

EMBALSE SUBTERRÁNEO, BRASIL

Aderaldo de Souza Silva, Ing. Agr. M.Sc. Investigador en Manejo de Suelo y Agua;

Everaldo Rocha Porto, Ing. Agr. Ph.D. Investigador en Manejo de Suelo y Agua;

Luisa Teixeira de L. Brito, Ing. Agr. M.Sc. En Manejo de Suelo;

Paulo Roberto Coelho López, Ing. Agr. M.Sc. en Conservación de Suelo..

EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE, Brasil.

Saúl Pérez Arana, Ing. Agr. Especialista en Cosecha de Agua de Lluvia;

DIRYA-DIGESA, Guatemala.

Antecedentes históricos

Se tiene conocimiento de la técnica de almacenamiento de agua a través del uso de embalses subterráneos en varias partes del mundo; en Arizona, Estados Unidos; en el desierto de Negev, en Israel; en las regiones áridas de Africa del Norte y en el desierto del Sahara; en Irán (Orev, 1980; Sauermann, 1966; Wiplinger, 1974; Finkel, 1978).

En Brasil, Tigre (1949), ya enfatizaba la necesidad de almacenar agua en el perfil del suelo, mencionando en sus escritos, la realización de un primer trabajo en 1895, en San Antonio, California.

En 1954, se instaló en Recife, capital del Estado de Pernambuco, Brasil, la "Misión Hidrológica para el Nordeste", bajo la coordinación de la UNESCO, donde se discutieron los primeros trabajos sobre embalses subterráneos (Taltasse y Stretta, 1959).

A través del Departamento Nacional de Obras Contra las Secas (DNOCS), fue construido un embalse subterráneo, en 1965 en el río Trici, con el objetivo del abastecer de agua a la ciudad de Tauá, Estado de Ceará (IPT, 1981).

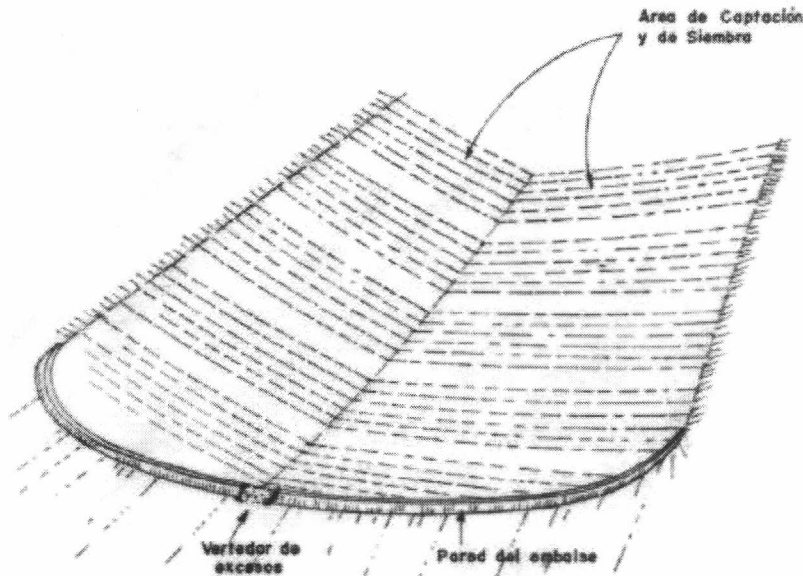
En 1982, el Centro de Pesquisa Agropecuaria do Trópico Semi-árido (CPATSA), inició sus estudios sobre los embalses subterráneos, con el objetivo de analizar su manejo en líneas de drenaje natural e introducir nuevos cultivos principalmente de subsistencia como el maíz (*Zea mays L.*), frijol caupí (*Vigna unguiculata L.*), sorgo (*Sorghum vulgare L.*) y algunas especies frutícolas como el mango (*Mangífera indica L.*), guanaba (*Annona muricata*), limón (*Citrus latifolia*), y acerola (*Malpighia glabra*).

Aspectos técnicos

Descripción

El embalse subterráneo es una técnica que pretende aprovechar el agua depositada en los suelos aluviales de los embalses, cauces de ríos y quebradas efímeras y lagos temporales, a través de la intercepción del flujo freático, por medio de la colocación de un septo (pared o lámina) impermeable subterráneo vertical y transversal al flujo, acumulándolo aguas arriba del reservorio en el perfil del suelo, formando una capa freática fácilmente utilizable por los cultivos. La **figura 51**, presenta un modelo esquemático de esta técnica.

Figura 51. Principales componentes de un embalse subterráneo.



El sistema de aprovechamiento del agua de escorrentía superficial en embalses subterráneos (SAES-ES_t), está formado por los siguientes componentes: 1) área de captación y de siembra (Ac); 2) perfil de almacenamiento del agua (Aa); y, 3) pared del embalse (Pa). La **figura 52**, presenta un corte transversal del embalse subterráneo mostrando sus distintos componentes.

Área de captación y de siembra (Ac)

Es el área formada por una microcuenca hidrográfica, que tiene como límite superficial la bacía hidráulica. Su función es captar directamente el agua proveniente de la lluvia y de la escorrentía superficial, para que se infiltre en el perfil del suelo y se transforme, después del período lluvioso, en el área de siembra.

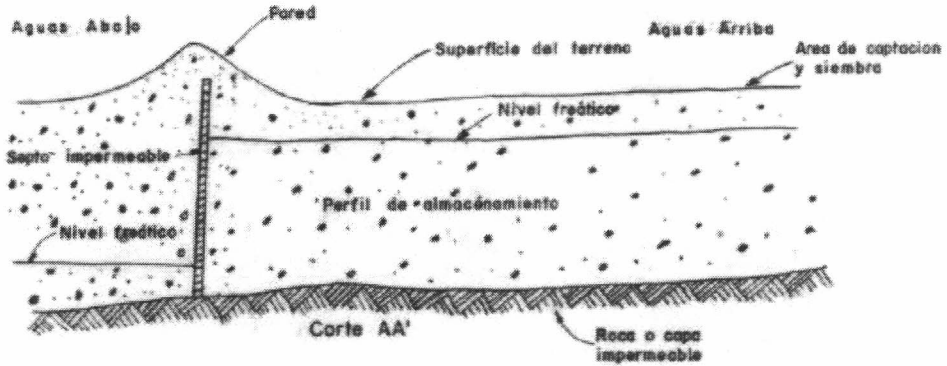
Perfil de almacenamiento del agua (Aa)

Es una porción de suelo limitada, en la parte superior por la bacía hidráulica de una microcuenca hidrográfica; en la parte inferior, por la capa impermeable del propio suelo; y en la parte frontal, por un septo impermeable artificial.

Pared del embalse (Pe)

También conocida como septo impermeable; se construye desde la roca hasta la capa superficial del suelo. Tiene la función de detener el flujo del agua superficial y subterránea, dando origen a la formación y/o elevación del nivel de la capa freática.

Figura 52. Corte transversal del embalse subterráneo.



Objetivo

Captar y almacenar el agua proveniente de la lluvia y de la escorrentía superficial en el perfil del suelo, para lograr la explotación de una agricultura de humedad o subirrigación.

Ubicación y selección del sitio

A través del conocimiento de la geología de los suelos en las regiones áridas y semiáridas, es posible afirmar que las rocas son alteradas, más por procesos mecánicos que por procesos químicos, lo que da como resultado una mayor producción de materiales gruesos, en comparación con materiales finos como los de las arcillas.

En un mismo período lluvioso existen variaciones bruscas en los caudales de escorrentía, los cuales favorecen el transporte de grandes cantidades de materiales gruesos que son depositados en las partes más planas de los valles.

Por lo tanto, y de acuerdo con el concepto de embalse subterráneo, se puede deducir que los sitios más indicados para su implantación son aquellos pequeños valles que sirven de depósito para materiales aluviales, como los lechos de ríos o quebradas temporales, o las bacías hidráulicas de lagos y lagunas de invierno.

Considerando que el área delimitada por la microcuenca hidrográfica se constituye en el área de siembra, se puede decir que esta debe tener suelos no muy profundos (1,5 a 2,0 m), de textura media y buena permeabilidad, para permitir la formación de una capa freática superficial que facilite la utilización del agua almacenada en el perfil durante todo el ciclo

fenológico de los cultivos. La pendiente de estos valles no debe exceder del 5% porque, mientras mayor es la pendiente, el área de la microcuenca hidráulica disminuye. Estas características son encontradas en las regiones áridas y semiáridas, donde las precipitaciones oscilan entre los 400 y 800 mm anuales.

Para una selección definitiva del lugar se deben abrir calicatas para caracterizar el perfil y la profundidad de la capa impermeable del suelo. Lo mismo debe hacerse si se trata de ríos o riachuelos temporales. En este último caso, debe observarse la calidad del agua del río o riachuelo, debiéndose eliminar áreas salinas o con tendencia a salinidad.

Diseño

Para establecer un embalse subterráneo con criterios técnicos, es importante conocer los siguientes aspectos:

- Características de la granulometría de los sedimentos aluviales y de la hidroquímica de las aguas subterráneas del área;
- Pluviometría anual de la región y datos de los caudales de escorrentía que pasan por los lechos de los ríos o líneas de drenaje, en el área a seleccionar;
- Capacidad de almacenamiento del acuífero, el cual es determinado por la porosidad de las diferentes capas del perfil del suelo;
- Presencia de áreas salinas en el sitio.

Trazo

Una vez seleccionada el área para la ubicación del sistema, se recomienda hacer un levantamiento planialtimétrico en cuadrículas de 20 x 20 m, para la localización de sus distintos componentes. La tarea más importante en el trazo es la identificación del lugar donde se debe construir la pared del embalse. De preferencia, ésta debe ubicarse en la parte más baja del valle, cortando el área de escorrentía, o microcuenca hidráulica, en sentido transversal al flujo de agua.

En general, en las escorrentías que fluyen por los valles es frecuente que se formen líneas de drenaje más profundas, principalmente en la parte central de los mismos. Estas líneas de drenaje están influenciadas por la cantidad de agua que corre por ellas y por la pendiente del terreno, presentando desgastes erosivos más acentuados.

La pared del embalse debe cortar todo el vaso hidráulico; por lo tanto, en la parte más baja del valle y con la ayuda de un nivel, se localizan dos puntos de igual altura a ambos lados del vaso hidráulico. Esto garantiza que la parte superior de la pared tenga el mismo nivel en toda su extensión.

Una vez localizados los dos puntos de igual altura, se procede a delimitar la pared del embalse utilizando para el efecto una cuerda y varios piquetes que serán colocados a cada 2,0 m siguiendo una línea recta o semicircular para unir ambos puntos a nivel. Dependiendo de la extensión y de la pendiente del valle, se puede continuar demarcando paredes con distancias variables entre 10 y 100 m. La **figura 53**, presenta la demarcación de las paredes de tres embalses subterráneos sucesivos constituidos en un valle de 400 m de largo y 100 m de ancho, aproximadamente.

Construcción

Después de la ubicación de la pared del embalse se inicia la construcción de la misma. Siguiendo la línea delimitada con los piquetes se inicia la excavación de una zanja de 0,8 m de ancho a todo lo largo de la pared. La profundidad es variable dependiendo de la localización de la capa impermeable.

Cuando la excavación se efectúa en aluviones arenosos y secos, se debe tener cuidado con el desmoronamiento de los taludes que dificultan el trabajo. Otro aspecto que se debe tomar en cuenta es que si durante la excavación se encontrara la capa freática, deberá bombearse el agua constantemente con el fin de disminuir su nivel en la zanja.

La excavación puede hacerse utilizando implementos manuales y colocando el material extraído en las orillas de la zanja para facilitar su colocación nuevamente dentro de la misma una vez que se haya construido el septo impermeable. Esta pared o septo impermeable puede construirse con bloques de arcilla compactados, ladrillos, piedras o lonas plásticas, lo cual dependerá de las condiciones del lugar, de la capacidad de inversión del productor y de la disponibilidad de materiales en el lugar de la obra.

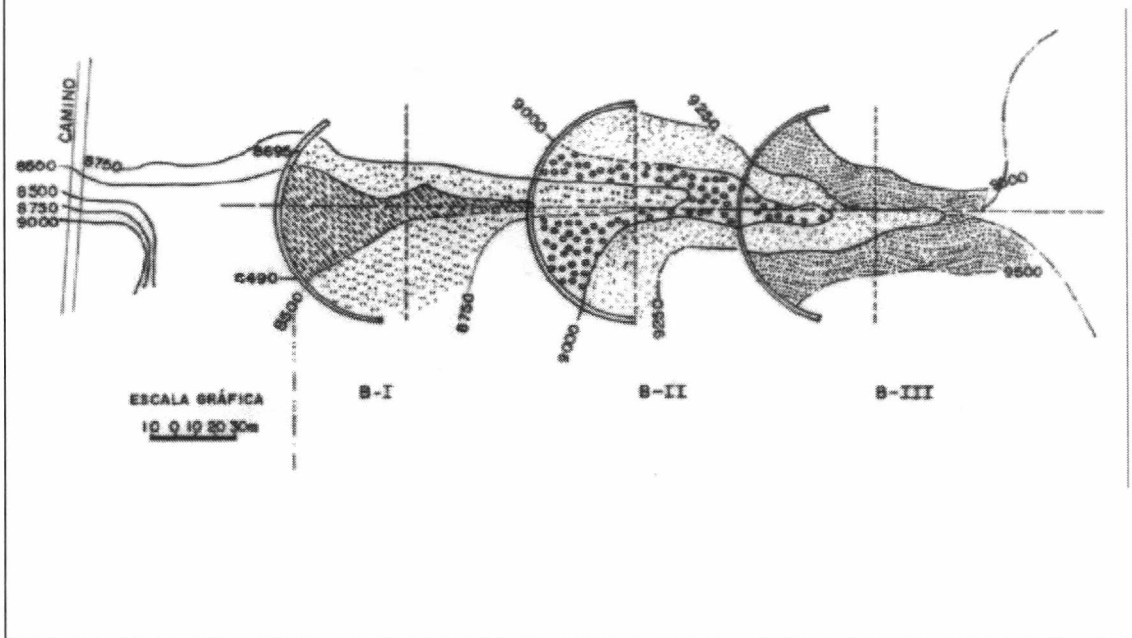
Pared de capas compactadas de arcilla

La construcción del septo impermeable consiste en la formación de una pared con capas de arcilla humedecidas y compactadas manualmente. En este caso, el ancho del septo es el mismo que el de la zanja excavada. Para conseguir una mejor compactación de la arcilla, es recomendable que se coloquen capas uniformes de 0,2 m de espesor a todo lo largo de la zanja.

Pared (Pe) de ladrillo

En la construcción del septo impermeable con ladrillos de barro, se procede de igual manera que si se fuera a construir una pared normal. Los ladrillos deben fabricarse con barro exento de sales y cocerse (hornearse) bien. La pared se construye en el centro de la zanja, como se ve en la **figura 54**, utilizando una mezcla de cemento y arena, en relación 1:4. Los ladrillos deben estar ligeramente mojados para una mejor adherencia de la mezcla. Es recomendable el revestimiento de la pared con una mezcla de cemento y arena en relación 1:3; y, con impermeabilizante en proporción 1:15, o sea, 1 kg de producto impermeabilizante por 15 litros de agua.

Figura 53. Planta alimétrica de embalses subterráneos sucesivos.



Pared (Pe) de piedra

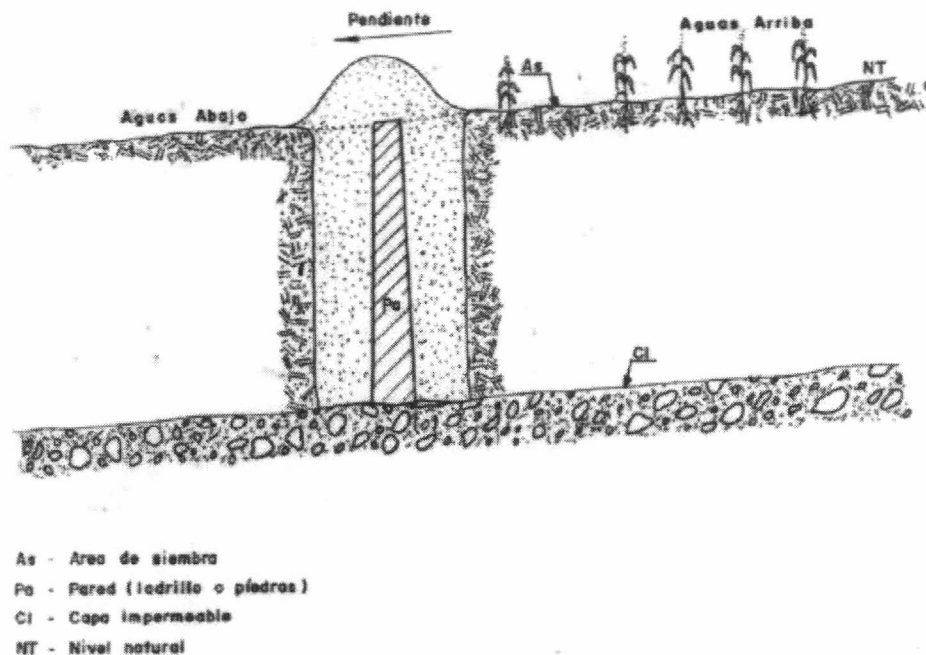
En áreas muy pedregosas, pueden utilizarse las piedras para la construcción del septo impermeable. En este caso, las piedras van colocadas con mezcla de cemento y arena en la misma proporción que en la pared de ladrillos (1:4). Es importante que las piedras queden bien puestas para evitar espacios libres en el interior de la pared. Para evitar infiltraciones es recomendable aplicar un revestimiento a la pared con mezcla de cemento, arena e impermeabilizante. Debido a la irregularidad de las piedras en cuanto a forma y tamaño, la construcción de esta pared exige una mayor cantidad de mano de obra.

Pared (Pe) con lona plástica

Después de la excavación de la zanja, se debe hacer un reboque (arcilla + arena) en su pared inferior (**figura 55**), para uniformar el corte, evitar la perforación del plástico y permitir una mejor adherencia entre las dos superficies.

Los extremos de la lona plástica deben fijarse en dos zanjas pequeñas (0,20 x 0,20 m) abiertas: a) una en la capa impermeable (**figura 55**), junto a la pared del área de almacenamiento; y la otra, b) en la superficie de la pared inferior aguas abajo

Figura 54. Pared del embalse subterráneo construido con ladrillos o piedras.



En la etapa de colocación de la lona, inicialmente debe fijarse un extremo de la lona en la zanja inferior, utilizando una mezcla de barro; posteriormente, se cubre la base de la zanja uniformemente; luego, se sube la lona verticalmente, bien adherida a la pared, tratando que no quede muy tensa para evitar perforaciones en la misma. La etapa siguiente consiste en la fijación del otro extremo de la lona en la zanja de la superficie, la cual debe fijarse con la misma mezcla anterior.

La colocación de la lona debe hacerse cuidando de no exponerla mucho tiempo a los rayos solares, con el objetivo de evitar la dilatación y alta temperatura que puede ser absorbida por la lona. El viento también es un factor limitante para esa labor.

Después del establecimiento del septo impermeable, cualquiera que sea su tipo, se hace el enterramiento del material extraído utilizando para el efecto, implementos manuales. En el caso del septo de lona plástica, debe tenerse el cuidado de retirar las piedras, raíces u otro material que pueda causar perforaciones en la misma.

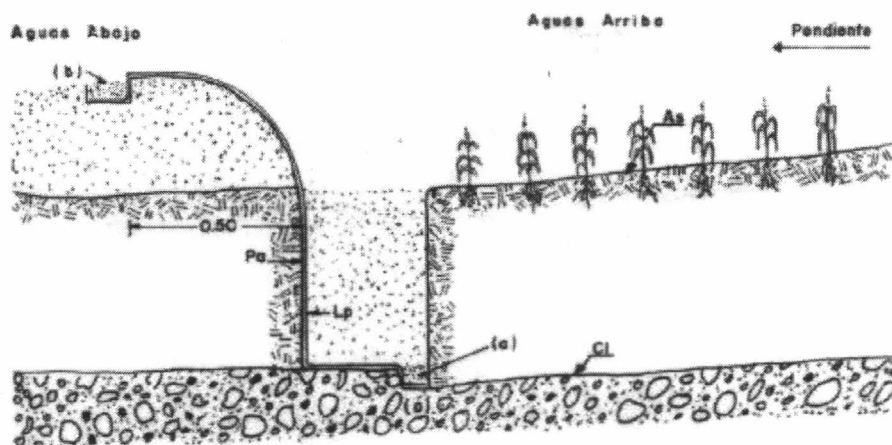
En la parte externa, la pared debe quedar, por lo menos, 0,5 m arriba de la superficie del suelo y a nivel; es decir, la altura de la pared puede ser variable en toda su extensión, lo que dependerá de las irregularidades de la superficie del suelo; pero, su corona debe quedar a nivel.

En la parte más baja del área, sobre la pared del embalse, se debe construir un vertedor de excesos de dimensiones variables en función del volumen de esorrentía que llega en exceso

al embalse, de acuerdo a la capacidad del almacenamiento del perfil. El punto mas bajo del vertedor debe quedar aproximadamente a 0,3 m del nivel del terreno para favorecer la acumulación de un volumen de agua superficial.

En el caso del septo impermeable con lona plástica, en el área del vertedor de excesos debe colocarse sobre la lona, una tela de alambre calibre 22 con malla de 3/4" de diámetro recubierta con una mezcla de cemento y arena en proporción 1:4.

Figura 55. Detalles de la colocación de la lona plástica con septo impermeable en un embalse subterráneo.



- As - Área de siembre
- Ci - Capa impermeable
- Lp - Lona plástica
- Pa - Pared inferior
- NT - Nivel natural

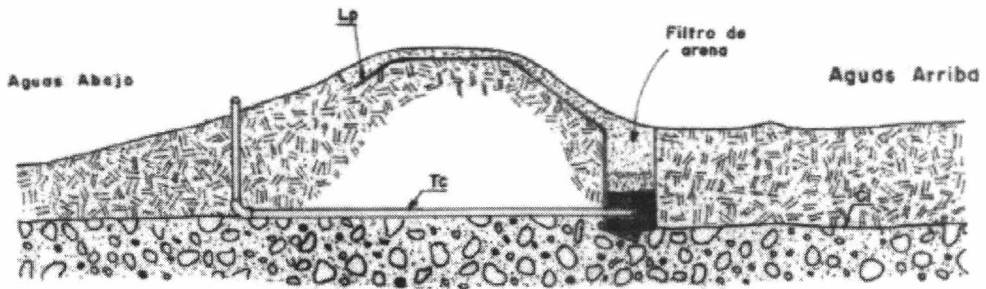
Mantenimiento

El manejo adecuado de un embalse subterráneo ha sido discutido por varios estudiantes, investigadores, extensionistas y productores que visitan los embalses construidos en el área experimental del CPATSA en el semiárido brasileño, con relación a los peligros de salinidad del área. Sin embargo, esos problemas no han sido observados después de 12 años de explotación intensiva de los mismos.

Para prevenir problemas de esa naturaleza, se pueden tomar algunas medidas, tales como la colocación de un tubo de "descarga de fondo" sobre la capa impermeable del suelo (figura 56), partiendo del septo superior (aguas arriba) y perforando la pared hasta el septo inferior (aguas abajo) donde, con un codo a 90° se coloca otro tubo vertical que funciona como un pozo, pudiéndose bombear el agua hacia un reservorio, o dejarla escurrir normalmente sobre una línea natural de drenaje.

Esta descarga de fondo permite un lavado constante del perfil del suelo, evitando la acumulación de sales solubles que pudieran causar problemas de salinidad en el área.

Figura 56. Detalle de la colocación de la descarga de fondo.



Tc - Tubo conductor del agua PVC de alta presión de 4" ø
 Lp - Lona plástica
 Ci - Capa impermeable

Potencial de producción

El embalse subterráneo presenta un alto potencial productivo comparado con un sistema tradicional de cultivo en una región con agricultura dependiente de lluvia, tanto para cultivos anuales como maíz, frijol caupí y sorgo; como para cultivos perennes como mango, guanaba y limón.

Las producciones medias obtenidas durante cinco años de explotación en el semiárido brasileño fueron: frijol caupí, 774 kg/ha; maíz, 3 244 kg/ha y sorgo 3 416 kg/ha; mientras que en un sistema tradicional de agricultura de secano, las producciones alcanzan los 400, 661 y 816 kg/ha, respectivamente (Morgado y RAO, 1985 y Fundación IBGE, 1979).

En años normales de distribución de lluvia, el embalse subterráneo permite la explotación de un segundo cultivo en virtud del potencial de agua disponible en el suelo. En esta condición, se han obtenido producciones totales anuales de 1 502 y 7 690 kg/ha de frijol caupí y maíz, respectivamente.

Después de algunos años de explotación de los embalses subterráneos con cultivos de subsistencia, se han cultivado especies frutales con producciones medias para mango de 3 000 kg/ha; guanaba 2 000 kg/ha; limón 3 000 kg/ha; guayaba 2 000 kg/ha; y, acerola 800 kg/ha (Silva, *et al.* 1994).

Grado de complejidad

El embalse subterráneo es una construcción simple, que no requiere de mano de obra especializada, es de fácil operación y manejo y presenta costo variable de implantación.

Limitaciones

En cuanto a la selección del área, se debe tener cuidado con la salinidad del suelo. Otro factor importante es la pendiente. Áreas con pendientes altas producen escorrentía superficial muy fuerte, dificultando la infiltración y almacenamiento del agua en el perfil.

Impactos socioeconómico y ambientalCostos

El costo de inversión más relevante en la construcción de un embalse subterráneo consiste en la excavación (mano de obra) de la zanja y del material utilizado como septo impermeable.

El **cuadro 21**, presenta una planilla de costos y rendimiento para la explotación de un embalse subterráneo con septo impermeable de lona plástica y área de siembra de 1,0 ha utilizado para cultivar una asociación de frijol y limón, iniciándose la producción de limón en el tercer año.

La inversión total fue de \$EE.UU. 1 705,75. El flujo neto anual inicia con \$EE.UU. 235,0 en el primer año, generados por la producción de frijol, estabilizándose con \$EE.UU. 1 733,7. El frijol se cultivó en los tres primeros años.

Cuadro 21. Costo y rendimiento anual del sistema de aprovechamiento del agua de escorrentía en embalse subterráneo para pequeños huertos frutales con septo impermeable de plástico.

Detalles:			
Cultivo: Limón			
Rendimiento base del limón:	3000,0 kg/ha	Ancho de la pared:	100,0 m
Distancia entre frutales:	10,0 m	Largo del embalse:	100,0 m
Número de plantas de limón:	100 pies	Área total:	1,0 ha
Rendimiento del frijol:	750,0 kg/ha	Valor del dólar EE.UU.:	1,0 R\$*
Intereses (año):	8%	Valor del dólar EE.UU.:	,0 -Q-
Período de financiamiento:	15 años	Período de gracia:	3 años

Actividad	Unidad	Cantida d	Valor Unitario (R\$)	Valor Total (R\$)	Valor Total \$EE.U U	Valor Total (-Q-)
1. Costos de Inversiones:						
1.1 Mano de obra/uso de implementos:						
• Localización del área	hom./día	1,00	1,0	1,0	1,0	,0
• Limpieza del área	hom./día	2,00	1,0	2,0	2,0	,0
• Trazo de la microcuenca hidráulica	hom./día	,25	1,0	,3	,3	,0
• Excavación de la zanja del septo	hom./día	150,00	1,0	150,0	150,0	,0
• Instalación de la manta plástica	hom./día	2,00	1,0	2,0	2,0	,0
• Enterrado de la zanja del septo	hom./día	20,00	1,0	20,0	20,0	,0
• Construcción del filtro	hom./día	1,00	1,0	1,0	1,0	,0
• Construcción del vertedero de excesos	hom./día	2,00	1,5	3,0	3,0	,0
• Siembra de los frutales	hom./día	5,00	1,0	5,0	5,0	,0
Sub-total				184,3	184,3	,0

1.2 Materiales						
• Manta plástica de 0,4 m de espesor	m ²	300,0	3,0	900,0	900,0	,0
• Malla gallinero	m ²	40,0	5,0	200,0	200,0	,0
• Cemento	bolsa 50 kg	14,0	6,0	91,0	91,0	,0
• Arena	m ³	3,0	20,0	60,0	60,0	,0
• Pedrín	m ³	3,0	30,0	90,0	90,0	,0
• Carbón vegetal	m ³	,5	20,0	10,0	10,0	,0
• Tuvo PVC 4" alta presión (6,0 m)	ud	2,0	21,0	42,0	42,0	,0
• Codo PVC 4"	ud	2,0	10,0	20,0	20,0	,0
• Tapones PVC 4"	ud	1,0	5,0	5,0	5,0	,0
• Pegamento para PVC	ud	1,0	3,5	3,5	3,5	,0
• Plantas de limón	ud	100,0	1,0	100,0	100,0	,0
			Sub-total	1521,5	1521,5	,0
Costo total de la inversión				1705,75	1705,75	,0
2. Costos Agrícolas Anuales:						
2.1 Insumos:						
• Semilla de frijol	kg	30,0	2,0	60,0	60,0	,0
• Nuvacron	l	2,0	9,0	18,0	18,0	,0
Total costo insumos				78,0	78,0	,0
2.2 Mano de obra:						
• Siembra frijol	hom/día	2,0	1,0	2,0	2,0	,0
• Aplicación de pesticida	hom/día	5,0	1,0	5,0	5,0	,0
• Limpias y mantenimiento	hom/día	50,0	1,0	50,0	50,0	,0
• Cosecha	hom/día	5,0	1,0	5,0	5,0	,0
Total costo mano de obra				62,0	62,0	,0
3. Costo:						
3.1 Total (inversión + costo año 1)				1 845,75	1 845,8	,0
3.2 Anual (inversión + costo año 1)				366,3	366,3	,0

4. Rendimiento Anual:	Precio/kg			kg/área cultivada				
	R\$	\$EE.UU	-Q-	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
4.1 Producción								
Frijol	,5	,5	,0	750,0	525,0	300,0	,0	,0
Limón	,7	,7	,0	,0	,0	1 500,0	2 100,0	3 000,0
4.2 Renta bruta total								
En R\$				375,0	262,5	1 200,0	1 470,8	2 100,0
En US\$				375,0	262,5	1 200,0	1 470,8	2 100,0
En moneda local -Q-				,0	,0	,0	,0	,0
4.3 Renta líquida total								
En R\$				235,0	122,0	833,7	1 103,7	1 733,7
En \$EE.UU.				235,0	122,0	833,7	1 103,7	1 733,7
En moneda local -Q-				,0	,0	,0	,0	,0

				Total Anual				
5. Generación de empleo:								
5.1 Utilización de mano de obra								
En la implantación del sistema			hom./día	Area total (h/d)ha				
En el mantenim. y labores culturales			hom./día					
				103,3				
				62,0				

R\$ es la moneda oficial de Brasil

Generación de empleo

Para el establecimiento de un embalse subterráneo, con área de explotación de 1,0 ha y pared o septo impermeable de lona plástica, se necesita un promedio de 103,3 hombres/días y 62,0 hombres/días para el mantenimiento y labores culturales. Por lo tanto, el embalse subterráneo es una técnica que exige mucha mano de obra, no sólo para su establecimiento sino también para el mantenimiento y labores culturales a través de los años.

Sostenibilidad

Como el embalse subterráneo puede implantarse en los lechos de ríos temporales y en líneas de drenaje natural, existe una gran posibilidad de solucionar parte de los problemas que se presentan en esas áreas con alta susceptibilidad a la erosión; pues, los procesos erosivos de disgregación del suelo por el impacto de la gota de lluvia, transporte y deposición de las partículas en las partes más bajas del embalse, favorecen la formación de nuevas capas de suelo con mayor porcentaje de materia orgánica y mayor disponibilidad de almacenamiento de agua en el perfil del suelo.

El embalse subterráneo permite generar una renta familiar y la conservación de los recursos naturales, promoviendo un desarrollo sostenible.

Descripción de casos

En el trópico semiárido de Brasil, este tipo de técnica es utilizada por más de un millón de familias. La mayoría de estos sistemas son explotados con cultivos de plantas forrajeras para alimentación de ganado. A través de esta práctica, los agricultores han podido garantizar pastizales de corte en la época sin lluvia. En promedio, han logrado producciones de 40 toneladas de forraje.

Dirección para consultas

EMBRAPA-CPATSA

Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido

Caixa Postal 23

56300 000 - Petrolina-PE, Brasil

Teléfono: (081) 961 4411

Fax: (081) 961 5681