

Construcción y supervisión de reservorios para captación de escorrentía



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Cooperación Suiza
en América Central



Soluciones for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Construcción y supervisión de reservorios para captación de escorrentía

MEFCCA
COSUDE, CATIE

Nicaragua, 2018

Contenido

Introducción	3
Glosario	4
Replanteo en el terreno	6
Preparación del área del reservorio	7
Limpieza	7
Trazado y niveles	8
Movimiento de tierra	10
Movimiento de tierra con maquinaria	11
Movimiento de tierra con tracción animal	13
Movimiento de tierra de forma manual	14
Colocación de la tubería de desagüe	15
Formación de taludes	18
Compactación	23
Formación de la corona	24
Construcción de la obra de toma	26
Construcción con material de concreto	26
Construcción con gaviones	28
Construcción del vertedero	29
Impermeabilización del vaso	31
Impermeabilización del vaso con lodo arcilloso	31
Impermeabilización del vaso con geomembrana	33
Impermeabilización del vaso con plástico negro	35
Instalación de la cerca perimetral	36
Supervisar la construcción de la obra	38
Supervisión de la calidad de materiales	39
Tuberías y accesorios	39
Válvulas	40
Limpieza, nivelado y remoción del suelo	40
Revestimiento o impermeabilización	41
Construcción de la obra de toma	42
Vertedero	42
Cerco de alambre de púas	42
Bibliografía	43

Introducción

En el Corredor Seco Mesoamericano (zonas bajas de la vertiente del Pacífico y parte de la región central menor a 800 msnm de El Salvador, Honduras, Guatemala, Nicaragua y Guanacaste - Costa Rica) la oferta de agua es más escasa; esto es un factor limitante para la salud humana, la agricultura, el desarrollo y la estabilidad social de la población. En muchas zonas rurales áridas y semiáridas de esta zona, el ahorro de agua es una opción respetuosa con el ambiente, pero insuficiente. Aquí se vuelve urgente y complementaria la actividad de cosechar agua, es decir, recolectar o captar agua de lluvia y de la escorrentía en un depósito o embalse para posteriormente usarla.

Durante la XII Conferencia del *International Rainwater Catchments Systems Association*, realizada en Nueva Delhi, en 2005, los expertos mundiales coincidieron en que un adecuado manejo del agua de lluvia es una opción real para mitigar los efectos de las sequías, las inundaciones y el aumento de la temperatura mundial por efecto del cambio climático. Este manejo permite, además, reducir los niveles de extracción de agua de los acuíferos, ayudando a estabilizar sus mantos freáticos.

Los sistemas de cosecha de agua o reservorios de agua son tecnologías relativamente simples, de pequeña escala y bajo costo que causan pocos daños al medio ambiente. Se diseñan para captar y usar agua de lluvia, así disminuyen los costos de abastecimiento y la producción agropecuaria en áreas rurales.

Aunque no se considera un trabajo complejo de ingeniería, la construcción de reservorios demanda experiencia y conocimientos técnicos. Los reservorios no tienen muchas variantes ni diseños específicos para cada zona. Sus diferencias son, principalmente, materiales usados para impermeabilización, o formas del reservorio en función de las condiciones del terreno.

En esta guía, presentamos el paso a paso de la construcción de reservorios de agua, de forma práctica y sencilla. Hay temas que requieren cierto nivel de conocimientos técnicos, por ejemplo, cuando es necesario hacer cálculos matemáticos. En estos casos, abordamos el tema con ejemplos, y en otros casos, sugerimos hacer las consultas con especialistas, para que nada quede sin comprenderse.

Glosario

Acuífero: formación geológica natural que guarda agua.

Aridez: condición climática permanente en la que predomina una muy baja precipitación anual o estacional.

Cambio climático: es un cambio de clima atribuido, directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables, según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Concreto ciclópeo: cimentación compuesta por concreto simple en cuya masa se incorporan piedras grandes o bloques que no contienen armadura.

Corredor seco: define a un grupo de ecosistemas que se combinan en la ecorregión del bosque tropical seco de Centroamérica en la vertiente pacífica, abarcando gran parte de la región central premontaña de El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Guanacaste en Costa Rica y el Arco Seco de Panamá.

Cosechar agua: recolección de agua precipitada y de escorrentía superficial en un reservorio para su posterior uso.

Cuenca hidrográfica: es la superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye a través de corrientes, ríos y lagos hacia el mar por una desembocadura única, estuario o delta.

Escorrentía: en este documento se refiere a la lámina de agua proveniente de la lluvia que se desliza cuesta abajo sobre la superficie del suelo.

Geomembranas: son láminas geosintéticas impermeables que estancan los líquidos. Uno de sus principales usos es evitar la pérdida por infiltración en vertederos, balsas, canales, lagos ornamentales, reservorios, etc.

Manto freático: capa de agua subterránea libre, estancada o en circulación procedente de la infiltración de agua en terrenos permeables y porosos.

Medios de vida: son el sustento de una persona que le permiten asegurar sus necesidades vitales. Incluyen recursos materiales y sociales.

Mitigación: medidas estructurales y no estructurales adoptadas o previstas para limitar el impacto adverso de los riesgos.

Perímetro: contorno del reservorio.

Perfil altimétrico: determinación de las cotas o altura de un punto con referencia al nivel del mar o a otro punto en el plano, establece los altibajos del terreno.

Prevención: actividades y medidas previstas con anticipación para asegurar una respuesta eficaz a una situación potencial de riesgo.

Recarga: es la porción de lluvia o del caudal del río que se filtra a través del suelo hasta alcanzar una masa de agua subterránea.

Reservorio: depósito o estructura de tierra impermeabilizada que capta agua de lluvia directa y de escorrentía en un lugar determinado.

Sequía: rasgo recurrente del clima que se caracteriza por la escasez temporal del agua.

Sequía hidrológica: disminución en la alimentación a los sistemas hidrológicos superficiales y subterráneos.

Sequía agronómica: para la agricultura de secano es el déficit de humedad de la tierra que sigue a una sequía meteorológica y que produce impactos negativos en la cosecha o en el crecimiento de la vegetación. Para la agricultura de regadío es la escasez de agua que abastece los sistemas de riego debido a la sequía en las aguas superficiales o subterráneas.

Subcuenca: superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye a través de corrientes, ríos y lagos hacia un curso de agua, que puede ser un lago, embalse o una confluencia de ríos.

Talud: superficie inclinada respecto a la horizontal de una masa de tierra, que puede ser natural o producto de una actividad de excavación o corte de material, o bien resultado de la conformación de un terraplén, como es el caso de los diques de un reservorio de cosecha de agua.

Replanteo en el terreno

Antes de comenzar el proceso de construcción, se realiza un replanteo de la obra en el terreno; se revisa que cada detalle del diseño elaborado previamente (ver **Guía 2: Diseño de sitios para sistemas de captación de escorrentía**), es factible de realizar en las condiciones reales del terreno.

En el mejor de los casos, el replanteo sirve para realizar correcciones de diseño, verificar pendientes, confirmar la impermeabilidad del suelo, determinar el tamaño y la forma del reservorio, el lugar de emplazamiento de la obra de toma y del aliviadero, los obstáculos que presenta el terreno y otros detalles que ayuden a una adecuada construcción de la obra.

Siempre se procura ubicar el reservorio en un sitio que evite la necesidad de bombear el agua hacia el área de cultivo o del abrevadero, o que represente riesgos por derrumbe o desbordamiento.

El punto seleccionado debe permitir la construcción del reservorio haciendo la menor inversión posible en la excavación y formación de taludes. La presencia de rocas, grava o arena puede provocar una excesiva infiltración y serios problemas para colocar plástico o geomembrana de impermeabilización del vaso.

La experiencia brasileña de EMBRAPA (2005 p, 103), sugiere construir reservorios de forma semicircular, ya que su construcción es más práctica, porque se reduce el movimiento de tierra y el tiempo de trabajo de la maquinaria. En trabajos desarrollados en el semiárido brasileño, se comprobó una reducción de 15 horas de trabajo de la maquinaria cuando se construyeron reservorios semicirculares, en comparaciones hechas con reservorios rectangulares.



Preparación del área del reservorio

Limpieza

En caso necesario el área donde se construirá el reservorio debe ser desmontada, destroncada y limpiada de piedras. Se puede usar palas, motosierras y hasta retroexcavadoras donde haya piedras grandes y raíces.

La tierra de la primera capa de suelo superficial (aproximadamente 20 cm de espesor) contiene pequeñas piedras y restos vegetales (raíces, ramas y troncos), los cuales comprometen la impermeabilidad y dificultan la compactación. Por tal razón, la primera capa de suelo no es apta para construir los taludes interiores. Esta tierra se guarda separada para colocarse después sobre los taludes exteriores y la corona y sembrar en ella una vegetación que proteja estas superficies de la erosión.





La medición de los altibajos del área y la medición y trazos del área para el reservorio, garantizan una labor apropiada de los que construyen la obra. Foto: CATIE.

Trazado y niveles

Se calcula un día/persona de trabajo para realizar el trazado y sacar los niveles del terreno. Los materiales requeridos son: un nivel de precisión, cal o ceniza y estacas de madera para medir, hacer los trazos y dibujar las curvas a nivel del reservorio.

El primer paso consiste en sacar un perfil altimétrico, es decir, se miden los altibajos del área. Para hacerlo, se traza una curva de nivel a la altura del piso del vertedero y otra curva de nivel a la altura máxima del reservorio.

Luego se hace el relevamiento planialtimétrico, que consiste en medir y trazar el área del vaso (área de excavación). Se toman como referencia los datos obtenidos durante la etapa de diseño, que son los que permitirán captar el volumen de escorrentía necesario. El trazado o "dibujo" del vaso se corona con una curva a nivel trazada un metro arriba de la altura superior del reservorio.



La medición y el trazado se complementan con la colocación de estacas para guiar el trabajo de los constructores de la obra. Foto: CATIE.

Al momento de dibujar el vaso, se debe tener en cuenta que, por cada metro de altura del talud o dique, se necesitarán 2.5 m de ancho de su base. Por ejemplo, un talud de 2 m de altura va a requerir una base de 5 m de ancho.

Cuando no contamos con un nivel de precisión, las curvas a nivel se trazan utilizando el nivel A. La medición del área del vaso o área de excavación se realiza de forma manual, utilizando cinta métrica y colocando estacas y cal o ceniza.

Independientemente de la forma de trazado, es necesario colocar una o varias estacas en el punto más bajo del sitio, para que al momento de hacer el movimiento de tierra se pueda identificar el espacio donde se levantará el talud o dique principal de la obra.

Para brindar una referencia al maquinista o personas que harán el movimiento de tierra de la altura que tendrá el dique o talud principal, se puede colocar una estaca marcada a la misma altura de la curva a nivel que señala la altura máxima del reservorio. En general, es conveniente poner señales que marquen la ubicación de cada parte del reservorio.

Movimiento de tierra

Este paso considera tres opciones de remoción de la tierra:

- Con pico y pala para obras menores a 100 m³.
- Con tracción animal en obras de hasta 1,000 m³.
- Con retroexcavadora, pala mecánica o topadora (“bulldozer”) para obras de mayor capacidad.

Para seleccionar alguna de estas alternativas, se consideran los recursos financieros disponibles para la inversión, el volumen de tierra a mover, la disponibilidad de mano de obra en la zona y la accesibilidad al sitio, especialmente cuando se prevé el uso de maquinaria pesada.

El área de trabajo debe estar seca durante la construcción del reservorio, especialmente cuando se trabaja con maquinaria pesada. El suelo removido se humedece solamente cuando se realizan las tareas o pases de compactación por capas de 15 a 20 cm de espesor.

La altura en el diseño de los taludes debe aumentarse al menos un 10% durante la colocación del material removido para compensar ese aumento con la compactación final de la obra.



Excavación y formación de taludes con maquinaria pesada. Foto: CATIE.



La remoción de las primeras capas de suelo debe hacerse en dirección al talud o dique principal para formarlos con este material removido. Foto: CATIE.

Movimiento de tierra con maquinaria

Después de la limpieza y el trazado del terreno, experiencias en Brasil y Chile aconsejan hacer un paso de rastra por toda el área del reservorio para aflojar el suelo. (EMBRAPA-CPATSA 2005, p, 107).

Luego comienza la fundación del reservorio, que consiste en abrir con la cuchilla del tractor o la retroexcavadora una zanja de 2,0 m de ancho por 50 cm de profundidad, comenzando desde el punto central más alto del sitio hasta el punto central del talud principal.

La EMBRAPA recomienda hacer esta primera excavación hasta encontrar una capa de terreno que ofrezca la mayor resistencia a la infiltración del agua (suelo arcilloso).

La excavación de 50 cm de profundidad más los 20 cm de suelo removidos durante la etapa de limpieza del terreno arrojan una profundidad total de 70 cm en el área seleccionada para el reservorio. Esta profundidad permite construir, para un reservorio circular con diámetro de 74 m, un vaso con capacidad de almacenamiento aproximada de 3,000 m³.



Para evitar que la máquina pierda mucho tiempo al abrir esta primera zanja y empujar el material desde el inicio de la excavación hasta el final de la obra, se excava por segmentos y se transporta el material hacia la base del talud aguas abajo.

Si el material removido es arcilloso, se puede usar para construir los taludes del reservorio.

El material removido de esta primera zanja se traslada al área del dique principal, pero sin compactarlo aún.

Movimiento de tierra con tracción animal

Esta opción requiere de ciertos implementos agrícolas desarrollados a comienzos del año 2000 por la Red Latinoamericana de Tracción Animal (RELATA, 2005 p, 11). Estos no se encuentran a la venta en el mercado, no obstante, se puede contratar a empresas metalmeccánicas que fueron capacitados por la red para que puedan seguir fabricando implementos bajo pedido.

El módulo está compuesto de arado cincel, pala niveladora, terraceador tiller, volcarreta y rodillo compactador. A estos se agregan palas, picos, barras, piochias y carretillas. Son necesarias una o dos yuntas de bueyes. La segunda se utiliza para tirar de la volcarreta, y trasladar el material que se remueve.



Proceso de construcción de reservorios usando tecnología de tracción animal. Fotos: Red Latinoamericana de Tracción Animal - RELATA-FAITAN-FUNICA.

El proceso de remoción con tracción animal sigue los mismos pasos que con maquinaria. Primero se excava una zanja de 2 m de ancho por 0.50 m de profundidad, usando la yunta de bueyes con el arado cincel. La excavación comienza en el punto central más alto del área trazada para el reservorio hasta el punto central donde se levantará el talud principal.

La segunda yunta de bueyes tirando de la volcarreta se encarga de trasladar el material removido hacia la zona del talud principal. Allí, los ayudantes riegan el material hasta formar una capa de 20 cm y la humedecen para permitir que una yunta de bueyes tirando del rodillo compactador pase sobre esta capa.

Cuando se ha terminado de abrir esta primera zanja, se preparan las condiciones para colocar la tubería de desagüe, tal como se describe en la página 15 de esta guía. Para la formación de taludes, se siguen los pasos de la página 18 de esta guía.

Movimiento de tierra de forma manual

Debido al gran volumen de tierra que se debe excavar, remover y trasladar, la construcción manual solo es aconsejable para obras de microcaptación o, en el mejor de los casos, cuando el sitio seleccionado solo requiere de la construcción de un talud o dique contenedor de esorrentía.

Dependiendo de la estructura del suelo, el rendimiento promedio de un hombre por día de trabajo de ocho horas es de 1.5 m³ de remoción de suelos.

El proceso de remoción manual sigue los mismos pasos que los dos anteriores. Primero se excava una zanja de 2 m de ancho por 0.50 m de profundidad, usando picos, piochas, azadones. La excavación comienza en el punto central más alto del área trazada para el reservorio hasta el punto central donde se levantará el talud principal.

El material removido se traslada en carretillas hacia la zona del talud principal. Allí, los ayudantes riegan el material hasta formar una capa de 20 cm y la humedecen. Esas mismas personas se encargan de compactar cada capa, usando apisonadoras.



Dependiendo de la estructura del suelo, el rendimiento promedio de un hombre por día de trabajo de ocho horas es de 1.5 m³ de remoción de suelos. Foto: CATIE.

Cuando se ha terminado de abrir esta primera zanja, se preparan las condiciones y materiales para colocar la tubería de desagüe, tal como se describe en el siguiente párrafo. Luego se formarán los taludes, siguiendo las recomendaciones de la página 18 de esta guía.

Colocación de la tubería de desagüe

Terminada esta primera zanja, el siguiente paso es la colocación de la tubería para sacar el agua almacenada en el reservorio hacia el área de cultivo y/o del abrevadero. Es conveniente usar tubos en vez de canales abiertos, para evitar pérdidas por infiltración.

Con la ayuda de una pala mecánica o de forma manual, se excava sobre la primera zanja una nueva zanja de 60 cm de ancho por 1 m de profundidad, comenzando desde el punto donde se instalará la obra de toma hacia la salida del dique o talud principal. Es necesario valorar cuál método –manual o con maquinaria- es más económico para abrir esta segunda zanja.



Excavación de la zanja. Foto: CATIE.



Instalación de la tubería. Foto: CATIE.



Instalación de la tubería. Foto: CATIE.



Compactación de la zanja para cubrir la tubería de agua. Foto: CATIE.

Luego se rellena esta segunda zanja con arcilla húmeda hasta que alcance una altura de 40 cm; seguidamente, en esta capa de relleno se abre una nueva zanja a nivel, de 30 cm de profundidad, y se coloca la tubería de conducción del agua.

Se recomienda usar tubería PVC de al menos 10 cm de diámetro (4 pulgadas de diámetro). Recuerde que el diámetro del tubo a usar dependerá del caudal de agua y de la presión a la que será sometido el tubo de conducción. Antes de rellenar la segunda zanja con material arcilloso, es necesario colocar un tapón en la entrada del tubo, para evitar que ingrese tierra.

Estos dos últimos pasos aseguran una diferencia de nivel de 90 cm entre el fondo del vaso y el tubo conductor para favorecer el flujo del agua hacia el exterior.

Finalmente, se procede a rellenar con arcilla y compactar el material, teniendo cuidado de no dañar la tubería. Debe agregar bastante agua para humedecer el material arcilloso y compactarlo muy bien.

En el punto donde comienza la tubería coloque una señal, por ejemplo, una estaca larga, para indicar que es el punto de construcción de la obra de toma.

Formación de taludes

Para la construcción de los taludes, se deben usar los materiales que tienen más del 40% de arcilla, a excepción de la arcilla expansiva, que sufre grandes cambios de volumen con los cambios de humedad (se expanden con la humedad y se contraen o rajan al secarse). No todos los terrenos arcillosos son apropiados para construir reservorios. Los materiales limo-arcillosos se erosionan fácilmente; los suelos arcillo-arenosos se agrietan al secarse.

Los materiales arenosos que tienen menos del 20% de arcilla no son apropiados para la construcción de taludes. En el Cuadro 1 se mencionan los materiales empleados.

Cuadro 1. Calidad de materiales empleados para construir reservorios

Materiales	Contenido de arcilla (%)	Calidad del material del cuerpo de presa
Arcilla	40 – 60	Buena. La superficie de la presa debe revestirse con algún tipo de protección.
Arcilla arenosa	20 – 40	Muy buena. No necesita medidas especiales.
Arena arcillosa	10 – 20	Regular. Necesita medidas especiales para detener la infiltración.
Arenas	menos de 20	Malo. No se admite para la construcción.

Fuente: Villamizar, 1999 (citado en MAG Costa Rica 2009, p, 34).

Con la ayuda de la maquinaria de construcción, del equipo de tracción animal o de las herramientas manuales se excava y remueve el resto de material, partiendo desde la orilla de la zanja hacia el área donde se levantarán el talud principal y los taludes secundarios.

Este es un proceso de remoción, traslado, colocación del material en el área de los taludes y compactación, que se repite desde el comienzo hasta que finaliza la obra. El material se traslada, se coloca en capas de 20 cm y se humedece. Luego, se compacta con maquinaria, equipo de tracción animal o herramientas de mano, hasta lograr la consistencia y compactación apropiada.

Excavación del vaso y formación de taludes. Fotos: CATIE.





Reservorio construido solamente por excavación del vaso y conformación de taludes y corona. En estos casos, la tierra removida no se utiliza para conformar taludes. Foto: CATIE.

Para garantizar una compactación efectiva de los taludes, es necesario humedecer el material antes que pase la compactadora sobre cada capa. Mientras más pase la máquina sobre cada capa, mayor será la compactación.

Para calcular cuánta tierra debe moverse con el propósito de conformar el talud principal, se usa la siguiente fórmula:

$$V = A \times L$$

Donde:

V = volumen de tierra en m^3

A = área transversal del muro

L = longitud del muro en metros

Por ejemplo, si se quiere construir un muro o talud trapezoidal como el que se muestra en la siguiente gráfica, con una longitud de 20 m y con las siguientes medidas de sus bases:

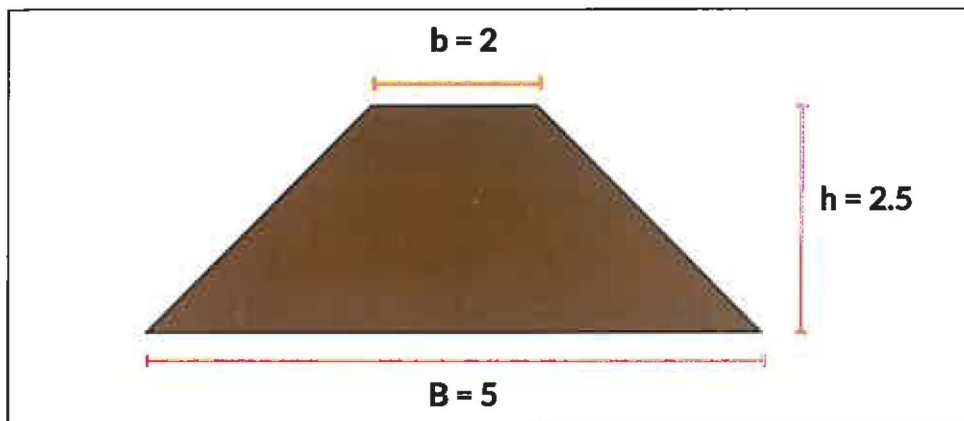


Figura 1. Talud para reservorio trapezoidal

Adaptado de Universidad Nacional de Costa Rica/CEMEDE (2010, p. 35)

Donde:

Base mayor (B) = 5 m

Base menor (b) = 2 m

Altura (h) = 2.5 m

El área del muro o talud transversal se calcula en base a la siguiente fórmula (UNA-CEMEDE, Costa Rica 2010, p, 36):

$$A = (V + b) \times \frac{h}{2} = (5 + 2) \times \frac{2.5}{2} = 7m^2$$

Ahora se calcula el volumen (V)

$$\begin{aligned} V &= A \times L \\ V &= 7 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m} \\ V &= 140 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Según datos proporcionados por la Universidad Nacional de Costa Rica/CEMEDE (2010), una retroexcavadora puede mover, en promedio, 25 m/hora de tierra. Sin embargo, como la construcción de taludes no solo consiste en la remoción de material, sino que se maniobra y se acomoda la tierra, ese promedio se multiplica por un factor de eficiencia de 0.60 para obtener un dato o un volumen más real:

$$25 \times 0.60 = 15 \text{ m/hora} = V_r \text{ (Volumen real)}$$

Con estos datos, el tiempo de elaboración de un dique con las medidas sugeridas anteriormente, sería el siguiente (UNA-CEMEDE, Costa Rica, p. 37):

$$T = \frac{\text{Volumen de tierra}}{\text{Volumen real}}$$

$$T = \frac{140\text{m}^3}{15\text{m}^3/\text{hora}}$$

T = 9.33 horas

T = 10 horas

A este tiempo se suman tres horas por limpieza de materia vegetal y cinco horas por compactación del talud, lo que suma un total de 18 horas para la elaboración completa de un talud con estas dimensiones.

El costo de este trabajo se obtiene multiplicando el número de horas (18 en este caso), por el costo/hora de la máquina. En algunos casos, el costo de la hora/máquina ya incluye su movilización hacia la finca. Téngase en consideración que, en algunos casos, el costo de movilización puede resultar mayor que el mismo trabajo de construcción.



El costo de operación de la maquinaria se debe sumar al costo de movilización hacia la finca, lo que incluso puede llegar a ser más caro. Foto: CATIE.



La compactación del piso y taludes se realiza con cada nueva capa de material colocado en su sitio correspondiente. Recuerde humedecer cada capa antes de compactarla. Foto: CATIE.

Compactación

La compactación mejora la capacidad de soporte y la estabilidad del terreno, elimina los espacios vacíos que se encuentran en el material y las deformaciones en el terreno y reduce los problemas asociados con la presencia de objetos punzantes como piedras, terrones o raíces. Esto evita que se dañe el plástico o la geomembrana usada para impermeabilizar el vaso.

Se pueden usar compactadoras de plancha, la misma maquinaria pasando sobre cada capa de suelo, el rodillo compactador con la yunta de bueyes o las apisonadoras manuales. La compactación se realiza con cada capa de material de 15 a 20 cm de espesor, colocado en los taludes y humedecido. Si se usa retroexcavadora, el maquinista golpea, como si fuera un mazo, la respectiva capa de material. Si es una topadora (“bulldozer”) el utilizado para la excavación, el conductor hará rodar la máquina sobre cada capa y, finalmente, sobre las paredes de los taludes. El rodillo compactador tirado con tracción animal se mueve sobre cada capa de material. Como tiene menor peso que la maquinaria, será necesario que pase una cantidad mayor de veces hasta que la compactación sea la deseada.

De la misma manera, se procederá para compactar el piso del vaso, movilizándolo la retroexcavadora, la topadora o el rodillo compactador, varias veces, hasta lograr el resultado deseado. Para ejecutar este paso, se recomienda poner una señal de aviso en el área donde se instalará la obra de toma, para no perder su ubicación.

Formación de la corona

El ancho de la corona o base menor (b) está dado por la altura o profundidad del reservorio. Mientras más profundo el vaso, más anchas serán la base mayor (B) y base menor (b) de los diques. Como regla general, EMBRAPA (2005, p, 109) recomienda una relación de 2.5 m en la base por cada metro de altura del talud o dique principal.

Para evitar que la corona acumule agua que pueda provocar daños al reservorio, se debe hacer un desnivel de unos 15 cm, partiendo desde el centro de la corona hacia los costados.

Además, hay que tener presente que en el centro de la corona se deberá construir un canal de 30 cm de profundidad, para el caso en que se deba impermeabilizar el vaso con plástico negro o con geomembrana. En ese canal se colocará la punta del plástico o la geomembrana, se cubrirá con tierra y se compactará de forma manual.

La compactación de la corona se realiza al finalizar la construcción del reservorio. Se puede utilizar una máquina manual compactadora de plancha, el rodillo compactador tirado con tracción animal o los apisonadores manuales.



Formación y compactación por capas de la corona con material arcilloso proveniente de la misma construcción del reservorio. Foto: CATIE.



Compactación de la corona con rodillo y tractor de oruga. Fotos: CATIE.

Cuando la corona tiene más de dos metros de ancho, se compacta haciendo varias pasadas con las ruedas de la retroexcavadora o las orugas del tractor.

Aunque tardío, este paso final de compactación puede ayudar a comprobar la calidad con la que han sido construidos los taludes o diques. Si el dique ha sido mal hecho, el peso de la maquinaria provocaría su colapso.

Construcción de la obra de toma

Construcción con material de concreto

La obra de toma es una caja de concreto reforzado con ladrillo o piedra bólón, que se construye donde comienza la tubería de conducción. Esta caja funciona como un retenedor de sedimentos que se acumulan en el piso del vaso, permitiendo solamente la salida de agua limpia hacia el exterior del reservorio. También, actúa como pared protectora de la tubería de entrada.



La obra de toma se construye a tres metros de distancia del borde inferior del talud aguas arriba. Se recomienda construir una caja de $1 \text{ m}^2 \times 0.70 \text{ m}$ de altura. Para darle buena estabilidad, la caja se debe enterrar 30 cm en el piso del vaso.

Luego se excava un hoyo hasta localizar la punta de la tubería de conducción, se instala un codo PVC con una extensión de tubo PVC hasta la mitad de altura de la obra de toma y se coloca un tapón temporal mientras comienzan las lluvias.

En el extremo exterior de la tubería de conducción se instala una llave de paso, conectada a su vez con la tubería que conducirá el agua hacia el área de cultivo y/o el abrevadero.

Se deben tomar precauciones con la tubería de entrada y salida del agua. La punta del tubo de entrada de agua debe quedar a una altura mínima de 20 cm con relación al piso del vaso, para que los sedimentos que puedan caer dentro de la obra de toma no obstruyan la tubería.

Si se busca reducir costos, es necesario cuidar que el extremo de la tubería por donde saldrá el agua descanse sobre el piso natural del terreno. Si esto no se puede dar, entonces habrá que construir un pequeño poste de concreto para descansar la tubería con su llave de paso.



Observe la ubicación de la obra de toma con respecto al dique principal y a la entrada de agua desde el área de reserva. Foto: CATIE.

Construcción con gaviones

En vez de concreto ciclópeo, la caja de la obra de toma se construye con una malla metálica de gaviones, para que actúen como filtros del agua que sale por la tubería hacia el exterior del reservorio.

La malla metálica de los gaviones en forma de caja tiene una dimensión de 1 m² x 70 cm de altura. De la parte baja de la caja se entierran 30 cm sobre el área donde fue colocada la punta de la tubería de salidas de agua.

Los otros 40 cm de la caja quedan al descubierto sobre la superficie del reservorio, para actuar como filtro artificial que cierra el paso a los sedimentos y solo deja pasar agua limpia a la tubería que conecta con el exterior del reservorio.

Para garantizar una vida útil de por lo menos 10 años, la malla metálica de los gaviones debe ser de acero calidad SAE 1008.

La ventaja de este sistema es que permite utilizar toda el agua de esorrentía recolectada en el reservorio. Sin embargo, este detalle trae en sí mismo una desventaja, y es que al dejarse completamente seco el piso del reservorio, se corre el riesgo que la capa de arcilla o el concreto ciclópeo usado para la impermeabilización se raje al secarse.

Si es plástico negro o geomembrana, se eleva el riesgo de que el sol más las elevadas temperaturas que registra en verano el corredor seco centroamericano, reduzcan dramáticamente su vida útil.

Construcción del vertedero

El vertedero de agua se construye en uno de los dos taludes laterales del reservorio (trapezoidal), o en uno de los dos costados superiores del reservorio semicircular, para evacuar los excesos de escorrentía y evitar que se dañe o destruya el reservorio.

El ancho y profundidad del vertedero se obtienen con la siguiente fórmula (MEFFCA-CATIE 2016):

$$Q = m \times b \times (\mu (2g)) \times \frac{H^3}{2}$$

Donde:

Q = caudal máximo instantáneo del área de recarga en m^3/s

m = coeficiente de vertedero

b = ancho del canal o abertura, en metros

g = aceleración de la gravedad ($9,81 m/s^2$)

H = carga sobre el vertedero, en metros



El vertedero se construye en uno de los costados, preferiblemente superiores, del reservorio para evacuar los excesos de escorrentía sin dañar la estructura. Foto: CATIE.



Construcción del vertedero. Fotos: CATIE.



Para un reservorio con capacidad para almacenar 3,000 m³, el vertedero apropiado tiene un ancho aproximado de 2 m x 50 cm de profundidad. El vertedero requiere tener la extensión suficiente para evacuar los excesos de escorrentía sin poner en riesgo los taludes del reservorio.

De manera general, la altura que recomiendan las experiencias de EMBRAPA (2006) y FAO (2005) es de 50 cm entre la corona y la base del vertedero.

La práctica de los últimos 30 años recomienda construir el vertedero de concreto ciclópeo, reforzado con piedra bolón o piedra de río, con el fin de

garantizar una vida útil de por lo menos 20 años.

Cuando el costo constituye una limitante, el vertedero se construye con piedra bolón y arcilla como sellador. Pero habrá que extremar los cuidados y repararlo de inmediato si llegaran a observarse daños.



El vertedero de concreto ciclópeo reforzado con piedra de río, puede tener una vida útil de alrededor de 20 años. Foto: CATIE.

Impermeabilización del vaso

Existen diversas opciones para impermeabilizar el vaso de los reservorios, estas dependen de factores, como el tipo de suelos, el tamaño, la ubicación y el propósito de la obra de captación, el monto de recursos económicos disponibles para invertir, etc. Los materiales más usados para invertir son el lodo arcilloso, el plástico negro, la geomembrana, los gaviones y el concreto.

En esta guía presentamos las tres opciones de impermeabilización más utilizadas para reservorios con capacidades menores a los 10,000 m³.

Impermeabilización del vaso con lodo arcilloso

El paso más importante para impermeabilizar el vaso con lodo arcilloso es la selección de arcilla apropiada. Cuando la tierra arcillosa está mojada, tiende a ser maleable (adquiere diferentes formas sin quebrarse), a tener plasticidad, a expandirse, pero cuando está seca es dura y quebradiza. Este fenómeno de expansión es mayor en arcillas que contienen *montmorilonita*, un mineral con capacidad para absorber mucha agua. Esta absorción se reduce a la mitad en el grupo arcilloso que contiene el mineral *illita* y tiene baja capacidad de absorción de agua el grupo de arcillas que contiene *caolinita* (arcilla blanca).

La experiencia constructiva del ser humano a lo largo de los siglos ha comprobado que los suelos arcillo-arenosos, en proporciones del 20% al 40% de arcilla, son los que dan los mejores resultados.

Cuando se usa esta mezcla, la arcilla igual se encoge al secarse, pero los huecos o poros que se forman pasan a ser ocupados por los finos granos de arena, produciéndose de esta manera una fuerte unión al juntarse ambos materiales.

Un buen sitio para obtener arcilla para impermeabilizar el vaso del reservorio es donde se forman charcos que tardan mucho tiempo en secarse. Siempre que se pueda, hay que hacer análisis de comprobación arcillosa de este suelo. Si el caso lo amerita, se debe corregir su composición agregando más arcilla o más arena.

Luego se prepara la arcilla para colocar una capa de 20 cm en todo el vaso del reservorio. Para ello, se necesitará 1 m³ de arcilla x cada 5 m² de superficie a impermeabilizar. En un reservorio con un área plana (vaso) de 1,000 m², el volumen de arcilla necesario será de 200 m³ (Figura 2).

Antes de compactar la capa arcillosa que impermeabiliza el vaso, es conveniente volver a humedecerla y luego compactarla manualmente, usando compactadoras mecánicas, el rodillo compactador tirado con tracción animal o apisonadores manuales de madera o cemento. La compactación con la retroexcavadora o el tractor no es muy aconsejable, debido a que la capa de arcilla húmeda se pega fácilmente a las ruedas o las orugas de la máquina.

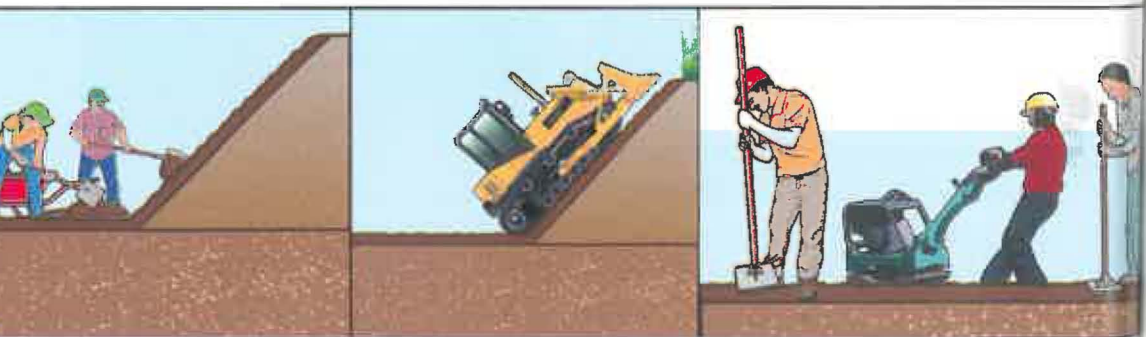


Figura 2. Colocación y compactación de arcilla. Fuente: CATIE.

Impermeabilización del vaso con geomembrana

La impermeabilización con geomembrana de 1 mm de espesor es cara pero de larga duración, debido a su alta resistencia a los agentes químicos y condiciones ambientales extremas como las del trópico seco. En Centroamérica, el precio del m² oscila entre USD 7.0 y USD 9.0. Un reservorio con un área plana de 1,000 m² (piso + paredes + área de anclaje en la corona), requerirá una inversión de USD 7,000 a USD 9,000 solo en este material.

El área plana de un reservorio rectangular se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Largo} \times \text{ancho} = \text{piso del reservorio}$$

$$\text{Ejemplo: } 20 \times 15 = 300 \text{ m}^2$$

$$\text{Largo} \times 2 \text{ (paredes)} \times 2 \text{ (altura)} = \text{Largo de paredes del reservorio}$$

$$\text{Ejemplo: } 25 \times 2 \times 2 = 100 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancho} \times 2 \text{ (paredes)} \times 2 \text{ (altura)} = \text{Ancho de paredes del reservorio}$$

$$\text{Ejemplo: } 20 \times 2 \times 2 = 80 \text{ m}^2$$

$$\text{Área del reservorio} = 300 + 100 + 80 = 480 \text{ m}^2$$

Se agrega el área circundante para el anclaje de la geomembrana en la corona. Aproximadamente 15 m².

Para un reservorio con estas características se requieren $480 + 15 = 495 \text{ m}^2$ de geomembrana.

Los materiales necesarios para la impermeabilización del vaso con geomembrana son: geomembrana negra lisa de 1 mm de espesor, máquina de fusión, máquina de sellado, soldadura para geo textil HD y cuchilla cartonera.

La geomembrana se puede comprar por rollos de diferentes medidas o se contrata con los fabricantes locales en base a las medidas apropiadas.

Antes de instalar el material, se abre una zanja de 30 cm de profundidad cerca de la mitad de la corona. Luego se coloca la punta de la geomembrana dentro de la zanja y se cubre con la misma tierra, para evitar que el viento o la escorrentía puedan levantarla y provocar daños a la estructura.

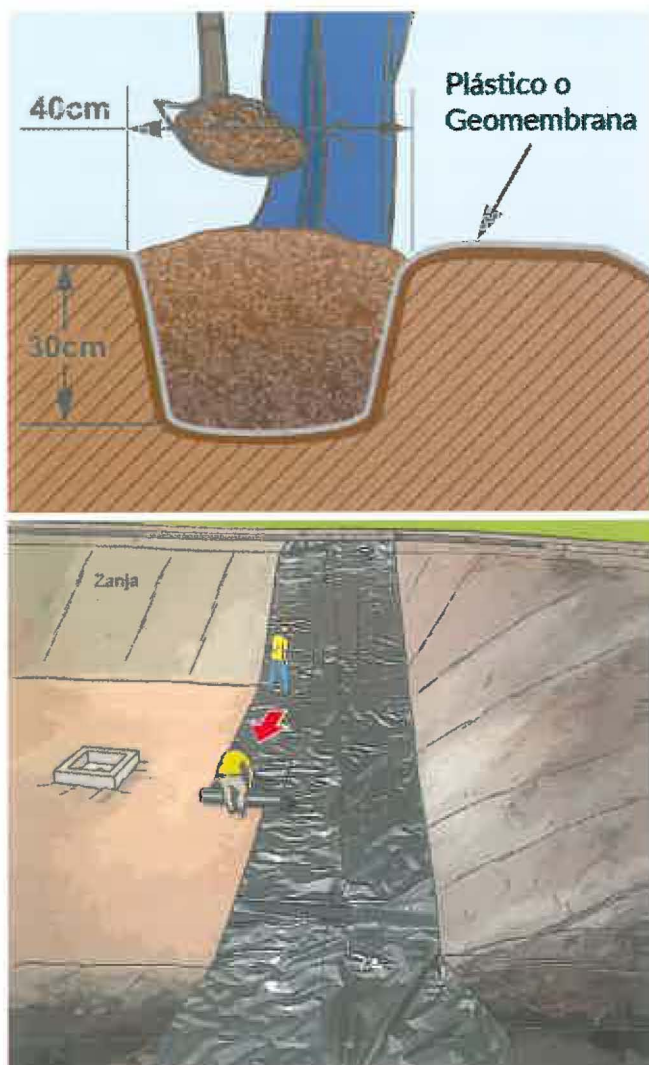


Figura 3. Colocación de plástico o geomembrana.
Fuente: CATIE.

Después se procede a desenrollar la geomembrana hasta llegar a la zanja del otro extremo de la corona. Se corta la parte sobrante del rollo, se introduce la punta en la zanja y se cubre con la tierra removida.

El mismo proceso se repite hasta cubrir totalmente el vaso del reservorio, teniendo la precaución de montar en las uniones aproximadamente unos 30 cm de geomembrana, para fusionarlas sellándolas con una máquina soldadora de cuña caliente, que trabaja a una temperatura de 420° C.

La colocación y fusión de la geomembrana se debe hacer en días secos, preferiblemente

a temperaturas medias, sin lluvia ni humedad ambiental. Esta advertencia se debe tomar en cuenta, porque las altas temperaturas dilatan la geomembrana y las bajas temperaturas la contraen (Figura 3).

En condiciones ambientales apropiadas, la geomembrana instalada se moldeará a la estructura y forma del reservorio.

Impermeabilización del vaso con plástico negro

Se utiliza plástico de 1 mm de espesor. Este material está disponible en el mercado local, en rollos de hasta 6 m de ancho, con un precio aproximado de USD 2.0 el metro.

La experiencia del Proyecto de Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático a través de la Cosecha de Agua en Nicaragua (MEFCCA, COSUDE, CATIE) en el uso de plástico negro en los reservorios construidos en 2016 y 2017 ha mostrado que este material no resiste las condiciones climáticas (alta temperatura, fuertes vientos) del trópico seco.

Sin embargo, si aún así decide utilizar plástico negro en vez de geomembrana o lodo arcilloso para impermeabilizar el área plana de 495 m² del mismo reservorio, utilice la siguiente fórmula para calcular los metros lineales que necesita.

$$\frac{495}{6} = 82.5 \text{ m lineales de plástico negro de 6 m de ancho}$$

$$\frac{\text{Área del reservorio (495m}^2\text{)}}{\text{ancho del plástico (6m)}} = \text{metros lineales de plástico a comprar}$$

El proceso de instalación es el mismo que con geomembrana. Primero, se abre una zanja de 30 cm de profundidad alrededor de la corona.

Luego, se coloca la punta del rollo de plástico negro dentro de la zanja, se rellena con tierra y se compacta para darle estabilidad y protegerla del viento y la escorrentía.

Seguidamente, se desenrolla el plástico en dirección a la corona del extremo opuesto hasta llegar a la zanja. Se corta el sobrante, se entierra la punta del plástico en la zanja para estabilizarlo.

El proceso se repite, montando cada lámina de plástico unos 30 cm sobre la siguiente y pegándolas con un sellador.



La cerca perimetral mantiene fuera del reservorio animales o personas no autorizadas, lo que significa tener agua de mejor calidad para realizar las labores planeadas. Fotos: CATIE.

Instalación de cerca perimetral

Para evitar accidentes por el ingreso de personas no autorizadas o de animales, se construye una cerca perimetral. La cerca debe colocarse a unos 2 m de distancia del perímetro del reservorio para facilitar la movilidad interna en las tareas de manejo. Se requieren postes de madera procesada de 1.5 m, alambre de púas y grapas.



El ganado no debe tener acceso directo al reservorio para evitar que enlode y ensucie el agua con sus excrementos y orina. Fotos: CATIE.

Los postes de madera procesada, con diámetro máximo de 15 cm, se colocan separados 3,0 m entre sí y enterrados a 60 cm de profundidad como mínimo. Se rellenan con el mismo material de excavación.

La cuerda inferior del cerco se coloca a una distancia uniforme del suelo. Los otros cuatro hilos de alambre se fijan paralelos, estirados y templados a la altura y espaciado señalados.

En los postes terminales y portones, el alambre de púas se envuelve alrededor del poste y se fija con tres grapas. En los demás postes se fija con una grapa por cada hilo. Es conveniente considerar la instalación de una puerta de acceso, hecha de madera y malla o madera y alambre de púas. Es aconsejable colocar una cerradura sencilla, para garantizar mayor seguridad.



La supervisión técnica comienza desde la revisión del diseño hasta finalizada la construcción y entregada debidamente la obra de captación de escorrentía. Foto: CATIE.

Supervisar la construcción de la obra

La supervisión es una labor eminentemente técnica. Se requiere de personal de la ingeniería civil o persona experimentada que funja como coordinadora técnica para dar seguimiento a todo el proceso de preparación, construcción y entrega del reservorio. La persona supervisora de la obra revisará presupuestos, planos constructivos, memorias de cálculo, materiales, el cronograma de ejecución físico financiero y cada paso del proceso constructivo.

La persona supervisora velará para que se cumplan con todos los requisitos técnicos, estructurales y ambientales establecidos entre el contratante y el contratista. El dueño de la finca o de la obra, puede colaborar en labores de vigilancia, pero no sustituye el trabajo del técnico encargado de la obra.

En las siguientes páginas, presentamos un resumen de los puntos claves que deben ser supervisados antes, durante y después de la construcción de reservorios.

Supervisión de la calidad de materiales

Los materiales que componen el concreto, dosis, mezcla, transporte seguro, colocación y curación deben ser inspeccionados para asegurarse que cumplan con los requerimientos para el transporte, almacenamiento y uso establecidos en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 12 006-11. En caso de diferencias de interpretación o insuficiencia de especificaciones, la persona supervisora deberá solucionar este problema.

El cemento debe ser Tipo I, con calidad y características uniformes. No se podrá utilizar el cemento en sacos que tengan más de 30 días de fabricación.

El agregado grueso para concreto debe ser de grava lavada de río, roca triturada o una combinación limpia, dura, sana y durable. Como norma general, se establece que pase por el tamiz de 1-1/2".

El agregado fino para hormigón será arena limpia. No se debe aceptar arena artificial o fabricada.

El agua que se emplee en la preparación de concreto o mortero de cemento debe ser limpia.

Para el concreto ciclópeo se deben incorporar piedras que no excedan de 30 cm de tamaño, que estén limpias y saturadas al momento de incorporarse al concreto. Todas las piedras deben quedar totalmente rodeadas por concreto. El concreto deberá vibrarse al mismo tiempo que se agreguen las piedras, a fin de obtener una masa uniforme y homogénea.

Tuberías y accesorios

La tubería plástica debe ser Tipo I, Grado I, fabricada de acuerdo con las normas CS-256-71 o ASTM D-2241-73. Se debe adquirir en piezas de longitud estándar de 6.0 m (20 pies). Los accesorios de empaque de goma deberán cumplir la especificación ASTM D-3212.



Válvulas

Supervisar que todas las válvulas y accesorios sean del tamaño indicado en los planos de preferencia que sean de un mismo fabricante. Para operarlas, deben venir provistas de rueda con cierre en el sentido de las agujas del reloj.

Limpieza, nivelado y remoción del suelo

Supervisar el cumplimiento de las labores de

Limpieza: eliminación de troncos, ramas, raíces, vegetación, rocas.

Nivelación: remoción de la primera capa de suelo (alrededor de 20 cm) y colocación en un sitio fuera del área del reservorio.

Excavación: revisar la profundidad de la excavación, especialmente cuando se llegue a una capa arcillosa que pueda servir de piso del reservorio. Revisar el traslado del material, su colocación, humedecimiento y compactación en el área de los taludes.





Médción de áreas, revisión de materiales, labores cuidadosamente elaboradas son parte de las acciones previstas para el o la supervisora de la obra. Foto: CATIE.

Revestimiento o impermeabilización

El material que se elija para impermeabilizar el reservorio (concreto ciclópeo, arcilla, geomembrana de 1mm (salinero) o plástico negro de 1 mm) debe cumplir con las especificaciones técnicas correspondientes para esta labor.

Previo a la impermeabilización, la persona supervisora revisará que el vaso esté muy bien compactado; sin deformaciones y completamente limpio de troncos, piedras y ramas.

Durante la colocación del material impermeabilizante, la persona supervisora velará que el trabajo se haga con cuidado, especialmente si se coloca plástico o salinero que son materiales bastante frágiles. Es necesario revisar que el tras-lape sea de al menos 15 cm y que se use pegamento amarillo industrial, plancha caliente y papel o silicón para corregir fallas del sellado.

En caso de usar arcilla para impermeabilizar, se deben hacer pruebas de campo o de laboratorio para determinar la calidad, la plasticidad cuando está húmeda y el nivel de encogimiento cuando está seca. Si hace falta, se debe curar con más arena o con más arcilla.

Construcción de la obra de toma

Supervisar la construcción de la obra de toma con ladrillo y concreto ciclópeo o de gaviones tipo caja, los alambres para fabricar la malla metálica de los gaviones, la calidad del relleno, el armado y la instalación. Asegurar que el material sea de acero calidad SAE 1008.

Vertedero

Supervisar el sitio de construcción, el material, preferiblemente concreto ciclópeo, el ancho, la altura y el largo del vertedero, según especificaciones técnicas. El excedente de agua debe caer fuera del talud exterior de la estructura en un lugar y de manera que no favorezca la erosión del dique.

Cerco de alambre de púas

La persona supervisora vigilará que el sitio para colocar el cerco esté nivelado y despejado de troncos, malezas, rocas, árboles u otros obstáculos que impidan su construcción.

Supervisará la calidad, diámetro y colocación de los postes; la calidad y la instalación de las cinco líneas de alambre de púas.

El alambre de púas será de dos hilos retorcidos, de acero galvanizado en caliente con un espesor de recubrimiento clase A, calibre No. 12 ASW. Tendrá púas de cuatro puntas espaciadas a un máximo de 15 cm.

Las grapas serán de alambre de acero galvanizado en caliente, según norma NTC 2076 para calibre No. 9 de 25 mm (1") para postes de madera dura.

Bibliografía

Allen R., Pereira L., Raes D., Smith M. FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de requerimientos de agua de los cultivos. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>

Bendaña G. (2012). Agua, agricultura y seguridad alimentaria en las zonas secas de Nicaragua. Nicaragua.

Palma E., Cruz J., Martínez A., Aguilar A., Nieuwenhuys A. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE (2011). ¿Cómo construir mejores aguadas para el suministro de agua al ganado? San José, Costa Rica.

FAO (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.

FAO, Acción Contra el Hambre (2012). Estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano. Nicaragua.

IICA-MEXICO (1998). Manual técnico: Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y El Caribe. México.

Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica – MAG. (2010). Compendio con información de las opciones técnicas de cosecha de agua aplicables a nuestro medio. San José, Costa Rica.

MEFFCA, COSUDE (2015). Guía de selección de sitio y construcción de reservorios. Nicaragua.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOT-MA) (2011). Manual de Diseño y Construcción de Pequeñas Presas. Volumen 1: Diseño Hidrológico / Hidráulico. Montevideo, Uruguay.

Molieri, José (2016). Guía técnica de diseño y construcción de obras de cosecha de agua. Proyecto Adaptación de la agricultura al cambio climático a través de la cosecha de agua en Nicaragua. MEFCCA, 2014-2017. Nicaragua.

RELATA, Red Latinoamericana de Tracción Animal (2005). Proyecto de validación: Construcción de lagunetas con equipos de tracción animal. Nicaragua.

Souza Silva A. Rocha Porto E. Pinheiro F. (2010). Embalse para riego de salvación, Brasil. EMBRAPA-CPATSA. Brasil. Recuperado de: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/ai128s/ai128s06.pdf>

Salinas Acosta A. Universidad Nacional de Costa Rica – UNA/CEMEDE (2010). Especificaciones técnicas para la construcción de reservorios agrícolas. San José, Costa Rica.

USAID (2005). Proyecto de desviación, almacenamiento y uso de aguas lluvias en El Salvador. El Salvador.

Villamizar (1989). CARDIQUE, Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique Cardique. Colombia.