

Capítulo IV. CONSTRUCCIÓN DE ESTANQUES

Hermes Orlando Mojica Benítez¹
Abraham Alberto Villaneda Jiménez²

I. GENERALIDADES

Los estanques en acuicultura son embalses artificiales para almacenar agua y que se pueden llenar y vaciar fácilmente según las necesidades y deben ser un medio favorable para el desarrollo de los organismos que se estén cultivando (peces, camarones, moluscos, etc.). El tamaño varía de unos pocos metros cuadrados a varias hectáreas y su profundidad entre 0.60 m y 4.5 m (Fig. 1) (Esteves, 1987; González y Heredia, 1989; Esteves, 1990; Villamil, 1990; EICA, 1991 y Ramírez *et al.* 1996).



FIGURA 1. Vista general de un estanque

Para la implementación de un proyecto piscícola se debe tener en cuenta el tipo de cultivo a realizar, especies a cultivar, tipo de acceso para insumos y comercialización y la selección del terreno donde se van a construir los estanques. Para acuicultura se deben tener en cuenta las siguientes características que están íntimamente ligadas para una mejor viabilización y optimización del proyecto acuícola, sin dejar a un lado aspectos como la vegetación local y los datos meteorológicos (temperatura, precipitación, evaporación, humedad, intensidad de los vientos e hidrología), como son los que se presentan a continuación:

Topografía: que su conversión en estanques sea económica.

Subsuelo: que sea impermeable es decir que retenga agua.

Suministro de agua: que sea suficiente y de buena calidad.

1 Biólogo Marino, Director Estación Piscícola La Terraza, Villavicencio (Meta). INPA. E-mail: inpa1@villavicencio.cetcol.net.co

2 Biólogo Marino, Subdirector de Investigaciones INPA. E-mail: bran7585@usa.net

1.2 TOPOGRAFÍA

Es la característica superficial del terreno, es decir el relieve y determina la viabilidad económico-financiera de la inversión. Los costos de construcción de un estanque pueden reducirse en gran proporción si se saca ventaja de estas características (Proença et al., 1994).

La cantidad de estanques, el tipo (de presa o derivación), la forma, superficie y profundidad dependen del relieve. Para que se puedan construir uno o varios estanques en un terreno con declive es preciso que se pueda llevar el agua a un nivel superior de los estanques y que la parte baja se encuentre en un nivel inferior al fondo de los mismos para poderlos desocupar (Bard et al., 1975; Rey y Amaya, 1983; Esteves, 1990 y EICA, 1991).

Es importante que el terreno tenga desnivel o pendiente, no exagerado, para no construir diques demasiado altos y costosos en la parte baja del terreno. En terrenos con pendiente alrededor del 2%, el movimiento de tierra es mínimo, incrementándose el tamaño del dique con el aumento de la pendiente. Si no se cuenta con un levantamiento topográfico, una forma sencilla de medir el desnivel es marcar dos puntos a lo largo del terreno, medir la distancia entre ellos y la diferencia de altura con un nivel. (Bard et al., 1975 y Mercado, 1989) (Fig. 2).

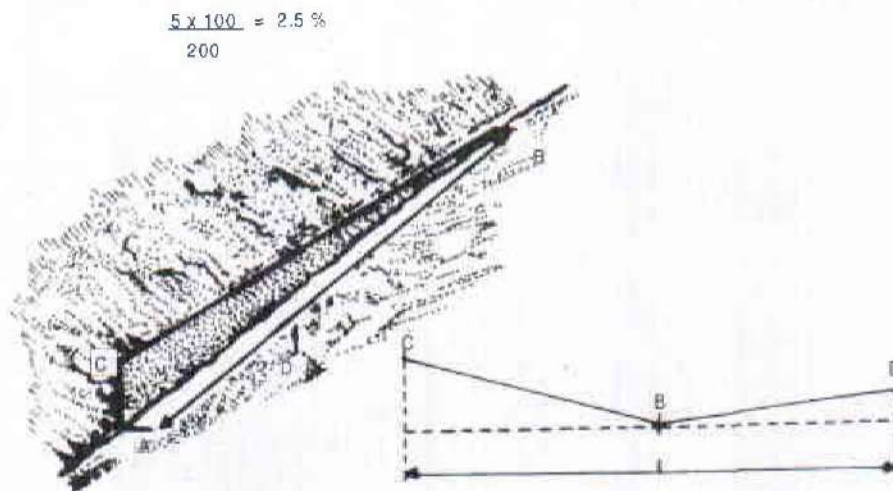


FIGURA 2. Declive a lo largo de un valle

Ejemplo: en un terreno con una pequeña inclinación se tomó una distancia entre un punto A y un punto B situado 200 metros más abajo y se obtuvo una diferencia de nivel de 5 metros, entonces:

$$\text{Pendiente} = \frac{5 \times 100}{200} = 2.5\%$$

Terrenos planos o ligeramente inclinados, con pendientes naturales inferiores a 5%, son recomendables para la construcción de estanques. Muchos de los estanques pueden ser construidos en hondonadas o en depresiones naturales con pendientes superiores al 8 %, cerrando cañones angostos con diques que retengan el agua.

En otras ocasiones cuando el terreno es ligeramente plano y una quebrada fluye a través de él, pueden construirse estanques levantando diques alrededor de dos o tres lados de la quebrada; el agua para llenarlo se desvía de la corriente. Los costos de construcción de una presa pueden ser muy altos e incrementarse si el agua del arroyo o quebrada no es suficiente para el llenado.

Los lados u orillas de la depresión o del llano que se van a encerrar deben ser lo suficientemente altos, de tal manera que den un rango de profundidad de agua apropiado.

1.2 SUELO

El suelo está compuesto de partículas orgánicas resultantes de la descomposición plantas, animales y minerales como arcilla, sílice, arena, grava, etc. Generalmente se encuentran en capas superficiales de 30 ó 40 cm.

Un estanque no es más que un recipiente de tierra para coleccionar y mantener agua, los diques y el fondo debe estar compuestos de material del suelo que reduzcan la filtración al mínimo. Los suelos con alto contenido de arcilla son los mejor adaptados para este propósito. Se deben evitar suelos con textura gruesa, grava, arena o arena y grava a menos que los pueda impermeabilizar y controlar la filtración. Se deben evitar suelos bajo los cuales hay calizas, hendiduras, resumideros o canales. Los suelos de textura arcillosa o franco arcillosa son los mejores.

Si el contenido de arcilla es superior al 30%, no se necesitarán medidas especiales de protección de los diques y control de la filtración. Si el contenido de arcilla es inferior al 10% es mejor desechar el terreno seleccionado (Villamil, 1984; Baños, 1989; Mercado, 1989; Proença et al., 1994 y Wedler, 1998).

1.2.1 Tipos básicos de suelo

El tamaño de los materiales que componen el suelo varía de un lugar a otro de acuerdo con los elementos que predominen en su composición (Baños, 1989 y Wedler, 1998) (Tabla 1) y se clasifican así:

- A. **Grava y Arena:** aparece como fracciones de rocas visibles y sin coherencia, es permeable.
- B. **Limo Inorgánico:** partículas de limo mucho más pequeñas que las de arena, no visibles a simple vista. El limo no deja pasar el agua tan fácilmente como la arena y es menos permeable. No se agrietan cuando se secan y tampoco se adhieren a las herramientas cuando están húmedos. Son más fáciles de trabajar que los arenosos, pero más difíciles que los arcillosos. Se puede confundir con la arcilla y se necesita modelarlo y manipularlo para establecer la diferencia, pues no presentan plasticidad y son inconsistentes.
- C. **Limo Orgánico:** son partículas de limo inorgánico mezcladas con partículas de materia orgánica en descomposición y tiene olor característico. Tienen alta capacidad de filtración.
- D. **Arcilla Inorgánica:** es la parte más fina del suelo, con fuertes propiedades de retención para el agua y las sustancias químicas. Se pueden reconocer fácilmente porque al perder agua se agrietan y forman terrones muy duros. La absorción del agua es muy lenta, pero una vez lo hacen pueden retenerla en grandes cantidades y dilatarse hasta alcanzar más del doble de su volumen. Los suelos arcillosos son demasiado adhesivos cuando están húmedos y resistentes a la manipulación cuando están secos.
- E. **Arcilla Orgánica:** arcilla con materia orgánica muy fina y un fuerte olor a descomposición, su coloración es amarilla, roja o blanca.
- F. **Turba:** es suelo formado cerca del 80% por materia orgánica parcialmente descompuesta y se encuentra en lugares poco drenados, áreas pantanosas o zonas costeras, alcanzan algunas veces varios metros de profundidad y son altamente permeables.

La mayoría de los suelos se componen de una mezcla de diferentes tipos, se llaman suelo compuesto y su denominación va de acuerdo con los elementos principales y secundarios que contienen (Tabla 2).

El tipo de material para los diques, las características de compactación, compresibilidad, permeabilidad y textura describen la aptitud relativa de los distintos tipos de suelo como material apto para la construcción de estanques. En la tabla 3, se presentan las diferentes texturas del suelo y sus características.

Según Villamizar (1984) se consideran como buenos suelos para la construcción de terraplenes o diques homogéneos, los que contienen material limo arcilloso, que son poco plásticos y presentan pequeñas variaciones de volumen con los cambios de humedad y además poseen suficiente impermeabilidad. Los suelos arcillosos son impermeables, de

TABLA 1. Clasificación de los suelos según tamaño de la partícula (Wedler, 1998)

Diámetro (mm)	Tipo de suelo
< 0.002	Arcilla
0.002 - 0.05	Limo
0.05 - 0.1	Arena muy fina
0.1 - 0.25	Arena fina
0.25 - 0.5	Arena mediana
0.5 - 2	Arena gruesa
2 - 5	Arena muy gruesa
> 5	Grava

TABLA 2. Composición de suelos (Baños, 1989)

Suelo	Principal	Secundario
Limoso arcilloso	Limo	Arcilla
Arenoso limoso	Arena	Limo
Arcilla arenoso	Arcilla	Arena

Tabla 3. Características de los diferentes tipos de suelo (Baños, 1989)

Textura	Permeabilidad	Compresibilidad	Características de Compactación	Aptitud como material para diques
Arcilloso	Impermeable	Media	Regular o buena	Excelente
Arcilloso arenoso	Impermeable	Baja	Buena	Buena
Franco	Semipermeable a impermeable	Alta	Regular a muy deficiente	Deficiente
Franco	Semipermeable a impermeable	Media alta	Buena o muy deficiente	Deficiente
Arenoso	Permeable	Insignificante	Buena	Deficiente
Turboso				Muy deficiente

baja plasticidad y poco cambio de volumen con los cambios de humedad. Las arcillas arenosas son de buena impermeabilidad.

Las arcillas expansivas o sea las que sufren grandes cambios de volumen con las variaciones de la humedad no son apropiadas para la construcción de diques, debido a los permanentes cambios de humedad que presentan a lo largo de su vida útil. Se pueden utilizar haciéndoles un tratamiento de estabilización con cal y adicionalmente revestir el dique con una tela impermeable para mantener constante la humedad.

1.2.2 Método del triángulo textural

Es un método apropiado para determinar la textura del suelo, aplicado por USDA y basado en análisis granulométrico que clasifica las partículas de acuerdo con el tamaño (Baños, 1989), así:

Limo: todas las partículas cuyo tamaño varía de 0.002 a 0.05 mm.

Arcilla: todas las partículas de menos de 0.002 mm.

Para definir la textura de la fracción fina se procede de la siguiente manera:

- ◆ Tomar una muestra de suelo y hacer un análisis granulométrico.
- ◆ Determinar los porcentajes relativos de arena, limo y arcilla (dentro del intervalo de tamaño total de 0.002 a 2 mm)

Para determinar la clase textural de cada muestra de suelo empleamos el diagrama triangular que aparece en la figura 3, de la siguiente manera:

1. Hallar el porcentaje de arena que figura en la base del triángulo y seguir una línea en sentido ascendente, hacia la izquierda.
2. Hallar el porcentaje de arcilla a lo largo del lado izquierdo del triángulo y seguir la línea horizontal hacia la derecha hasta encontrar la línea que representa la arena (punto cero). Este punto indica la textura de la muestra de suelo.
3. Comprobar si este punto corresponde al porcentaje de limo de su análisis, siguiendo una línea desde el punto cero hacia la derecha hasta alcanzar la escala de porcentaje de limo que aparece en el lado derecho del triángulo.

1.2.3 Propiedades físicas del suelo

La permeabilidad y consistencia del suelo son condiciones importantes en la viabilidad técnico económica de un proyecto piscícola. Los suelos con porcentajes de arcilla superiores al 35% son de buenas características técnicas para la construcción de diques y cuando el porcentaje de arena es superior al 50% se deben desechar.

Color

El color del suelo se relaciona con las condiciones de drenaje. En el horizonte superficial se pueden observar matices oscuros que indican presencia de materia orgánica y poco drenaje. Los horizontes más profundos poseen colores rojizos o pardos brillantes que indican buen drenaje, si aparecen colores negros o grises indican un mal drenaje.

Textura

Está dada por el porcentaje de las diferentes partículas que componen el suelo y que determinan la facilidad para manipularlo, la cantidad de agua que retienen y la velocidad con que lo atraviesa. Para determinar la textura existen los siguientes métodos de campo:

En el sitio seleccionado para la construcción de estanques, tomar una porción de suelo a 1 metro de profundidad, humedecerlo, amasarlo, hacer una bola con la mano y luego dejarla caer, si la bola no se desbarata, significa que el suelo contiene suficiente arcilla para la construcción de los diques. Se debe repetir en varios lugares debido a que el horizonte del suelo varía con la topografía.

Para determinar las proporciones aproximadas de las partículas se debe colocar una muestra de suelo en un frasco transparente, llenarlo de agua y agitarlo fuertemente, dejarla en reposo por cinco minutos y volver a agitarla para posteriormente dejarla en reposo por una hora y observar distintas capas que se forman de acuerdo con la composición del suelo. En el fondo se depositará la arena, en el medio el limo y encima la arcilla. Si el agua no queda totalmente clara, esto indica que parte de la arcilla está en suspensión. En la superficie se observarán restos de materia orgánica flotando. El grosor de las capas será un indicativo de las fracciones del suelo.

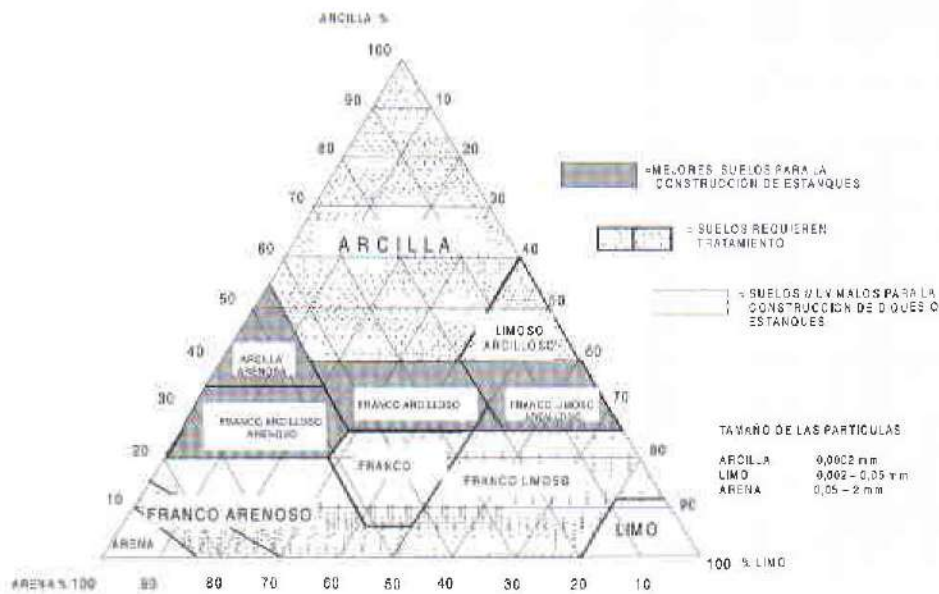


FIGURA 3. Diagrama del Triángulo Textural

La prueba de modelaje y manipulación se realiza principalmente para suelos limosos y arcillosos que presentan textura muy similar. Se toma una muestra de suelo húmedo para formar un cilindro de 8 cm de diámetro y 1.5 cm de espesor, se coloca la muestra en la palma de la mano y se observa si permanece opaca por la presencia de limo o si es brillante por el suelo arcilloso. Si doblando la masa entre los dedos se torna opaca de nuevo se trata de material limoso. La muestra se deja secar totalmente y si se rompe al manipularla es limo o si por el contrario forma un terrón duro, el material es arcilloso (Fig. 4) (Proença, 1994).

1.2.4 Estructura

Define la forma en que están unidas las partículas de los componentes de suelo (granulares y prismáticas). Estos agregados pueden definir una buena o mala estructura del suelo. Esta propiedad se relaciona con la textura, consistencia, permeabilidad y plasticidad y permiten definir de forma más precisa las características físicas del suelo (Proença, 1994).

1.2.5 Consistencia

Es la resistencia del suelo a la deformación y ruptura y puede ser medida en muestras de suelo mojado, húmedo o seco. El suelo es plástico si al manipularlo se adhiere a los dedos y al separarlos, el material se estira. Se puede formar un cordón de 3 mm de espesor con suelo mojado y determinar el índice de plasticidad así: si no se puede formar el cordón no es plástico, si el cordón se rompe y vuelve a su estado inicial es poco plástico y si el cordón formado se rompe y se puede amasar de nuevo y formar el cordón.

En suelo húmedo, si al apretarlo con la mano no presenta cohesión es suelo, si presenta resistencia a la presión de la mano es suelo firme y si al someterlo a fuerte presión se rompe en pedazos es suelo muy firme.

En suelo seco se procede de la forma anterior, considerándolo muy duro si presenta una coherencia tal que resista una fuerte presión sin romperse o duro si se rompe con dificultad.

1.2.6 PLASTICIDAD

Está definida como una propiedad del suelo y es la mayor o menor capacidad de ser moldeados bajo ciertas condiciones de humedad sin variar su volumen. Los límites de plasticidad o de Atterberg (Proença et al., 1994 y

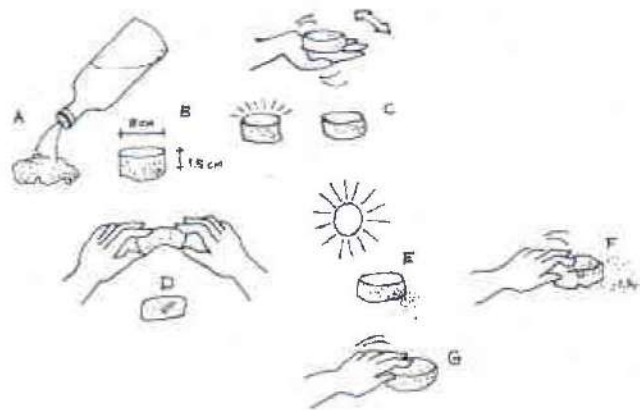


FIGURA 4. Prueba de modelaje para la textura del suelo

General Electric de Colombia y Caterpillar, 1971), reflejan el contenido de agua de una muestra cuando pasa de un estado sólido a uno plástico y de uno plástico a uno líquido.

La humedad de un suelo es muy elevada si se presenta como fluido denso o estado líquido. A medida que el agua se evapora hasta un cierto tenor de humedad (h) que es igual al Límite de Liquidez (LL), perdiendo su capacidad de fluir pudiendo ser moldeado fácilmente y conservar su forma y alcanzando un estado plástico. Al continuar la pérdida de humedad el estado plástico desaparece y el tenor de humedad (h) es igual al Límite de Plasticidad (LP), este es un estado semisólido. Al secarse alcanza el estado sólido y el tenor de humedad (h) es igual al Límite de Contracción (LC) (Fig. 5).

Los límites de plasticidad deben determinarse en laboratorio y van a definir el Índice de Plasticidad (IP) que es igual a:

$$IP = LL - LP$$



Entre mayor sea IP, más plástico será el suelo. El grado de plasticidad (Tabla 4) recomendado para el cimientoy núcleo de un dique debe estar entre 16 y 20% y el $LL < 60\%$, $LP < 20\%$ e $IP > 30\%$

TABLA 4. Índice del grado de plasticidad de suelos

Categoría	Suelo	Ip (%)	Grado de plasticidad
I	Areno limoso	0 - 1	No plástico
	Arenoso con trazos de arcilla	1 - 5	Ligeramente plástico
	Areno arcilloso	5 - 10	Bajo
II	SIL arcilloso	10 - 20	Medio
III	Arcillo limoso	20 - 35	Alto
	Arcilloso	> 35	Muy alto

Tomado de Proença *et al.*, 1994

1.2.7 Permeabilidad

Es la propiedad del suelo que permite el paso del agua y del aire, y es una de las más importantes cualidades que han de considerarse en la construcción de estanques. La permeabilidad se mide en función de la velocidad del flujo

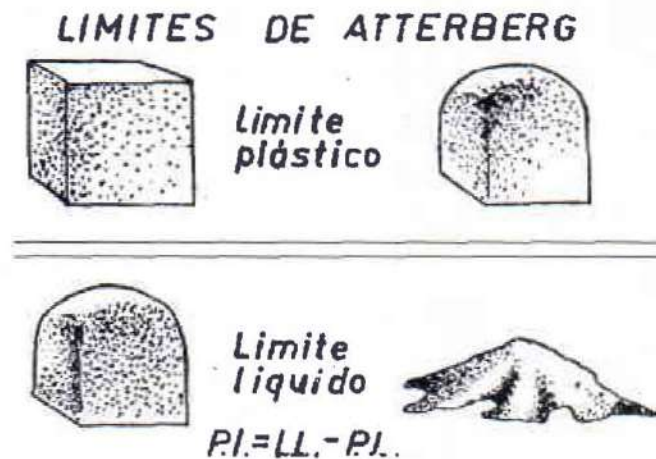


FIGURA 5. Límites de plasticidad del suelo

de agua a través del suelo durante un período determinado. Se expresa como una tasa de permeabilidad en cm/h, mm/h, o como un coeficiente de permeabilidad en cm/seg o m/seg.

Entre más fina sea la textura del suelo más lenta será la permeabilidad (Baños, 1989).

Suelos	Textura	Permeabilidad
Arcillosos	Fina	Muy lenta
Limosos	Moderada	Moderada
Arenosos	Gruesa	Muy rápida

La permeabilidad del suelo puede ser alterada para disminuirla. Es aceptable una tasa media de filtración de 1 a 2 cm/día; sin embargo, cuando se superan los 10 cm/día se deben tomar las medidas correctivas necesarias.

Un método de campo sencillo para estimar la permeabilidad es abrir un hoyo de 1 metro de profundidad y llenarlo de agua hasta el borde en las primeras horas de la mañana; por la noche parte del agua se habrá filtrado en el suelo. Volver a llenar el agua hasta el borde y cubrirlo con ramas. Si a la mañana siguiente la mayor parte del agua permanece, la permeabilidad del suelo es apta para construir estanques. Se debe repetir lo mismo en diferentes áreas del terreno (Fig. 6).

1.2.8 Propiedades químicas del suelo

Los suelos pueden presentar reacciones ácidas o alcalinas y algunas veces un comportamiento neutral, esta reacción química se expresa mediante el valor de pH.

La medida del pH se puede realizar con un pHmetro eléctrico que ofrece una lectura directa, introduciendo los electrodos de vidrio en una solución que se obtiene mezclando una parte de suelo con dos partes de agua destilada. El pH del suelo que conformará los diques y el fondo de los estanques influirá en la productividad de los mismos; por ejemplo, el crecimiento de microorganismos que alimentarán las especies de cultivo pueden disminuir en gran proporción cuando el agua está muy ácida. Cuando la acidez o alcalinidad son extremas se afecta el crecimiento y la reproducción.

El pH del suelo debe estar entre 6.5 y 8.5 para obtener buenas condiciones de productividad de los estanques. Los suelos con pH inferior a 5.5 son considerados demasiado ácidos y los superiores a 9.5 demasiado alcalinos, en

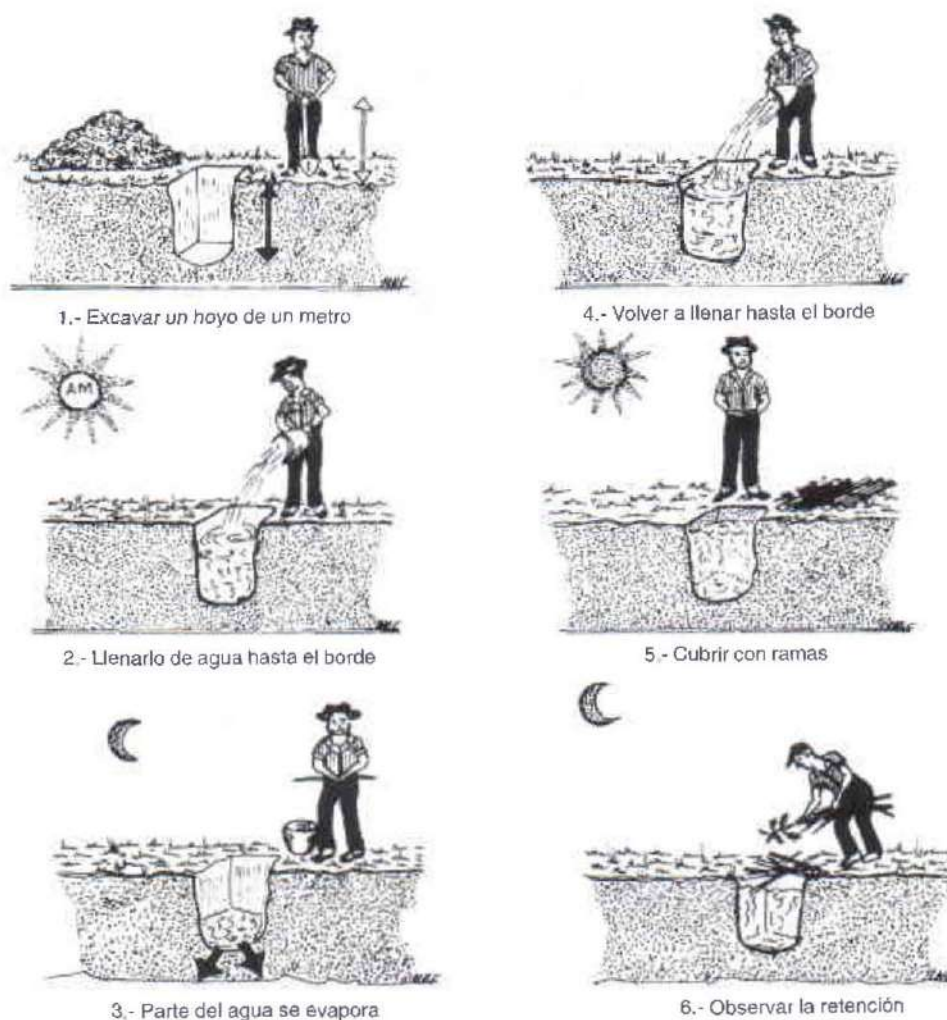
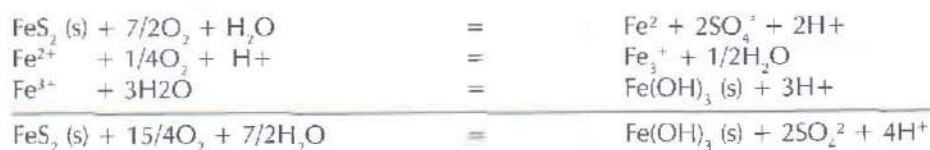


FIGURA 6. Prueba para determinar la permeabilidad del suelo

ambos casos se requieren técnicas costosas para la adecuación. Si el pH es superior a 11 o inferior a 4, los suelos deben ser descartados para la construcción de diques o para el fondo de estanques en acuicultura.

Los suelos sometidos a drenajes y exposición al aire se convierten en suelos ácidos sulfúricos potenciales; son comunes en áreas de manglares, salinas e incluso en agua dulce, registrándose formación de ácido sulfúrico y sulfatos ácidos que provocan toxicidad, respuesta pobre a la fertilización, baja producción natural y crecimiento lento de las especies. El pH varía de 5 a 6; sin embargo, la oxidación química y biológica provocan la acidificación del suelo y el pH llega a 4 en pocos meses.

En áreas de manglares donde se desarrolla el cultivo de camarones, los suelos poseen un alto contenido de pirita (FeS_2) y monosulfato de hierro (Von Prahl *et al.*, 1990). Al construir diques se expone la pirita al aire, liberando grandes cantidades de ácido sulfúrico, como se observa en la siguiente reacción:



Debido a la gran insolubilidad del hierro oxidado Fe^{3+} , se forman cuatro equivalentes ácidos por cada mol de pirlita oxidado. Esta movilización del hierro provoca mayor captación de fosfatos, los cuales se neutralizan, bajando la productividad del estanque y causando la muerte a los camarones.

1.3 Suministro de agua

La cantidad de agua para el llenado de un estanque debe ser suficiente y de buena calidad. Inicialmente se necesita una cantidad para llenarlo, que debe ser igual al volumen requerido del estanque. Cuando se ha llenado se perderá cierta cantidad por filtración en el suelo a través del fondo, los diques y también por evaporación. El agua para los estanques puede provenir de corrientes naturales como ríos y quebradas, lluvia, acueducto, aguas subterráneas, etc.

1.3.1 Volumen de agua del estanque

Se determina conociendo el área del espejo de agua y la profundidad media. Si el estanque es de forma rectangular o cuadrada el área del espejo del agua se determina, así:

$$\text{Área} = \text{lado} \times \text{lado} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{Longitud} \times \text{Ancho} \text{ (m}^2\text{)}$$

Si el estanque es de forma irregular, pero los lados son rectos, se subdivide el estanque en áreas más pequeñas que pueden calcularse fácilmente y al final se suman todas las áreas determinadas para obtener el área total.

Si el estanque es de forma irregular con un lado curvado, se tienen que hacer aproximaciones de la parte curva para encontrar el área de la superficie.

La profundidad media (P) en estanques vacíos se calcula tomando varias mediciones a lo largo del estanque y promediando. Se utilizan cuerdas a lo largo, colocadas a la altura del nivel del agua proyectado.

Si el estanque está lleno y es de forma regular y con pendiente constante, se toma la profundidad en cuatro puntos a lo largo del estanque y se obtiene el promedio:

$$p = \frac{1 + 2 + 3 + 4}{4}$$

Si el estanque es muy grande, pero de forma regular y pendiente constante, se debe medir la profundidad nueve veces o más (Fig. 7).

$$p = \frac{1 + 2 + 3 + \dots + 9}{9}$$

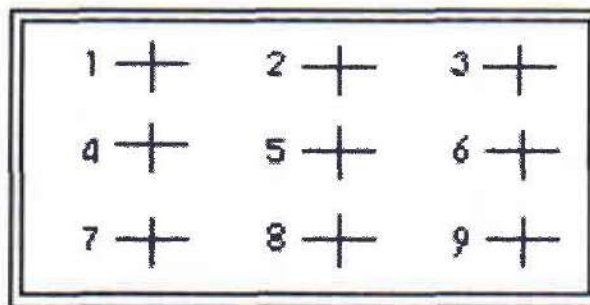


FIGURA 7. Sitios para medir la profundidad y poder calcular el volumen del estanque

1.3.2 Pérdidas de agua por filtración

La filtración de agua es mayor en un estanque nuevo. Cuando se llena por primera vez, la estructura del suelo dejará filtrar agua. Después que el estanque ha estado lleno por algún tiempo, el agua tiende a disgregar la estructura del suelo cerrando los poros existentes. Además, la materia orgánica que se acumula en el fondo disminuye la permeabilidad del suelo y por consiguiente las pérdidas de agua por filtración (Tabla 5).

TABLA 5. Pérdidas por filtración en milímetros por día para diferentes tipos de suelo

Tipo de Suelo	Pérdidas por Filtración (mm/día)
Arenoso	25 - 250
Franco Arenoso	13 - 76
Franco	8 - 20
Franco Arcilloso	2.50 - 15
Arcilloso	1.25 - 10

Tomado de Baños (1989)

Ejemplo: se tiene un estanque de 1500 metros cuadrados, de suelo franco arcilloso y se necesita conocer el volumen necesario para compensar la pérdida por filtración diaria.

La pérdida de agua diaria por infiltración en un suelo franco arcilloso (2.50 - 15 mm) es en promedio 8.75 mm, lo que equivale a 0.000875 metros/día y como el área del estanque son 1500 metros cuadrados, entonces:
 $0.000875 \times 1500 = 1.3 \text{ m}^3/\text{día}$.

1.3.3 Pérdida de agua por evaporación

Es el agua que se pierde en la atmósfera desde la superficie del estanque, depende de las condiciones climáticas locales y va en proporción a la superficie del estanque:

- ◆ Altas temperaturas, vientos fuertes, baja humedad y el sol incrementan la evaporación.
- ◆ Alta pluviosidad y nubosidad, baja temperatura y humedad elevada disminuyen la evaporación.

La evaporación también dependerá del área de la superficie del agua, cuanto mayor sea el área del estanque, más agua se evaporará de su superficie. Para calcular la cantidad de agua perdida de la superficie del estanque por evaporación, se deben conocer las velocidades de evaporación que se expresan como la profundidad de agua perdida en milímetros durante un período de tiempo (2mm/día, 2 mm/semana ó 2 mm/mes).

Las velocidades de evaporación se pueden obtener por el método de **Cubetas de clase A** (Fig. 8).

Para medir la velocidad de evaporación se requiere de un recipiente llamado cubeta de clase A de 1.50 m de diámetro y 0.50 m de profundidad, el cual es llenado de agua y consiste en medir todos los días las pérdidas de agua. Debido a que el agua se evapora más rápidamente en la cubeta que en superficies mayores como las de un estanque, se debe multiplicar por un coeficiente de corrección (0.75) para aproximarse a las pérdidas reales.

Los pasos a seguir son:

- ◆ Se obtiene la velocidad media de evaporación de la cubeta clase A en mm para cada mes durante el tiempo que el estanque esté lleno.
- ◆ Se suman las velocidades (mm) de cada mes y se multiplica el total por 0.75 para determinar la evaporación corregida para todos los meses.
- ◆ Se multiplica este valor por el área de la cubeta para encontrar la pérdida total de agua por evaporación en los meses que emplee el estanque.

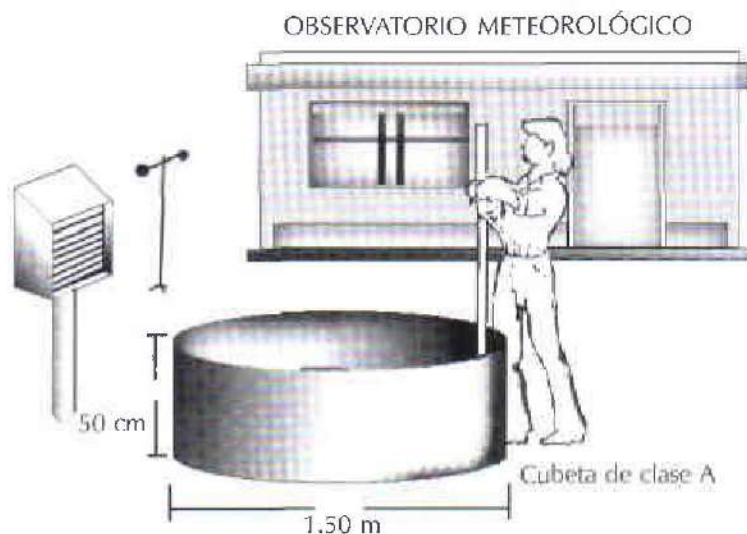


FIGURA 8. Cubeta de clase A

Ej.: determinar la cantidad de agua que por evaporación pierde un estanque de 1000 m^2 , durante 6 meses de cultivo.

Las velocidades de evaporación durante los seis meses fueron (20, 35, 28, 42, 30 y 40 mm)

La evaporación total fue $20 + 35 + 28 + 42 + 30 + 40 = 195 \text{ mm}$

La evaporación total corregida es $195 \text{ mm} \times 0.75 = 146.25 \text{ mm}$, es decir, 0.146 m

La cantidad de agua que pierde el estanque por evaporación durante los seis meses es: $1000 \text{ m}^2 \times 0.146 \text{ m} = 146 \text{ m}^3$.

1.3.4 Medición de caudales

Existen diversas formas de determinar la cantidad de agua en un canal o quebrada y el método a utilizar depende de varios factores:

- ◆ La exactitud que se necesite en la medición.
- ◆ La cantidad de agua que fluye por el canal.
- ◆ El equipo que se disponga.

Método de flotador

Se miden caudales de pequeños y medianos canales con poca exactitud. Se usa un flotador que puede ser un trozo de madera de 30 cm de longitud y 5 cm de ancho, un corcho grande, una naranja, una botella pequeña de 10 cm de altura bien cerrada, con lastre suficiente en el interior, de manera que la parte superior flote encima de la superficie. Se marca el arroyo como se observa en la figura 9. Utilizando cuerda y estacas se marca un trayecto determinado a lo largo del arroyo; se coloca el flotador unos pocos metros aguas arriba de la primera cuerda (línea AB), en el centro del canal y se mide el tiempo (seg) que éste tarda en recorrer la distancia del trayecto AB - CD (Fig. 9).

Método del flotador y la sección transversal

La velocidad media de la superficie del agua (v) se calcula dividiendo la distancia recorrida por el flotador entre el tiempo medio y multiplicando por 0.85 que es un coeficiente de corrección.

$$v = \frac{L \text{ (AB a CD) (m)}}{t \text{ Tiempo (seg)}} \times 0.85$$

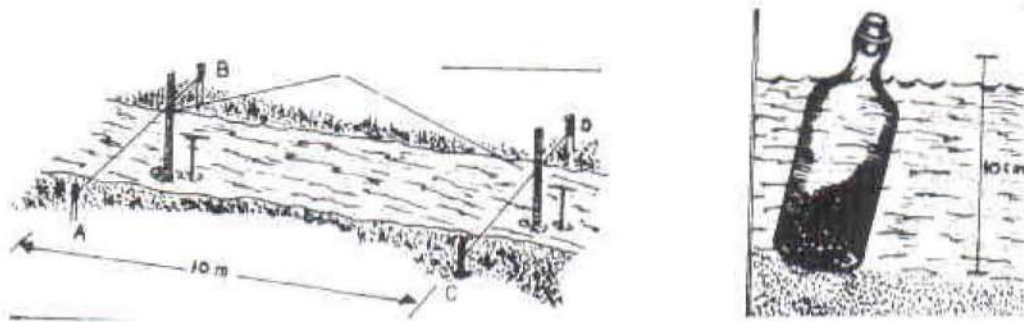


FIGURA 9. Toma de medidas para determinar una sección

Ejemplo: determinar la velocidad del agua en una sección de 10 m de un canal, recorrida por un flotador en 25 seg.

$$v = 10 \text{ m} / 25 \text{ seg} \times 0.85 = 0.3 \text{ m/seg.}$$

Para medir el ancho del canal (a) se escoge la medida que más se repite después de haberla tomado en diferentes sitios a lo largo de la porción del canal marcado (Fig. 10).

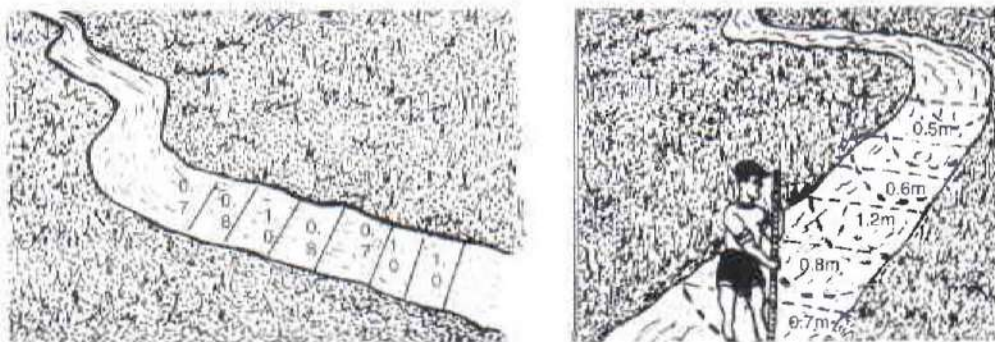


FIGURA 10. Determinación del ancho y profundidad de un canal

Ej.: si las medidas tomadas han sido 0.7 m; 0.8 m; 1 m; 0.8 m; 1 m; 0.7 m; 1 m se toma como ancho promedio 1 m.

La medida de la profundidad media (p) del canal se registra como la mitad de la medida más profunda: se toma la profundidad en diferentes partes y la mayor encontrada se divide por dos.

Ejemplo: las medidas de profundidad en el trayecto marcado son: 0.5 m; 0.6 m; 1.2 m; 0.8 m y 0.7 m. Entonces la profundidad promedio es $1.2/2 = 0.6 \text{ m}$ (Fig. 10)

Para calcular el caudal de agua del canal se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot a \cdot p.$$

Donde : Q = Caudal (m³/seg)

v = velocidad del agua (m/seg)

a = Ancho (m)

p = Profundidad (m)

Usando los datos anteriores:

$$Q = 0.3 \text{ m/seg} \times 1 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} = 0.2 \text{ m}^3/\text{seg}$$

2.2 TIPO DE ESTANQUES

2.2.1 Estanques de presa

Se construyen donde la pendiente es inclinada, ondulada o con suave pendiente. Los diques se construyen a través de la corriente en la parte baja de hondonadas alimentadas por varias fuentes de agua (ríos, lluvias, etc.), poseen forma irregular determinada por la topografía del terreno inundado, difícil controlar el volumen de agua y su manejo es complicado (Fig. 12).

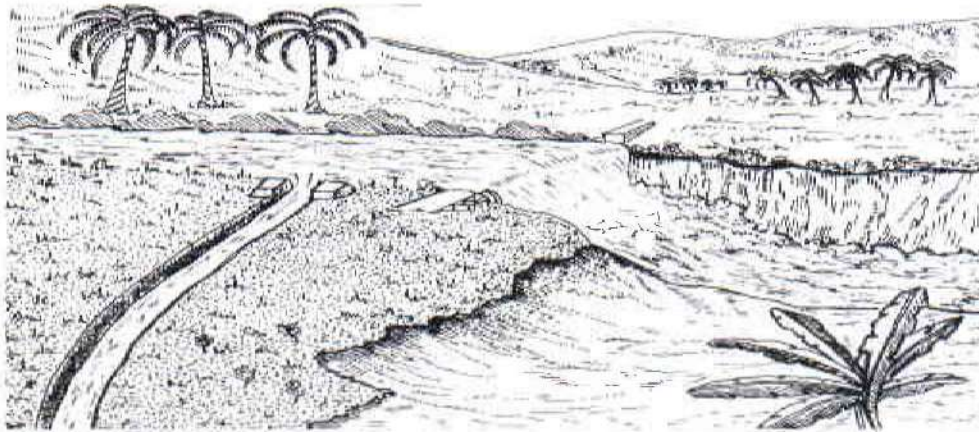


FIGURA 12. Estanque tipo presa con vertedero

La construcción es relativamente económica y su productividad natural es bastante buena por su alimentación directa del terreno aguas arriba. Necesita de un vertedero bien ubicado y construido para evitar ruptura del dique en épocas de lluvias fuertes. La aplicación de abonos y alimentos artificiales no es funcional por las variaciones de caudal.

2.2.2 Estanques de derivación

Son estanques alimentados por la derivación de un canal o fuente principal. Reciben una cantidad de agua controlada, normalmente son de forma rectangular y están dispuestos sobre un valle o terreno inclinado. Son de fácil manejo y la aplicación de abonos y alimento artificial es más sencilla cuando se controla el caudal. La productividad es más baja que en los estanques de presa, principalmente si la calidad del suelo no es óptima. La construcción puede ser más costosa dependiendo del movimiento de tierra (Fig. 13).

Los estanques pueden ser:

Excavados: cuando la topografía es nivelada o con mínimo declive. La capacidad de agua a almacenar es proporcional a la cantidad de tierra excavada y esto puede ser negativo, debido a que la construcción es muy costosa en relación con el volumen de agua almacenada.

No es fácil su drenaje por gravedad, lo cual implica remover el agua por bombeo para otros usos y cosechas o construir canales extensos que permitan drenarlo por gravedad.

Semiexcavados: se construyen donde la topografía del terreno es inclinada, con pendientes naturales entre 2 % y 8 %. Son los más económicos y eficientes. El volumen de agua que se puede almacenar es grande en relación con la cantidad de tierra removida y se recomiendan donde los requerimientos de agua sean mayores. La forma, dimensiones y profundidad se pueden acomodar a las necesidades del piscicultor y al terreno disponible. Sobre este tipo de estanques se centrará la atención del documento.



FIGURA 13. Estancos de derivación

Estancos terraplenados: se construyen en suelos totalmente plano con dificultades de drenaje. El área y profundidad son limitadas, se construyen sobre la superficie del suelo y se requiere suelo adecuado de una zona cercana para la construcción de los diques. Su construcción es similar a los estancos semiexcavados.

2.2.3 Formas y dimensiones

Los estancos más comunes son de forma rectangular y semiexcavados. Su construcción es fácil y el uso de maquinaria (buldozer, retroexcavadoras, etc.) es más eficiente. El tamaño depende del propósito del estanque y las dimensiones se miden como la superficie del agua y puede ir desde varios centenares de metros cuadrados a varias hectáreas según la topografía disponible, el tipo de acuicultura a desarrollar, los recursos del propietario, etc. (Tabla 6).

TABLA 6. Tamaño recomendable de los estancos

Tipo de estanque	Área
Desove	5000 m ²
Precriadero	200 m ² - 2 ha
Levante	250 m ² - 1 ha
Engorde	1000 m ² - 10 ha

La forma tiene mucha importancia, debido a que el perímetro del estanque varía con la longitud y los costos de construcción de los diques siguen esta misma variación. Muchas veces la forma del estanque depende directamente de la conformación del terreno y los límites de la finca. Si el declive es fuerte es mejor seguir la curva de nivel, alargando la pared para evitar una desnivelación excesiva entre el dique de la parte superior y el de la parte inferior, disminuyendo el movimiento de tierra.

En estancos muy grandes con altas tasas de población, fertilización y alimentación suplementaria, el intercambio de agua puede volverse crítico. Si los niveles de oxígeno disminuyen es esencial que se cuente con un recambio rápido de agua, pues muchas veces las bombas no son suficientes. Se debe considerar que al duplicar las dimensiones de un estanque, su superficie se multiplica por cuatro; por ejemplo un estanque de 10 x 10 m tiene una área de 100 m² y uno de 20 x 20 m tiene una superficie de 400 m².

Las ventajas de estancos pequeños son:

- ◆ Fácil y rápida cosecha.
- ◆ Llenado y drenaje rápido.
- ◆ Fácil tratamiento de enfermedades y parásitos.
- ◆ Menor efecto de la erosión y el viento.

Las ventajas de estanques grandes son:

- ◆ Menor costo de construcción por hectárea.
- ◆ Mayor capacidad de intercambio de oxígeno por la superficie.
- ◆ Menos espacios no utilizados, como diques

Los estanques grandes deben construirse con el eje más largo, perpendicular a la dirección del viento predominante, para reducir la erosión. Por el contrario, los estanques pequeños se construyen con el eje más largo paralelo a los vientos para aumentar la aireación.

2.2.4 Profundidad

La profundidad mínima de un estanque debe estar entre 0.5 y 0.75 m, con ello los organismos cultivados pueden disminuir los efectos adversos de la temperatura en climas cálidos y también evitar el crecimiento de plantas nocivas en el estanque, que pueden disminuir el área y la producción (Ramírez, *et al.*, 1996).

En estanques demasiado profundos la luz no llega al fondo, impidiendo el desarrollo del fitoplancton en toda la capa de agua, además las capturas se hacen más difíciles y la construcción de los diques es muy costosa y complicada. Es recomendable construir estanques con profundidad máxima entre 1.2 m y 1.5 m, aunque algunos alcanzan los 4.5 m.

3. ESTRUCTURAS DE TIERRA

Conformadas por los cimientos y diques que son construidos en tierra y los canales de abastecimiento y drenaje que son excavados.

3.1 CIMIENTOS

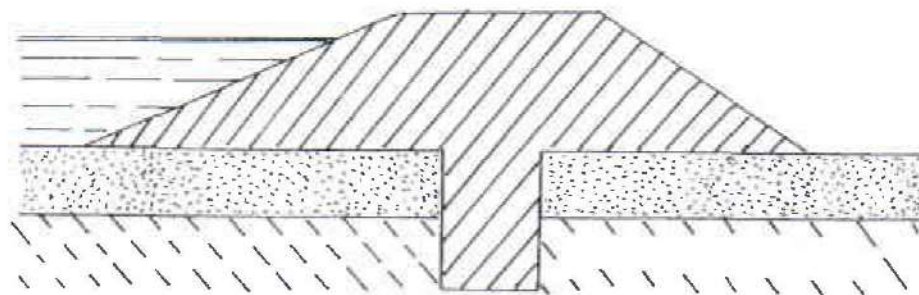
No son necesarios en suelos consolidados, pues estos son capaces de sostener los diques y retener el agua. Los suelos lodosos o pantanosos pueden ser usados como cimientos, pero con mucha precaución; sin embargo, lo mejor es retirar este tipo de suelo y la materia orgánica que se descomponga y produzca asentamientos a largo plazo y por consiguiente fugas y rompimientos de las estructuras (Figs. 14 A y 14 B).

3.2 DIQUES

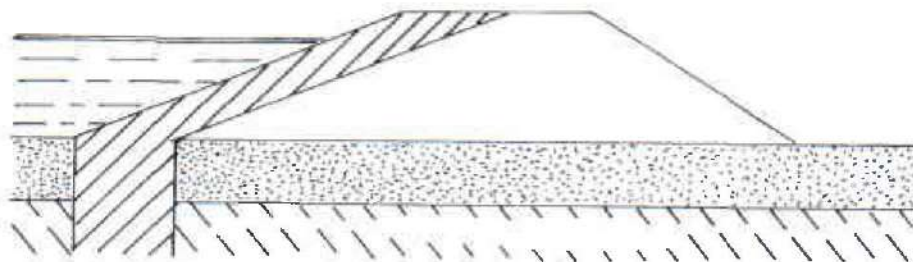
Es un terraplén de tierra compactada destinada a retener agua, forman las paredes del estanque y se fabrican con el material disponible en el área de construcción. Las dimensiones y la sección transversal dependen de los propósitos del estanque y del material accesible. Mientras más alargado sea el estanque más grande será el perímetro y la longitud total de los diques (Tabla 7).

La construcción del dique se debe iniciar después de la limpieza y descapote del terreno, retirando los estratos de grava, arena, material vegetal, etc., que provoquen mal asentamiento y filtración. El dique en corte transversal tiene forma de trapecio y consta de las siguientes partes (Fig. 15):

- ◆ Cima
- ◆ Altura
- ◆ Talud o pendiente
- ◆ Base



A. Dique de arcilla



B. Núcleo y máscara de arcilla que cubre el declive interno del dique en tierras no

FIGURA 14. A. Dique con cimientó de arcilla. B. Núcleo y Máscara de arcilla

TABLA 7. Longitud de los diques en relación con las medidas del estanque

Longitud m	Ancho m	Superficie m ²	Longitud total de los diques
50	20	1000	153.32
60	16.66	1000	168.56
70	14.28	1000	185
80	12.5	1000	220
100	10	140	

Cima: es la parte superior del dique conocida como corona. Debe ser mínimo de un metro de ancho; sin embargo, pueden ser más anchos dependiendo de la altura del dique y del sistema de construcción. Pueden tener en promedio 2 m en estanques pequeños y más de 3 m si los estanques son muy grandes. Normalmente o se toma la distancia entre las orugas cuando se hacen con buldozer:

Altura del dique (m)	Ancho de la cima (m)
Menos de 3	2
3 - 4.5	3
4.5 - 6	3.7
6 - 7.5	4.3

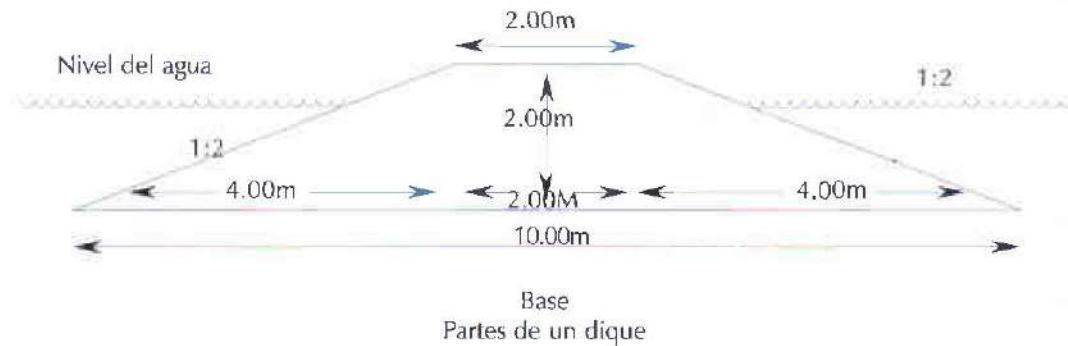


FIGURA 15. Corte transversal de un dique

Para determinar el ancho de la cima en diques con altura superior a 4.5 m se debe aplicar la fórmula de Frevert (1962) en Baños, 1989.

$$W = 1.10 (H)^{1/2} + 0.91$$

Donde:

W = Ancho de la cima en m

H = Altura del dique en m

La Altura: (H) es igual a la profundidad del agua más una porción de borde libre u obra muerta para control del nivel.

Altura de la Ola: la altura del dique debe ser suficiente para evitar el derramamiento del agua por acción de las olas. La altura de la ola se establece tomando la dirección y fuerza del viento predominante, la longitud del estanque en la dirección del viento o Fetch y la profundidad del agua (Baños, 1989).

Existen varias formulas para el cálculo de la altura de la ola:

$$hw = 0.0186 w^{0.171} \times B^{0.24} \times h^{0.54} \quad (\text{Dyakova})$$

$$hw = 1/3 B$$

$$hw = 0.014 (f)^{1/2} \quad (\text{Frevert, 1962})$$

hw = Altura de la Ola (m)

w = Velocidad del viento (m/seg)

B = Longitud del estanque en la dirección del viento (Km)

(Longitud del Fetch)

h = Profundidad del agua (m)

f = Fetch (m)

Conociendo la profundidad del estanque se puede aplicar la siguiente fórmula para determinar la altura del dique:

$$H = h + hw + hf + hs$$

Donde:

H = Altura del Dique (m)

h = Profundidad del agua (m)

h_w = Altura de la ola (m)

h_f = Obra muerta o borde libre

h_s = asentamiento

Ejemplo: cuál es la altura de un dique para un estanque con una profundidad de 1,50 m, borde libre de 30 cm, la longitud en la dirección del viento (Fetch) es 80 m y la compactación durante la construcción se hizo en buenas condiciones.

$$h = 1,50 \text{ m}$$

$$h_w = 0.014 \times (f)^{1/2} = 0.014 \times (80)^{1/2} = 0.125 \text{ m}$$

$$h_f = 0.3 \text{ m}$$

$h_s = 0.05$ debido a la buena compactación (5 % de asentamiento)

$$H = 1.5 + 0.125 + 0.3 + 0.05H$$

$$H - 0.05H = 1.925$$

$$0.95H = 1.925$$

$$H = 2.03 \text{ m}$$

Borde libre u Obra Muerta: es la parte extra del dique que se construye como seguridad para evitar el desbordamiento del agua y corresponde a la distancia entre la superficie del agua y la cima. De acuerdo con la profundidad del agua, las dimensiones del dique pueden ser (Tabla 8).

Talud: (p) es la pendiente lateral o parte inclinada de los diques, esta dada por la altura del dique y el ancho de la base; un talud de 2:1 quiere decir que por cada metro de altura, la base se extiende 2 m. La pendiente depende del tipo de terreno, la profundidad del agua, la acción de la ola y el tamaño del estanque (Tabla 9).

TABLA 8. Borde libre en relación con la profundidad

Profundidad del agua (m)	Ancho de la cima (m)	Obra muerta o borde libre (m)
0.50	0.50	0.40
0.50 - 0.80	0.50 - 1.00	0.40 - 0.50
0.80 - 1.20	1.50	0.50
1.20 - 2.00	2.00 - 2.50	0.50
2.00 - 3.00	2.50 - 4.00	0.50 - 0.60

Aunque se construyan diques con excelentes materiales y se apisone muy bien, siempre ocurrirán asentamientos y con el tiempo el dique perderá altura. El nivel de asentamiento dependerá de la calidad y la humedad del suelo y de la compactación.

TABLA 9. Taludes recomendados de acuerdo con el tipo de suelo

Tipo de suelo	pendiente interna	pendiente externa
Arenoso	2:1	3:1
Franco Arenoso	2:1 - 3:1	1.5:1- 2:1
Arcilloso Arenoso	1.5:1	1.5:1
Arcilla Estable	1:1	1:1

En general se debe dejar una tolerancia mínima del 5 % en condiciones normales de construcción y del 10 % cuando los materiales de construcción no son buenos y/o los métodos de construcción son precisos, especialmente en la parte central del dique en estanques de represa.

4. MOVIMIENTO DE TIERRA

Para la construcción del dique se deben evaluar varios sitios, la experiencia en la selección del terreno para la construcción de los estanques es muy importante; sin embargo, como guía se pueden tener en cuenta las siguientes relaciones entre el área de superficie del agua (m^2) obtenida con un volumen (m^3) de excavación (EICA, 1991) dado así:

$m^2/m^3 < 3$. En este caso la pendiente es muy pronunciada y no se debe tener en cuenta para la construcción de estanques a menos que no se cuente con más posibilidades.

$m^2/m^3 > 3$. Desde el punto de vista técnico, el lugar es satisfactorio para la construcción de estanques.

$m^2/m^3 > 7$. El sitio es ideal para construir estanques desde un punto de vista económico.

4.1 VOLUMEN DEL DIQUE

Hondonadas: generalmente se construye un solo dique en la parte más angosta y con menor pendiente para disminuir el movimiento de tierra y optimizar la profundidad y el área del estanque así: se busca el punto más profundo y se define la altura del dique, luego se procede a tomar diferentes alturas donde el relieve presente variaciones significativas y la distancia (d) entre estos puntos (Fig. 16). (Baños, 1989; INDERENA - AID - PAN, sin fecha; Bard *et al.*, 1975 y Esteves, 1990).

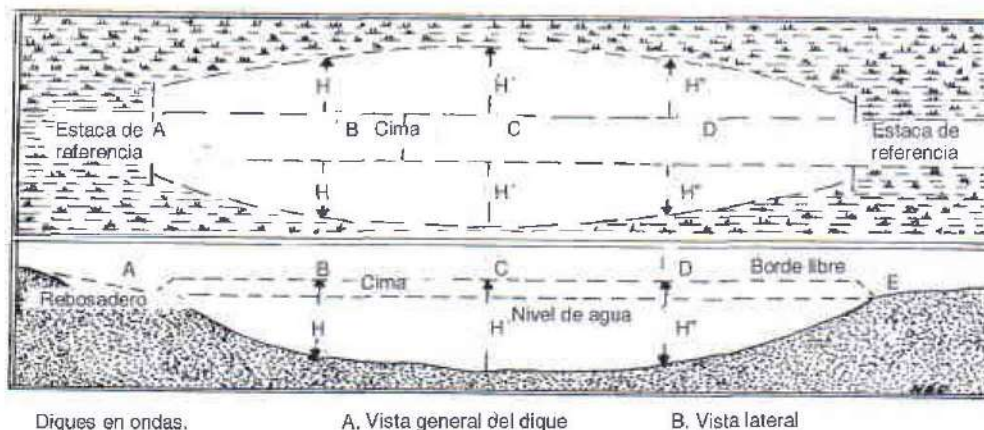


FIGURA 16. Vista general y longitudinal de un dique en hondonadas

La cima (C) del dique generalmente es igual a 3 m y corresponde al ancho de la oruga de un buldozer. Es recomendable una pendiente interna de 3:1 y una externa de 2:1, con el fin de mantener repartida la presión que ejerce la columna de agua y evitar que se rompa.

Para determinar el volumen de tierra necesario para la construcción del dique se procede de la siguiente forma:

Se determina el área (A) del dique en cada uno de los puntos donde se tomo la altura de variación del relieve, aplicando:

$$A = \bar{H} (C + P.H)$$

Donde:

A = Área en punto determinado (A, B, C, etc.) (m².)

H = altura (m)

C = Cima del dique (m)

p = Pendiente promedio:

$$p = \frac{p_1 + p_2}{2}$$

Una vez obtenidas las áreas en los diferentes puntos (A, B, C, etc.) se saca el promedio de ellas, así:

$$A_{AB} = \frac{A_A + A_B}{2}, A_{BC} = \frac{A_B + A_C}{2}, \dots, A_{n-1,n} = \frac{A_{n-1} + A_n}{2}$$

El volumen total de tierra del dique se obtiene por la sumatoria de los volúmenes de las áreas promedio, multiplicado por la distancia (d) entre los puntos.

$$\bar{V} = \bar{A}_{AB} d_{AB}, \bar{V}_{BC} = \bar{A}_{BC} d_{BC}, \dots, \bar{V}_{n-1,n} = \bar{A}_{n-1,n} d_{n-1,n}$$

$$\bar{V}_{Total} = \bar{V}_{AB} + \bar{V}_{BC} + \dots + \bar{V}_{n-1,n}$$

4.1.1 Terreno plano

En terrenos planos, los estanques son excavados y el volumen de tierra a mover se puede determinar con exactitud usando la siguiente fórmula prismoidal; (Fig. 17). (EICA, 1991)

$$V = \frac{(A + 4B + C) \times D}{6}$$

Donde:

V = volumen de excavación (m³)

A = Área de excavación en la superficie del terreno (m²)

B = Área de excavación en el punto de la profundidad media (1/2D) (m²)

C = Área de excavación en el fondo del estanque (m²)

D = Profundidad promedio del estanque (m)

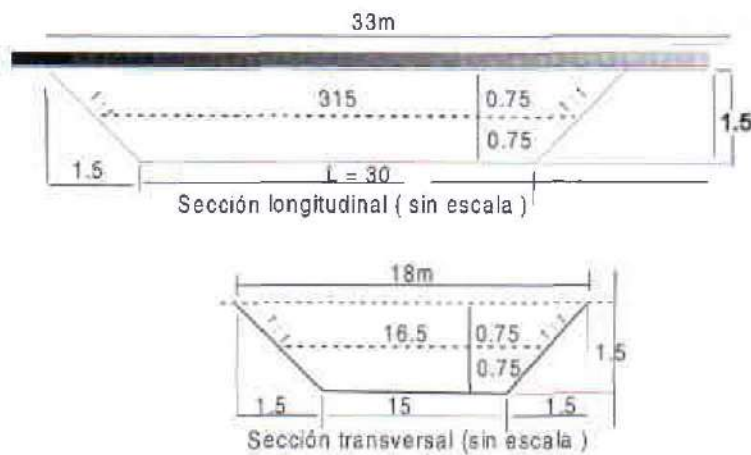


FIGURA 17. Sección típica de un estanque excavado

Ejemplo: se planea construir un estanque en un terreno plano con una profundidad de 1.50 m, ancho del fondo de 15 m, el largo del fondo de 30 m y una pendiente interna y externa de 1:1 (Fig. 16).

$$A = 33 \text{ m} \times 18 \text{ m} = 594 \text{ m}^2$$

$$4B = 4(31.5 \text{ m} \times 16.5 \text{ m}) = 2079 \text{ m}^2$$

$$C = 30 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 450 \text{ m}^2$$

$$(A + 4B + C) = 3123 \text{ m}^2$$

$$D = 1.5 \text{ m}$$

$$V = \frac{3123 \times 1.5 \text{ m}}{6} = 780.75 \text{ m}^3$$

Si el estanque se llena hasta la superficie del suelo, el volumen del estanque es igual al volumen de tierra removida

4.1.2 TERRENO LIGERAMENTE INCLINADO

En terrenos con pendientes naturales entre 2% y 8% se hacen estanques semiexcavados, se extrae la tierra de la parte superior y se acumula en la parte baja para la formación de los diques. Se pretende reducir al mínimo la cantidad de tierra a mover, logrando que ésta sea igual al volumen necesario para la construcción del dique (Fig. 18) (Esteves, 1987, 1990 y INDERENA - AID- PAN, sin fecha).

Se procede de la siguiente forma:

Determinar el área del estanque

Calcular la altura promedio del terreno dentro del estanque.

Calcular el volumen de tierra disponible por cada centímetro de profundización, así:

$$\text{Área}(A) \times 0.01 \text{ m} = \text{Volumen de tierra por cada cm de profundización}$$

Determinar la altura del dique

Estimar la profundización necesaria (cm) y calcular el volumen de tierra disponible

Comparar esta cifra con el volumen de tierra necesario para construir el dique en tierra firme.

Hacer ensayos con otras profundizaciones, hasta que el volumen de tierra disponible se aproxime al volumen necesario para el dique.

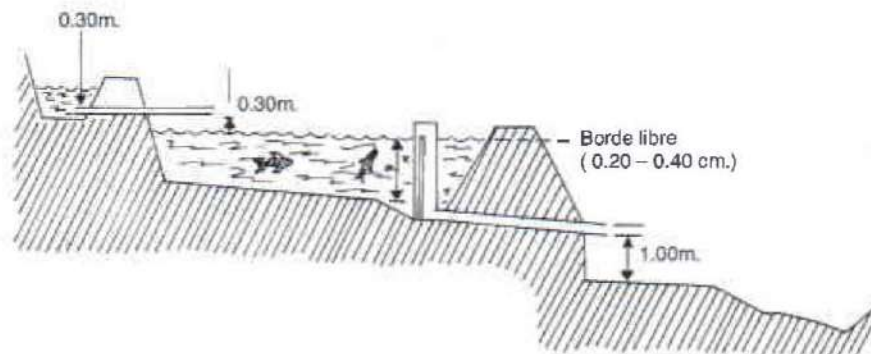


FIGURA 18. Niveles de un estanque semiexcavado

Ejemplo: Se propone la construcción de un estanque en un terreno ligeramente inclinado y de buena compactación, con las siguientes características: (Se tuvo en cuenta la acción del oleaje para determinar la altura del dique)

$$\text{Area (A)} = 50 \times 20 = 1000 \text{ m}^2$$

$$\text{Longitud del dique (L)} = (50 \times 2) + (20 \times 2) = 140 \text{ m.}$$

$$\text{Anchura de la cima (C)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Altura del dique (H)} = 2.03 \text{ m.}$$

$$\text{Pendiente (p)} = 2:1 \text{ (externa e interna)}$$

Tierra movida por 1 cm de profundización T_m :

$$T_m = 1000 \text{ m}^2 \times 0.01 \text{ m} = 10 \text{ m}^3/\text{cm}$$

Para calcular el volumen de tierra a una profundidad determinada (V_{tp}), se analizan varias posibilidades:

a) Caso 1: Profundización de 60 cm.

$$V_{tp} = T_m \times \text{Profundización deseada}$$

$$V_{tp} = 10 \text{ m}^3/\text{cm} \times 60 \text{ cm}$$

$$V_{tp} = 600 \text{ m}^3$$

La altura del dique (A_d) es igual a la altura determinada (H) menos la profundización:

$A_d = H - \text{Profundización}$

$$A_d = 2.03 \text{ m} - 0.60 \text{ m} = 1.43 \text{ m}$$

El volumen de tierra necesario para construir el dique (V_{td}) es:

$$V_{td} = A_d (c + p (A_d))L$$

$$V_{td} = 1.43 \text{ m} (2 \text{ m} + 2 (1.43 \text{ m})) 140 \text{ m}$$

$$V_{td} = 972.97 \text{ m}^3$$

Profundizando 60 cm se obtendrá un volumen de 600 m^3 de tierra, pero el dique necesita 973 m^3 , por lo tanto es necesario profundizar más

b) Caso 2: Profundización 80 cm.

$$V_{tp} = T_m \times \text{Profundización deseada}$$

$$V_{tp} = 10 \text{ m}^3/\text{cm} \times 80 \text{ cm}$$

$$V_{tp} = 800 \text{ m}^3$$

$A_d = H - \text{Profundización}$

$$A_d = 2.03 \text{ m} - 0.80 \text{ m} = 1.23 \text{ m}$$

$$V_{td} = A_d (c + p (A_d))L$$

$$V_{td} = 1.23 \text{ m} (2 \text{ m} + 2 (1.23 \text{ m})) 140 \text{ m}$$

$$V_{td} = 768.01 \text{ m}^3$$

Como el volumen necesario para construir los diques (768 m^3) es menor que el volumen de tierra que se obtendría profundizando 80 cm (800 m^3), se puede considerar que la profundización adecuada esta entre 70 y 80 cm.

5. CONSTRUCCIÓN

5.1 DESCAPOTE Y LIMPIEZA

Se debe retirar la capa superficial de suelo que contiene material vegetal, humus, piedras, árboles, troncos hasta que aparezca la capa arcillosa. El terreno debe quedar completamente raspado para evitar filtraciones futuras o crecimiento de vegetación en el fondo del estanque. El suelo retirado se puede utilizar para la cobertura vegetal de protección de los diques (Fig. 19).

5.2 MATERIAL DE EXCAVACIÓN

En terrenos planos se debe determinar con antelación donde se va a ubicar el material de excavación. Este puede ser usado para las vías de acceso, ubicarlo en el lado donde sopla el viento para formar una barrera cubierta de vegetación que dirija la corriente de aire al estanque y mejorar el intercambio de oxígeno con el agua.

Si no se encuentra sitio donde ubicarlo por el costo, se puede extender en las áreas adyacentes del estanque, extendiéndolo muy bien y evitando la formación de montículos cerca del estanque que interrumpan la horizontalidad del terreno y desmejoren el paisaje.



FIGURA 19. Descapote de un terreno para construir estanques

En estanques de presa, el material para la construcción del dique se toma de los montículos de la parte baja y de las salientes en las paredes de la hondonada (zona de préstamo). Una vez descapotado el terreno donde se ubicará el dique y las zonas de préstamo, se inicia el movimiento de tierra de las partes más lejanas para formar la base y de las áreas cercanas (paredes) para la parte media y alta del dique cuidando de hacer el apisonamiento cada 10 ó 20 cm de tierra amontonada para evitar la filtración y teniendo en cuenta el 5 % ó 10 % del asentamiento.)

En estanques semiexcavados, el material para la construcción de los diques se obtiene de la profundización determinada y en estanques terraplenados se debe conseguir una zona de préstamo cercana para la obtención del material.

5.3 MARCACIÓN O ESTACADO DE LOS DIQUES

Consiste en marcar el terreno para limitar los terraplenes que conformarán los diques del estanque de la siguiente forma:

En estanque de presa se marca el sitio donde va a quedar el dique con ayuda de estacas y cuerda (Fig. 20).

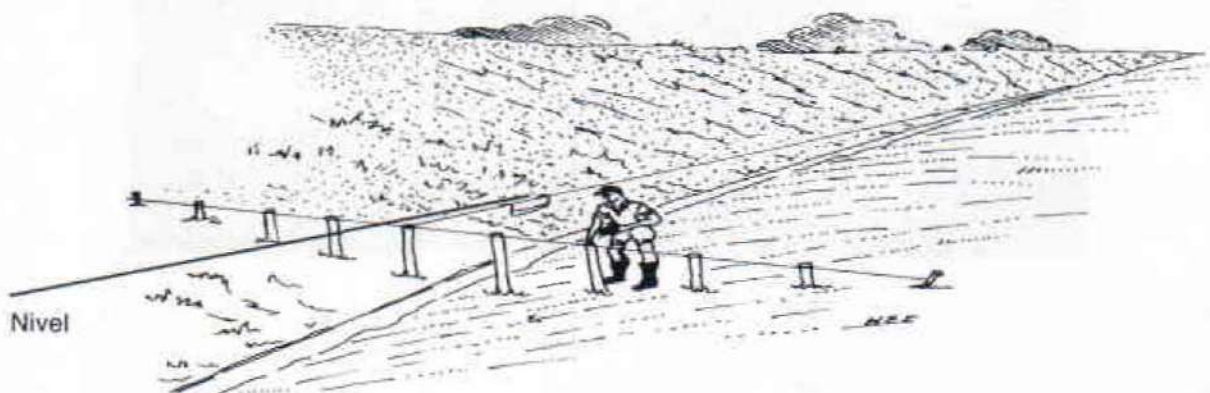


FIGURA 20. Marcación y estacado de un estanque de presa

En estanques de derivación se marca el perímetro del estanque con ayuda de cuerdas y estacas (Fig. 21).

Con estacas largas se marca la altura del dique y la anchura de la cima; las estacas se alinean con la ayuda de un nivel. Utilizando estacas pequeñas se marca la base del dique; se pueden colocar cuerdas para darle la forma característica.

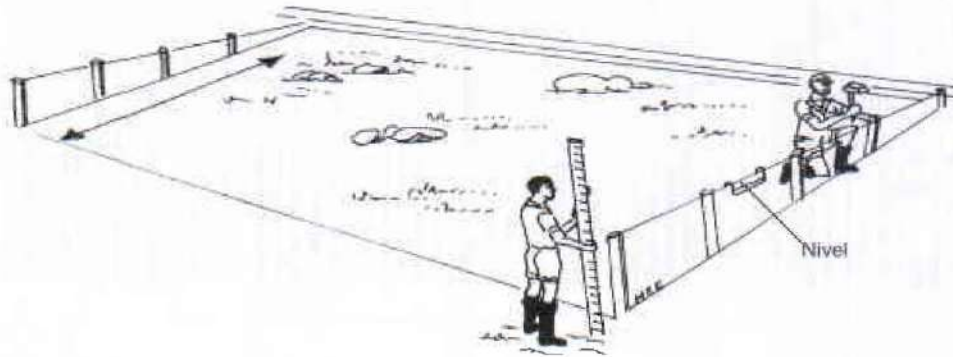


FIGURA 21. Marcación y estacado en estanques de derivación

5.4 COMPACTACIÓN O APISONADO

La compactación es el proceso de densificación incrementando el peso por unidad de volumen de tierra. Este proceso está conformado para aumentar la resistencia al deslizamiento o separación de partículas de un dique, siendo el resultado de la expulsión del aire de la tierra (General Electric de Colombia y Caterpillar, 1971) (Fig. 22).



FIGURA 22. Compactación y apisonado de diques

La compactación del suelo se ve afectada por el tamaño de las partículas del suelo (gradación), el contenido de humedad del material que provee lubricación y facilita el movimiento de las partículas haciéndolas plásticas, trabajables y produciendo esfuerzo constante a la resistencia y por último el esfuerzo compactivo que se refiere a la energía mecánica que se consume en hacer el suelo más denso.

Se extrae tierra de las orillas y se va acumulando en capas sucesivas no mayores de 20 cm, utilizando carretilla, tractor o buldozer y apisonando vigorosamente para lograr buena compactación. A medida que se eleva el dique se deben apretar los taludes para darles firmeza; esto se puede hacer con una vara flexible.

Cuando el terreno no es suficientemente arcilloso se debe hacer un canal o zanja de 50 cm de profundidad en el centro del dique alrededor del estanque y llenarlo de arcilla de buena calidad (Cimiento) antes de comenzar a levantar los diques (Fig. 14A).

5.5 FONDO DEL ESTANQUE

El fondo del estanque debe ser arreglado para que se pueda vaciar completamente y que al finalizar la operación se facilite la recolección de los organismos cultivados cerca al sistema de vaciamiento. El declive debe ser descendente, suave y regular, para que cuando se desocupe el estanque el agua se retire lentamente y no queden charcos aislados que retengan los peces, los cuales deben bajar progresivamente hacia los lugares más hondos. Una pendiente de 1 a 2% es conveniente en estanques menores a 1000 m².

Para lograr el declive necesario, durante la construcción, se debe estacar el fondo de la siguiente forma (Figs. 22A y 22B):

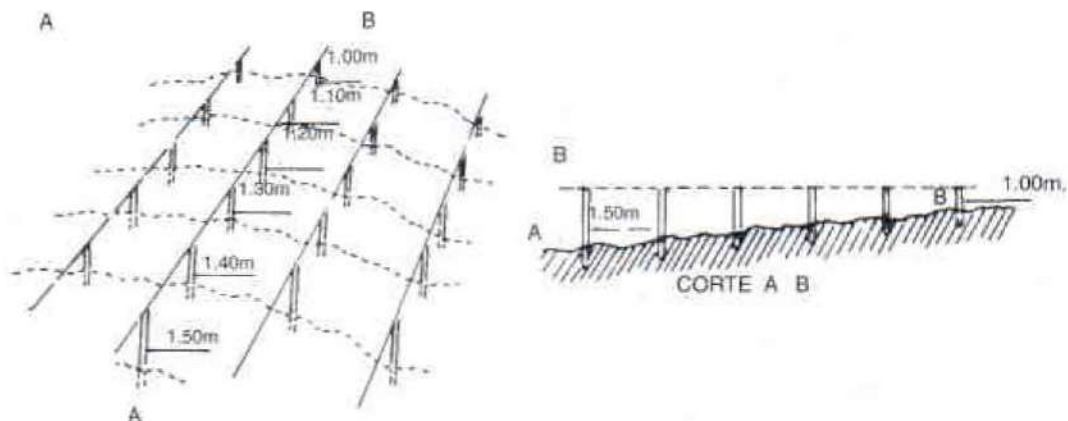


FIGURA 22 A-B. Estacado para el fondo del estanque

A partir del punto de desagüe donde la altura de la columna de agua es máxima (ejemplo: 1.50 m), se colocan en la zona limitada por los diques estacas dispuestas en arcos equidistantes, sensiblemente concéntricos y teniendo como centro el punto de drenaje.

Suponiendo que la profundidad mínima del estanque en la parte de arriba es 1 m, se disponen cinco hileras de estacas para las profundidades de 1.40 m, 1.30 m, 1.20 m, 1.10 m, y la última a 1.00 m, la cual debe estar cerca al borde del estanque, próxima al canal de alimentación. Si el declive escogido es 2 %, las hileras de estacas deben estar dispuestas a 5 m una de otra en distancia horizontal.

$$\frac{100 \times 0.10}{2} = 5 \text{ m}$$

Se cortan luego las estacas incluida la del desagüe al nivel que representa la superficie del agua en un plano horizontal, con la ayuda de un nivel.

Si se quiere tener 1.5 m de agua en el punto de desagüe, se excavará hasta 1.5 m bajo la cima de la estaca correspondiente.

Si se desea obtener la profundidad de 1.40 m a lo largo de la primera hilera de estacas, se debe cavar hasta 1.40 m del nivel de la superficie marcada. Se procede igual en cada una de las hileras.

Para representar en el terreno la profundidad a cavar, se dispone cerca de cada estaca una vara con la profundidad deseada (1.40 m; 1.30, etc.) y se excava hasta que la extremidad superior de la vara colocada verticalmente, coincida con la cima de la estaca colocada en el lugar.

En estanques grandes es necesario cavar un desaguadero que llegue al sitio de drenaje, con una red de venas transversales que faciliten el drenaje y la cosecha. El declive debe ser ligeramente mayor.

6. IMPERMEABILIZACIÓN

Excesiva filtración en los estanques se debe a la presencia de suelos muy permeables con baja retención de agua y solamente deben ser usados cuando la fuente de agua es muy buena y se tienen condiciones económicas que justifiquen la adecuación.

Cuando se remueve demasiada tierra para la conformación de los diques se pueden dejar expuestos suelos de arena, grava o rocas con grietas o canales que seguramente ocasionarán problemas de filtración. El método a utilizar para eliminar la filtración depende de la cantidad y grosor del material de fondo (grava, arena, etc.).

6.1 COMPACTACIÓN

Se utiliza cuando el material contiene un amplio rango de partículas, desde grava pequeña hasta arena gruesa, arena fina y un 10% de arcilla y lodo para taponar. Es el método más económico, pero su uso depende de la condición del suelo.

Se limpian el estanque de restos vegetales se rellenan las grietas y orificios con material adecuado y se escarba el suelo de 20 a 25 cm de profundidad con disco, rodillo, picas, etc. Se remueven rocas y raíces y luego se compacta el suelo como cuando se construye el dique.

6.2 CAPA DE ARCILLA

Estanques con alto porcentaje de grano grueso y deficientes en arcilla que evite la filtración. Se cubre totalmente el área correspondiente al fondo y al talud interno del dique con material que contenga más de 20% de arcilla obtenida de un área de préstamo cercana. El material requerido debe tener las mismas características del que ha sido usado para construir diques (EICA, 1991).

El grosor de la capa de arcilla depende de la cantidad de agua a depositar. El mínimo es de 30 cm cuando la profundidad del agua alcanza hasta 3 m y se debe incrementar en 5 cm de capa por cada 30 cm de profundidad del agua por encima de los 3 m.

La colocación y compactación de la capa de arcilla es similar a la descrita en el numeral para la construcción de los diques, extendiendo el material en capas de 15 a 20 cm de grosor y compactar muy bien antes de colocar otra capa.

Para proteger la capa de arcilla contra las rupturas por secado, coloque una capa de grava de 30 a 40 cm sobre la capa de arcilla especialmente donde se concentra más el agua.

6.3 BENTONITA

En suelos con gránulos gruesos y poca arcilla se puede aplicar para reducir la filtración, bentonita que es una arcilla coloidal de fina textura. El suelo al humedecerse absorbe varias veces su propio peso en agua hinchándose y ganando de 8 a 20 veces su volumen original (EICA, 1991). Mezclada en una proporción correcta con material granuloso, bien compactado y saturado, la bentonita se hidrata haciendo que la mezcla sea prácticamente

impermeable; sin embargo, al secarse vuelve a su estado original formando grietas, por eso su uso no es recomendable en estanques con fluctuación en el nivel de agua.

Antes de decidir sobre el uso de este método para sellar los estanques, se debe localizar una fuente cercana de bentonita y determinar los costos de transporte, pues si esta está muy lejos el tratamiento puede ser muy costoso.

Para aplicarla se procede igual que en los métodos descritos, limpiar de vegetación, llenar huecos y grietas, picar el suelo y mezclarlo, compactar la mezcla y cubrir las áreas de grava con material adecuado. El nivel de mezcla debe ser óptimo para una buena compactación. Si está muy húmedo posponga la compactación y si está muy seco se debe adicionar agua para humedecer.

Extienda la bentonita uniformemente sobre el área a tratar a la tasa recomendada por un laboratorio de análisis de suelos que generalmente varía entre 2.5 y 8 kg/m². Mezcle muy bien la bentonita con el suelo del fondo por lo menos 15 cm antes de compactar. No se debe dejar sin agua el estanque para evitar el secado y la ruptura; ramas o paja pueden utilizarse para cubrir el estanque, si este no va a ser llenado inmediatamente. En los lugares donde se concentra el agua se debe colocar grava.

6.4 ADITIVOS QUÍMICOS

Causada por la disposición de las partículas de arcilla, la filtración es algunas veces excesiva en suelos de arcilla fina. Se forman estructuras con poros aperturas o panales y el suelo es llamado agregado. Aplicando pequeñas cantidades de químicos se provoca un colapso en estas estructuras abiertas y ocurre una reagrupación de las partículas; ésta estructura dispersada reduce la permeabilidad. Los químicos usados se llaman agentes dispersantes (EICA, 1991).

El suelo del área donde se construye el estanque debe contener más del 50% de material de grano fino compuesto de arcilla y sedimento y por lo menos un 15% de arcilla para que el tratamiento químico sea efectivo. No se utiliza en suelos con gránulos gruesos (piedra y grava).

Muchas sales solubles son usadas como agentes dispersantes, entre ellos los Polifosfatos de sodio y el cloruro de sodio o sal común son los más comúnmente utilizados. Ceniza sódica con un grado técnico de 99 a 100% de carbonato de sodio también puede ser usada.

Entre los Polifosfatos de Sodio, el Pirofosfato de Tetrasodio y el Tripolifosfato de Sodio son los más efectivos y se aplican en dosis de 0.3 a 0.5 kg/m². El Cloruro de Sodio se aplica en dosis de 1.1 a 1.8 kg/m² y la Ceniza Sódica en dosis de 0.5 a 1.1 kg/m. Se debe certificar en un laboratorio de análisis de suelos, para que se determine el agente dispersante más apropiado y la cantidad a aplicar (EICA, 1991).

Se mezcla el dispersante con el suelo del fondo, formando una capa de 15 cm cuando la profundidad del agua es inferior a 2.5 m y 30 cm si es mayor. El procedimiento para la aplicación y compactación es similar al descrito en los métodos anteriores.

6.5 TELAS IMPERMEABLES

El uso de telas impermeables como el geotextil para la impermeabilización de estanques en suelos de grano grueso es otro método disponible.

6.6 PROTECCIÓN

Consiste en establecer una cubierta vegetal como una forma de controlar los efectos de la lluvia, el viento, el oleaje y el tránsito que causan erosión de los diques. Al terminar la construcción de los diques, se aconseja cubrir la parte libre con tierra fértil del descapote y plantar hierbas rastreras o forrajeras (Pangola, maní forrajero, araquís, grama, etc.) que formen césped compacto y continuo (Fig. 23).



FIGURA 23. Cobertura del dique para protección.

7. ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS

Las estructuras hidráulicas conforman el sistema de abastecimiento y el sistema de drenaje. En un estanque la entrada y salida de agua deben estar separadas tan lejos como sea posible. El nivel de la entrada debe estar mínimo 10 cm por encima de la superficie del agua para asegurar una buena aireación y evitar el escape de los organismos del estanque. El tubo o canal de llegada de agua debe estar siempre horizontal, nunca en declive hacia aguas abajo.

La salida de agua se coloca en el lado opuesto de la entrada y puede ser por tubería en forma de L o un canal abierto o monje que permite controlar el nivel de agua y drenaje.

7.1 TOMA DE AGUA

El suministro para estanques de presa normalmente se hace por lluvias, nacederos o por aportes e la vertiente; debe ser evitado el suministro directo de ríos o quebradas y es mejor construir una bocatoma ó un canal de derivación que evite los efectos de las crecientes y permita controlar el flujo de agua al estanque.

Para un abastecimiento controlado, especialmente en estanques de derivación se debe verificar y evaluar la fuente de agua, identificando el punto de captación y el trayecto para el canal de abastecimiento o derivación. La toma de agua según Proença et al. (1994), debe cumplir algunos requisitos, así:

- ◆ Permitir un control total sobre el volumen de agua a ser captado
- ◆ Captar agua siempre en favor de la corriente, nunca directamente u opuesta a la misma.
- ◆ Captar el agua por debajo del nivel mínimo de la corriente, pensando en la época de sequía.
- ◆ Colocar un sistema de protección (malla, filtro de piedra y arena gruesa) para evitar la entrada de organismos indeseables al cultivo.
- ◆ Al igual que el canal de derivación, debe estar ubicado por arriba del nivel o cota máxima del estanque.

7.2 LA BOCATOMA

Existen varios tipos de construcciones costosas para la toma de agua y otros más sencillos como la compuerta ahogada, formada por una tabla removible entre dos ranuras de concreto (Fig. 24).

Se puede construir una caja de concreto con cuatro ranuras, que además de ejercer una función protectora a través de mallas, permite el control del volumen de agua a través de compuertas de madera que encajan en las ranuras hechas en la caja de concreto o con un registro.

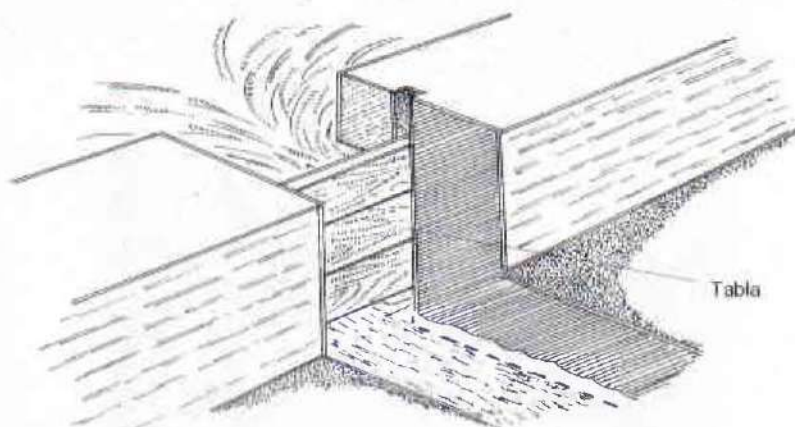


FIGURA 24. Compuerta ahogada para toma de agua

Cuando no se dispone de un sistema como los descritos, unos vertederos colocados aguas abajo del lugar de toma, pueden evacuar el agua excedente. Muchas veces es indispensable elevar el nivel del agua de la quebrada mediante una pequeña presa de piedra, arcilla, concreto, etc. construida más abajo de la toma de agua y colocándole un vertedero.

7.2.1 El canal de derivación

Cuando la toma de agua es distante de los estanques, se puede construir un canal de derivación en un terreno natural o colocar tubería que pueden ser de PVC, concreto, etc. que lleve el agua a una caja de derivación que a su vez la distribuirá a los estanques a través del canal de abastecimiento a cielo abierto o por tuberías (Proença et al., 1994) (Tabla 10).

El canal de derivación es de caudal constante, destinado a llevar agua a una altura tal que permita llenar los estanques. El trazado del canal se hace con estacas, ayudándose de nivel (Fig. 25).

TABLA 10. Dimensiones de canales de abastecimiento tipo trapezoidal (Baños, 1989)

Características	Instalaciones Artificiales (lt/seg)	Instalaciones Industriales 20 - 50 lt/seg
Anchura del fondo	0.25 - 0.30 m	0.50 m
Profundidad	0.25 - 0.40 m	0.60 - 0.80 m
Declive de las paredes	1.5:1	1.5:1
Anchura de la boca	0.60 - 1.00 m	1.50 - 1.80 m
Declive del fondo	0	1%(1 cm x 10 m)

La velocidad de la corriente en el canal no debe causar erosión en las paredes. La velocidad del agua en tierra fina es de 0.15 m/seg y en piedras 1 m/seg.

En todo canal se deben considerar tres factores:

- ◆ La pendiente: debe estar en razón directa con el destino que se dé al canal y con la velocidad que el agua adquiere al pasar por él.
- ◆ La sección transversal: varía según las condiciones del terreno, puede ser de forma trapezoidal o rectangular.
- ◆ La velocidad del agua: debe ser moderada para evitar la erosión de los taludes.

Lo más importante en el trazado de la sección transversal es fijar el talud o ángulo que las paredes del canal forman con la horizontal del fondo. La sección del canal está en razón inversa a la pendiente, luego a mayor pendiente se necesita menor sección para conducir una cantidad cualquiera de agua (Fig. 26).



FIGURA 25. Canal de derivación

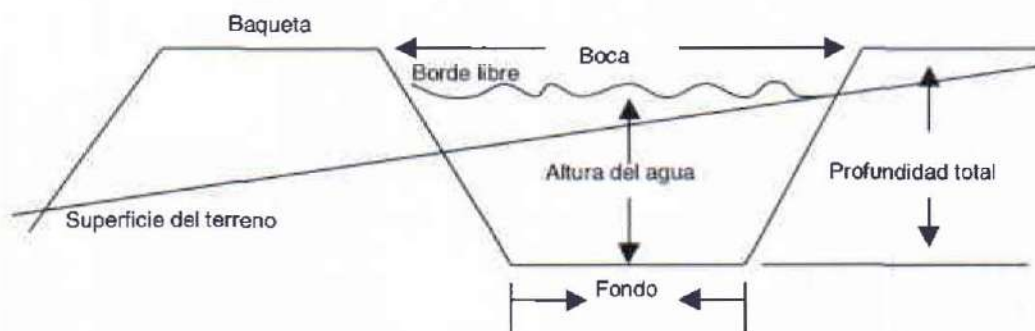


FIGURA 26. Corte transversal de un canal de derivación tipo trapecoidal

El área de la sección del canal establecida por Llaudaró se determina así:

$$A = ah + nh^2$$

Donde:

A = Area o sección del canal m^2

a = Ancho de la base m

h = Carga o altura del Agua

$$n = \frac{b}{h'}$$

Donde h' es la altura del talud y b la base de su triángulo.

Los taludes indicados por los ingenieros son:

Tierras flojas $b = 2; h' = 1$

Tierras arcillosas $b = 1.5; h' = 1$

Tierras compactas $b = 1; h' = 1$

Hormigón o concreto $b = 0.5; h' = 1$

La velocidad del agua debe considerarse dado que es diferente en la superficie del líquido, llamada velocidad superficial (v_s); en el centro, llamada velocidad media (v_m) que es la que se estima para determinar el caudal o gasto en el canal y la velocidad en el fondo de la corriente (v_f) (Baños, 1989).

Prony reportado por Baños (1989) establece la relación de estas tres velocidades, así:

$$v_s = 1.25v_m = 1.27v_f$$

$$v_m = 0.80v_s = 1.33v_f$$

$$v_f = 0.75v_s = 0.60v_m$$

El exceso de velocidad causa erosión y destrucción del canal, por lo cual se ha determinado que la velocidad máxima en los canales para evitar la erosión debe ser:

- ◆ Terrenos flojos 0.33 m/seg.
- ◆ Terrenos arcillosos y compactos 0.60 m/seg.
- ◆ Terrenos pedregosos o de grava 0.80 m/seg.
- ◆ Terrenos rocosos 2.25 m/seg.

Ejemplo: se planea construir un canal para conducir un caudal de 1000 litros por segundo en un terreno arcilloso.

La velocidad (v) del agua en un canal en terreno arcilloso no debe exceder 0.60 m/seg.

Por seguridad, se recomienda calcular con una velocidad menor a la máxima, por ejemplo $v = 0.50$ m/seg

Como $Q = Av$, entonces:

$$A = Q/v; A = 1 \text{ m}^3/\text{seg} / 0.50 \text{ m/seg} = 2 \text{ m}^2$$

Para evitar el desbordamiento y erosión se incrementa a 2.20 m^2 . De acuerdo con la naturaleza del terreno, se estima un talud: $b = 1.0$ $h' = 1$.

Aplicando la fórmula de Llaudaró $A = ah + nh^2$

$$A = 2.20 \text{ m}^2; h' = 1; n = 1.0$$

$$2.20 \text{ m}^2 = a(1 \text{ m}) + 1.0(1 \text{ m})^2$$

$$2.20 \text{ m}^2 = a (1\text{m}) + 1.0 \text{ m}^2$$

$$a = 2.20 \text{ m}^2 - 1.0 \text{ m}^2$$

$$a = 1.20 \text{ m}$$

$$\text{Ancho del canal} = 1.20 \text{ m}$$

$$\text{Altura del agua} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Base del talud} = 1.0 \text{ m}$$

$$\text{Ancho superior del canal } a + 2b = 1.20 \text{ m} + 2(1.0 \text{ m}) = 3.20 \text{ m}$$

Existe otra fórmula de exactitud matemática para evaluar el movimiento del agua en los canales como la de Darcy y Bazin, teniendo en cuenta las paredes del canal y su construcción, así:

$$V^2 = \frac{R \cdot I}{K}$$

Donde:

V = Velocidad media del agua

R = Radio hidráulico que es igual a A/P

A = Área de la sección transversal

P = Perímetro mojado del canal

I = Pendiente del canal

K = Coeficiente que depende de las paredes del canal $K = 0.00028 (1 + 1.25/R)$

Ejemplo: se desea saber la pendiente que deberá tener un canal como el que se muestra en la figura 27. cuando su caudal sea de $1 \text{ m}^3/\text{seg}$

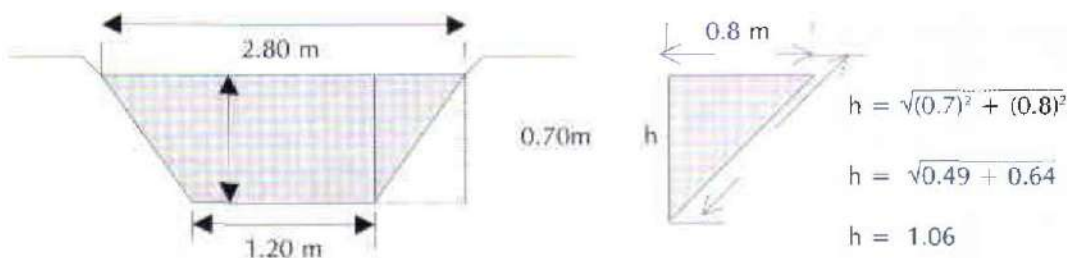


FIGURA 27. Diagrama de un canal trapezoidal

$$\text{Sección de canal: } A = \frac{(B + b) h}{2}$$

$$A = \frac{[(2.80\text{m}) + (1.20 \text{ m})]0.7}{2} = 1.4 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado: $P = 1.06 + 1.20 + 1.06 = 3.32 \text{ m}$

Radio hidráulico: $R = A/P = 1.4 \text{ m}^2/3.32 \text{ m} = 0.42 \text{ m}$

Velocidad del agua: $Q = Av$, entonces $v = Q/A = 1.0 \text{ m}^3/1.4 \text{ m}^2 = 0.71 \text{ m/seg.}$

Aplicando la fórmula de Bazin:

$$V^2 = \frac{R \cdot I}{K}$$

$$K = 0.00028(1 + 1.25/0.42 \text{ m}) = 0.0011$$

$$I = \frac{V^2 K}{R} = [(0.71 \text{ m/seg})^2 (0.0011)] / 0.42 \text{ m} = 0.013 \text{ m}$$

El canal debe tener una pendiente de 13 mm por metro lineal de canal.

7.3 CANAL DE ABASTECIMIENTO Y CAJAS DE DERIVACIÓN

Las dimensiones del canal dependen de la cantidad del agua que se va a conducir, por lo cual el canal principal de alimentación o derivación deberá tener las dimensiones adecuadas para conducir esa cantidad de agua, considerando que debe ser capaz de abastecer el área inundada en un periodo corto (10 - 50 días) (Proença, et al., 1994). Se debe considerar un borde libre no menor a una tercera parte de la altura de la columna de agua en el canal.

Para el cálculo del caudal en canales a cielo abierto, existen varias fórmulas prácticas que se basan en la expresión de Chézy:

$$V = C\sqrt{R_H \times I},$$

donde:

V = Velocidad media (m/seg)

R_H = Radio hidráulico

I = Pendiente o declive

C = Es un coeficiente que depende de la naturaleza y estado de las paredes del canal y de su propia forma. La fórmula de Bazin es una expresión muy usada para relacionar este coeficiente incluso con la pendiente (Tabla 11).

$$V = \frac{87\sqrt{(R_H \cdot I)}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R_H}}}$$

Para Bazin el coeficiente C es:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R_H}}}$$

Donde:

V = Velocidad media (m/seg)

R_H = Radio hidráulico

I = Pendiente o declive

γ = Coeficiente que depende de la naturaleza de las paredes, dado por la tabla 11.

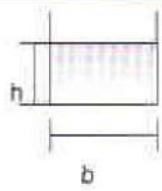
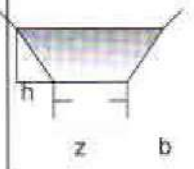
TABLA 11. Valores del coeficiente γ para la fórmula de Bazin

Clase de material	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
Superficies lisas de cemento	0.00	0.06	0.14	0.22
Tubos de concreto	0.14	0.22	0.33	0.41
Cajas de madera prensada	0.00	0.14	0.22	0.28
Cajas de madera no prensada	0.06	0.22	0.28	0.33
Canales revestidos de concreto	0.14	0.28	0.40	0.55
Conductos metálicos lisos	0.06	0.14	0.22	0.33
Conductos de metal corrugado	0.88	1.05	1.21	1.38
Canales de tierra en buena condición	0.50	0.69	0.88	1.05
Canales de tierra con vegetación y rocas	1.05	1.38	1.75	2.10
Canales excavados en roca	1.38	1.75	2.04	2.32
Cursos de agua naturales	1.05	1.38	1.75	2.10
Cursos de agua natur. con veget., rocas, etc.	1.75	2.42	3.48	4.85

Tomado de Proença *et al.*, 1994.

Las secciones más comúnmente usadas son la rectangular y la trapezoidal y los cálculos se determinan en la tabla 12, así:

TABLA 12. Características de canales a cielo abierto

Canal Abierto	Sección	Área	Perímetro húmedo	Radio Hidráulico
De sección rectangular		$b \cdot h$	$b + 2h$	$\frac{bh}{b + 2h}$
De sección trapezoidal		$(b + zh)h$	$b + 2h\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zh)h}{b + 2h\sqrt{1 + z^2}}$

Ejemplo: calcular el caudal (Q) del agua en un canal de abastecimiento de sección rectangular revestido en concreto de muy buenas condiciones (Fig. 28), donde la pendiente (I) es de 0.5% = 0.005 m/m; ancho (b) de 0.30 m; altura de la columna de agua (h) de 0.25 m; un borde libre de 0.15 m y el coeficiente (γ) es 0.14 (Tabla 11).

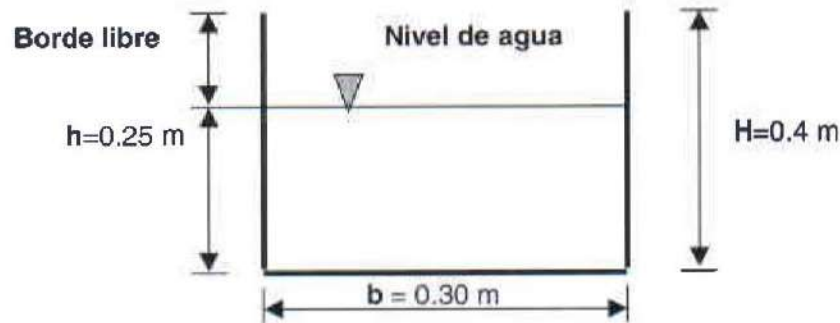


FIGURA 28. Canal de sección rectangular

$$R_h = \frac{bh}{b + 2h} = \frac{0.30 \times 0.25}{0.30 + 2(0.25)} = \frac{0.075}{0.8} = 0.094$$

De la fórmula:
$$V = \frac{87 \sqrt{(RH.I)}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{RH}}}$$

Tenemos:
$$V = \frac{87 \sqrt{(0.094 \times 0.005)}}{1 + \frac{0.15}{\sqrt{0.094}}}$$

$$V = \frac{87}{1 + \frac{0.15}{0.30}} \times 0.02 \quad V = \frac{87 \times 0.02}{1 + 0.50}$$

$$V = 1.16 \text{ m/seg}$$

Se ha estimado un velocidad media (V) igual a 1.16 m/seg, entonces:

$$Q = V \times S \quad \text{y} \quad S = b \times h$$

$$Q = 1.16 \times (0.30 \times 0.25)$$

$$Q = 0.087 \text{ m}^3/\text{seg} \quad \text{o sea} \quad Q = 87 \text{ lt/seg}$$

Ejemplo: manteniendo las mismas dimensiones del canal del ejemplo anterior (base, altura del agua, borde libre y pendiente), se pretende construir un canal trapecoidal (Fig 29.); entonces:

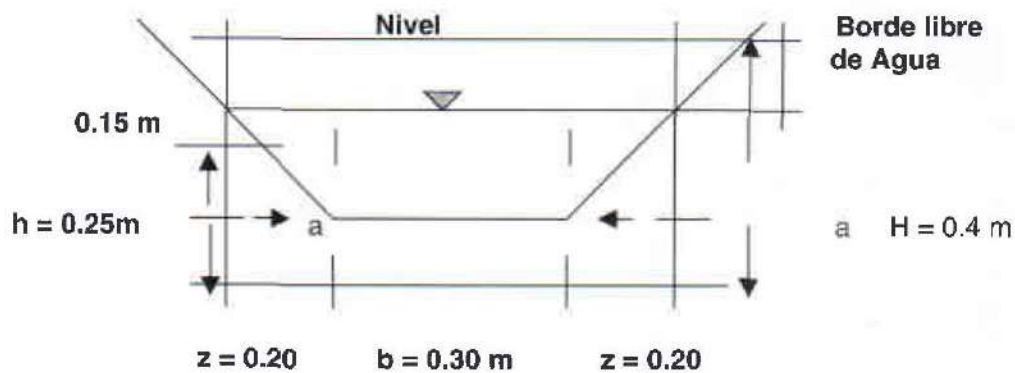


FIGURA 29. Canal de sección trapezoidal

$$a^2 = z^2 + h^2 \quad a^2 = 20^2 + 25^2 \quad a = \sqrt{(400+625)}; \quad a = 32$$

$$R_H = \frac{S}{Ph} \quad S = \frac{0.70 + 0.30 \times 0.25}{2} \quad S = 0.125$$

$$Ph = b + 2h\sqrt{(1+z^2)} \quad \text{Perímetro húmedo}$$

$$Ph = 0.30 + 2(0.25\sqrt{(1+0.20^2)}) \quad Ph = 0.81$$

$$R_H = \frac{0.125}{0.81} = 0.154$$

$$V = \frac{87 \sqrt{(R_H \cdot I)}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R_H}}}$$

$$\text{Tenemos: } V = \frac{87}{1 + \frac{0.15}{\sqrt{0.1543}}} \sqrt{(0.1543 \times 0.005)}$$

$$V = \frac{87}{1 + \frac{0.15}{0.393}} \times 0.0277 \quad V = \frac{87}{1 + 0.382} \times 0.0277$$

$$V = 1.74 \text{ m/seg}$$

$$Q = V \times S \quad Q = 1.74 \times 0.125 \quad Q = 0.218 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El caudal (Q) en el canal trapezoidal es de 218 lt/seg.

Para adelantarla construcción del canal, se cava primero la parte central con paredes verticales con una distancia entre sí igual a la anchura del fondo y si este es de forma trapezoidal, se ajusta el declive a lo largo del fondo con ayuda de nivel y finalmente se arreglan los taludes.

7.4 LLEGADA DE AGUA AL ESTANQUE

Los canales abiertos están generalmente conectados a los estanques a través compuertas metálicas, un tubo metálico o de PVC o una compuerta ahogada como la de la toma de agua para controlar los volúmenes (Fig. 30).

En algunos casos, los canales descargan el agua en cajas de derivación, en las que se acoplan tuberías de PVC alta presión con diámetro variable en función del tamaño y la necesidad de recambio del estanque. El tubo de alimentación debe ubicarse horizontal y a la altura de la corona del dique de la parte menos profunda (Fig. 31).



FIGURA 30. Canal abierto de alimentación de estanques

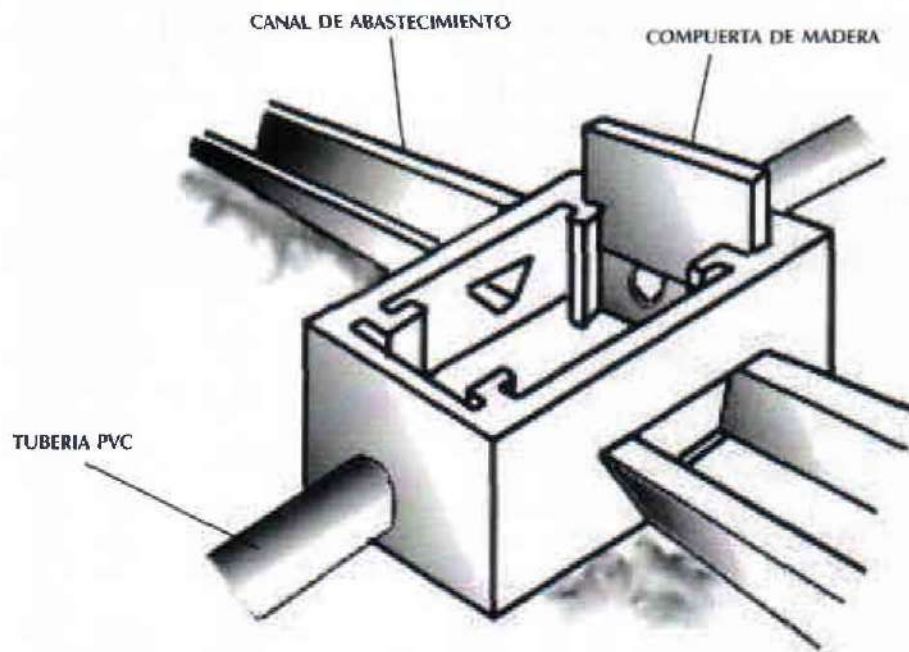


FIGURA 31. Caja de derivación (Según Proença *et al.*, 1994)

Para determinar el caudal en un tubo de abastecimiento se debe tener en cuenta, el diámetro, la longitud y la profundidad del agua en el canal de alimentación. Para el cálculo, se aplica la siguiente fórmula

$$Q = \mu S \sqrt{2gH}$$

Donde:

Q = caudal m³/seg

μ = coeficiente de descarga (Fig. 32)

S = sección transversal de la tubería (m²)

g = 9.81 (Aceleración debida a la gravedad, m/seg)

H = profundidad del agua desde el centro de la tubería hasta la superficie libre del fluido (m)

Ejemplo: determinar la descarga de una tubería con un diámetro de 0.05 m, si la longitud es de 5 m y la profundidad del canal de suministro es de 0.50 m.

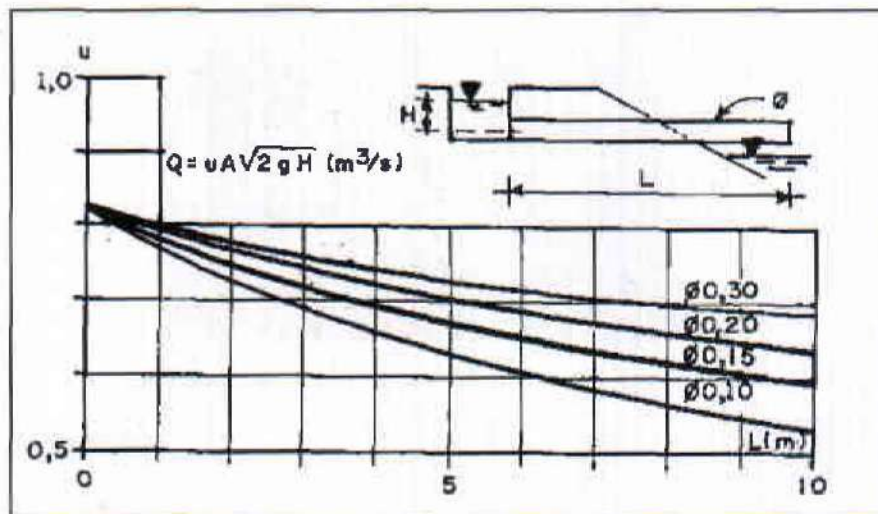


FIGURA 31. Coeficiente de descarga

El coeficiente de descarga (μ) es igual a 0.6 de la figura 32

$$\pi D^2 = 3.14 \times (0.05 \text{ m})^2 = 0.00785$$

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{0.00785}{4} = 0.00196 \text{ m}^2$$

$$H = 0.50 \text{ m} - \frac{0.05 \text{ m}}{2} = 0.475 \text{ m}$$

$$Q = 0.60 (0.00196 \text{ m}^2) \sqrt{2(9.81 \text{ m/seg} \times 0.475 \text{ m})}$$

$$Q = 0.0029 \text{ m}^3/\text{seg} \text{ o sea } 2.9 \text{ lt/seg}$$

7.5 SISTEMA DE DRENAJE

El tamaño del estanque y los recursos económicos del piscicultor determinan el sistema más adecuado para desocupar el estanque, pero el dispositivo a utilizar debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- ◆ El drenaje debe estar localizado en la parte más profunda, de modo que el estanque se pueda desocupar totalmente.
- ◆ El sistema de drenaje debe tener la capacidad suficiente, evitando que el agua se desborde por el vertedero o el dique ocasionando problemas de erosión
- ◆ El control de nivel o exceso de agua debe eliminarse por el fondo, donde se encuentra el agua de baja calidad, especialmente con niveles bajos de oxígeno disuelto.
- ◆ El dispositivo a utilizar debe poseer una malla de protección para evitar la fuga de los peces.

Existen varios tipos de estructuras para desocupar un estanque, pero los más comunes en las zonas tropicales son el monje y tubo en L con codo móvil. El diámetro del tubo depende del volumen de agua a evacuar. Los siguientes cálculos se hicieron para un tubo recto de 10 m de largo (Tabla 13) (INDERENA- AID-PAN, sin fecha)

TABLA 13. Descarga aproximada (lt/seg) en diferentes tuberías

Profundidad de la superficie hasta el nivel del tubo (m)	Diámetro del tubo (pulgadas)			
	Litros/segundo			
	2"	4"	6"	10"
1.55	4	21	53	167
1.45	4	20	52	162
1.25	3	19	48	150
1.15	3	18	46	144
0.75	3	14	37	106
0.65	2	13	35	108
0.45	2	11	29	90
0.25	2	8	21	67
0.15	1	6	17	52

Tomado de Fundamentos básicos de piscicultura para especies de clima templado (INDERENA-AID-PAN, sin fecha)

La descarga en lt/seg depende del diámetro del tubo de desagüe y es directamente proporcional a la profundidad del estanque. El tiempo de vaciado se determina con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{0.75 \times A_1 \times (H_1 - H_2)}{A_2} \text{ (seg.)}$$

Donde:

T = Tiempo de vaciado (seg)

A₁ = Área del estanque (m²)

A₂ = Área de la sección transversal de la salida (m²)

H₁ = Profundidad inicial del estanque (m)

H₂ = Profundidad final del estanque (m)

Si el estanque se desocupa totalmente $H_2 = 0$

Ejemplo: determinar el tiempo para desocupar totalmente un estanque de 1000 m^2 , con una profundidad de 1.5 m y un tubo de salida con diámetro de 0.15 m .

$$A_1 = 1000 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14158 (0.15)^2}{4} \approx 0.01767 \text{ m}^2$$

$$H_1 = 1.5 \text{ m}$$

$$H_2 = 0$$

$$T = \frac{0.75 \times \frac{1000}{0.01767} (\sqrt{1.5} - \sqrt{0})}{0.01767} = 51984 \text{ seg} = 14 \text{ horas}$$

7.6 EL MONJE

Es una construcción vertical normalmente en concreto cuya sección horizontal es en forma de U abierta hacia el estanque y una tubería que atraviesa el dique del estanque y va al canal de desagüe o a la caja de pesca (Fig. 33) (Bard *et al.*, 1975; Esteves, 1990; Mercado y Cómez, 1989 y Mercado, 1989).



FIGURA 33. Estanque desagüe tipo monje

El monje debe construirse en la parte más profunda del estanque y con preferencia empotrado en el dique o afuera. La altura deberá corresponder a la cima del dique o sea 30 cm arriba del nivel máximo del agua en el estanque o la presa y la capacidad del tubo de drenaje debe ser superior al de abastecimiento.

La parte vertical comprende una pared dorsal y dos laterales que presentan normalmente tres ranuras verticales internas en cada una por donde corren tablas de madera dispuestas una sobre otra que cierran el monje, algunos se construyen con dos ranuras. En la base de la pared dorsal se acopla el tubo de drenaje que atraviesa el dique (Fig. 33).

En la base de la primera serie de tablas se coloca una malla que reemplaza la primera tabla y evita la fuga de los peces. Para mantener el nivel de agua, entre la segunda y tercera serie de tablas se rellena con arcilla apisonada.

Con este sistema se logra que el recambio se haga del agua del fondo del estanque. En monjes con dos ranuras, el recambio es superficial.

7.6.1 La construcción del monje

La construcción de la base del monje debe hallarse levemente más baja que el fondo del estanque y sobre suelo duro o cimientos especiales. Antes de la construcción se coloca el tubo de evacuación de material prefabricado, con declive de 1 % y sobre una estructura de cemento para darle sostén. El tamaño de los monjes varía con la capacidad del tubo de desagüe que puede ser en hierro, concreto o PVC y con la superficie del estanque. En estanques pequeños las dimensiones recomendables de un monje (Fig. 34):

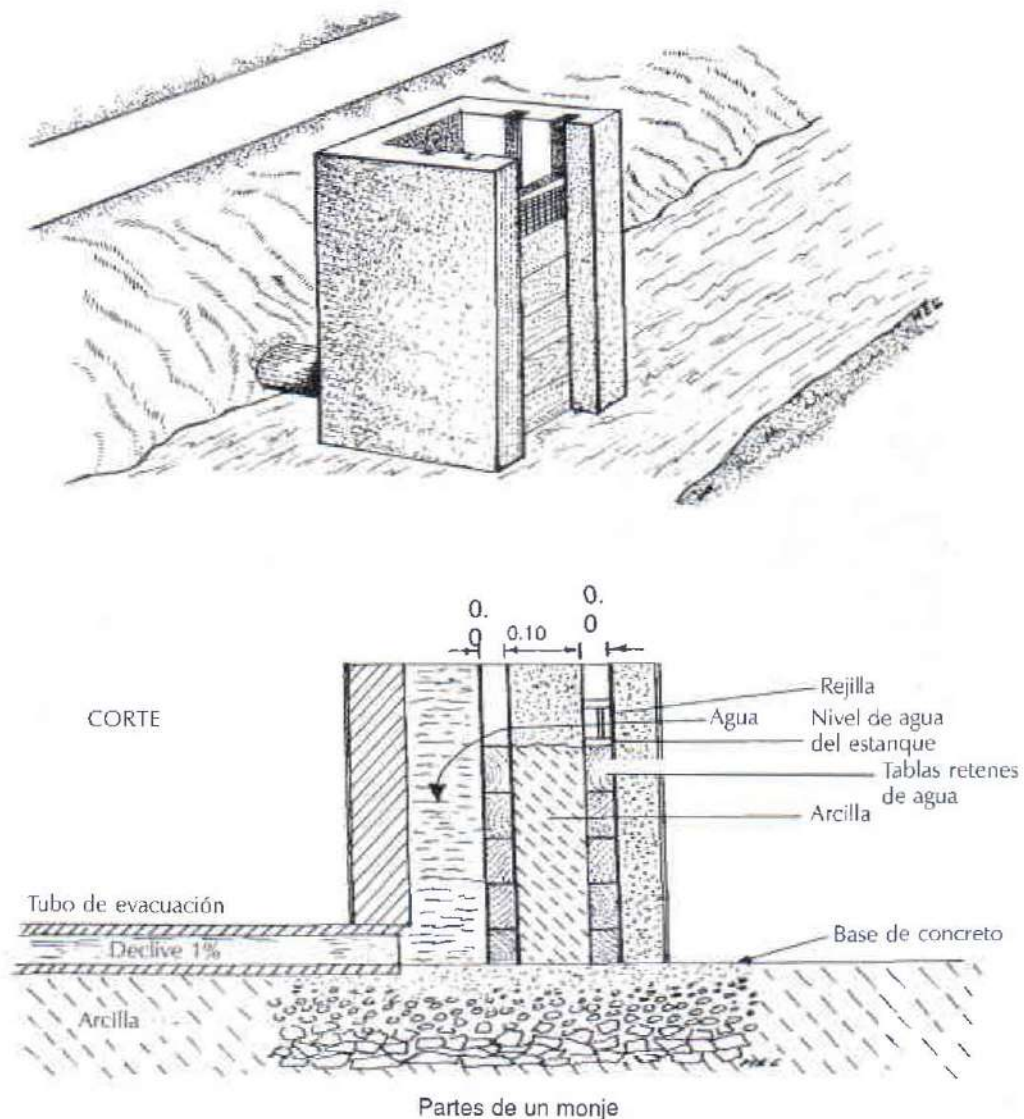


FIGURA 34. Monje de concreto

Altura 1.5 m

Anchura 0.57 m

Longitud de las alas 0.44 m

Espesor 0.12 m

En estanques de mayor tamaño las dimensiones recomendables pueden ser:

Altura 2.0 m

Anchura 0.57 m

Longitud de las alas 0.54 m

Espesor 0.15 m

Los cimientos del monje y del tubo de evacuación deben ser mucho más anchos que el monje para evitar hundimiento. Es posible construir monjes de madera de fácil construcción pero la durabilidad es muy corta.

Para calcular el caudal de descarga en el monje (lt/seg) se aplica la fórmula de Francis para vertederos rectangulares, sin tener en cuenta la velocidad de aproximación:

$$Q = 1.84Bh^{3/2}$$

Donde:

Q = Caudal

B = Ancho interno del monje (m)

h = Altura de carga (m)

Para calcular el caudal (Q) de descargue en la tubería se aplica la fórmula descrita para abastecimiento:

$$Q = \mu S \sqrt{2gH}$$

Se puede utilizar empíricamente de descarga (μ) igual a 0.88 que permite simplificar el cálculo del caudal de descarga, sin alterar significativamente los resultados (Proença et al., 1994).

7.7 DESAGÜE CON TUBO EN L Y CODO

Se utilizan con más frecuencia en estanques con áreas inferiores a 1000 m². Se utilizan tubos de PVC u otro material, de 4 ó más pulgadas de diámetro. El desagüe consta de cuatro partes: (Fig. 35)

Un tubo colocado en la base del dique, con una pendiente de 1% para asegurar el flujo de agua. El tubo debe asegurarse con collarettes de concreto para darle sostén (Bard et al., 1975; Rey y Amaya, 1983; Esteves, 1987, 1990 y CAP, 1993).

Un codo móvil colocado en pie del dique interno, en el extremo interno del tubo de desagüe.

Un tubo vertical de longitud igual a la columna de agua, unido al codo y con movilidad para controlar el nivel.

Un sobretubo de mayor diámetro y longitud a manera de camisa, con ranuras en la parte inferior, permite recambiar el agua del agua de fondo del estanque que es de menor calidad.

El extremo del tubo vertical de desagüe debe cubrirse con una malla para evitar el escape de peces.

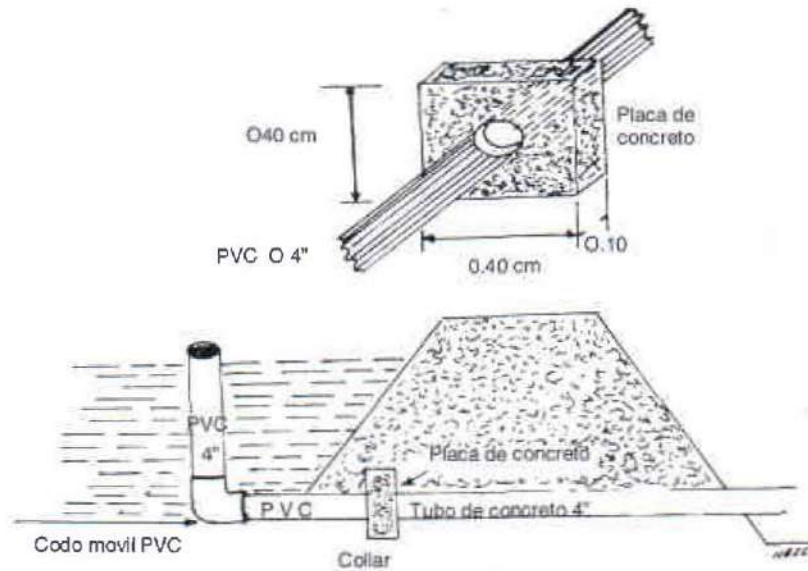


FIGURA 35. Desagüe con tubo en L y codo móvil

7.8 CANAL DE DRENAJE

Es la estructura hidráulica destinada a recibir todas las aguas provenientes de los drenajes de los estanques y demás infraestructura de la granja piscícola y conducir las a un lugar para el tratamiento y disposición final.

Pueden ser construidos en concreto, con paredes revestidas de ladrillo, piedra, prefabricado o en un terreno natural excavado que presente adecuadas características de impermeabilidad. La sección transversal más usada es la trapezoidal.

El declive o pendiente del fondo debe tener como mínimo 5‰ (cinco por mil). Cuando por condiciones topográficas y tipo de suelo no se puede construir un canal abierto se deben utilizar tuberías subterráneas con cajas de inspección intercaladas.

La cantidad de agua de todo el sistema debe ser drenada en un tiempo tal que corresponde a:

$$t \text{ días} = 2 \sqrt{\sum S}$$

donde:

t = tiempo de drenaje en días

$\sum S$ = Sumatoria del área inundada de todos los estanques (ha)

Ejemplo: se requiere desocupar un área inundada de 2 hectáreas y si se considera que $t = 2(2 \text{ ha})$, se requieren 2.83 días, es decir 3 días, entonces el caudal estimado será:

$$Q = \frac{V \text{ (Volumen)}}{t \text{ (tiempo)}}$$

$$Q = \frac{S \times h \text{ (m}^3\text{/seg)}}{t} \quad S = 2 \text{ ha y si se considera una profundidad promedio de 1 m.}$$

$$Q = \frac{2 \text{ ha} \times (10000 \text{ m}^2/\text{ha}) \times 1 \text{ m}}{3 \text{ días} \times 86400 \text{ seg/día}} = \frac{20000 \text{ m}^3}{259200} = 0.077 \text{ m}^3/\text{seg} \text{ ó } 77.1 \text{ lt/seg.}$$

Con el caudal determinado se procede a realizar el diseño del canal, aplicando las fórmulas descritas por Chezy y Bazin para el diseño de canales tipo trapezoidal

8. OBRAS COMPLEMENTARIAS

8.1 SALIDA DE EMERGENCIA O ALIVIADERO

Para evitar que el agua sobrante proveniente de lluvias o excesos de caudal pase por encima del dique se debe construir una salida de emergencia o rebosadero unos 5 ó 10 cm por encima del nivel de agua del estanque y de 50 cm de ancho cuando el control de caudal es eficiente (Fig. 36).

El declive del fondo debe ser suave, no superior a 20% en terrenos naturales y se debe recubrir con grama para evitar la erosión. También se puede utilizar tubería para este mismo propósito.

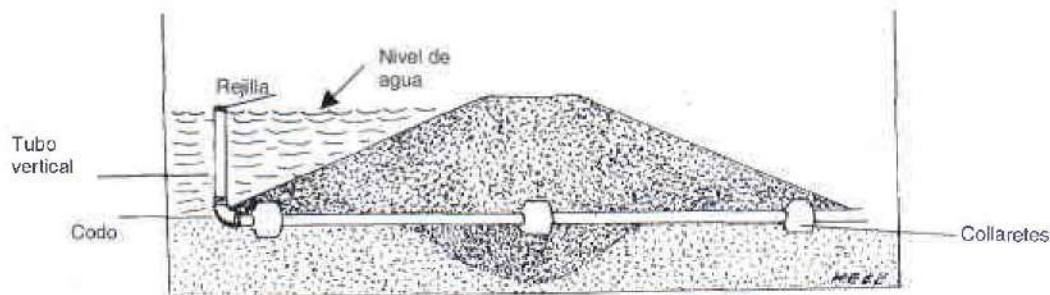


FIGURA 36. Aliviadero o salida de emergencia

8.2 CAJA DE PESCA

Es una estructura localizada en la parte profunda del estanque, cerca al desagüe o fuera del estanque y generalmente 30 cm por debajo del fondo. Se construye en cemento y ladrillo y sirve para recoger la cosecha cuando se desocupa un estanque. Cuando son internas poseen forma de abanico y el tamaño varía con el del estanque (Bard *et al.*, 1975 y Ramírez, 1996).

En cajas de pesca externas rectangulares se puede construir una común para dos estanques o individuales, conectadas al sistema de drenaje.

8.3 ESTANQUE RESERVORIO

Es un estanque ubicado en la parte alta de la granja, sirve para almacenamiento y mejoramiento de la calidad del agua antes de entrar al estanque. Su tamaño varía de acuerdo con el tamaño de la piscicultura y el recambio que se pretenda realizar. Por lo menos debe permitir un recambio del 15% del total del agua de los estanques. En granjas camaroneras se denomina canal reservorio y generalmente uno de los diques del canal es compartido con las piscinas (De Nogales y Santos, 1995).

8.4 COMPUERTA DE SALIDA O DE COSECHA

Se utilizan en estanques para cultivo de camarón y pueden construirse en madera o concreto, la altura es proporcional a la altura del muro, pero su tamaño debe permitir operarlas fácilmente.

La compuerta está formada por una entrada amplia con dos alas en forma de Y, un canal denominado «Box culver» en concreto, una salida y una plataforma de cosecha. La entrada posee una estructura con ranuras para colocar los filtros y dos hileras incrustadas en las dos paredes para colocar los tablonces, que se deslizan por ranuras paralelas. (De Nogales y Santos, 1995).

La serie de tablonces se colocan bien encajados uno encima del otro, relleno con arcilla o lodo para obtener un buen sellamiento, función similar a los monjes.

BIBLIOGRAFÍA

- BAÑOS, G. 1989. Construcción de Estanques, Colegio de Biólogos de Guayaquil, Guayaquil.
- BARD, J.; P. KIMPE; J. LEMASSON; P. LESSENT. 1975. Manual de Piscicultura Destinado a la América Tropical. Centre Technique Forestier Tropical, segunda Edición, Francia, 149 p.
- CAP. 1993. La Piscicultura una oportunidad para su finca. Corporación autónoma Regional del Putumayo, Programa Recursos Hidrobiológicos, Mocoa. 36 p.
- DE NOGALES, C y L. SANTOS. 1995. Cultivo de camarón en estanques. 61 -103 p. en: Rodríguez, H, G. Poío y O. Mora (Ed.) Fundamentos de Acuicultura Marina. INPA. Bogotá, D. C. 223 p.
- EICA. 1991. Memories of Course on Fish Culture Development. The Egyptian International Centre for Agriculture, 335 p.
- ESTEVEZ, M. 1990. Manual de Piscicultura. Universidad Santo Tomás- USTA. Bogotá, 232 p.
- ESTEVEZ, M. 1987. La cachama, cultivo en estanque, INDERENA-Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Bogotá, 30 p.
- GENERAL ELECTRIC DE COLOMBIA S.A. y CATERPILLAR. 1971. Movimiento de Tierra, principios básicos, Bogotá. 96 p.
- GONZÁLEZ J. A. y B. HEREDIA. 1989. El cultivo de la Cachama(Colossoma macropomum). FONAIAP, Estación Exp. Guárico, Subestación Guanapito. Maracay, Ven. 124 p.
- GRAS, J. C. (Sin fecha) Desarrollo físico de tierras bajo Riego. CIDIAT, Mérida, Ven 315 p.
- INDERENA-AID- PAN (Sin fecha). Fundamentos básicos de piscicultura para especies de clima templado. Ministerio de agricultura INDERENA, 93 p.
- MERCADO, J. 1989. Orientaciones básicas al piscicultor y como construir o acondicionar cuerpos de agua para cultivar peces. Recursos Hidrobiológicos. Rev Cient. Tec. Inf. INDERENA, Cartagena. 2: 4-33.
- MERCADO, J. y C. GÓMEZ R. 1989. Esquemas de estructuras para recambio de agua de superficie o de fondo en cuerpos de agua utilizables en cultivo de peces u otras actividades hidro-aplicadas. Recursos Hidrobiológicos Rev Cient. Tec. Inf. INDERENA, Cartagena. 1: 8-29.
- PROENÇA, C. E.; E. MARTINS DE LEAL Y B. R. PAULO, 1994. Manual de Piscicultura Tropical. Brasilia: IBAMA. Bra. 196 p. Il: 21 Cm.
- RAMÍREZ, M.; L. MORALES y M. MALVE. 1996. Manual de Acuicultura CONICIT- CVS- Gobernación del Estado Táchira - FUNDACITE, Ven. 104. p.
- REY F. y R. AMAYA. 1983. Cartilla para el criador de peces en aguas cálidas, INDERENA, Bogotá, 44 p.
- VILLAMIL, V. E. 1990. Guía para construcción y manejo de estanques piscícolas, INDERENA. Bogotá, 15 p.
- VILLAMIZAR, C. A. 1984. Diseño de presas de tierra para pequeños almacenamientos. HIMAT, Bogotá 120 p.
- VON PRHAL, H.; R. CANTERA y R. CONTRERAS. Manglares y hombres del Pacífico Colombiano, Fondo FEN Colombia, Bogotá, 135 p.
- WEDLER, E. 1998. Introducción en la acuicultura con énfasis en los neotrópicos. Primera edición, Santa Marta. 388 p.