joseph; FREYBERG, David; TCHOBANOGLIOUS, George. Water-Resources engineering. New York, McGraw-Hill, 1992.

MALAGNOUX, Michel. Degraded arid land restoration for afforestation and agro-silvo-pastoral production through new water harvesting mechanized technology. In: The Future of Drylands. International Scientific Conference on Desertification and Drylands Research. Tunis, 19-21, June, 2006. UNESCO, Paris, 2006.

MONDARDO, Arcângelo; HENKLAIN, João C.; FARIAS, Gonçalo S.; RUFINO, Ronaldo L.; JUCKSCH, Ivo; VIEIRA, Marcos J. Controle da erosão no Estado do Paraná. IAPAR, Londrina, 1977, 69p. (Circular Técnica No. 3).

MORALES, Raúl R. Metodología para el aprovechamiento del recurso hídrico superficial en mallines de la Patagonia, Argentina. In: PNUMA-FAO. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. PNUMA-FAO Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 2000, p. 85-93. (Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13).

MOURA, Magna. S. B. de; GALVINCIO, Josiclêda D.; BRITO, Luiza T. L.; SOUZA, Luciana S. B.; SÁ, Ivan I. S.; SILVA, Thieres G. F. da. Clima e água de chuva no semi-árido. In: BRITO, Luiza T. L.; MOURA, Magna S. B. de; GAMA, Gislene F. B. (Eds.). Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro. EMBRAPA Semiárido, Petrolina, 2007, p. 35-59.

OLIVARES, Alfredo; CARO T., Waldo. Universidad de Chile. Agro Sur, v.26, Nº 1. Valdivia, 1998.

PATWARDHAN, Avinash S.; NIEBER, John L.; JOHNS, Eldon L. Effective Rainfall Estimation Methods. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 116, No. 2, 1990, p. 182-193.

PATIÑO, René; SILVA FILHO, José da; SCHMIDT, Dorinha Vitti Silver; SILVA, Tanimara Soares da. Aplicación y evaluación de un modelo de predicción de consumo de agua en ovinos de pelo. Revista Colombiana de Ciencia Animal, Vol. 2, Nº. 1, 2010, p. 93-103.

PINCHE, Cristóbal. Captación de agua de niebla en lomas de la costa peruana. Tecnología y Ciencias del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Mayo-agosto, 1996.

PORTO, Everaldo R.; GARAGORRY, Fernando L. Irregularidade pluviométrica e riscos de perdas para o feijão: Dois estudos de caso no semi-árido Brasileiro. Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia. Edição XI. Rio de Janeiro. 2000.

PORTO, Everaldo R; SILVA, Aderaldo de S; et al. Captação e aproveitamento de água de chuva na produção agrícola dos pequenos produtores do Semi-Árido Brasileiro: O que tem sido feito e como ampliar sua aplicação no campo. En: Conferencia Internacional sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva. EMBRAPA, Petrolina, Brasil, 9ª, 1999.

PRODHAM – Programa de Desenvolvimento Hidroambiental do Estado do Ceará. Cisternas de placas: construção, uso e conservação. Governo do Ceará. Secretaria de Recursos Hídricos. Fortaleza, 2010, 32p. (Cartilhas temáticas Vol. 2).

RADULOVICH, Ricardo; **RODRIGUEZ A.**, Roduel; **MONCADA G.**, Orlando. Captación de agua de lluvia en el hogar rural. Serie Técnica. Informe Técnico 220. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1994, 41 p.

RAGGI, Luis A., et al. Estudio comparativo de la conducta de pastoreo invernal de alpacas mantenidas en el altiplano y en la zona central de Chile. Santiago de Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Monografías de Medicina Veterinaria, Vol. 14, N° 2, 1992.

REACH ITALIA - Render Effective Aid to Children, ONG Internacional, rama de Italia - Food Security in Burkina Faso. Video in Youtube. www.youtube.com/watch?v=OE__cRL98Mo&feature=related.

REYNOLDS, A. Hydration strategies for exercising dogs. In: REINHART, G. A.; CAREY, D. P., Eds. Recent advances in canine and feline nutrition. Wilmington, USA: Orange Frazier Press, Volume II, 1998, p. 259-267.

ROCHELEAU, D.; **WEBER**, F.; **FIELD-JUMA**, A. Agroforestry in dryland Africa. ICRAF. Nairobi, 1988.

SAN MARTÍN, Felipe. Avances y alternativas de alimentación para los camélidos sudamericanos. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Medicina Veterinaria. Julio – Diciembre, Vol. 7, N° 2, 1994.

SCHISTEK, Haroldo. A construção de cisternas de tela e arame. IRPAA, Editora Fonte Viva, Fundação Aloysio Penna, Paulo Afonso, 1998, 56p.

SCHISTEK, Haroldo. Cisterna de tela de alambrado. IRPAA, sin fecha. (Charla de capacitación realizada para extensionistas – 43 láminas).

SHAXSON, Thomas F.; **BARBER**, Richard. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. FAO: Roma, 2005, 111 p. (Boletín de Suelos de la FAO 79).

SILVA, Aderaldo de S.; **PORTO**, Everaldo R.; **ANJOS**, José B. dos; **SILVA**, Maria S. L.; **PÉREZ ARANA**, Saúl. Microcaptación, cultivos anuales y perennes, Brasil. In: PNUMA-FAO. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. PNUMA-FAO Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 2000a, p. 57–71 (Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13).

SILVA, Aderaldo de S.; **PORTO**, Everaldo R.; **ARAUJO**, Francisco P. de; **PÉREZ ARANA**, Saúl. Embalse para riego de salvación, Brasil. In: PNUMA-FAO. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. PNUMA-FAO Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 2000b, p. 94–117 (Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13).

SILVA, Aderaldo de S.; **PORTO**, Everaldo R.; **LÓPEZ**, Henrique de O. Galerías filtrantes para subirrigación, Brasil. In: PNUMA-FAO. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. PNUMA-FAO Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 2000c, p. 118–130 (Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13).

SILVA, Aderaldo de S.; PORTO, Everaldo R.; BRITO, Luiza T. L.; LÓPEZ, Paulo R. C.; PÉREZ ARANA, Saúl. Embalse subterráneo, Brasil. In: PNUMA-FAO. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. PNUMA-FAO Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 2000d, p. 175–186. (Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13).

SILVA, Aderaldo de S.; PORTO, Everaldo R.; SILVA, Maria S. L. da; LÓPEZ, Paulo R. C.; ANJOS, J. B. dos. Agricultura de humedad residual a través de surcos y camellones en curvas de nivel, Brasil. In: PNUMA-FAO. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. PNUMA-FAO Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 2000e, p. 187–194 (Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13).

SILVA, Maria S. L.; MENDONÇA, Cláudio E. S.; ANJOS, José B. dos; HONÓRIO, Antônio P. M.; SILVA, Aderaldo de S.; BRITO, Luiza T. de L. Barragem subterrânea: água para a produção de alimentos. In: BRITO, Luiza T. L.; MOURA, Magna S. B. de; GAMA, Gislene F. B. (Eds.). Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro. EMBRAPA Semiárido, Petrolina, 2007a, Cap. 6, p. 121-137.

SILVA, Aderaldo de S.; MOURA, Magna S. B.; BRITO, Luiza T. L. Irrigação de salvação em culturas de subsistência. In: BRITO, Luiza T. L.; MOURA, Magna S. B. de; GAMA, Gislene F. B. (Eds.). Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro. EMBRAPA Semiárido, Petrolina, 2007b, Cap. 8, p. 158-179.

SOTO, Guido. Captación de las nieblas costeras (Camanchaca), Chile. In: PNUMA-FAO. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. PNUMA-FAO Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 2000, p. 131-139 (Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13).

USDA. Urban hydrology for small watersheds. United States Department of Agriculture, Conservation Engineering Division, Natural Resources Conservation Service. Washington, DC, 1986, 164 p.

VEENHUIZEN, René van. Revisión de bases técnicas. En: FAO. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13. PNUMA-Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 2000, p. 06-24.

VELASCO M., Hugo A. Microcaptación, cultivos anuales (densos), México. En: FAO. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas 13. PNUMA-Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 2000, p. 47-56.

VELASCO, Hugo. Proyecto Agua y Vida. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, (sin fecha).

VELASCO M, Hugo; CARMONA R., G. Cosecha de Agua de Lluvia en el Altiplano Semidesértico de México. Instituto Mexicano del Petróleo, 1984, 347 p.

VIEIRA, Marcos J. Protección y captación de pequeñas fuentes de agua. Proyecto MAG-CENTA-FAO-Holanda - Agricultura Sostenible en Zonas de Ladera Fase II. San Salvador, 2002.

VIEIRA, Marcos J. El desarrollo del microrriego en América Central. Oportunidades, limitaciones, desafíos. FAO, Santiago de Chile, 2008, 89p.

ZHU, Quiang et al. Rainwater harvesting. Anhui Educational Publishing House. Lanzhou, China, 2007.



ANEXOS

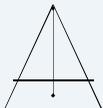
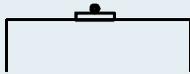
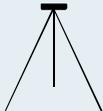
Anexo I

Indicadores de rendimiento de trabajo para estimación de costos de obras y servicios

CUADRO I: Longitud de curvas de nivel por hectárea con diferentes distancias entre ellas, con fines de cálculo de la necesidad de mano de obra.

Distancia entre curvas (m)	Longitud por hectárea (metros lineales)	Distancia entre curvas (m)	Longitud por hectárea (metros lineales)
1,0	10.000	10,0	1.000
1,5	6.670	15,0	670
2,0	5.000	20,0	500
2,5	4.000	25,0	400
3,0	3.330	30,0	333
4,0	2.500	40,0	250
5,0	2.000	50,0	200

CUADRO II: Rendimientos promedios de diferentes instrumentos de demarcación de curvas a nivel, estimado a partir de las experiencias de los proyectos de campo: MAG-FAO-Holanda "Fomento y aplicación de prácticas de conservación y manejo de tierras en Costa Rica, Costa Rica"; y CENTA-FAO-Holanda "Agricultura Sostenible en Zonas de Laderas", El Salvador.

Equipo	Nombre	Rendimiento de trabajo (*) (m lineales por jornal de 6 horas)
	Nivel pata de gallina (2 m) o Nivel A.	700 a 1.000
	Nivel de burbuja o codal (2 m)	700 a 1.000
	Nivel de manguera, nivel de agua (10 – 20 m)	3.500 a 4.000
	Nivel óptico, nivel de ingeniero, nivel de precisión.	10.000 a 12.000

(*) Se puede estimar rendimientos más grandes dependiendo de las habilidades de los operadores y condiciones del terreno (regular x irregular; limpio x barbecho). Hay que considerar que son dos personas para realizar la tarea. No está incluido el tiempo necesario para recorrer material y hacer las estacas de demarcación.

CUADRO III: Velocidad de desplazamiento de equipos de tracción equipados con arado de vertedera.

Equipo de tracción	Rendimiento por hora (m)	Nº de líneas
Animal	600 – 1.000	1,0
Tractor agrícola (llantas)*	4.500 m – 5.000	3,0 a 5,0

*Tractor de medio a pequeño (< 100 HP). Tractores mayores pueden tirar arados con más vertederas.

CUADRO IV: Rendimiento de construcción de camellones con diferentes tipos de equipos. (Adaptado de Mondardo et al, 1977).

Equipo	Ancho del camellón (m)	Rendimiento por hora (m)
Arado de 3 discos	2,0 a 3,0	450 a 500
Arado de 3 discos	8,0 a 10,0	150 a 170
Arado de 5 discos	2,0 a 3,0	800 a 900
Arado de 5 discos	8,0 a 10,0	200 a 220
Arado bordeador*	2,0 a 3,0	800 a 1.000
Motoniveladora	2,0 a 3,0	1.800 a 2.000
Motoniveladora	8,0 a 10,0	500 a 600

*Hay arados bordeadores con mayores dimensiones que necesitan tractores más grandes (> 120 HP).

CUADRO V: Capacidad de removimiento de suelo de tractores de oruga.

Tamaño del equipo	Condiciones de trabajo	Rendimiento por hora (m ³)
Tractor de pequeño porte	Excavando y transportando a pequeña distancia, facilidad de maniobras	30,0 a 40,0
	Excavando y transportando a distancias más grandes o con poca flexibilidad para maniobras	20,0 a 30,0
Tractor de medio porte	Excavando y transportando a pequeña distancia, facilidad de maniobras	35,0 a 50,0
	Excavando y transportando a distancias más grandes o con poca flexibilidad para maniobras	25,0 a 35,0

CUADRO VI: Rendimiento promedio de mano de obra en tarea de movimiento de tierra.

Condiciones de trabajo	Rendimiento por hombre por jornal (m ³)
Excavando con azadón y pala y solo echando la tierra	2,0 a 3,0
Excavando suelo ya removido con azada y pala	3,0 a 5,0
Excavando suelo profundo y sacando la tierra (pozo)	1,0 a 1,5

Anexo II

Documentos de la FAO relacionados al tema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia

En las últimas décadas, la FAO ha publicado o ha participado y apoyado la publicación de muchos documentos sobre el tema del agua para todo el mundo y, particularmente, para la región latinoamericana.

Estos documentos son presentados como indicación de literatura más específica para consulta y enriquecimiento del conocimiento en el tema.



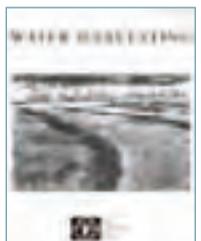
CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management.
 FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46.
 Por: Martin Smith – Dirección de Fomento de Tierras y Agua – FAO.



Yield Response to Water.
 FAO. Irrigation and Drainage Paper No. 33.
 Por: J. Doorenbos, Servicio de Recursos, Fomento y Aprovechamiento de Aguas, FAO.
 A. H. Kassam, Consultant on Land Resources.



Soil and water conservation in semi-arid areas.
 Boletín de Suelos de la FAO 57, Roma, 1987.
 FAO – Soil Resource Management and Conservation Service, Land and Water Development Division.
 Por: Norman W. Hudson – Consultor Silsoe Associates.



Water harvesting: a manual for design and construction of water harvesting schemes for plant production.
 FAO – Land and Water Development Division, Rome, 1991.
 Por: Will Critchley – Universidad Libre de Amsterdã.
 Klaus Siegert – Dirección de Fomento de Tierras y Agua – FAO.



Water harvesting for improved agricultural production.

Proceedings of the FAO Expert Consultation.
Cairo, Egypt, 21 - 25, November, 1993.
Water Report, No. 3, Rome, 1994.
FAO – Food Agriculture Organization.



Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo I: Bases técnicas y experiencias en África y Asia.

FAO – PNUMA - Serie Zonas Áridas y Semiáridas, Nº 11.
Versión en Español – Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe, 1996.
Por: Will Critchley – Universidad Libre de Amsterdã.
Klaus Siegert – Dirección de Fomento de Tierras y Agua – FAO.



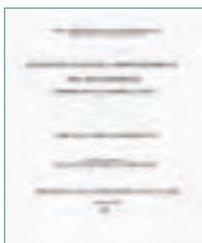
Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía.

Boletín de Suelos de la FAO 68, Roma, 1997.
Por: Norman W. Hudson y Asociados de Silsoe.



New concepts and approaches to land and management in the tropics with emphasis on steepplands.

Boletín de Suelos de la FAO 75, Roma, 1999.
FAO – Soil Resource Management and Conservation Service, Land and Water Development Division.
Por: Francis Shaxson – Consultor.



Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II: Experiencias en América Latina.

FAO – PNUMA - Serie Zonas Áridas y Semiáridas, Nº 13.
Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe, Santiago, 2000.
Por: Varios autores, por capítulo o técnica (Reunión de Expertos).



Agua y cultivos: Logrando el uso óptimo del agua en la agricultura.

FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FAO, Roma, 2002.



Protección y captación de pequeñas fuentes de agua.

Proyecto CENTA-FAO-Holanda – Agricultura Sostenible en Zonas de Ladera, 2002.
Por: Marcos J. Vieira – Experto en Manejo de Tierras - FAO.



Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal – El significado de la porosidad del suelo.

Boletín de Suelos de la FAO 79, Roma, 2005.
Servicio de Manejo de las Tierras y de Nutrición de Plantas
Por: Francis Shaxson – Consultor.
Richard Barber – Consultor.



Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

FAO Riego y Drenaje, 56, 2006.
Por: Richard G. Allen – Utah State University. Logan, EUA.
Luis S. Pereira – Instituto Superior de Agronomía. Lisboa, Portugal.
Dirk Raes – Katholieke Universiteit Leuven. Leuven, Bélgica.
Martin Smith – Dirección de Fomento de Tierras y Agua – FAO.



El Desarrollo del microrriego en América Central: Oportunidades, limitaciones, desafíos.

FAO – Oficina Regional para América Latina y El Caribe, 2008.
Por: Marcos J. Vieira – Consultor.
Jan Van Wambeke – Oficina Regional de la FAO para América Latina y Caribe.
Nelson González Loguercio – Consultor.

El agua es una prioridad para la población rural de América Latina y el Caribe, principalmente en aquellas regiones donde las lluvias no son suficientes para cubrir las necesidades de agua.

Con el cambio climático, que se traduce, entre otras manifestaciones, en un aumento de la temperatura media terrestre y una disminución de la precipitación total anual, los problemas de escasez de agua tenderán a agudizarse y a ampliarse, alcanzando zonas subhúmedas y húmedas.

Ante esta situación que afecta negativamente las posibilidades de desarrollo económico y social de la población rural, la Oficina Regional de la FAO para la América Latina y el Caribe promueve el uso y el manejo eficiente del recurso hídrico con el fin de contribuir a mejorar las condiciones de disponibilidad de agua, especialmente en las zonas afectadas por déficit hídrico recurrente.

El propósito de la presente publicación es justamente brindar orientación sobre los conceptos, estrategias y métodos acerca de cómo mejorar la captación y el aprovechamiento del agua en el medio rural, en particular donde la disponibilidad de este recurso es deficiente o discontinuada.

La información se basa en innumerables experiencias desarrolladas por diferentes instituciones en los países de la región y en diversos estudios, informes, boletines y otras fuentes referidas al tema. Las opciones técnicas disponibles y con más posibilidades de aplicación y adopción de parte de los pequeños y medianos productores agropecuarios de la región han sido reunidas, organizadas, actualizadas y presentadas de manera sencilla y directa, fácilmente comprensible para un número amplio de usuarios.

Esta publicación constituye un documento de campo que puede ser usado para orientar la selección y aplicación de técnicas y obras destinadas a mejorar la oferta de agua.

ISBN 978-92-5-307580-5



9 789253 075805

I3247S/1/03.13