

CONSTRUCCION DE ESTANQUES Y DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS PARA EL CULTIVO DE PECES



Ministerio de Economía y Producción.
Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos.
Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.
DIRECCION DE PESCA



CONSTRUCCION DE ESTANQUES Y DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS PARA EL CULTIVO DE PECES*

Parte 1 – PLANIFICACION, SELECCION DE SITIO, FUENTES DE AGUA, DEMANDA HIDRICA y PROPIEDAD DE LOS SUELOS

AUTORES: Eduardo Akifumi Ono y Fernando Kubitza (extraído de Panorama da Aquicultura vol. 12, nº 72, 2002) y adaptado a condiciones argentinas, por la Dirección de Acuicultura).

(*POR EXTENSION ABARCA ESTANQUES DESTINADOS A CULTIVOS DE CAMARONES Y LANGOSTAS DE AGUA DULCE)

Estos artículos aclaran las principales cuestiones referentes a la evaluación y a la selección de áreas o sitios para la implantación de un emprendimiento; uso eficiente de los recursos hídricos; características importantes de los suelos para la construcción de los estanques; diseño y dimensiones de los mismos y de las estructuras hidráulicas acompañantes: el proceso constructivo en sí, con énfasis en el uso del equipamiento más adecuado; la facilidad operacional de las instalaciones; las estrategias para reducir la infiltración de agua en el suelo; el manejo del suelo del fondo de los estanques y las estrategias de re-aprovechamiento del agua y de la producción, sin efluentes. Asimismo, además de la planificación reduciendo los costos de implantación de un emprendimiento, el objetivo de este artículo es tratar de mostrar la posibilidad de reducción en los gastos operacionales y de mantenimiento de las instalaciones a través de la implantación de estructuras durables que faciliten la realización de las actividades de rutina (cosecha, transporte y transferencia de peces, mantenimiento de las áreas de los estanques, distribución de las raciones y alimentación, entre otras).

Planificación para la construcción de los estanques

Quien recorre pisciculturas en diversas regiones del Brasil, se sorprende con la gran diversidad de instalaciones y, más aún, con la gran amplitud de las inversiones. La construcción de los estanques y de las estructuras hidráulicas representa el mayor ítem en inversión en un emprendimiento acuícola. El costo de construcción depende de las características del sitio o área (topografía, tipo de suelo, cobertura vegetal y necesidades de drenaje), del diseño y de la estrategia de construcción de los estanques y demás instalaciones y también de factores climáticos, entre otros. Para minimizar estos costos es necesario una adecuada planificación de las acciones y de las etapas de implantación del emprendimiento (Cuadro 1).

Cuadro 1: Algunas etapas y acciones en la planificación y evaluación de la potencial implantación de un emprendimiento de acuicultura en aguas templado-cálidas.

Prospección de los canales de mercado: presentación del producto y averiguación de la demanda y de los precios
Definición de las estrategias de producción y elaboración del plan de negocio
Estudio preliminar de la viabilidad económica: presupuesto y previsión de los gastos (construcción, equipamiento, insumos, mano de obra, impuestos y otros ítems) e ingresos
Determinación de la necesidad de capital: de inversión y operacional
Prospección de las áreas: fuente de agua, infraestructura local y regional, programas de incentivos, disponibilidad de mano de obra, insumos y servicios, etc.
Prospección y evaluación de las fuentes de recursos financieros



Dirección de Acuicultura
Paseo Colón 982 - Anexo Jardín - Capital Federal
lluchi@sagpya.minproduccion.gov.ar

La fase de planificación merece especial atención, pues, además de posibilitar una buena evaluación de los riesgos en cuanto a la inviabilidad económica, esclarece las dudas en cuanto a la concepción, diseño y operaciones de las instalaciones, ahorrando al inversor gastos innecesarios en la implantación y operación del emprendimiento.

Las preocupaciones por la facilidad operacional y la longevidad de las instalaciones deben ser una constante en la planificación, diseño y construcción de los estanques. Estanques de difícil acceso, o sin estructura de apoyo para manejo, (sistema de drenaje total, cajón de cosecha y manejo, entre otras) exigen el uso más intenso de mano de obra a las cosechas y el cargamento de los peces. Las cosechas representan el punto crítico del manejo de un emprendimiento acuícola y se repiten diversas veces a lo largo del año y en toda la vida útil de las instalaciones; imponiendo grandes esfuerzos a los obreros y un costo considerable a la producción. Cosechas que exigen diversas pasadas de red, además de demandar mayor mano de obra, aumentan y aceleran los daños en los taludes de los estanques, disminuyendo su vida útil y aumentando los costos de mantenimiento de los estanques.

La elección del sitio

En la selección de las áreas para la implantación de estanques deben tomarse en cuenta diversos aspectos que ejercen efecto directo sobre los costos de las operaciones y, por lo tanto, sobre el costo económico del emprendimiento. Aquí resumimos algunos de estos aspectos:

-Topografía del área: Terrenos planos o con suave declive (no superior a 2m de desnivel cada 100m de distancia, o 2%) posibilitan un mejor aprovechamiento del área y reducción en los costos de construcción de los estanques.

-Tipo de suelo: suelo arcilloso y de baja permeabilidad, permite la construcción de diques más estables, siendo, por lo tanto, los más favorables a la construcción de los estanques. Suelos arenosos, o con gran cantidad de guijarros, piedras, presentan en general alta infiltración, demandando un mayor uso del agua. Esos suelos son también poco estables y más susceptibles a la erosión.

-Calidad y disponibilidad de agua: las áreas elegidas deben disponer de fuentes de agua de buena calidad, sin contaminación por vertidos o pesticidas y en cantidad mínima para abastecer la demanda de la piscicultura. La cantidad de agua necesaria depende del área de los estanques, de la tasa de infiltración y evaporación, de la renovación del agua exigida en el manejo de la producción y del uso de estrategias de reaprovechamiento del agua, entre muchos otros factores.

-Compatibilidad del clima: El clima debe ser compatible con las exigencias de las especies que serán producidas. Muchas pisciculturas conviven con el riesgo de pérdida de peces durante el invierno. Por otro lado, algunas especies, como el bagre americano, por ejemplo, necesitan pasar por un período de invierno bien definido para alcanzar las condiciones adecuadas para su reproducción. Otros parámetros climáticos, como el fotoperíodo y el régimen de lluvias, también son decisivos en la reproducción de muchos peces.

-Restricciones ambientales: deben observarse las restricciones en cuanto a la tala de árboles y a la preservación de las áreas para protección ambiental y de árboles de cabecera. También deben ser observadas las restricciones en el uso de los recursos hídricos (cuando existan), principalmente en cuanto al volumen de agua que pueda ser captado y al desagüe de la misma en el drenaje de los estanques en los cuerpos de agua naturales. Para esto es fundamental conocer las reglamentaciones federales, estatales y municipales en cuanto al uso de los recursos naturales y los procedimientos para la obtención de los certificados para habilitación del emprendimiento.

-Infraestructura básica: Las condiciones de las rutas, la disponibilidad de energía, la proximidad de los aeropuertos y puertos, entre otras facilidades de infraestructura, son factores decisivos en la selección de los sitios.



-Disponibilidad de mano de obra, insumos y servicios: debe considerarse la facilidad para reclutamiento de mano de obra temporaria; la conveniencia en la adquisición de los insumos básicos (ración, alevinos, correctivos y fertilizantes, entre otros) y la oferta de servicios de apoyo (terraplenes, mantenimiento de vehículos y otros equipamientos, instalaciones y mantenimiento de redes eléctricas, galpones y otras estructuras; transporte de carga; confección de embalajes, entre otros).

-Acceso al mercado consumidor: la proximidad y el acceso a varios mercados son factores decisivos en la selección del sitio. Un adecuado posicionamiento logístico permite reducir el costo de transporte de los productos, diversificar los mercados y reducir los riesgos de comercialización y mejorar la competitividad del emprendimiento.

-Programas de incentivos fiscales y crediticios: entre otros factores.

Calidad y disponibilidad de agua

Agua de ríos, arroyos, represados, embalses, vertientes, pozos y hasta el agua captada de las lluvias, son utilizadas en el abastecimiento de los emprendimientos acuícolas. La principal cuestión es si la calidad y la cantidad de agua disponible son compatibles con la exigencia del proyecto. Eso sólo se puede responder después de una detallada investigación de las fuentes, de los parámetros de calidad y de los factores de riesgo asociados a cada fuente de agua (Cuadro 2)

Cuadro 2 - Principales características de las fuentes de agua, a evaluar durante la planificación de la implantación de un emprendimiento acuícola.

Variaciones del caudal a lo largo del año, principalmente en los periodos de ausencia o disminución de lluvias
Variaciones en la temperatura del agua y su relación con la temperatura del aire a lo largo del año
Presencia de vida (peces, crustáceos, plantas acuáticas y otros organismos)
Concentración de gases como el oxígeno y el gas carbónico
El pH, la alcalinidad total y la dureza total, indicadores importantes de estabilidad química del agua y que determinan la necesidad de atenuarlos con algunas prácticas de manejo
La salinidad y sus fluctuaciones estacionales, particularmente cuando el objetivo es el cultivo de especies marinas o estuariales, o el cultivo de especies de agua dulce en aguas de salinidad más elevada.
El riesgo de contaminación de la fuente de agua con productos químicos o aportes de origen agropecuario, urbano o industrial
El riesgo de contaminación por patógenos y otros organismos indeseables provenientes del agua de drenaje de otros emprendimientos, "pesque y pague" o "cotos de pesca", que desechan sus efluentes aguas arriba de donde se planifica realizar la captación de agua del proyecto
Las condiciones de turbidez, principalmente durante los periodos lluviosos.

Evaluación y corrección de la calidad del agua

Las muestras de agua pueden ser enviadas a laboratorios especializados para la determinación de diversos parámetros químicos. Pueden realizarse diversos análisis directamente en el campo, con el uso de kits químicos, medidores de oxígeno, pechímetros, refractómetros o salinómetros, entre otros equipamientos portátiles. En el Cuadro 3 se resumen los valores adecuados de las principales variables de la calidad de agua para el cultivo de peces y camarones marinos.

Diversos parámetros de calidad de agua pueden ser corregidos antes y durante el cultivo, particularmente en el cultivo de peces en estanques con baja renovación de agua, así como también en los sistemas de recirculación, donde se realiza el re-aprovisionamiento del agua. En el Cuadro 4 se resumen las principales medidas de corrección sobre la calidad del agua empleada en esos sistemas. Por otro lado, la corrección de la calidad del agua es muchas veces impracticable en estanques con alta renovación de agua o en "raceways" (estanques con alto flujo, que operan como una o más líneas



totales de agua por hora; en general utilizados en cultivo de truchas), debido al gran volumen de agua que precisa ser tratada. Así, las aguas para usar en sistemas intensivos que emplean alta renovación de agua deben ser originalmente adecuadas al cultivo de las especies deseadas. Además de la preocupación por la calidad de la fuente de agua, los empresarios y técnicos deben estar atentos a las restricciones impuestas por las legislaciones provinciales y nacionales respecto del medio ambiente, referido al volumen de agua que podrá ser captado y a la calidad de los efluentes de desecho que puedan ser retornados a un determinado manantial o cuerpo de agua.

Cuadro 3 – Valores deseados de algunos parámetros fisicoquímicos de agua para el cultivo de peces tropicales o de camarón marino (*Litopenaeus vannamei*) en viveros

Parámetro	Peces	Camarón marino
Temperatura	26 a 30°C	25 a 30°C
PH	6,5 a 8,0	7,5 a 8,5
Oxígeno disuelto (O ₂)	>5mg/l	>5mg/l
Gas carbónico (CO ₂)	<10mg/l	<5mg/l
Alcalinidad total CaCO ₃	>30mg/l	>100mg/l
Dureza total CaCO ₃	>30mg/l	>100mg/l
Amoníaco tóxico (NH ₃)	<0,2mg/l	<0,1mg/l
Nitrito (NO ₂)	<0,3mg/l NO ₂	<1,3mg/l (juveniles) <4mg/l (adultos)
Gas sulfhídrico (H ₂ S)	<0,002mg/l	<0,005mg/l
Salinidad	Depende de la especie en General <12ppt para peces De agua dulce	15 a 20 ppt es ideal, aunque pueden ser cultivados en salinidades menores

Cuadro 4 – Medidas correctivas en la calidad del agua en sistemas de recirculación o en cultivos de peces en estanques de baja renovación

Problemas con el agua de abastecimiento	Medidas correctivas para cultivo de peces en estanques de baja renovación de agua o en sistemas de recirculación
Aguas ácidas y/o aguas con baja alcalinidad y dureza total	Encalado con uso de cal agrícola en dosis que pueden variar de 1 a 4 toneladas por hectárea
Peces indeseables en agua de abastecimiento	Instalación de filtros en las redes de abastecimiento o la colocación de telas en los tubos de abastecimiento de agua de los estanques; control periódico de la población natural de peces en los embalsados que abastecen el emprendimiento
Aguas turbias (con arcilla en suspensión) entrando en la red de abastecimiento	Control de entrada de agua en las redes de abastecimiento; Adopción de prácticas de control de erosión del suelo (terraplenado e implantación de cobertura vegetal en las áreas vecinas a los estanques, emprendimiento y en las entradas de la propiedad, de forma de impedir la entrada de agua de inundación a los reservorios y los canales que abastecen el emprendimiento; control de la erosión en los diques de los estanques; entre otras medidas), uso de estanques o de embalses para decantación previa de los sedimentos
Aguas de pozos y canteras son pobres en oxígeno y ricas en gas carbónico	Deben recibir aireación antes de ser usadas en la incubación de los peces, en los tanques de depuración, en los tanques de almacenamiento de reproductores, en los embalajes y cajas de transporte, entre otras situaciones, no es necesario de aireación previa de esta agua, si ellas fueran usadas en el abastecimiento de los estanques con baja renovación de agua



Agua con baja salinidad	Aplicación de sal (cloruro de sodio), yeso (sulfato de calcio) de cloruro de potasio y otras sales, para alcanzar la salinidad y la proporción deseada entre los diversos iones del agua de cultivo. Esta corrección es más empleada en sistemas de recirculación de agua.
Agua con alta salinidad	Dilución con agua de baja salinidad o con agua dulce (agua de pozos, agua de lluvia, entre otras posibles fuentes)

Uso adecuado del agua disponible

El desperdicio y el mal uso del agua son comunes en la mayoría de las pisciculturas. Ese desperdicio se acentúa por la idea de que el cambio de agua es indispensable para la oxigenación de los estanques. Así, ya en el inicio de los ciclos (fases) de cultivo, es común registrar el uso de una renovación excesiva de agua en los estanques, lo que perjudica la eficiencia del encalado y de la fertilización, haciendo que el agua sea pobre de nutrientes. Eso impide la formación del plancton, manteniendo el agua transparente por mucho tiempo, favoreciendo la entrada de luz en la columna de agua, con el desarrollo de algas filamentosas y de plantas sumergidas en el fondo de los estanques.

Si el agua de abastecimiento fuese la única fuente de oxígeno en los estanques, sería necesario altas tasas de renovación de agua para asegurar la sobrevivencia de los peces. Tal práctica generalmente es prohibitiva en la mayoría de los emprendimientos, aún en aquellas con pequeñas áreas de estanques, en virtud de la restricción de disponibilidad de agua. Eso puede visualizarse en el ejemplo del Cuadro 5. Si el agua de abastecimiento fuera la única fuente de oxígeno, un estanque con 4.000Kg de peces/ha demandaría un vaciado continuo próximo a 50 litros/s/ha (o sea el 30% del volumen total/día) para reponer el oxígeno consumido por los peces y por la descomposición de la materia orgánica excretada con las heces. Si la biomasa fuera 6.000Kg/ha y fueran aplicadas 72 kg de ración/ha/día, ese consumo de oxígeno sólo podría ser abastecido con un vaciado de alrededor de 80 litros/s/ha (45% del volumen total/día). Con el aumento de la biomasa para 10.000kg/ha y una tasa de alimentación de 120kg/ha/día sería necesario una renovación diaria de 75%.

Cuadro 5 –Cálculo estimado de vaciado de agua necesario para abastecimiento del consumo de oxígeno de los peces y de los procesos de descomposición de la materia orgánica (MO) en las heces, sobre diferentes biomasa y tasas de alimentación (Rac. Max)

Biomasa (kg/ha)	¹ Rac.Max (Kg/ha/día)	Consumo de O ₂ (gramos/hora)			Vaciado (l/s/ha)	Vaciado (%/día)
		² MO heces	³ peces	Peces- MO		
4.000	48	515	800	1.315	52	30%
6.000	72	773	1.200	1.973	78	45%
8.000	96	1.030	1.600	2.630	104	60%
10.000	120	1.288	2.000	3.288	130	75%
12.000	144	1.546	2.400	3.946	157	90%
14.000	168	1.803	2.800	4.603	183	105%

- 1 Tasa de alimentación de 1,2%PV día en las fases finales del cultivo
- 2 Es necesario 1,4g de O₂ para cada gramo de materia orgánica (MO) a ser descompuesta, ración con 92% de materia seca (MS) y 80% de digestibilidad de MS
- 3 Consumo medio de 200g de O₂/tonelada de peces/hora
- 4 Considerando el agua de abastecimiento con oxígeno de 7mg/l (próximo a saturación) Para expresar el vaciado en m²/h/ha, multiplique el valor en l/s/ha por 3,6, en este ejemplo Fue considerado que 1ha de estanque, tiene un volumen de 15.000m²

En la práctica, cerca de 4.000 a 6.000kg de peces/ha se pueden mantener en estanques sin aireación, en los cuales apenas se repone el agua perdida por evaporación y por filtración. En estanques con baja infiltración (<1 mm/h) esa reposición no excede el 3% del volumen total por día, lo que equivale a un vaciado constante no superior a 4 litros/s/ha, mismo sobre tasa de evaporación



de hasta 12 mm/día (ver el Cuadro 6). Así mismo en suelos con alta infiltración (hasta 5 mm/h) y bajo una alta tasa de evaporación, la reposición del agua ni siquiera pasa el 15% al día. Esto demuestra que el agua de abastecimiento está lejos de ser la principal fuente de oxígeno para la respiración de los peces y de los demás organismos de los viveros.

¿Entonces, de donde proviene el oxígeno necesario para eso?

Proviene de la fotosíntesis que efectúan las microalgas del fitoplancton, que llega a aumentar más del 80% de lo demandado por los peces y otros organismos, inclusive el propio fitoplancton. El balance entre fotosíntesis y respiración es generalmente positivo, o sea, el fitoplancton produce más oxígeno que el consumido en los procesos respiratorios de los estanques. En los días nublados o lluviosos pueden producirse excepciones, ya que, en virtud de la baja luminosidad, la producción de oxígeno vía fotosíntesis puede ser superada por el consumo de oxígeno en la respiración. La respiración también puede exceder a la fotosíntesis en los estanques con una excesiva biomasa (cantidad de kilos de peces) o con una gran producción de fitoplancton. Por lo tanto, es equivocada la argumentación de que el agua de abastecimiento de los estanques es la que supera el oxígeno demandado por los peces. Esto solamente sería posible con altas renovaciones de agua, lo que es impracticable en la mayoría de las emprendimientos de Brasil. Así mismo, en sitios con recursos hídricos abundantes, la alta renovación de agua en los estanques puede ocasionar una alta inversión y costo de mantenimiento y operación de los sistemas hidráulicos (canales, tuberías, filtros y bombas), particularmente donde no es posible la captación y el abastecimiento de agua por gravedad. Puede producirse un conflicto por la necesidad de captación de grandes volúmenes de agua para abastecer un solo emprendimiento acuícola, así como también respecto de la generación de un gran volumen de efluente, que puede llamar la atención de las instituciones medioambientalistas y de la comunidad en general.

Demanda hídrica

Entre otros varios factores, la cantidad de agua necesaria para abastecer una piscicultura, por ejemplo, varía con las pérdidas de agua por infiltración y evaporación, con el número de veces en que los estanques son drenados en el año; con la renovación del agua durante el cultivo; con las estrategias de reaprovechamiento del agua; y con la precipitación (lluvia) anual que incorpora agua directamente en los estanques.

Evaporación e infiltración – La tasa de infiltración del agua, dependerá de las características del suelo del estanque, de la eficiencia del trabajo de compactación previamente realizado, del uso de estrategias para amenguar la infiltración, del tiempo del uso de los estanques, entre otras variables. Estanques construidos en suelos con alto tenor de arcilla pueden presentar filtraciones próximas a cero. Más adelante, en este artículo, se presentan algunas formas de mejoramiento para reducir la infiltración de agua en el suelo. También se comentan las características de los suelos y su relación con la infiltración del agua. La evaporación del agua en los estanques varía de acuerdo con los meses del año, siendo más acentuada con temperaturas elevadas, con baja humedad del aire y con acción continua de los vientos. Informaciones sobre la evaporación del agua pueden ser obtenidas en las estaciones meteorológicas que se mantienen en el país, institutos de investigación, universidades y otras instituciones. La recomendación más común es que estén disponibles entre 10 y 20 litros/segundo (36 a 72 m³/h) para cada hectárea (10.000m²) de estanque. La gran mayoría de las pisciculturas, vacían menos que 10 litros/s/ha, que son suficientes para la reposición de las pérdidas de agua por evaporación e infiltración, excepto en áreas con excesivas infiltraciones de agua, como puede ser observado en el Cuadro 6.



Cuadro 6 – vaciado de agua necesario en litros/segundo/ha para la reposición de las pérdidas de agua por evaporación e infiltración

1VIB mm/hora	Evaporación media (mm/día)					
	2	4	6	8	10	12
0,5	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,8
1,0	3,0	3,2	3,5	3,7	3,9	4,2
2,0	5,8	6,0	6,3	6,5	6,7	6,9
4,0	11,3	11,6	11,8	12,0	12,3	12,5
8,0	22,5	22,7	22,9	23,1	23,4	23,6
12,0	33,6	33,8	34,0	34,3	34,5	34,7

¹VIB= Velocidad de infiltración básica que representa la velocidad de infiltración del agua en el suelo saturado

Si consideramos una hectárea de vivero con 15.000 m³ de agua almacenada, un vaciado de 7litros/s/ha equivale a 4% de reposición del volumen total al día. El lector puede fácilmente estimar la tasa de renovación diaria (% al día) multiplicando los vaciados (en l/s/ha) del cuadro 6 por el factor 0,6. Por ejemplo, para un recambio de agua 12l/s/ha (evaporación de 8 mm/día y VIB de 4 mm/h), la renovación diaria es próxima al 7% (12 x 0,6).

Intensidad de renovación de agua – El uso más intenso de agua, se produce generalmente en la fase final de un ciclo de cultivo. En el Cuadro 7 se reunieron las estimaciones de uso de agua en estanques de 1 hectárea (15.000m³) sometidos a diferentes regímenes de renovación de agua, en ciclos de cultivo de 120 días. El uso total del agua puede variar entre 36.000 a 126.000m³/ha/ciclo, siendo usados entre 6 y 9m³ de agua/kg de peces producidos.

Cuadro 7 – Comparación de necesidad de agua por ciclo de cultivo en estanques de 1 hectárea sobre diferentes intensidades de renovación de agua

	¹ Llenar y mantener (m ³ /ciclo)	² Renovar (m ³ /ciclo)	Uso total (m ³ /ciclo)	Uso de agua (m ³ /kg)	Uso relativo
Apenas reposición (E + I) ¹	36.600	-	36.600	6,10	100
(E + I) + 5% cambio/día los últimos 30 días	36.600	22.500	59.100	7,39	121
(E + I) + 10% cambio/día los últimos 30 días	36.600	45.000	81.600	8,16	134
(E + I) + 20% cambio/día los últimos 30 días	36.600	90.000	128.600	8,44	138

¹E (evaporación) e I (infiltración) y considerando 1 hectárea con 15.000m³ de agua por evaporación media de 6 mm/día e infiltración de 0,5mm/hora los cálculos no considerando las precipitaciones (lluvias) directas sobre los viveros. Los ciclos son de 120 días.

² Renovación del agua en los últimos 30 días.

³ Uso de agua (m³/kg de peces) fue calculado para biomasa de 6.000, 8.000, 10.000 y 15.000 kg/ha, respectivamente, para los estanques con 0 a 20% de renovación diaria.

La inversión en aireación y la implementación de medidas de conservación de agua (acumulación por lluvias, aprovechamiento de agua de drenaje para el abastecimiento de otros estanques, implementación del cultivo con cosechas parciales y siembras múltiples, entre otras posibilidades) posibilitan minimizar el uso del agua y el descarte de efluentes por tonelada de peces producidos. Las ventajas y desventajas del reaprovechamiento de agua serán comentados con mayor detalle en los restantes artículos.



Suelos para la construcción de los estanques

Desde el punto de vista de la ingeniería la selección de los sitios para construcción de estanques debe basarse en la compatibilidad de los suelos que servirán como fundación y como material para la construcción de los taludes y/o diques. Los suelos utilizados en la fundación de los estanques y taludes deben disponer de napa freática profunda para no comprometer y/o encarecer los trabajos de construcción; serán poco susceptibles a las rajaduras, erosión interna y percolación del agua; estables para que no se produzcan acomodaciones o expansiones del suelo que causen daños estructurales a la fundación.

Los sitios seleccionados deben ser detalladamente investigados, abriéndose trincheras o realizando "calicatas" (recolección de muestra de suelo a diversas profundidades con la ayuda de un taladro) a lo largo de toda el área, para poder conocer tanto las características del material, así como la predominancia y suficiencia de los mismos para la construcción de las fundaciones y de los taludes. Las investigaciones del perfil del suelo deben extenderse por lo menos a 60 cm por debajo de la cota prevista para el fondo de los estanques. Los técnicos involucrados en el proyecto y la construcción de los estanques deben poseer un mínimo de conocimiento sobre los suelos y sus propiedades, para una mejor comprensión de las limitaciones de cada sitio y para la adecuación de los procedimientos y acciones correctivas que permitan el emprendimiento.

Nociones básicas sobre suelos

El suelo representa el conjunto de partículas sólidas (minerales y orgánicas) y de espacios o poros (ocupados por aire y por el agua). Las partículas sólidas que componen el suelo varían en cuanto a la composición mineral, tamaño, formato, homogeneidad de tamaño, entre otras características. Las propiedades importantes de un suelo para la ingeniería de la construcción de estanques, resultan de la combinación de las propiedades de sus partículas y de la proporción en que estas se encuentren en el material. El perfil vertical de un terreno es compuesto por diversos horizontes cada cual formado por un tipo peculiar de suelo (Figura 1). El horizonte superficial (horizonte A) encierra la cobertura vegetal (gramíneas, arbustos y árboles) y presentan la mayor concentración de material orgánico (raíces, hojas en descomposición, estiércol animal, entre otros). Parte de este horizonte generalmente es removido durante la limpieza del terreno antes del terraplenado, de tal forma que se evite que el suelo con material orgánico sea usado en la construcción de los taludes. Los horizontes intermedios (Horizonte B1 y B2) están en la posición de fondo de los estanques. De esos horizontes se extrae casi todo el material usado en la construcción de los taludes. Por lo tanto, los suelos de estos horizontes deben tener gradiente suave, textura fina, buena plasticidad y baja permeabilidad, garantizando una buena estabilidad y gran retención de agua en los estanques. El Horizonte profundo (Horizonte C) está formado por rocas en descomposición, que generalmente dan origen al suelo adyacente a este horizonte. El horizonte C en general presenta alta permeabilidad, pues el agua se cuela fácilmente por entre las fisuras y espacios entre las rocas. Por lo tanto, es recomendable que exista una buena distancia entre la cota del fondo de los estanques y la cota de inicio del Horizonte C (por lo menos 60 cm en caso de Horizontes B de baja permeabilidad), de tal forma que se reduzca el riesgo de una excesiva infiltración de agua en los estanques.

El reconocimiento de los horizontes del perfil de suelo es posible con la apertura de trincheras en diversos sitios de la áreas seleccionadas a priori para la construcción de los estanques. Una vez identificados los horizontes de un perfil, deben ser averiguadas las propiedades de los suelos de cada horizonte. Este trabajo forma parte del mapeo de los suelos en áreas de implantación del emprendimiento



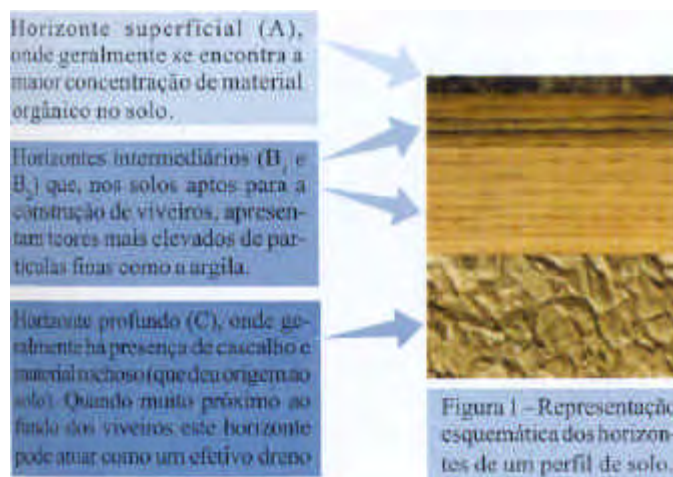


Figura 1: Representación de los horizontes de suelo en un perfil.

Suelos de importancia en la construcción de los viveros

A continuación se presentan las principales propiedades de los suelos que ejercen gran influencia sobre los procesos constructivos, la estabilidad y la capacidad de contención del agua, la susceptibilidad de la erosión, entre otras características de los estanques (taludes) que están siendo implantados.

Textura y gradiente de partículas de los suelos – De acuerdo con su textura, los suelos son clasificados como finos o groseros. Un suelo es considerado de textura fina cuando más del 50% de sus partículas (en peso) pasan por el tamiz 200 (con malla de 0,074mm), Un suelo es considerado de textura grosera cuando más del 50% de sus partículas (en peso) son retenidas en el tamiz de 200. La fracción fina del suelo es compuesta por arcilla y silte, partículas de tamaño inferior a 0,074mm, prácticamente indistinguibles (no visibles) al ojo humano. La fracción grosera del suelo (partículas mayores de 0,074mm) está constituida por arena y pedregullo. Estos materiales pueden ser separados con el uso del tamiz 4 (abertura de 4,76mm). Por eso, cuando más del 50% de la fracción gruesa (material retenido en el tamiz 200) pasan por el tamiz 4, la fracción gruesa se denomina "arena". Si más del 50% de las partículas gruesas quedaran retenidas en el tamiz 4, la fracción gruesa es llamada "pedregullo". En la práctica, cuando visualmente es posible afirmar que predominan partículas de tamaño superior al de un grano de soja (o arveja) en la fracción gruesa del suelo, este es llamado de "pedregullo". En el cuadro a continuación son presentadas las fajas de tamaño de las diversas partículas de la fracción grosera del suelo.

Tipo de partícula	Faja de tamaño
Pedregullo grueso	19 a 75mm
Pedregullo fino	4,8 a 19mm
Arena gruesa	2,0 y 4,8mm
Arena media	0,43 y 2,0mm
Arena fina	0,08 y 0,43mm

La distribución del tamaño de partículas de un suelo puede ser bastante variable. Los suelos son "gradiente suave" son los que presentan una distribución más homogénea en el tamaño de sus partículas. Suelos de "gradiente abrupto" son aquellos en que predomina un determinado tamaño de partículas. Se pueden observar esas características en las Figuras 2 y 3.



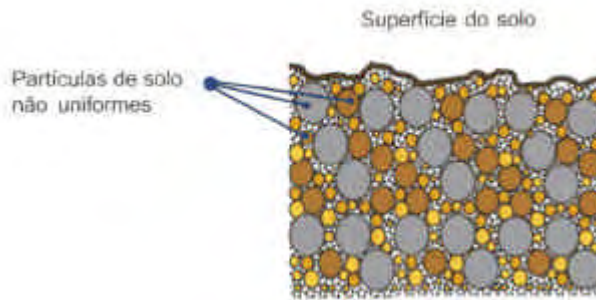


Figura 2: Ilustración de un gradiente suave de suelo con el tamaño de sus partículas, y que posibilita buena compactación en la construcción de los diques.

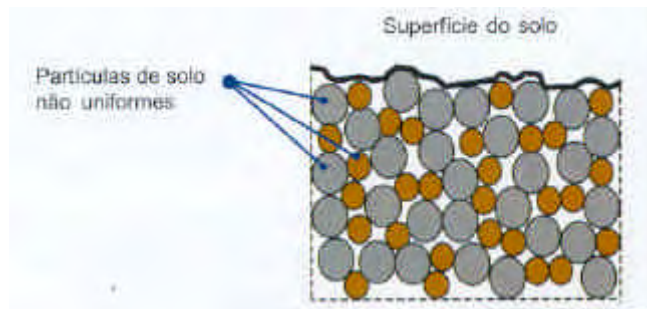


Figura 3: Ilustración de un suelo con gradiente abrupto en cuanto a tamaño de sus partículas, formado primordialmente por partículas de gran tamaño (arena y pedregullo) que no posibilita alcanzar una adecuada compactación y adhesión entre las partículas.

Determinando la composición y el gradiente de las partículas del suelo: la determinación de la textura y del engrillado de la distribución de las partículas, generalmente es realizada por laboratorios especializados en análisis de suelos. Una evaluación práctica de la textura de los componentes puede ser realizada en el campo. Reúna muestras del suelo de los diferentes perfiles utilizando "taladros" o la apertura de trincheras. Después de identificadas, cada una de las muestras debe ser igualmente analizadas:

- a) coloque cerca de 300ml de suelo en un recipiente transparente con cerca de 1 litro de volumen (probeta graduada o garrafa "pet");
- b) "agite" el material con una barra hasta eliminar el volumen de aire en el interior del suelo y registre el volumen del suelo del recipiente (es necesario usar una regla);
- c) adicione 500ml de agua sobre el material y mezcle bien con una barra, de forma a desagregar las partículas del suelo;
- d) tape la boca del recipiente y repetidamente de vuelta el mismo de cabeza hacia abajo, mezclando aún más el material. Después de una buena mezcla deje el recipiente descansar por 25 segundos y anote el volumen del material que decanta. Si más del 50% del volumen inicial, decantó en 25 segundos, el suelo puede ser considerado de textura gruesa. Si decantó menos del 50%, el suelo puede ser considerado de textura fina.
- e) El material deberá ser agitado nuevamente y vuelto a virar durante cerca de 2 minutos. En seguida el material es dejado decantar por 24 horas. Después de este descanso, será posible observar diferentes capas de partículas dentro del recipiente. Las de mayor tamaño (más pesadas) quedarán en el fondo del recipiente. Las alturas de las capas deber ser anotadas y expresadas en porcentual de la altura total del suelo decantado en el recipiente (Figura 4).



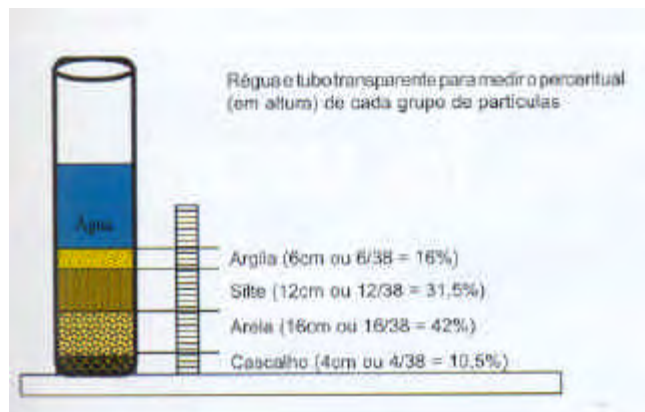


Figura 4: Ensayo práctico de textura y gradiente realizado en una probeta graduada o una garrafa. Obsérvese la disposición de los diferentes grupos de partículas mayores (más pesadas) en el fondo del recipiente.

El gradiente entre las partículas es evaluado de forma subjetiva, verificando en el recipiente que la transición de una camada para la otra sea suave (suelos de gradiente abrupto, donde generalmente hay un predominio de un determinado tamaño de partículas).

Los suelos más adecuados para la construcción de los diques deben presentar gradiente suave: (Figura 2) es una composición de alrededor de 60 a 80% de arcilla y el restante como silte, de forma a garantizar un suave gradiente entre partículas. Suelos con menos de 12% de finos (arcilla y silte) no son apropiados para la construcción de los estanques, a no ser que sean mezclados con otros suelos más finos.

Plasticidad del suelo

La plasticidad de un suelo indica la facilidad con que el mismo es capaz de ser modelado. Un suelo puede ser llamado plástico (moldeable) o no plástico. La presencia de arcilla en el suelo es importante para que éste sea plástico y posibilite un adecuado trabajo de moldeado y compactación de los taludes de los estanques. Suelos en los que predominan los guijarros y arena, que contienen poca arcilla, son en general inadecuados para la construcción de estanques, pues además de presentar altas infiltraciones, no permiten la construcción de taludes y/o diques estables; produciendo grandes riesgos de erosión y de colapso de los mismos.

Los suelos plásticos presentan mayor resistencia a la erosión, la precolación de agua y a las rajaduras por acomodación del material. También presentan mayor cohesión entre partículas, confiriendo gran estabilidad a los taludes, siempre que se haya realizado un adecuado trabajo de compactación. La plasticidad de un suelo (índice de plasticidad) solamente puede ser evaluada en laboratorios especializados. En tanto, existen distintos test prácticos que permiten tener una idea de cuán plástico es un suelo.

Test 1 – Resistencia al aplastamiento: Se toma un bloque de 2 x 2 cm y se lo achata o aplasta, moldeándolo con los dedos. Bloques muy duros indican la presencia de gran cantidad de arcilla en el suelo, siendo este muy plástico y bastante cohesivo, características deseables para la construcción de los estanques. Bloques que se quiebran con una leve presión, presentan en general poca arcilla y mucho silte, y son típicos de suelos de poca plasticidad y cohesión, inadecuados para la construcción de los viveros.



Test 2 – Moldeado y resistencia: Otra forma de evaluar la plasticidad de un suelo es preparando una muestra tamizada (Tamiz 40 es el tamiz padrón de malla de 0,42mm). Para pasar la muestra por el tamiz debe humedecérsela de tal forma que se obtenga una masa que no sea pegajosa para las manos. Luego se hace rodar la masa de suelo entre las manos hasta obtener un fideo tipo “macarrón” de 3 a 4 mm de diámetro. Deshaga el “macarrón” y rehaga nuevamente hasta que se comience a partir en trozos de aproximadamente 2 cm. Este es el indicativo del límite plástico del suelo. Observe las rajaduras en la superficie del “fideo macarrón”. Rajaduras que se presentan en sentido de circunferencia, indican que predomina arcilla de fracción fina en el suelo, o sea que éste es de alta plasticidad. Si las rajaduras son longitudinales, predomina silte en la fracción fina y el suelo es considerado de plasticidad mediana (Figura 6). En seguida se re-moldea la masa en un “macarrón” más grueso (de alrededor de 13 mm de diámetro) y pulse el macarrón por las extremidades, con la intención de partirlo (Figura 6). La fuerza necesaria para partir el material puede ser poca (material poco plástico), media (material plástico) o grande (material muy plástico). Naturalmente que este test es bastante subjetivo, pero permite verificar bien las diferencias entre las muestras de suelo que se evalúan.

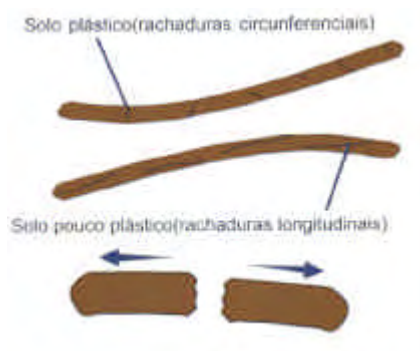


Figura 6: En el dibujo superior se muestran dos “fideos” de cerca de 3-4 mm de diámetro amasadas con suelo húmedo para determinación de la capacidad de moldeado (plasticidad) del suelo. En el dibujo inferior se presenta un “fideo” de mayor diámetro (cerca de 13 mm), utilizando para testear la resistencia del suelo, una forma indirecta de medir la plasticidad del mismo. La presencia de resquebrajaduras en circunferencias y la mayor y la mayor resistencia a la ruptura en el “fideo de 13 mm” son referentes de suelos muy plásticos.

Densidad, unidad óptima y compactación del suelo – La densidad del suelo es influenciada por el volumen de los espacios (poros) presentes en el material. Suelos con baja densidad, son en general gruesos y predominan los guijarros y arena. La densidad del suelo puede ser alterada por la compactación proporcionada por el rodado de las ruedas de los tractores, camiones y motos o “scrapers”, por los cilindros compactadores y, con menor eficiencia, por otra maquinaria. La eficiencia de cada uno de estos equipamientos en la compactación de los diques y del fondo de los estanques, se comenta posteriormente con mayor detalle en la segunda parte de este artículo. Además del equipamiento utilizado, el grado de compactación alcanzado dependerá de la presión impuesta sobre el suelo, del espesor de la camada a ser compactada y de la unidad del suelo en el momento de la compactación. Según el punto de vista de la construcción de los estanques, la unidad óptima de un suelo es aquella que posibilita arribar a la máxima densidad (máxima compactación) sobre un determinado esfuerzo de compactación.

Porosidad y permeabilidad del suelo – La porosidad de un suelo expresa la relación porcentual entre el volumen de espacios (poros) y el volumen total del suelo. La permeabilidad de un suelo depende del tamaño y de la forma de los espacios (poros) y de la densidad y grado de compactación del suelo. Cuanto mayor sea la porosidad de un suelo, mayor será su permeabilidad. La permeabilidad es alta en



suelos con partículas groseras (arena y cascajo) y en suelos de baja densidad. El proceso de compactación disminuye la porosidad y aumenta la densidad del suelo, reduciendo su permeabilidad.

Infiltración de agua

Los técnicos y piscicultores deben estar atentos a la velocidad de infiltración del agua. A través de test simples y rápidos, puede ser evaluado y cuantificado el grado de infiltración, evitando la frustración de construir los estanques en lugares inadecuados, así como también, el excesivo gasto de tiempo y dinero en la construcción y en el uso de medidas posteriores para remediar la infiltración, que no siempre solucionan completamente el problema.

Tests rápidos de infiltración pueden ser realizados, cavando trincheras en el suelo. El fondo de las trincheras debe tener la misma cota del fondo de los estanques. La trinchera debe ser llenada con agua para saturar el suelo de las paredes laterales y del fondo. Con el auxilio de una regla, a intervalos regulares (de 5 en 5, de 10 en 10, de 20 en 20, de 30 en 30 de 60 en 60 minutos, o el tiempo que sea necesario), deben registrarse las alteraciones en el nivel de agua (Figura 7).

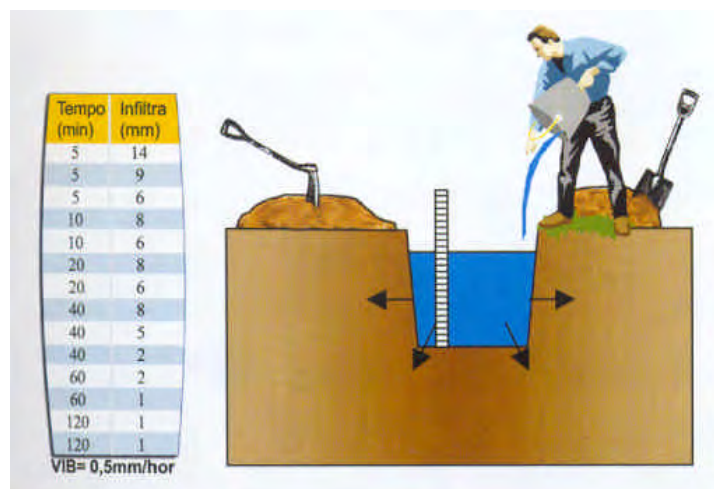


Figura 7: Test de infiltración de agua en el suelo con el uso de la trinchera o calicata. El fondo de la trinchera a la cota de profundidad de los estanques.

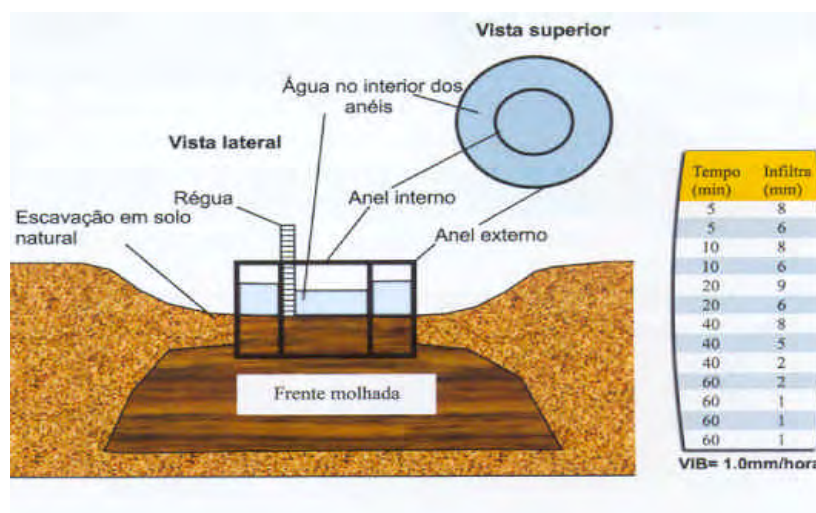


Figura 8: Test de infiltración de agua en el suelo con el uso de anillos concéntricos (uno interno de diámetro de 20 cm y uno externo, con diámetro de 40 cm). En el ejemplo los anillos fueron colocados en una depresión situada en la cota del fondo de los estanques.

La trinchera debe mantenerse siempre llena, adicionándose agua periódicamente a lo largo del test de infiltración. La velocidad de infiltración básica (VIB) se obtiene en el momento en que las lecturas de infiltración se estabilizan. Por ejemplo, si después de intervalos de 120 minutos, la infiltración se estabilizó en 1 mm, la VIB será 1 mm en dos horas, o 0,5mm/h.

La infiltración del agua también puede ser cuantificada utilizando el método de los anillos concéntricos. Dos anillos de hierro con altura de alrededor de 25 cm (uno con 40cm y el otro con 20cm de diámetro) son clavados en el suelo en la posición que corresponderá a la cota del fondo de los estanques (Figura 8). Generalmente es necesario abrir una trinchera en el terreno. Los anillos se clavan en el suelo a una profundidad de alrededor de 8 a 10cm, fijándose que el anillo menor esté bien posicionado en el centro del anillo mayor. El espacio entre el anillo mayor y el menor es previamente llenado con agua, para inducir la formación de un frente mojado en el suelo. Seguidamente se introduce agua dentro del anillo menor. Se coloca una regla en el interior del mismo y la infiltración (en milímetros) debe anotarse a intervalos de tiempo igualmente espaciados. Cuando la infiltración se estabiliza, es posible calcular la velocidad de infiltración básica (VIB) de agua en el suelo.

Los tests de infiltración usando trincheras, con o sin el uso de anillos concéntricos, también posibilitan evaluar la eficacia de estrategias para reducir la infiltración de agua en el suelo. El efecto de compactación del suelo del fondo del estanque, la incorporación de materiales arcillosos (suelos arcillosos obtenidos en áreas próximas o la bentonita), del uso de dispersantes como la soda cáustica y el cloruro de sodio, de la aplicación de fertilizantes orgánicos (de pollo y otros estiércoles de animales; viñedos; afrechillos vegetales), entre otras categorías. Las estrategias para reducir la infiltración de agua en el fondo de los estanques se comentan con mayor detalle en los siguientes artículos.

Suelos críticos

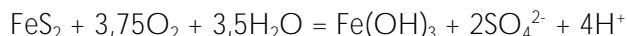
Existe diversos tipos de suelos que son inadecuados para la construcción de estanques, sea porque presentan rocas, por su alta permeabilidad y o por la baja estabilidad que proporcionan a los taludes y/o diques. Por lo tanto, este artículo dedica especial atención a dos tipos de estos suelos: los suelos ácido sulfatados y los suelos orgánicos (turberas)

Suelos ácido-sulfatados

Diversas zonas de manglares (especialmente en Brasil) o, asimismo terrenos donde se acumule material orgánico bajo condiciones de inundación o encharcamiento, pueden presentar suelos ácido-sulfatados. Estos suelos tienen origen en los depósitos aluvionales de las áreas de inundación. En estas áreas se desarrolla una densa vegetación y floresta de manglares o pantanos que favorecen el acúmulo de material orgánico (raíces, hojas, frutos, ramas) en áreas frecuentemente inundadas. La descomposición de este material orgánico no sólo produce condiciones de anaerobiosis (ausencia de oxígeno), sino también produce gran cantidad de bacterias reductoras de azufre. Estas bacterias producen sulfatos, que se acumulan en el suelo en forma de H₂S (gas sulfúrico) o de disulfato de hierro (FeS₂), que posteriormente forma el mineral hierro-pirita.

El hecho de que el suelo esté encharcado no significa problema, en tanto que estas áreas se encuentren limpias y drenadas para proceder a la construcción de estanques, pero estando el suelo expuesto al aire, se produce la formación de ácido sulfúrico, lo que hará que el pH del suelo baje drásticamente. Por lo tanto, después del drenaje este sedimento se tornará en un suelo ácido-sulfatado.





La identificación de un suelo ácido sulfatado: puede ser detectado a través del olor característico a huevo podrido (gas sulfúrico – H₂S) y por la lectura de un valor de pH por debajo de 4, en una muestra de suelo seco (100g de suelo seco en 100ml de agua destilada, realizando la lectura por medio de un peachímetro).

El tope de los taludes o coronamientos de los diques construidos con ese tipo de suelo estará continuamente expuesto al aire, produciéndose la formación de ácido sulfúrico. Con la lluvia sobre los diques, el ácido sulfúrico es llevado hacia dentro de los estanques. Algunas medidas correctivas que pueden tomarse son por medio de encalado y mantenimiento de los taludes protegidos a su vez con pasto o gramilla resistente a suelos ácidos.

Los estanques construidos en suelos ácido-sulfatados, necesitan de dosis muy elevadas de cal para la neutralización de su acidez y por lo tanto, deben atravesar varios llenados y desagotes antes de alcanzar un pH de agua más adecuado para la siembra de peces y/ camarones, langostas. Evitar la exposición de estos suelos al aire (o sea, dejando poco tiempo los estanques sin agua) es una medida más eficaz que estar todo el tiempo corrigiendo la acidez con la aplicación de cal.

Suelos orgánicos (turberas)

Los suelos orgánicos son aquellos que poseen más de un 20% de carbono orgánico en la materia seca o aquellos que presentan más de la mitad de los primeros 80cm formados por suelo orgánico. Estos suelos son de fácil reconocimiento debido a la coloración oscura típica, su fuerte olor a moho y la presencia y predominio de un material orgánico fibroso en el horizonte superficial. Los suelos orgánicos presentan poca estabilidad y resistencia al desplazamiento y no permiten una buena compactación, no siendo, por lo tanto, adecuados para la construcción de estanques. Las turberas están constituidas por suelos orgánicos que pueden presentar horizonte superficial orgánico con más de un metro de profundidad. Construir estanques con suelos de estas características es muy costoso y técnicamente casi imposible, a no ser que sea realizado con un empréstito de suelos más adecuados, provenientes de otras áreas. También existe una necesidad de remover la camada orgánica antes del inicio de los trabajos de terraplenado.

