

EMBALSE PARA RIEGO DE SALVACIÓN, BRASIL

Aderaldo de Souza Silva, Ing. Agr. M.Sc. Investigador en Manejo de Suelo y Agua;
Everaldo Rocha Porto, Ing. Agr. Ph.D. Investigador en Manejo de Suelo y Agua;
Francisco Pinheiro de Araujo, Ing. Agr. B.Sc. Especialista en Transferencia de Tecnología.
EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE, Brasil.
Saúl Pérez Arana, Ing. Agr. Especialista en Cosecha de Agua de Lluvia;
DIRYA-DIGESA, Guatemala.

Antecedentes históricos

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

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

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

Aspectos técnicos

Descripción

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

Área de captación (Ac)

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

Tanque de almacenamiento (Ta) o embalse

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

Área de siembra (As)

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

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

Objetivo

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

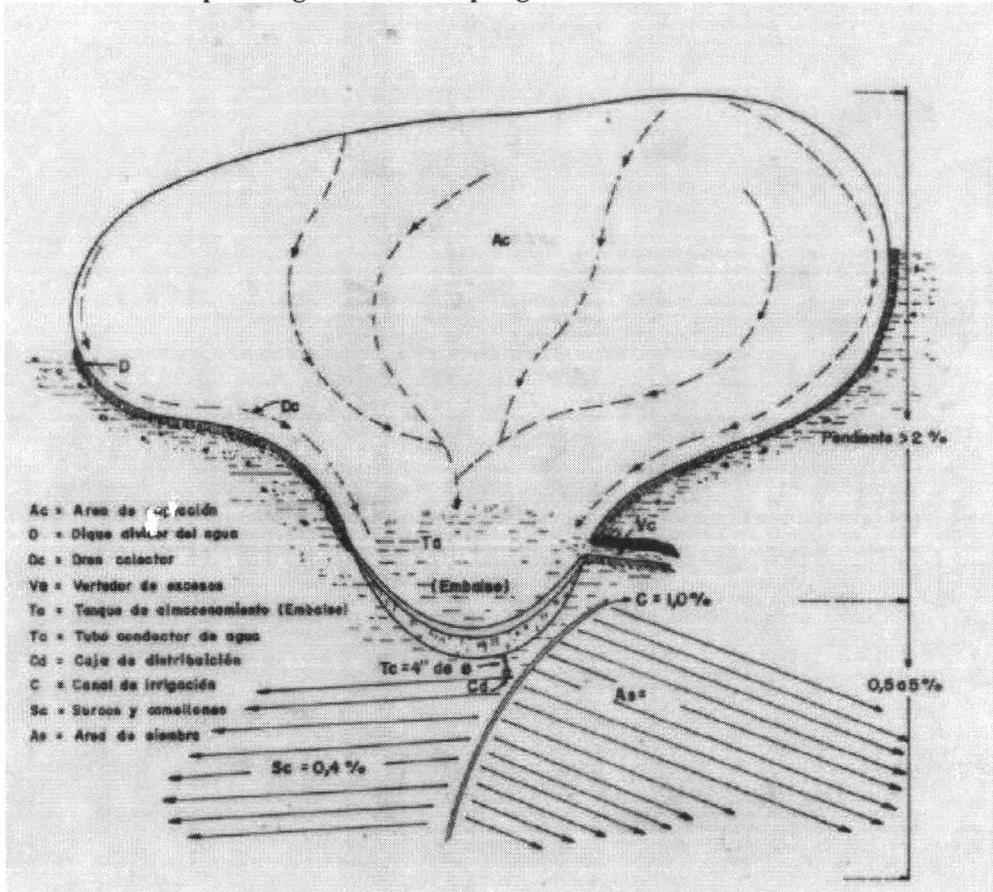
Ubicación y selección del área

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

Suelo

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

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



Clima

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

Topografía

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

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

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

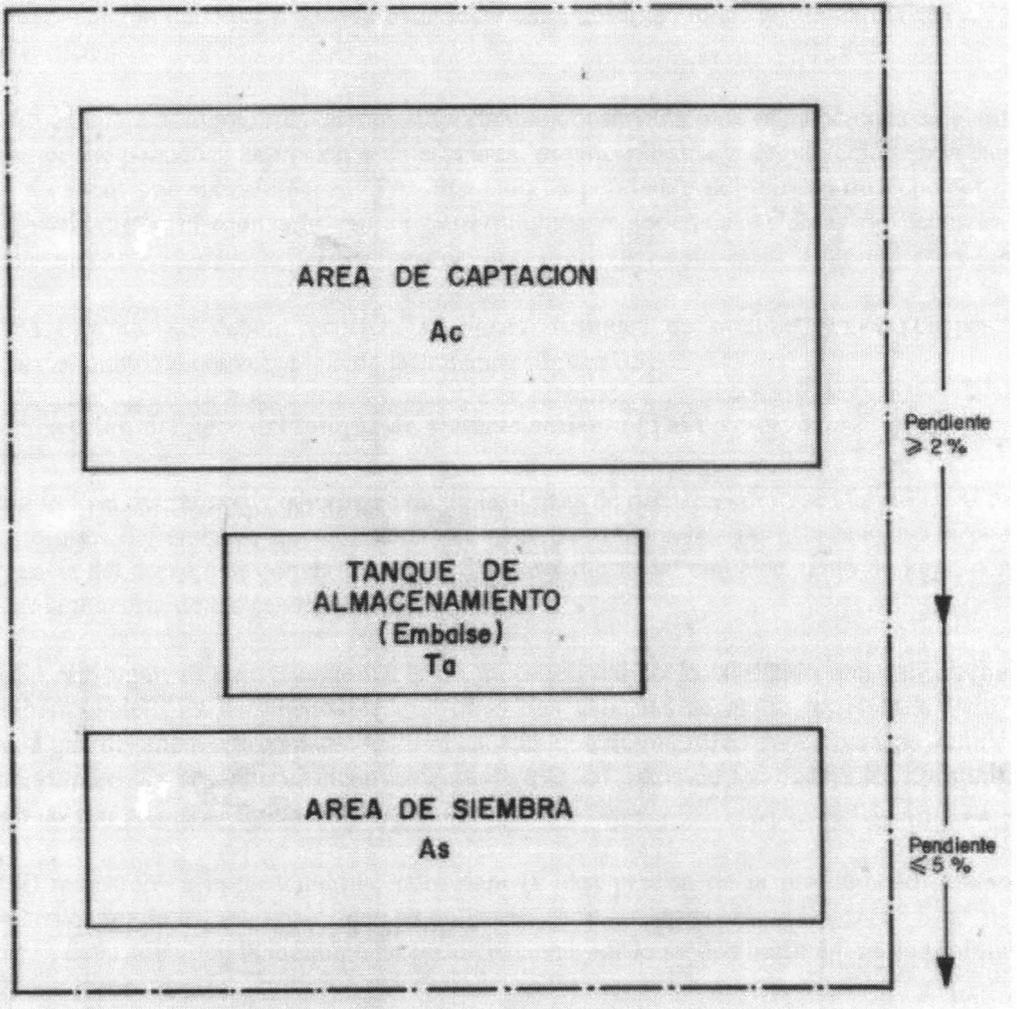
Se debe visualizar un terreno con pendiente suficiente para distribuir ordenadamente las áreas de captación, almacenamiento y siembra. Es importante que esta secuencia ocurra en el sentido de la pendiente, fijando el área de captación en la parte más elevada; el tanque de almacenamiento en la parte intermedia;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

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

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

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

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



A. Selección del área de captación (Ac)

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

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

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

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

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

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

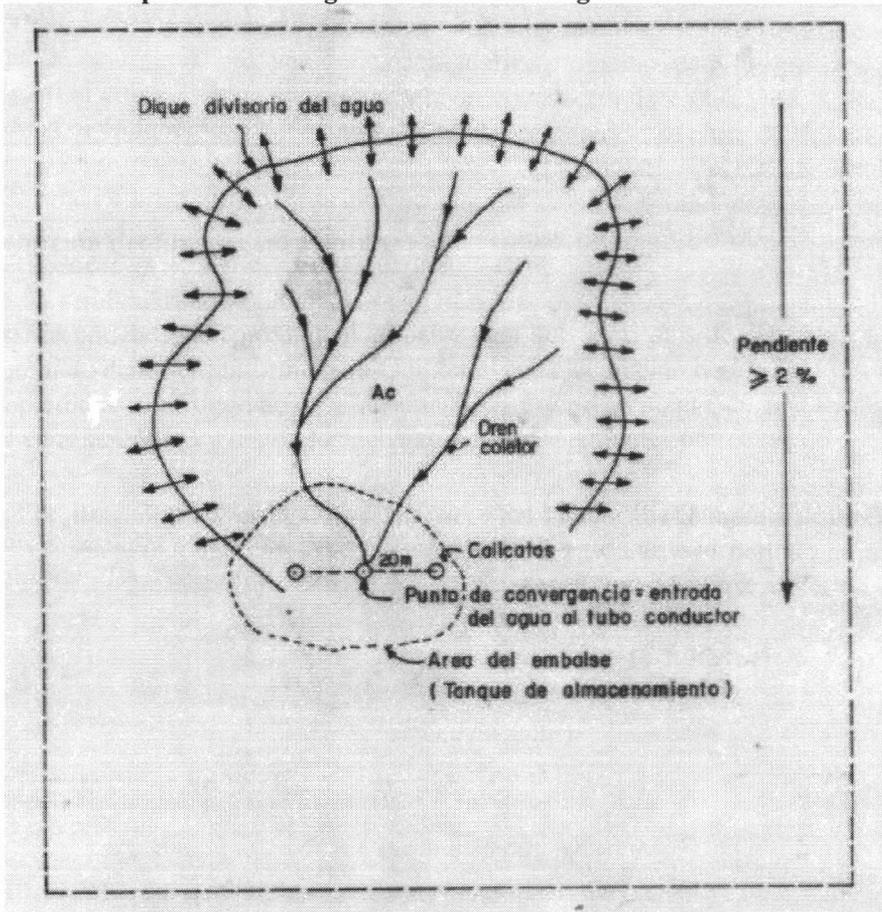
El muestreo es imprescindible, pues dará la idea precisa de la profundidad máxima del embalse así como de los materiales que se utilizarán en la construcción de la pared. Si al abrir las calicatas se determina que la máquina no puede excavar por lo menos hasta 1,0 m de profundidad, el área debe eliminarse.

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

C. Selección del área de siembra (As)

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

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



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

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

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

Diseños

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

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

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

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

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

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

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

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

donde:

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

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

Por consiguiente, se tiene:

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

$$Ac = 37\,500\text{ m}^2$$

$$Ac = 3,75\text{ ha} \gg 3,8\text{ ha}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$L_x = AP + PE - DN$$

Sustituyendo, se tiene:

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

$$L_x = 3,5m$$

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

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

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

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

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

$$Area = \frac{3\,000,0m^3}{1,75m} \gg 1\,714,0m^2$$

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

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

de donde:

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

$$R = \sqrt{\frac{1\,714m^2 \times 2}{3,1416}}$$

$$R = 33,0\ metros$$

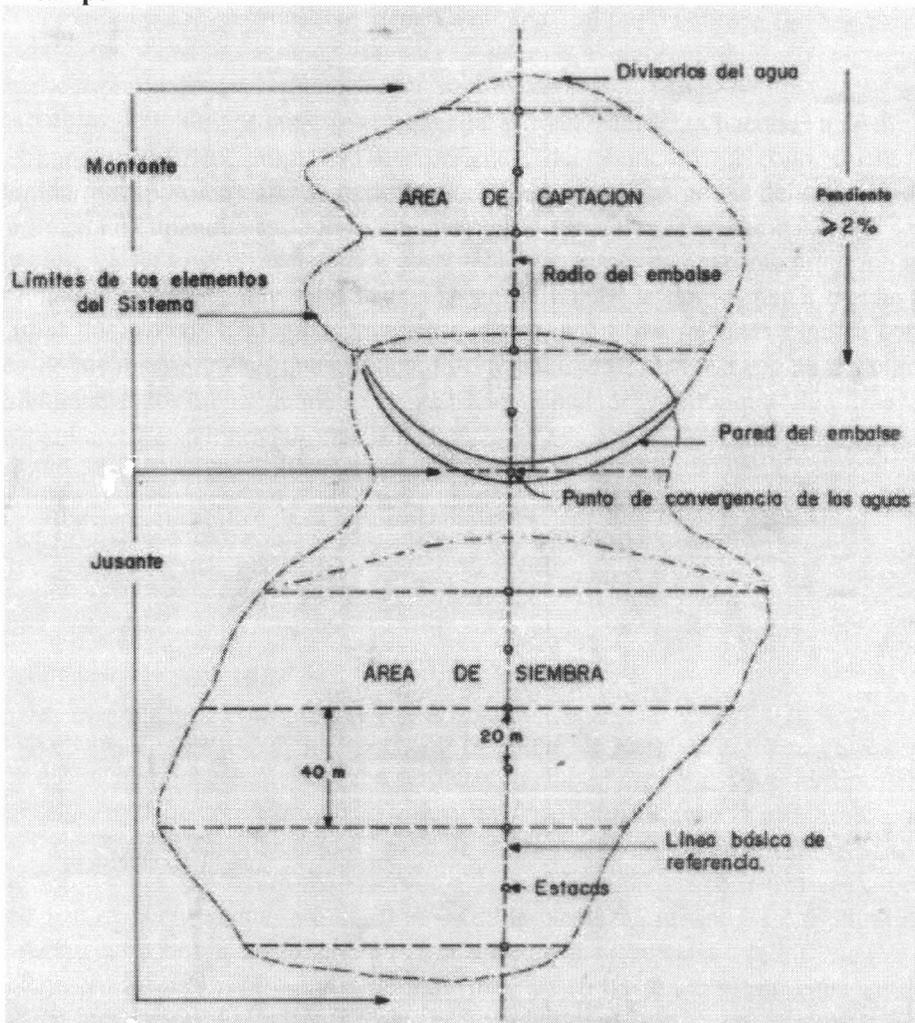
Considerando un incremento del 10%, se tiene que el reservorio debe ser un semicírculo con radio de 36 metros.

Trazo

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

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

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



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

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

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

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

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

Construcción

Tanque de almacenamiento (Ta)

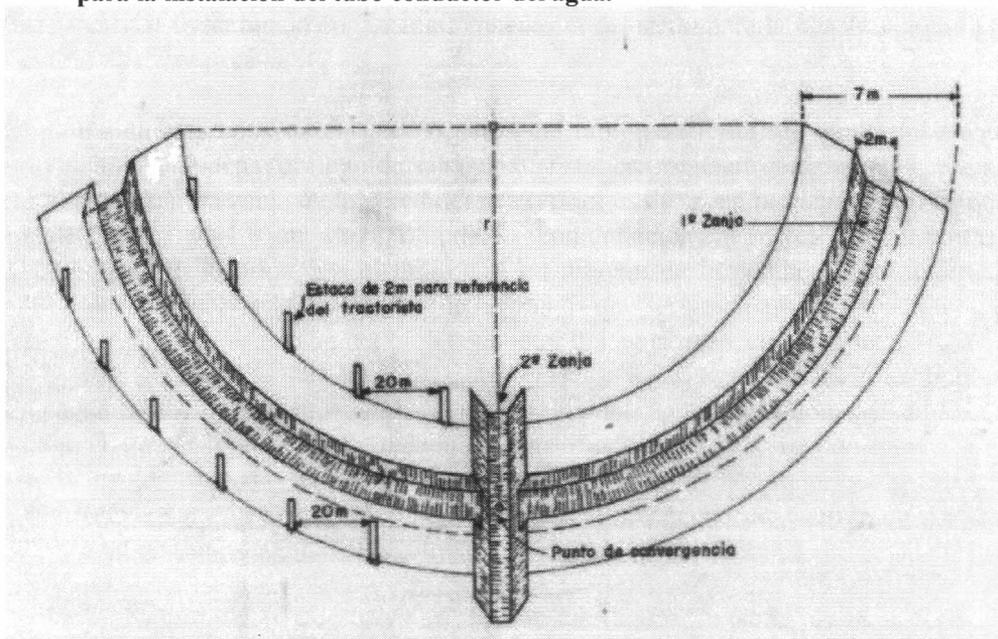
El primer elemento a construir es el reservorio o tanque de almacenamiento. Si es necesario, toda el área destinada para el sistema debe ser desmontada; el área que se cubrirá por el agua y la pared del reservorio debe ser desmontada y destroncada, eliminándose la primera capa del suelo de 0,0 a 0,20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

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

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

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

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



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

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

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

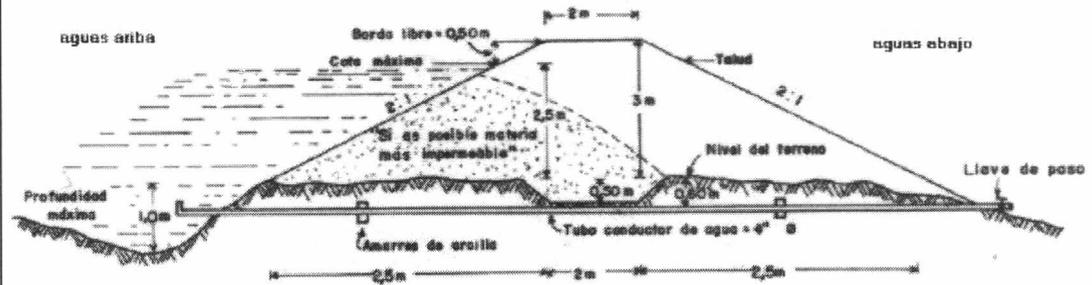
Instalado el tubo conductor de agua, se inicia la construcción del dique del embalse con tierra de textura fina (del propio fondo del reservorio), sobreponiéndose capas, no mayores a 0,20 m, iniciándose por la primera zanja abierta. Estas capas finas y la máquina pasando por encima de ellas aseguran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

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

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

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

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



la corona del embalse.

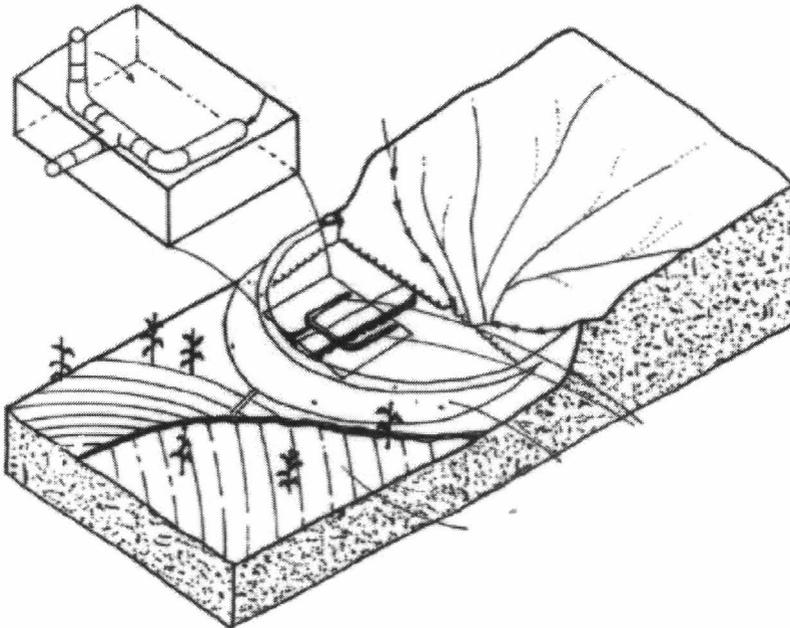
Area de siembra (As)

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

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

El canal de riego

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



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

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

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

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

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

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

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

Mantenimiento

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

Potencial de producción

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

Grado de complejidad

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

Limitaciones

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

Impactos socioeconómico y ambiental

Costos y retornos

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

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

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

Generación de empleo

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

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

Sostenibilidad

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

Descripción de casos

Lugar y fecha

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

Características del lugar y de las técnicas aplicadas

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

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

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

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

(Continuación cuadro 13)

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

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

R\$ es la moneda oficial de Brasil

Dirección para consultas

EMBRAPA-CPATSA

Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido

Caixa Postal 23

56300 000 - Petrolina, PE, Brasil

Teléfono: (081) 961 4411

Fax: (081) 961 5631