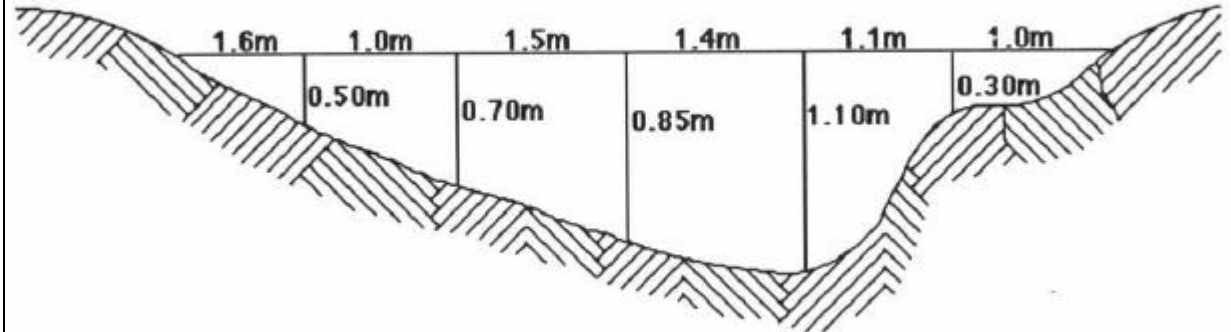


Figura 49. Sección transversal sobre un tramo de un cauce normal.



9. Determine el radio hidráulico ( $r$ ) de la sección transversal seleccionada, haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\text{Área de la sección transversal}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{4,45\text{m}^2}{9,12\text{m}} = 0,488\text{m} = 1,6\text{ft}$$

10. De acuerdo a las condiciones de las paredes del canal, determine el coeficiente de rugosidad ( $n$ ), haciendo uso del **cuadro 20**.
11. Una vez calculados el radio hidráulico ( $r$ ), la pendiente del agua en movimiento ( $s$ ) y seleccionado el coeficiente de rugosidad ( $n$ ), que en el presente caso se toma, como 0,050, se podrá calcular la velocidad del agua para lo cual se podrá emplear cualquiera de las 2 fórmulas que a continuación se utilizan en el presente **ejemplo**:

Fórmula de Kutter:

$$v = \frac{\left( \frac{1,811}{n} + 41,6 + \frac{0,00281}{s} \right)}{1 + \left( 41,6 + \frac{0,00281}{s} \right) \left( \frac{n}{\sqrt{r}} \right)} \left( \sqrt{(r)(s)} \right)$$

**Cuadro 20. Coeficientes de rugosidad ( $n$ )\* de Horton para su aplicación en las fórmulas de Manning y Kutter**

Canales y zanjas	Condiciones de las paredes			
	Perfectas	Buenas	Medianament e buenas	Malas
En tierra, alineados y uniformes	0,017	0,020	0,0225	**0,025
En roca, lisos y uniformes	0,025	0,030	**0,033	0,035
En roca, con salientes y sinuosos	0,035	0,040	0,045	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0,0225	**0,025	0,0275	0,030
Dragados en tierra	0,025	**0,0275	0,030	0,033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra	0,025	0,030	**0,035	0,040
enhierbados	0,028	**0,030	0,033	0,035
Plantillas de tierra, taludes ásperos				
Corrientes naturales				
1. Limpios, bordos rectos, llenos, sin hendeduras ni charcos profundos	0,025	0,0275	0,030	0,033
2. Igual que 1, pero con algo de hierba y piedra	0,030	0,033	0,035	0,040
3. Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio	0,033	0,035	0,040	0,045
4. Igual que 3, de poco tirante, con pendiente y sección menos eficientes.	0,040	0,045	0,050	0,055
5. Igual que 3, algo de hierba y piedras	0,035	0,040	0,045	0,050
6. Igual que 4, secciones pedregosas	0,045	0,050	0,055	0,060
7. Ríos perezosos, cauce enhierbado o con charcos profundos.	0,050	0,060	0,070	0,080
8. Playas muy enhierbadas	0,075	0,100	0,125	0,150

\* Coeficientes de rugosidad ( $n$ ). Fuente: *Hidráulica* de Samuel Trueba Coronel.

\*\* Valores comúnmente empleados para proyectar.

Substituyendo en esta fórmula los valores arriba asignados ( $r$  en pies, porque la fórmula arroja el resultado en pies).

$$v = \frac{\left( \frac{1,811}{0,050} + 41,6 + \frac{0,00281}{0,016} \right)}{1 + \left( 41,6 + \frac{0,00281}{0,016} \right) \left( \frac{0,050}{\sqrt{1,6}} \right)} \left( \sqrt{(1,6)(0,016)} \right)$$

$$v = 4,7 \text{ ft/seg} = 1,44 \text{ m/seg}$$

Fórmula de Manning:

$$V = \frac{1,486}{n} (r)^{2/3} (s)^{1/2}$$

Substituyendo en esta fórmula los valores  $n$ ,  $r$  y  $s$ , utilizados en la fórmula de Kutter, se tiene:

$$v = \frac{1,486}{0,050} (1,6)^{2/3} (0,016)^{1/2}$$

$$v = 5.123 \text{ ft/seg} = 1,56 \text{ m/seg}$$

12. Con la velocidad de flujo ya cuantificada, que para este ejemplo ha sido calculada con 2 fórmulas distintas y por lo tanto se empleará el promedio de ambos valores, se podrá calcular el flujo máximo en metros cúbicos por segundo:

$$Q = Av$$

Q = Flujo máximo (m<sup>3</sup>/seg).

A = Area de sección seleccionada en un tramo del cauce (m<sup>2</sup>).

v = Velocidad del flujo (m/seg).

Substituyendo los valores encontrados, se tiene:

$$Q = (4,45\text{m}^2)(1,50\text{m/seg}).$$

$$Q = 6,675 \text{ m}^3/\text{seg} = 6,7 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El método Pendiente-Area permite calcular el volumen máximo de descarga, pero no permite obtener la información concerniente al volumen total que puede producirse después de un evento lluvioso.

Para este propósito, será necesario estimar lo más cercanamente posible tanto el tiempo de flujo como el volumen total del caudal, porque aún y cuando no es posible determinar estas magnitudes en forma precisa, son datos de gran importancia para la persona que está diseñando los sistemas citados y aún y cuando ya se han mencionado, aquí se vuelven a citar una vez más para no perderlos de vista:

A. Bordos interceptores.

B. Areas niveladas.

#### Estimación del Tiempo de flujo y del Volumen Total de un Caudal.

- Una regla práctica comúnmente utilizada, es asumir que el tiempo de flujo es igual al doble del tiempo de concentración y que el flujo (caudal o descarga) promedio es aproximadamente igual a la mitad del flujo (caudal o descarga) máximo.
- El tiempo de concentración, se define como el tiempo que tardaría una gota de agua en recorrer la distancia entre el punto más alejado y el punto de salida de una cuenca; considerando que no existe evaporación y que la superficie es impermeable. El tiempo de concentración se puede determinar haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{L_c}{v} = \frac{L_c}{\frac{Q}{A}}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración, (minutos).

Lc = Longitud del cauce principal dentro de la cuenca, (m).

H = Diferencia de elevación entre los 2 puntos extremos del cauce principal, (m).

En el presente caso:

Lc = 1000 m

H = 30 m

Con lo cual:

Tc = 15 minutos

3. En el caso del ejemplo que se ha manejado se tiene que:

El flujo máximo  $Q = 6,7 \text{ m}^3/\text{seg}$

Luego entonces:

$$\text{Flujo o caudal promedio} = \frac{6\,700 \text{ lt/seg}}{2} = 3\,350 \text{ lt/seg}$$

4. Considerando que una corriente de agua de 10 lt/seg puede regar una superficie de 1 ha con una aceptable lámina de 8,6 cm al fluir durante 24 horas. Entonces 3 350 lt/seg regarán 335 ha en un lapso de 24 horas. En el presente caso, se tiene un tiempo de concentración de 15 minutos, con lo cual el tiempo estimado de flujo normal será de 30 minutos y debido a que el flujo de agua requeriría un tiempo de 30 minutos más para llegar a la zona de esparcimiento, se tendría que: En un lapso de 1 hora se regarían 14 ha.
5. La superficie de 14 ha sería regada en el lapso de 1 hora por la lluvia máxima considerando un período de retorno de 20 años. Entonces la lluvia normal podría producir la tercera parte o quizá la mitad del volumen que produce la lluvia máxima, con lo cual se podría contemplar una superficie que fluctuará aproximadamente entre 5 y 7,5 ha.
6. Si por otra parte, al cálculo anterior se le considera un 60% de eficiencia, entonces después de cada lluvia normal se regarían de 3 a 4,5 ha.

### Trazo

Una vez estimada la superficie susceptible de regar, se procede a escoger cualquiera de los dos sistemas mencionados para el aprovechamiento de aguas broncas. Sin embargo, el sistema "Bordos Interceptores", por ser un método que no requiere de prácticas de nivelación, es más apropiado para terrenos con mayor grado de pendiente. Mientras que el sistema "Areas Niveladas", sería el de mejor adaptación en terrenos con pendientes moderadas, ya que su establecimiento requiere de prácticas de nivelación.

### Bordos Interceptores:

A continuación se presenta una secuencia de trabajo para el trazo del sistema de bordos interceptores:

1. Primeramente se definirá el sitio donde será construida la presa de retención sobre el cauce de un arroyo ocasional o cárcava y su trazo dependerá de cálculos previamente hechos para este propósito (Velasco, 1991).
2. El trazo del canal derivador o dique derivador estará basado en cálculos previamente hechos para este propósito, en los que básicamente será considerado el caudal de agua por conducir.
3. Los bordos de desviación serán trazados solamente en casos de grandes volúmenes de escorrentía y su trazo se basará más en el sentido común, que en datos puramente técnicos.
4. El número de bordos de almacenamiento por trazar dependerá del volumen de agua de escorrentía por distribuir, dato este último que fue inicialmente estimado.
5. El trazo de los bordos de almacenamiento cuya superficie interna puede estar circundada por un bordo angular o circular, estará en función del volumen que cada uno de estos vaya a recibir.
6. Al trazar cada uno de los bordos de almacenamiento, deberá considerarse que uno de los extremos del bordo, será el punto por donde se desaloje el agua para inundar al siguiente, localizado aguas abajo.

### Áreas Niveladas:

A continuación se presenta una secuencia de trabajo para el trazo del sistema de áreas niveladas:

1. Determinada la superficie para la primera área nivelada, se cuadrícula el área utilizando estacas cada 20 m. Asumiendo que esta primera área vaya a tener una superficie de 2 ha entonces podría estacarse un rectángulo de 100 m/ 200 m, para lo cual se requerirían 66 estacas.
2. Establecida la cuadrícula en la superficie de 2 ha se procederá a levantar la altimetría de esta primera área nivelada, lo cual permitirá marcar los cortes y rellenos que tendrán que hacerse para dejar la superficie totalmente nivelada.
3. El bordo (de recepción), donde se colocará la compuerta que permitirá entrar el agua a la primera área nivelada, deberá ser de suficiente longitud y altura que permita la concentración del agua de escorrentía pendiente arriba.
4. La profundidad de la lámina de agua en esta primera área nivelada, podrá ser regulada por 2 factores: La altura topográfica de la superficie del área y el nivel de salida del agua en el vertedor de salida.

5. La profundidad que alcance el agua en esta primera área nivelada deberá ser aproximadamente igual a la que se tuvo, inicialmente (8,6 cm), para estimar la superficie por regar, aún y cuando de antemano se sabe que el agua seguirá pasando a través de ésta, hasta que se alcance el nivel de deseado en la segunda área nivelada.
6. Al lograrse la profundidad de 8,6 cm en la primera área nivelada, el agua principiará a fluir a través del vertedor de salida de esta área y será conducida por un canal para principiar a llenar la segunda área nivelada, después de pasar por el primer vertedor de la segunda área nivelada.
7. Para la segunda área nivelada, puede seguirse el mismo criterio de nivelación y anegamiento que se tuvo para la primera; es decir, se trazará la cuadrícula se verificarán los cortes y rellenos y se permitirá la acumulación del agua hasta una profundidad de 8,6 cm y así se continuará sucesivamente, hasta anegar tantas áreas niveladas como sea posible.

### Construcción

#### Bordos Interceptores:

1. La construcción de la presa de retención y del canal derivador requieren tanto de cálculos ingenieriles, como de mano de obra especializada.
2. Los bordos de desviación y los bordos de almacenamiento deberán ser preferentemente construidos con maquinaria pesada, con lo cual se podrán mover los volúmenes de suelo requeridos para este propósito.
3. En la construcción de bordos de desviación y de almacenamiento es indispensable la compactación del suelo, para lo cual también se hará necesario el uso de implementos específicos para este propósito.

#### Áreas Niveladas:

1. La nivelación de la superficie podrá llevarse a cabo con peones de campo, utilizando herramientas manuales tales como: azadones, rastrillos y palas, puesto que se supone que las superficies escogidas para este propósito son lo suficientemente planas de origen.
2. Si el trabajo de nivelación quiere hacerse más rápidamente, podría utilizarse una niveladora (Land plane), tirada por un tractor agrícola. Cabe mencionar que en este caso, la distancia entre estacas del área cuadrículada deberá ser un múltiplo del ancho de la cuchilla de la niveladora, ya que este instrumento nivela al ir y al regresar.
3. Terminada la tarea de nivelación en un área, se procederá a levantar los bordos circundantes de ésta. Para este propósito, se sugiere hacer un barbecho profundo en una franja de terreno de 2 m de ancho, inmediatamente circundante a los 4 lados del área nivelada. Esta operación se lleva a cabo con el propósito de tener suficiente suelo suelto para que la bordeadora que será conducida sobre la misma franja, pueda levantar un bordo lo suficientemente alto y firme ya que después de construido deberá ser compactado.

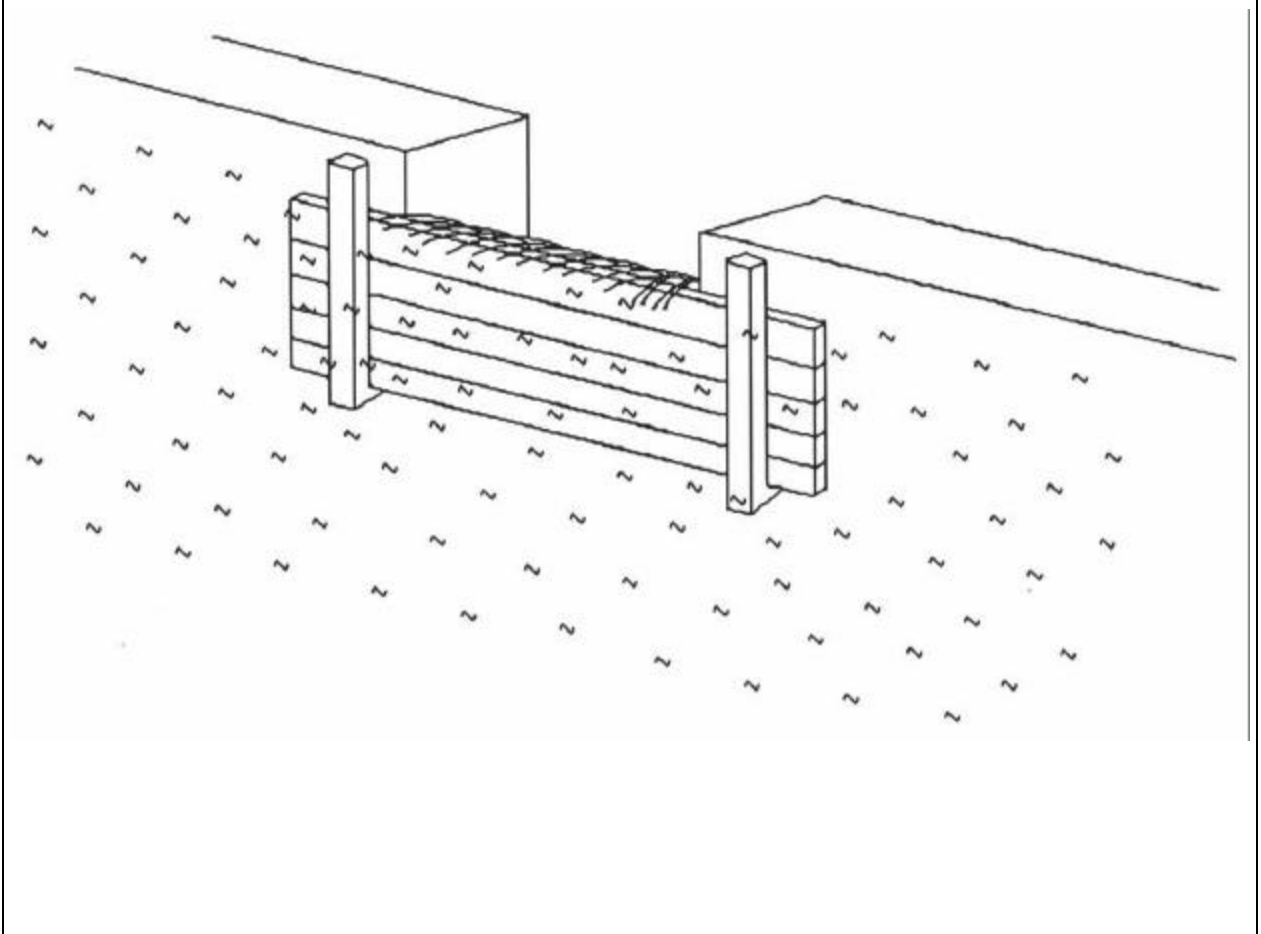
4. Una vez levantada la bordería de cada área nivelada, se procederá a instalar los vertedores. Un tipo de vertedor sencillo construido de concreto, puede ser el que se muestra en la **figura 50**. Las tabletas de 2,5 cm de grueso, de 2, 3, 4, ó 5 cm. de alto y de un largo suficiente para cubrir todo el ancho del vertedor, pueden ser colocadas o removidas hasta que el agua alcance la profundidad deseada dentro de una área nivelada.
5. La profundidad del agua estará gobernada por la altura de la primer tableta (de arriba hacia abajo). Sin embargo, para hacer totalmente impermeable esta barrera de tabletas, deberá utilizarse una porción de plástico o de lona encerada.

### Mantenimiento

Las prácticas de mantenimiento requeridas tanto para el sistema de bordos interceptores como para el de áreas niveladas son prácticamente las mismas y pueden quedar resumidas en los siguientes puntos:

1. Conservar los canales de conducción lo más limpio posible durante todo el año, ya que al no tratarse de riegos programados, sino ocasionales, su disponibilidad debe ser permanente.
2. Los bordos de desviación, los bordos de retención y los bordos que limitan las áreas niveladas, deberán conservarse en buenas condiciones ya que ésta será la única forma en que los torrentes puedan ser distribuidos y las áreas de cultivo debidamente anegadas.

**Figura 50.** Vertedor rectangular con compuerta de tabletas, para regular la profundidad del agua en las áreas niveladas.





3. La compuerta del bordo de retención y los vertedores de las áreas niveladas deberán estar permanentemente funcionales puesto que el momento en que estos dispositivos puedan funcionar es totalmente impredecible.
4. Las superficies de almacenamiento de aguas tanto en el sistema de bordos interceptores como en el de áreas niveladas, que son en sí las superficies de siembra en cada caso, deberán conservarse abiertas (barbechadas) y deshierbadas cuando no estén bajo cultivo y totalmente deshierbadas cuando estén bajo cultivo.

### Potencial de Producción

El potencial de producción de los sistemas de anegamiento, es realmente ilimitado, porque la magnitud de las extensiones donde es posible su adaptación es prácticamente inagotable. Podría comentarse sin llegar al detalle, que de cada pequeño lomerío por modesto que éste sea y después de una lluvia torrencial como son características en nuestros ámbitos secos; un cuantioso volumen de agua está siendo desperdiciado.

El éxito en la adaptación de los sistemas de anegamiento o entarquinamiento de aguas de escorrentía únicamente radica en una serie de consideraciones técnicas sensatamente razonadas, que permitan el máximo de concordancia que debe existir entre la capacidad de riego del afluente y la superficie asignada para este propósito.

### Grado de Complejidad

Los servicios de un ingeniero agrónomo, ocasionalmente asesorado por un ingeniero civil, serían suficientes para llevar a cabo la aplicación de la tecnología que aquí se ha descrito.

Por lo que concierne al tipo de maquinaria por usar, sí se requiere de personal especializado y por lo que toca a la implementación de compuertas y vertedores, realmente son quehaceres que más bien tienen que ver con el ingenio de la persona que con la alta tecnología.

### Limitaciones

Probablemente más que limitación, los sistemas aquí descritos adolecen de una importante deficiencia de diseño, la cual podría corregirse si así se deseara.

En ambos sistemas, el primer bordo de almacenamiento o la primera área nivelada siempre recibirá la mayor parte del caudal producido en cada evento lluvioso. El segundo bordo de almacenamiento o la segunda área nivelada, obviamente recibirá una menor parte del caudal que el primer bordo o que la primera área y éstos a su vez retendrán una mayor parte de ese caudal que el tercer bordo o que la tercera área nivelada y así sucesivamente. Lo anterior podría explicarse con el siguiente ejemplo: Si se tuviera un sistema de 3 bordos de almacenamiento o de 3 áreas niveladas y si en cada caso los bordos o las áreas fueran del mismo tamaño, entonces el tercer recipiente de cada sistema, se habría llenado una vez, el segundo algunas veces, mientras que el primero se habría llenado 3 veces. El problema sería menor cada vez que un bordo de almacenamiento o que una área nivelada esté precedido por un recipiente más pequeño y mayor sería el problema cuando el recipiente que precede es de mayor tamaño.

Esta ineficiencia en los sistemas trae como consecuencia una importante disminución en la superficie que originalmente se planificó regar. Pero podría corregirse substancialmente construyendo un canal que llenara solamente una vez cada uno de los bordos de almacenamiento y cada una de las áreas niveladas.

### ***Impacto socioeconómico y ambiental***

#### Costos y retornos

El balance de costos y retornos en la implementación de sistemas del tipo “bordos interceptores” aquí descritos, utilizando el maíz como cultivo en las zonas semiáridas del norte de México, con relaciones área de siembra: área de escorrentía hasta de 1 : 8, es como sigue:

- Costo habilitación de la cuenca<sup>1</sup>: ..... \$EE.UU. 75 dólares/ha.
- Costo anual de operación<sup>2</sup>: ..... \$EE.UU. 250 dólares/ha.
- Ingreso bruto: ..... \$EE.UU. 500 dólares/ha.

<sup>1</sup> Habilitación de la cuenca: incluye construcción de la presa de derivación, vertedores y movimientos de tierra; que en el presente caso fue todo hecho a nivel muy económico, tal como el empleo de tallas de ferrocarril para la construcción de la presa de derivación y mano de obra campesina utilizando sus propios implementos.

<sup>2</sup> Costo anual de operación: incluye empleo de maquinaria para las operaciones de barbecho (arado), rastreo, mantenimiento de bordería y siembra. Incluye también el costo de la semilla, corte, amonado, pisca y desgrane.

Considerando una amortización de la inversión inicial (habilitación de la cuenca) a 3 años, se tiene:

- Utilidad durante los primeros 3 años: ..... \$EE.UU. 225 dólares/ha.
- Utilidad una vez amortizada la inversión inicial: ..... \$EE.UU. 250 dólares/ha.

#### Generación de empleos

En un total de 69 sistemas del tipo “bordos interceptores”, establecidos en 5 estados de la zona semiárida de la república mexicana, se generaron 24 294 jornales (días/hombre) y se lograron cultivar 3 396 hectáreas, de donde puede deducirse que la implementación de estos sistemas generan 7 jornales por hectárea de terreno beneficiado.

#### Sustentabilidad

La implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas broncas, de cualquiera de los 2 tipos aquí descritos: “bordos interceptores” o “áreas niveladas”, además de permitir el uso controlado de las escorrentías para propósitos de producción agrícola, pueden evitar la hidroerosión que hasta ahora han ocasionado esta clase de torrentes sin control.

## *Descripción de casos*

### *Lugar y fecha*

La construcción del sistema de bordos interceptores se ha llevado a cabo por lo menos en 65 poblados rurales de los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas de la república mexicana. La implementación de los sistemas se inició en el año de 1989 y actualmente aún continúa vigente; siendo el maíz el cultivo que fundamentalmente se ha explotado en este sistema.

### *Características del lugar y de las técnicas aplicadas*

En México, el lugar donde primeramente se estableció, un sistema planeado para el aprovechamiento de aguas broncas del tipo bordos interceptores, con fines de producción agrícola, fue en un núcleo de población rural del medio campesino, el ejido "Jaguey de Ferniza". Cuenta con una superficie de 4 632 ha. de las cuales 3 840 son de agostadero y 797 se emplean en agricultura de temporal, beneficiándose 98 campesinos de la superficie total. "Jaguey de Ferniza" tiene una elevación de 2 100 msnm; su temperatura media anual fluctúa entre 16° y 20° C, con mínimas de -15° C, máximas de 27° C. El régimen de lluvias está definido por 2 estaciones húmedas separadas por una temporada seca de corta duración durante el verano y otra larga seca durante la segunda mitad del invierno y primera mitad de la primavera, siendo su precipitación pluvial promedio anual de 350 mm. Esta comunidad ejidal está ubicada en el municipio de Saltillo, Coahuila, dentro de la zona árida y semiárida de la república mexicana.

### *Resultados en la Producción*

A raíz de los resultados en productividad logrados en el ejido "Jaguey de Ferniza", La Forestal F.C.L. durante 1979 llevó a cabo la construcción de 79 obras del tipo bordos interceptores en los estados de: Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas y en 1990 terminó la construcción de 69 obras más en los mismos estados, por ser éstas las entidades federativas donde se encuentra ubicada la zona ixtlera, que era atendida por la citada organización campesina.

Actualmente y con la participación de FIRCO (Fideicomiso de Riesgos Compartidos), organismo público descentralizado que trabaja en coordinación con la SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), ha participado en forma extensiva en la construcción de diferentes módulos de escurrimiento en el estado de San Luis Potosí, México.

Dirección para consultas

Ing. Rafael de la Rosa González  
Departamento de Sociología,  
Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"  
Buena Vista, Saltillo, Coahuila  
México  
Tel. (84) 17-30-22  
(84) 17-14-19

Ing. Samuel Peña Garza  
Departamento de Desarrollo Rural,  
Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"  
Buena Vista, Saltillo, Coahuila  
México.  
Tel. (84) 17-30-22  
(84) 17-14-19

Dr. Héctor Rodríguez Castro  
FIRCO-S.L.P.  
Tel. (48) 12-71-30  
(48) 12-73-14  
Fax. (48) 12-20-26

Dr. Hugo A. Velasco Molina  
Departamento de Ingeniería Agrícola,  
División de Agricultura y Tecnología de Alimentos,  
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey  
Sucursal de Correos "J"  
Monterrey, Nuevo León. México. C.P. 64849  
Tel. (8) 358-20-00 Ext. 4836  
Fax. (8) 359-92-06

## EMBALSE SUBTERRÁNEO, BRASIL

*Aderaldo de Souza Silva, Ing. Agr. M.Sc. Investigador en Manejo de Suelo y Agua;*  
*Everaldo Rocha Porto, Ing. Agr. Ph.D. Investigador en Manejo de Suelo y Agua;*  
*Luisa Teixeira de L. Brito, Ing. Agr. M.Sc. En Manejo de Suelo;*  
*Paulo Roberto Coelho López, Ing. Agr. M.Sc. en Conservación de Suelo..*  
*EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE, Brasil.*  
*Saúl Pérez Arana, Ing. Agr. Especialista en Cosecha de Agua de Lluvia;*  
*DIRYA-DIGESA, Guatemala.*

### *Antecedentes históricos*

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

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

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

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

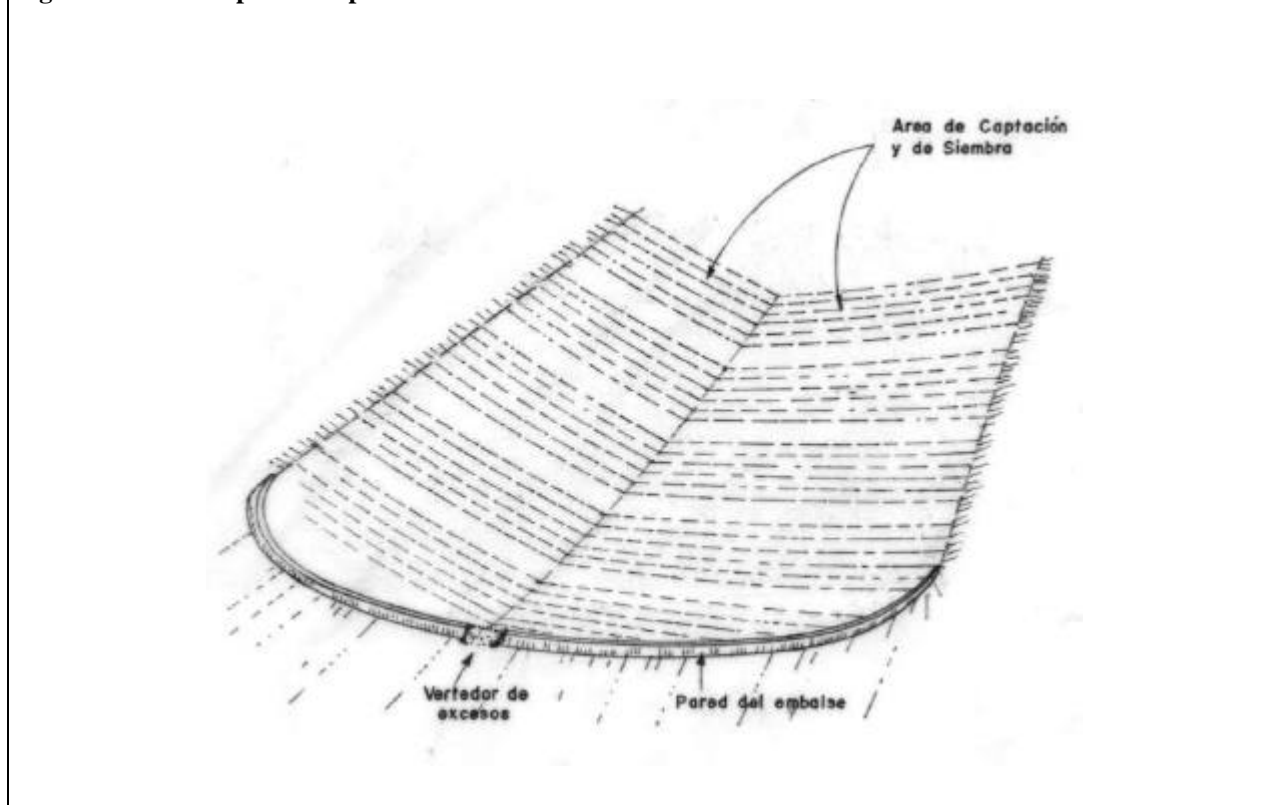
En 1982, el Centro de Pesquisa Agropecuaria do Trópico Semi-árido (CPATSA), inició sus estudios sobre los embalses subterráneos, con el objetivo de analizar su manejo en líneas de drenaje natural e introducir nuevos cultivos principalmente de subsistencia como el maíz (*Zea mays L.*), frijol caupí (*Vigna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

### *Aspectos técnicos*

#### Descripción

El embalse subterráneo es una técnica que pretende aprovechar el agua depositada en los suelos aluviales de los embalses, cauces de ríos y quebradas efímeras y lagos temporales, a través de la 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-ESt), está formado por los siguientes componentes: 1) área de captación y de siembra (Ac); 2) perfil de almacenamiento del agua (Aa); y, 3) pared del embalse (Pa). La **figura 52**, presenta un corte transversal del embalse subterráneo mostrando sus distintos componentes.

#### Área de captación y de siembra (Ac)

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

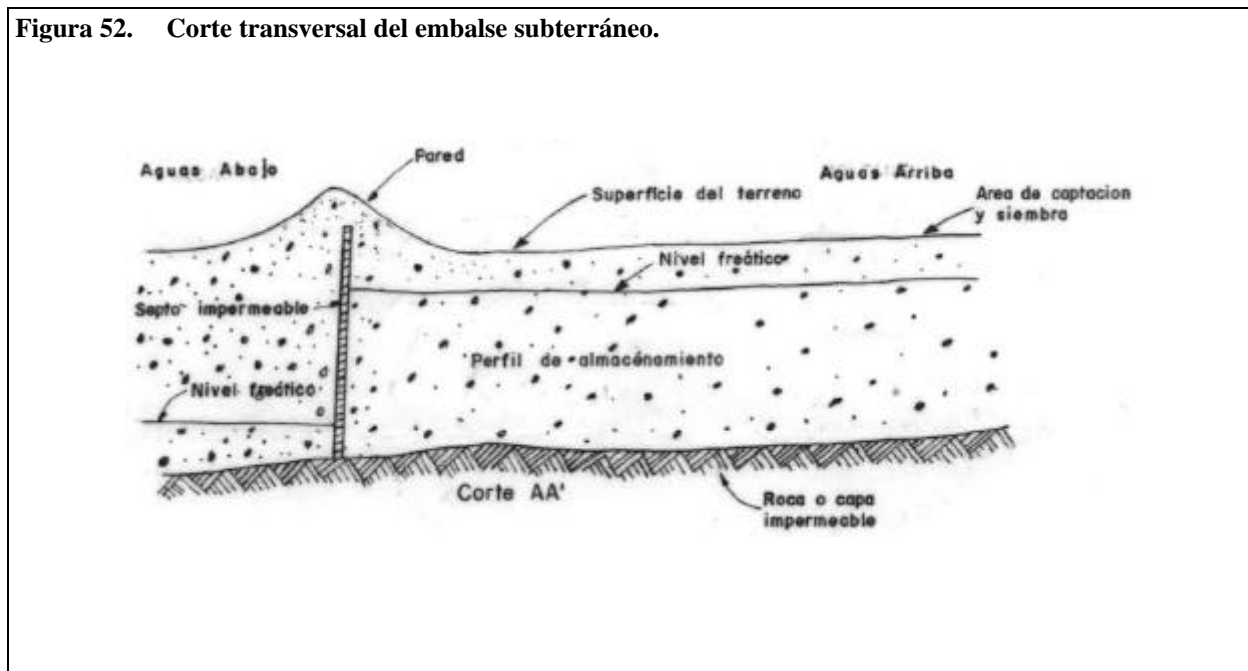
#### Perfil de almacenamiento del agua (Aa)

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

Pared del embalse (Pe)

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

**Figura 52.** Corte transversal del embalse subterráneo.

Objetivo

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

Ubicación y selección del sitio

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

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

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

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

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

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

### Diseño

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

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

### Trazo

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

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

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

Una vez localizados los dos puntos de igual altura, se procede a delimitar la pared del embalse utilizando para el efecto una cuerda y varios piquetes que serán colocados a cada 2,0 m siguiendo una línea recta o semicircular para unir ambos puntos a nivel. Dependiendo de la extensión y de la pendiente del valle, se puede continuar demarcando paredes con distancias variables entre 10 y

100 m. La **figura 53**, presenta la demarcación de las paredes de tres embalses subterráneos sucesivos constituidos en un valle de 400 m de largo y 100 m de ancho, aproximadamente.



### Construcción

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

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

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

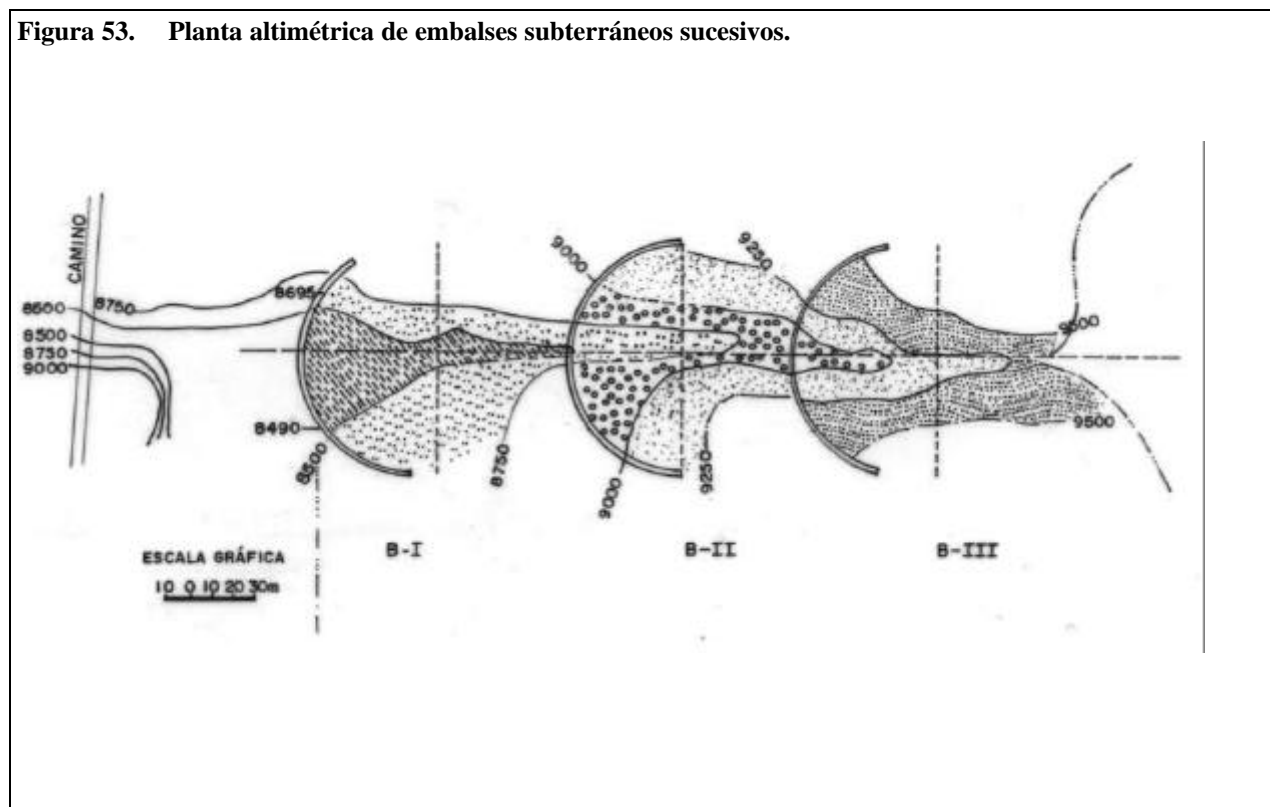
#### Pared de capas compactadas de arcilla

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

#### Pared (Pe) de ladrillo

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

Figura 53. Planta alimétrica de embalses subterráneos sucesivos.



#### Pared (Pe) de piedra

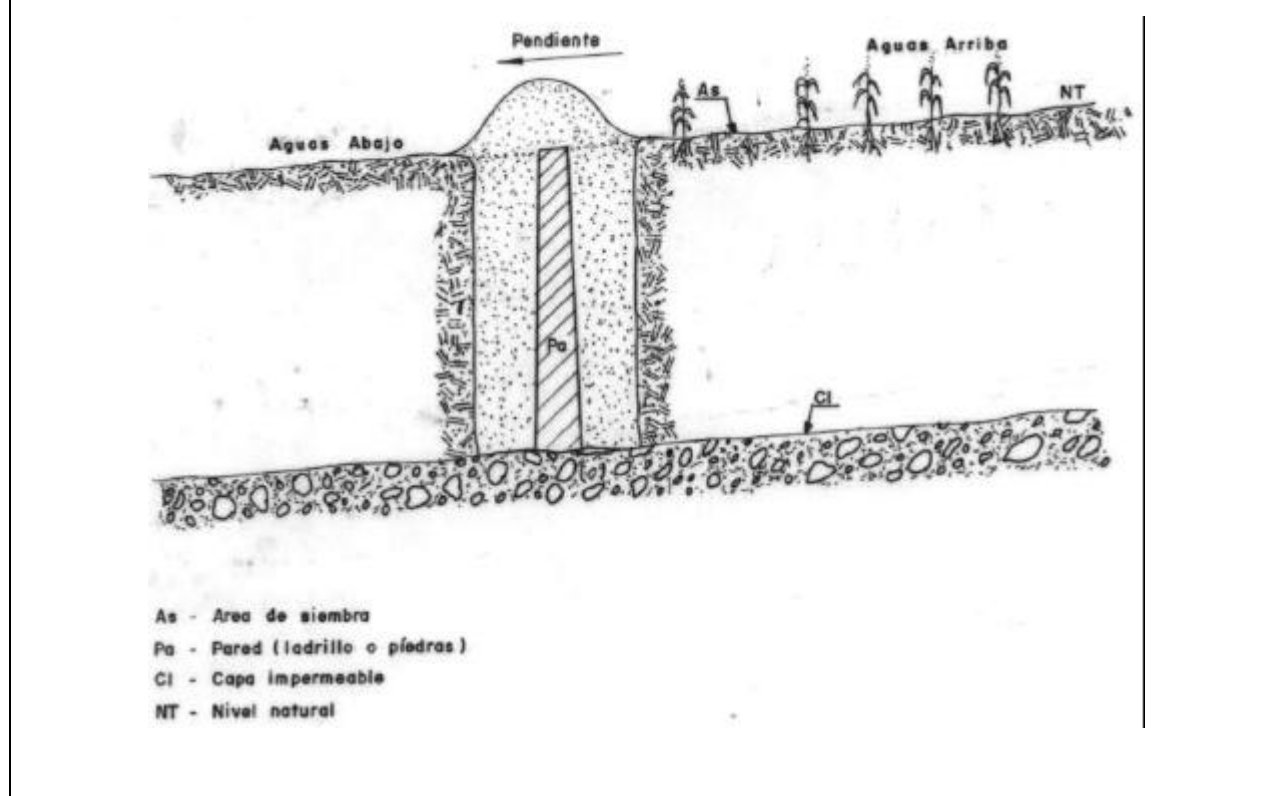
En áreas muy pedregosas, pueden utilizarse las piedras para la construcción del septo impermeable. En este caso, las piedras van colocadas con mezcla de cemento y arena en la misma proporción que en la pared de ladrillos (1:4). Es importante que las piedras queden bien puestas para evitar espacios libres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

#### Pared (Pe) con lona plástica

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

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

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



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

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

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

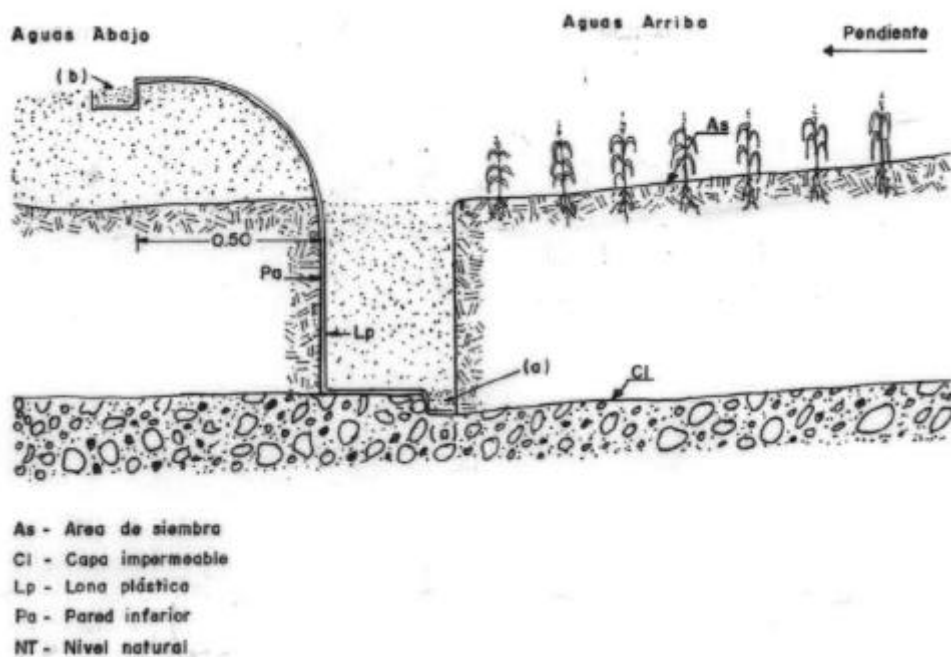
En la parte externa, la pared debe quedar, por lo menos, 0,5 m arriba de la superficie del suelo y a nivel; es decir, la altura de la pared puede ser variable en toda su extensión, lo que dependerá de las irregularidades de la superficie del suelo; pero, su corona debe quedar a nivel.

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

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

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

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



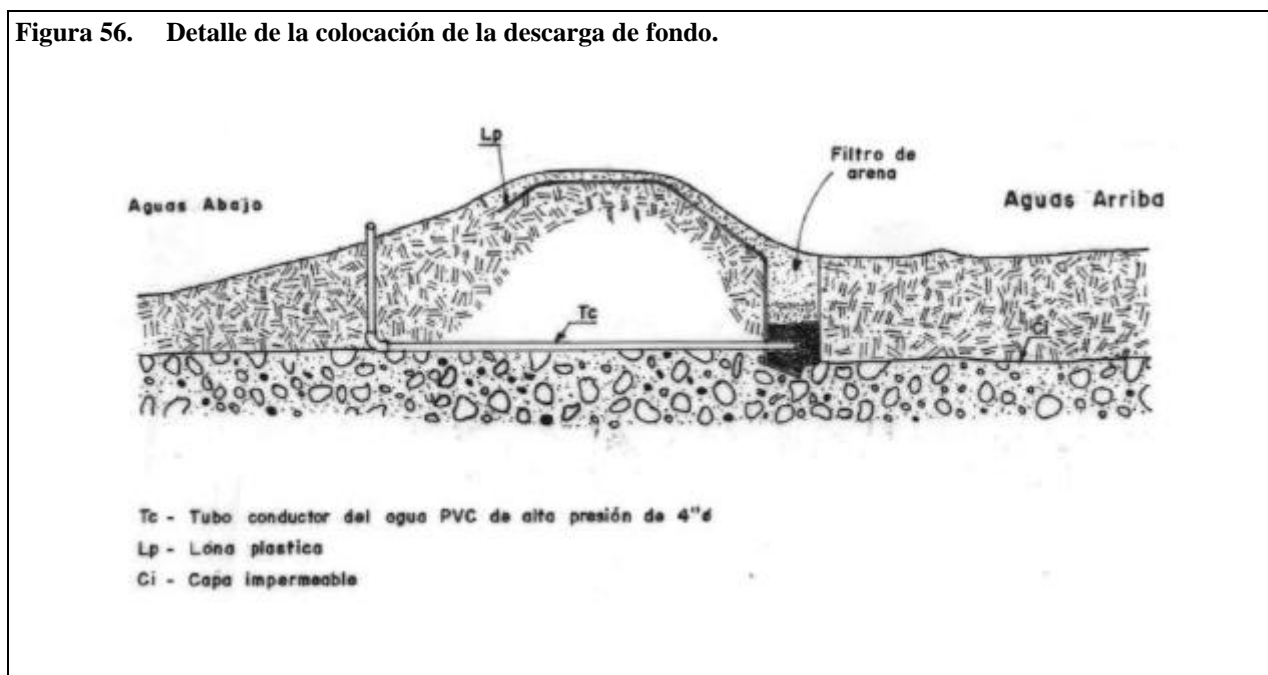
### Mantenimiento

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

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

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

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



### Potencial de producción

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

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

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

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

### Grado de complejidad

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

Limitaciones

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

**Impactos socioeconómico y ambiental**Costos

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.**

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

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

<b>1.2 Materiales</b>						
• Manta plástica de 0,4 m de espesor	m <sup>2</sup>	300,0	3,0	900,0	900,0	,0
• Malla gallinero	m <sup>2</sup>	40,0	5,0	200,0	200,0	,0
• Cemento	bolsa 50 kg	14,0	6,0	91,0	91,0	,0
• Arena	m <sup>3</sup>	3,0	20,0	60,0	60,0	,0
• Pedrín	m <sup>3</sup>	3,0	30,0	90,0	90,0	,0
• Carbón vegetal	m <sup>3</sup>	,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
<b>Sub-total</b>				<b>1521,5</b>	<b>1521,5</b>	<b>,0</b>
<b>Costo total de la inversión</b>				<b>1705,75</b>	<b>1705,75</b>	<b>,0</b>
<b>2. Costos Agrícolas Anuales:</b>						
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				<b>78,0</b>	<b>78,0</b>	<b>,0</b>
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
<b>Total costo mano de obra</b>				<b>62,0</b>	<b>62,0</b>	<b>,0</b>
<b>3. Costo:</b>						
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
<b>5. Generación de empleo:</b>								
5.1 Utilización de mano de obra								
				Area total				
En la implantación del sistema			hom./día	(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



## AGRICULTURA DE HUMEDAD RESIDUAL A TRAVÉS DE SURCOS Y CAMELLONES EN CURVAS DE NIVEL, BRASIL

*Aderaldo de Souza Silva, Ing. Agr. M.Sc. Investigador en Manejo de Suelo y Agua;*  
*Everaldo Rocha Porto, Ing. Agr. Ph.D. Investigador en Manejo de Suelo y Agua;*  
*María Sonia López de Silva, Ing. Agr. M.Sc. En Manejo de Suelo;*  
*Paulo Roberto Coelho López, Ing. Agr. M.Sc. en Conservación de Suelo..*  
*EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE, Brasil.*  
*José Barbosa dos Anjos.*

### *Antecedentes históricos*

La agricultura de humedad residual no es una práctica nueva. El milenario sistema de cultivos desarrollado en las márgenes del río Nilo, es el ejemplo más antiguo de esta actividad agrícola. Los egipcios sacaron provecho de la humedad residual acumulada en las márgenes durante el período de la creciente del Nilo, para producir cosechas.

En el semiárido brasileño, existen aproximadamente, cien mil embalses de distintos tamaños, almacenando más de veinte billones de metros cúbicos de agua. En los márgenes de estos reservorios existen, hasta hoy, más de tres millones de personas que dependen económicamente de la explotación de la agricultura de humedad residual.

### *Aspectos técnicos*

#### Descripción

La agricultura de humedad residual consiste en la utilización de los suelos potencialmente agrícolas de los embalses, ríos y lagos que han sido cubiertos por el agua durante la época lluviosa (Duque, 1973). O sea, después que el período de lluvias ha terminado, los niveles de agua en los embalses, ríos y lagos empiezan a descender, descubriendo suelos mojados con excelente potencial productivo, en los cuales, los agricultores siembran cultivos anuales como el camote (*Ipomoea batata*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y/o maíz (*Zea mays L.*).

La práctica de esta actividad en forma tradicional, presenta limitaciones debido al manejo inadecuado del suelo y del agua. El problema radica en que el agricultor siembra las semillas inmediatamente después que el suelo se descubre, en forma desordenada, sin siquiera disponerlas en hileras y sobre todo, cuando el suelo aún se encuentra saturado, lo que influye en la germinación de las semillas. Por otro lado, la velocidad de infiltración de las aguas y el resecamiento de la humedad en el suelo es muy rápido, provocando deficiencia hídrica para las plantas en un corto plazo, después de la siembra. Debido al desorden de siembra, sin hileras, sin curvas de nivel, resulta imposible para el agricultor hacer alguna tentativa de riego suplementario; en otras palabras, no consigue hacer un manejo adecuado del agua.

La práctica de la agricultura de humedad residual a través de surcos y camellones sobre curvas de nivel, requiere fundamentalmente, de un manejo adecuado del suelo y del agua. Esta, propicia una disponibilidad más uniforme de la humedad en el suelo, durante todo el ciclo del cultivo, permitiendo el uso del riego suplementario.

### Objetivo

Disponer de un suelo con humedad uniforme durante todo el ciclo fenológico de los cultivos anuales, a través de un sistema de siembra en surcos y camellones sobre curvas de nivel.

### Ubicación

Se recomienda la implantación de este sistema en embalses, lagos y lechos de ríos y quebradas efímeras para la explotación de cultivos anuales; pudiéndose establecer en cualquier tipo de clima y suelo.

### Diseños

No es necesario efectuar ningún cálculo para el establecimiento de este sistema.

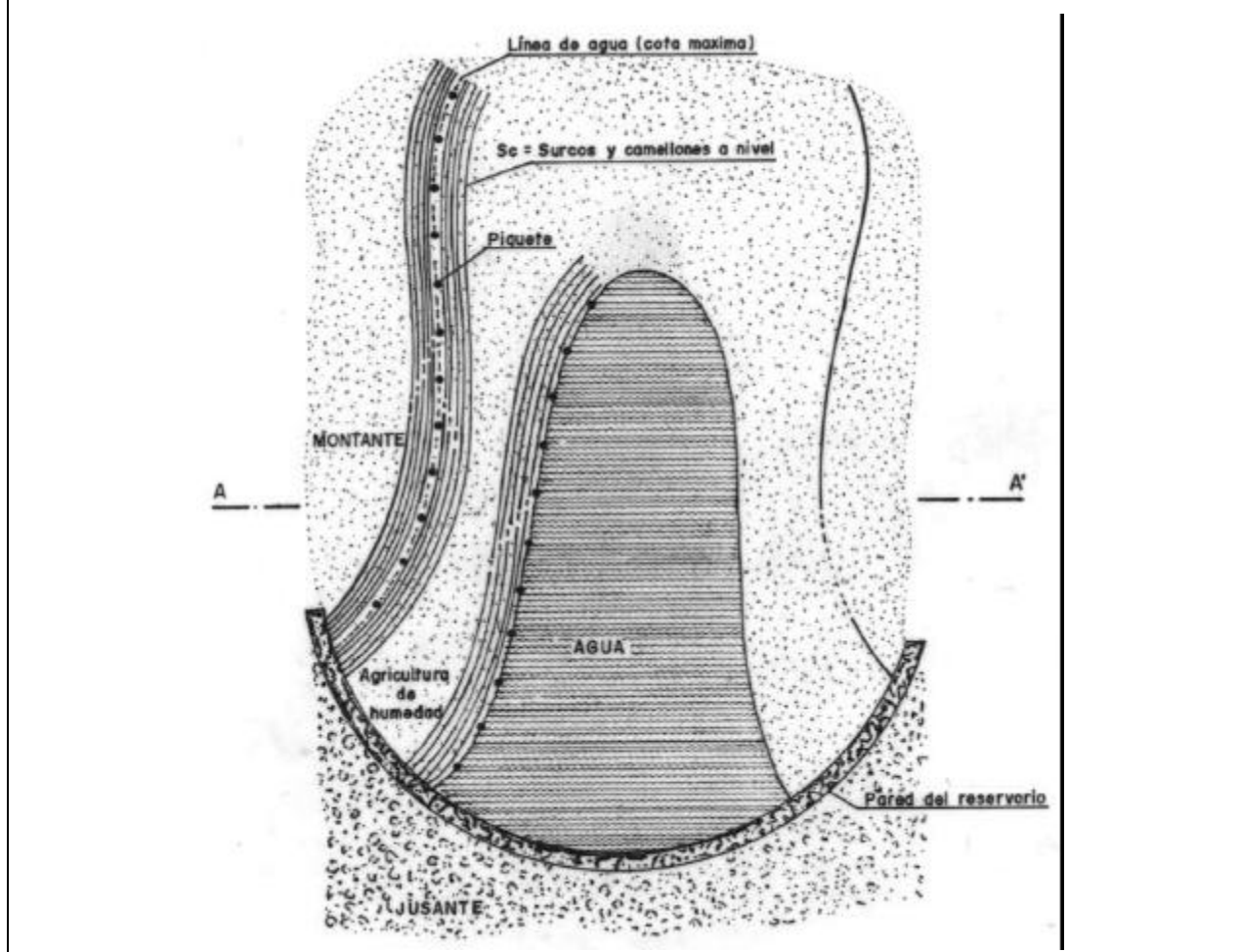
### Trazo

Para demarcar la curva de nivel que servirá de guía para el trazo de los surcos y camellones, basta con seguir la curva natural descrita por el nivel del agua cuando el reservorio o cauce se encuentra en su máxima capacidad, marcándola con estacas espaciadas 10 m, aproximadamente. El espaciamiento puede medirse efectuando un caminamiento por todo el contorno del cauce o del vaso hidráulico (del espejo de agua), marcando con estacas a cada diez pasos (**figura 57**), cuidando que queden bien colocadas para garantizar su permanencia hasta que el nivel del agua descienda. La **figura 58**, presenta un corte del área de siembra del Sistema de Aprovechamiento de la Escorrentía Superficial, por medio de Embalses Subterráneos.

### Construcción

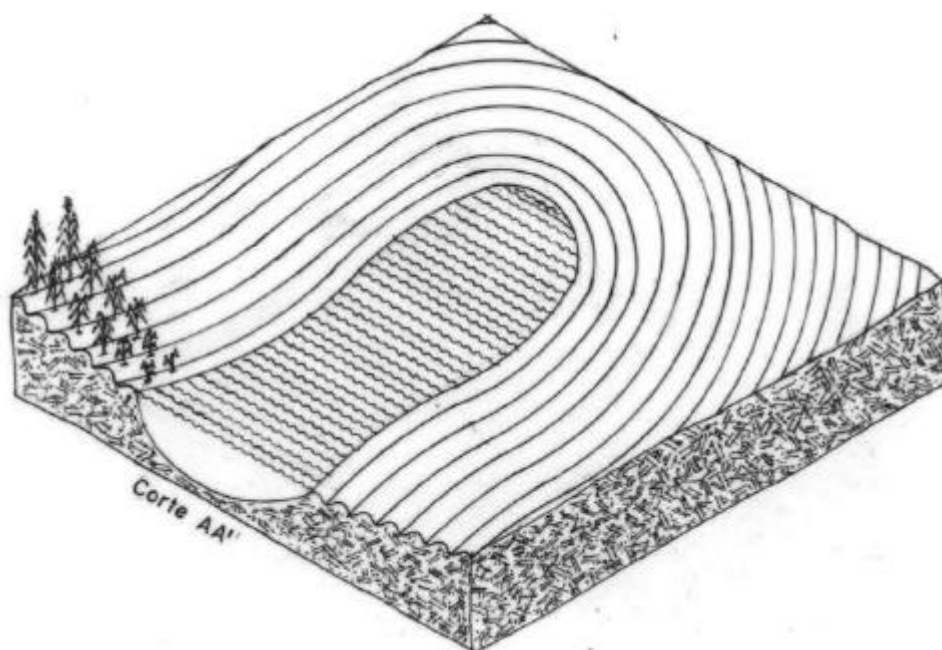
Con la disminución del nivel del agua en el reservorio o cauce, el espejo de agua se reduce, descubriendo el suelo, en un proceso continuo. Tres semanas después, la demarcación de la curva de nivel ha sido expuesta en una faja de, aproximadamente, 5 a 10 m de ancho. Siguiendo la línea de estacas con un azadón, se empieza la construcción de los surcos y camellones y, por consiguiente, la siembra; procedimiento que continúa hasta el inicio del nuevo período de lluvias. Esto quiere decir, que el agricultor puede sembrar durante toda la época seca, manteniendo los cultivos en diferentes etapas de desarrollo.

Figura 57. Modelo esquemático del sistema de explotación de agricultura de humedad en surcos y camellones a nivel, siguiendo el propio nivel de agua (CPATSA/EMBRAPA).



Es recomendable establecer una nueva línea base con estacas a cada 20 metros, dentro del área de cultivo. El largo de las líneas de cultivo depende de la topografía del terreno ocupado por el agua. Los surcos deben tener una profundidad de 0,20 m y los camellones, una altura de 0,30 m. La siembra y labores culturales se hacen de la misma manera que en cualquier otro terreno cultivado, recomendándose que la siembra se efectúe en la parte media de la altura del camellón (**figura 59**). También puede observarse la diferencia en el desarrollo fenológico de los cultivos; esto se debe a que la siembra se efectúa conforme el nivel del agua va descendiendo.

Figura 58. Corte transversal del área de siembra de un sistema de agricultura de humedad.



La principal ventaja que presenta este sistema, es que puede aplicarse riego complementario a través de un sistema de bombeo colocado en el inicio de los surcos. Como los surcos están a nivel, el agua recorrerá todo el perímetro de los mismos.

#### Mantenimiento

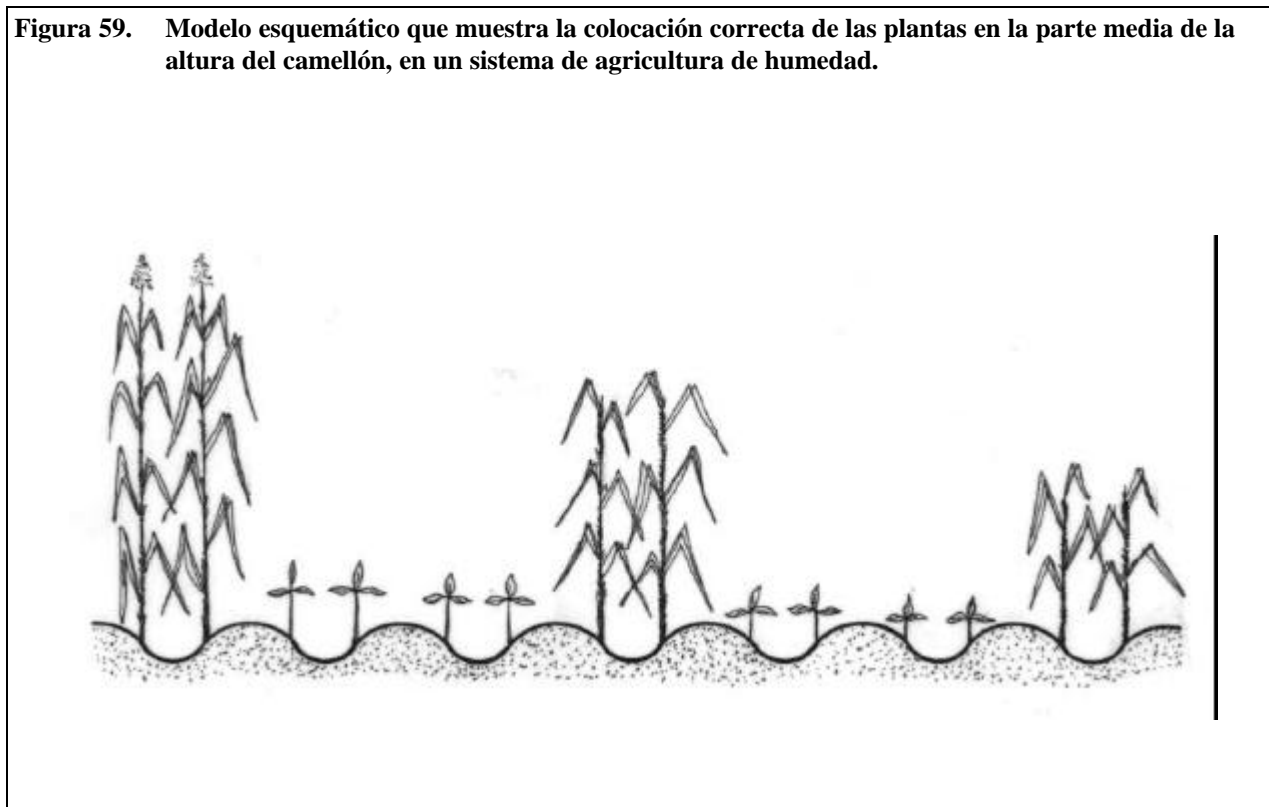
El sistema de agricultura de humedad residual, no exige ningún mantenimiento, en vista de que tiene que establecerse nuevamente cada año.

#### Potencial de producción

A través de la construcción de los camellones, el sistema permite un drenaje natural, depositando todo exceso de humedad en el fondo de los surcos; el estrés hídrico, que ocurre en la mitad del ciclo fenológico de los cultivos, también puede controlarse con la aplicación de riego suplementario. Por lo tanto, en experiencias desarrolladas por el Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), a nivel de agricultores, se logró incrementar la producción de camote (*Ipomoea batata*) en un 192%.

Con el proceso tradicional de cultivo, el agricultor logró obtener una producción de 5,5 ton/ha; con el sistema de agricultura de humedad residual con sistema de surcos y camellones, suministrándose dos riegos complementarios con una lámina de 30 mm cada uno, el mismo agricultor, explotando la misma área, obtuvo una producción de 16,1 ton/ha.

**Figura 59.** Modelo esquemático que muestra la colocación correcta de las plantas en la parte media de la altura del camellón, en un sistema de agricultura de humedad.



### Grado de complejidad

Esta tecnología es bastante simple; incluso, no requiere ningún tipo de equipo para el trazo de las curvas a nivel.

### Limitaciones

No es recomendable el establecimiento de la tecnología en aquellos embalses, lagos o cauces de ríos que tengan un grado acentuado de pendiente, principalmente en dirección a las orillas. Tampoco se recomienda para aquellos reservorios que presenten suelos no aptos para cultivos.

El sistema requiere el uso de una motobomba para efectuar el riego suplementario, por lo tanto, es necesario verificar la rentabilidad de la tecnología para áreas menores a 1 ha.

## ***Impactos Socioeconómico y Ambiental***

### *Costo y retorno*

El **cuadro 22**, presenta los costos y retornos para la implantación del sistema de aprovechamiento de la humedad residual en reservorios, en arreglo de surcos y camellones, en una extensión de 1 ha. Como la implantación del sistema debe hacerse todos los años, no existen costos de inversión para su construcción; solamente en la compra de la bomba y cierta cantidad de manguera para efectuar el riego complementario. De acuerdo a este cuadro, la renta neta es de \$EE.UU. 1 154,0/ha/año, durante los dos primeros años; luego este ingreso disminuye a \$EE.UU. 964,9/ha/año.

### *Generación de empleo*

La demanda anual de mano de obra para la explotación de 1 ha con este sistema es de 221 hombres/día.

### *Sostenibilidad*

El sistema es considerado sostenible; pero, es importante recalcar que, como debe ser implantado en la vaso hidráulico del reservorio; y que muchas veces, esta agua se utiliza hasta para el consumo humano, no deben aplicarse productos agroquímicos para el manejo de los cultivos.

## ***Descripción de casos***

### *Lugar y fecha*

Esta tecnología ha sido muy utilizada en el nordeste de Brasil. Desde el inicio de los años ochenta, el servicio de Asistencia Técnica y Extensión del Gobierno, ha trabajado en la divulgación de la misma. Hoy, existe una buena experiencia en las regiones áridas de los Estados de Pernambuco, Paraíba, Río Grande do Norte y Ceará.

### *Resultados en la producción*

Se han reportado incrementos en la producción, por arriba del 200%. En la mayoría de los casos, principalmente en el lugar llamado Serido, de Río Grande del Norte, los agricultores han incorporado al suelo, el estiércol del ganado.

**Cuadro 22. Costo total y rendimiento anual del sistema de aprovechamiento de humedad residual de reservorios y ríos a través de surcos y camellones en cultivos anuales.**

<b>Detalles:</b>			
<b>Cultivo: Camote (<i>Ipomoea batata</i>)</b>			
Rendimiento base:	15000,0 kg/pie	Area total:	1,0 ha
Distancia entre hileras:	1,0 m	Valor dólar EE.UU.:	1,0 R\$*
Distancia entre plantas:	0,2 m	Valor dólar EE.UU.:	,0 -Q-
Período de financiamiento:	15 años	Intereses (año)	8%
		Período de gracia:	3 años

Actividad	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (R\$)	Valor Total (R\$)	Valor Total \$EE.UU	Valor Total (-Q-)
<b>1. Costos de Inversiones:</b>						
1.1 Mano de obra/uso de implementos:						
		<b>Sub-total</b>		<b>,0</b>	<b>,0</b>	<b>,0</b>
1.2 Materiales						
• Moto-Bomba 3,5 HP (gasolina)	Ud	1,0	1300,0	1300,0	1300,0	,0
• Manguera flexible de 1,5 ”	m	50,0	2,5	2,5	2,5	,0
		<b>Sub-total</b>		<b>1425,0</b>	<b>1425,0</b>	<b>,0</b>
<b>Costo total de la inversión</b>				<b>1425,0</b>	<b>1425,0</b>	<b>,0</b>
<b>2. Costos Agrícolas:</b>						
2.1 Insumos:						
• Esqueje de camote	Kg	500,0	,1	50,0	50,0	,0
• Gasolina	galón	50,0	1,5	75,0	75,0	,0
<b>Total costo insumos</b>				<b>32,8</b>	<b>32,8</b>	<b>,0</b>
2.3 Mano de obra/uso implementos:						
• Trazo de curva a nivel base	hom/día	1,0	1,0	1,0	1,0	,0
• Construcción de surcos y camellones	hom/día	150,0	1,0	150,0	150,0	,0
• Siembra	hom/día	5,0	1,0	5,0	5,0	,0
• Riego	hom/día	45,0	1,0	45,0	45,0	,0
• Limpias	hom/día	10,0	1,0	10,0	10,0	,0
• Cosecha	hom/día	10,0	1,0	10,0	10,0	,0
<b>Total costo mano de obra</b>				<b>221,0</b>	<b>221,0</b>	<b>,0</b>
<b>3. Costo:</b>						
3.1 Total (inversión + costo año 1)				1771,0	1771,0	,0
3.2 Anual (inversión + costo año 1)				535,1	535,0	,0

(Continuación cuadro 22)

4. Rendimiento Anual:	Precio/kg			Kg/área cultivada				
	R\$	\$EE UU.	-Q-	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
4.1 Producción								

Camote	,1	,1	,0	15000,0	15000,0	15000,0	15000,0	15000,0
4.2 Renta bruta total								
En R\$				1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0
En US\$				1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0
En moneda local -Q-				,0	,0	,0	,0	,0
4.3 Renta Neta								
En R\$				1154,0	1154,0	964,9	964,9	964,9
En \$EE.UU.				1154,0	1154,0	964,9	964,9	964,9
En moneda local -				,0	,0	,0	,0	,0
Q-								
								Total Anual
<b>5. Generación de empleo:</b>								
5.1 Utilización de mano de obra						Area total		Por m2
En la implant. del sistema			hom./día			,0		,00
En el mantenim. y labores culturales			hom./día			221,0		,02

R\$ es la moneda oficial de Brasil

#### Dirección para consultas

EMBRAPA-CPATSA

Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido

Caixa Postal 23

56300 000 - Petrolina, PE, Brasil

Teléfono: (081) 961 4411

Fax: (081) 961 5681