

## CONSTRUCCION DE ESTANQUES Y DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS PARA EL CULTIVO DE PECES. Parte 4

Eduardo Akifumi Ono, M. Sc. & Fernando Kubitz, Ph. D.  
Panorama da Aqüicultura, enero / febrero 2003-05-15. vol. 13 nº 75

### Parte 4: El reaprovechamiento del agua y el manejo del suelo

A pesar de los numerosos recursos hídricos disponibles en el Brasil, son varias las regiones que sufren con las limitaciones que la escasez de agua impone al desenvolvimiento local. En las proximidades de los grandes centros urbanos son frecuentes los racionamientos y las campañas de estímulo para economizar agua. Instituciones municipales, provinciales y federales discuten sobre la necesidad de cobranza por la utilización del agua y del establecimiento de restricciones en cuanto al volumen posible a ser utilizado, tanto sea para fines industriales como agropecuarios. Paralelamente, crece la preocupación por la protección ambiental y de la sociedad civil con la cantidad y la calidad de los efluentes urbanos, industriales y agrícolas.

La parte final de este artículo presta atención a las estrategias utilizadas para la conservación de agua y la reducción en la emisión y concentración de los efluentes de pisciculturas. Son también discutidas prácticas de manejo del suelo del fondo que pueden contribuir con una descomposición más eficiente de los residuos orgánicos generados en los cultivos, y auxiliar en el mantenimiento de las condiciones adecuadas de calidad de agua a lo largo de los ciclos de producción.

### El reaprovechamiento del agua de drenaje y la reducción en la emisión de efluentes

Muchas pisciculturas enfrentan hoy problemas crónicos o estacionales de abastecimiento de agua, originados por la inadecuada previsión en la demanda hídrica del proyecto; de las pérdidas excesivas de agua por infiltración; de la falta de proyección en el uso de agua; de la intensificación del cultivo; del aumento del área de producción (expansión del emprendimiento); de la reducción del volumen de agua en los manantiales; o aún, imposiciones legales en cuanto al volumen de agua que puede ser utilizado por el emprendimiento. Debido a restricciones hídricas, muchos emprendimientos se vieron obligados a rever sus estrategias y metas de producción e invertir en la adaptación de la infraestructura, cuidando, sobre todo, de hacer más racional la utilización del agua.

En la primera parte de esta materia (Panorama de Aqüicultura 2002, vol. 12 nº. 72) hemos visto que la utilización de agua en la producción de peces en estanques puede variar entre 6000 y 9000 m<sup>3</sup> por tonelada de pescado producida, dependiendo de la estrategia adoptada en la renovación de agua de los estanques. La utilización de agua es aún mayor en estanques que presentan elevadas tasas de infiltración. Con la reutilización del agua de drenaje de los estanques, el consumo puede caer hasta valores próximos a los 3500 m<sup>3</sup> por tonelada de pescado producido. Así, la adopción de estrategias de conservación y reutilización de agua (ver cuadro 1) es la única alternativa para viabilizar una operación continua en las pisciculturas que enfrentan problemas crónicos o estacionales en la oferta de agua.

Cuadro 1: Estrategias para la conservación de agua y reducción en la emisión de efluentes

<p><b>Reposición exclusiva del agua perdida por evaporación e infiltración.</b> Sobre este régimen de reposición de agua, las tasas de alimentación no deben exceder de 50 a 80 kg de ración / hectárea / día, siendo necesario proveer de aireación de emergencia (aireadores de paleta, entre 5 y 10 HP por hectárea) para evitar eventuales exposiciones de los peces a bajos niveles de oxígeno disuelto,</p>
---

<p>especialmente durante la madrugada y las primeras horas de la mañana.</p>
<p><b>Manutención de un nivel de agua en los estanques cercanos a 10 o 15 cm debajo de su cota máxima de agua.</b> Posibilita la captación y albergue del agua de lluvia que incida directamente en los estanques.</p>
<p><b>Cuando sea posible, realizar las cosechas sin vaciar los estanques,</b> aprovechando el agua en el ciclo de cultivo siguiente. Es recomendable el mantenimiento o siembra de juveniles en estos estanques que no fueron vaciados, para disminuir la posibilidad de que los peces recién introducidos sean predados por peces mayores que pudieran haber escapado a la cosecha.</p>
<p><b>Evitar vaciar el estanque simultáneamente con la operación de cosecha de los peces.</b> Según datos de Claude Boyd, de la Universidad de Auburn, Alabama, USA, cerca de 9,4 toneladas de sólidos son eliminados junto con el agua de drenado por cada hectárea de estanque utilizado para la producción del catfish americano. El arrastre de las redes y el movimiento de los operarios dentro del estanque, aumenta en gran medida la cantidad de sólidos en suspensión en el agua. Por ese motivo, en el caso que sea necesario bajar el nivel de agua para el arrastre de las redes, deberá ser realizado antes que el estanque sea sometido a cualquier disturbio, a fin de evitar que el agua drenada deje el estanque cargada de sólidos en suspensión.</p>
<p><b>Retenga en el propio estanque los últimos 40 a 60 cm de agua,</b> correspondientes al agua superficial, más rica en material orgánico particulado en suspensión, debido a la gran abundancia de plancton. Esta práctica minimiza la emisión de materia orgánica en los efluentes y es posible aplicarla en el cultivo de peces que son relativamente fáciles de ser cosechados con red de arrastre (por ejemplo, el pacú, el tambaqui y los híbridos entre esas especies; el catfish americano; entre otros).</p>
<p><b>Invertir en la implantación de infraestructura</b> que posibilite el reaprovechamiento total o parcial del agua drenada de los estanques (ver figuras 1 a 3).</p>
<p><b>Si después de la cosecha hubiere necesidad de vaciar completamente los estanques</b> (por ejemplo, en el caso de cultivo de peces como la tilapia o eventualmente, después de algunos ciclos de cultivo) es recomendable dejar el agua en reposo en el propio estanque por algunos días, posibilitando la decantación de partículas minerales y orgánicas que estuvieren suspendidas en la columna de agua en el momento de la cosecha. De esta manera, sería menor el impacto de los efluentes sobre el cuerpo receptor del agua de la piscicultura.</p>

Además de posibilitar la operación continua de muchas pisciculturas, el reaprovechamiento del agua de descarga suma otros diversos beneficios, como:

- Reducción en la emisión de efluentes y en la descarga de sólidos;
- Economía con la reducción en el uso de correctivos y fertilizantes: para algunos peces que utilizan bien los alimentos naturales disponibles en el estanque, la presencia inmediata de plancton y de otros diversos alimentos naturales, favorece el desarrollo de los alevinos y juveniles recién sembrados, reduciendo los costos en la utilización de cal, fertilizantes y de la ración ofrecida al inicio del ciclo de cultivo;
- Reducción en el riesgo de entrada de patógenos, que podrían tener acceso a la piscicultura a través del agua de abastecimiento que contenga efluentes de otros emprendimientos acuícolas;
- Sintonía con la tendencia global de cuidado del medio ambiente, facilitando la obtención de certificaciones ambientales para el emprendimiento y sus productos;

- Mayor aceptación y valorización de los productos oriundos de cultivos acuícolas provenientes de sistemas de producción perfectamente integrados con la conservación del ambiente.

El reaprovechamiento del agua exige, por supuesto, inversiones adicionales en la construcción de estanques o canales para la recepción y almacenamiento del agua de drenaje (foto 1a); la instalación de bombas, cañerías y filtros (foto 1b; foto 1c); mayores gastos en energía para el bombeo de retorno del agua de drenaje; el empleo de tasas de alimentación más moderadas, para compatibilizar los niveles de productividad con la capacidad de sustentación del sistema, que implica generalmente una reducción en la productividad por área.

Foto 1a: Colector del agua del vaciado de los estanques. La compuerta posibilita la opción de descartar o no el agua.



Foto 1b: Detalle de la bomba submersa que envía el agua a los estanques. La plataforma permite el acceso a la bomba y un sistema de roldanas posibilita levantar la bomba para mantenimiento.



Foto 1c: antes de retornar a los estanques, el agua bombeada pasa por un filtro de telas autolimpiante.

Existen diversas maneras de implementar el reaprovechamiento de agua de drenaje en una piscicultura. La elección de cada una de ellas depende de las características del lugar y de una minuciosa evaluación de los costos de las instalaciones para la implantación y operación del sistema de reaprovechamiento de agua. También es imprescindible dimensionar adecuadamente las estructuras hidráulicas (asunto presentado en la parte 3 de este artículo) y reducir las distancias y la altura de bombeo. Con la reutilización del agua, el reciclaje de la materia orgánica y de los nutrientes se produce en los estanques, canales y reservorios. Las Figuras 1, 2 y 3 ilustran modelos de sistemas hidráulicos que posibilitan el reaprovechamiento del agua.

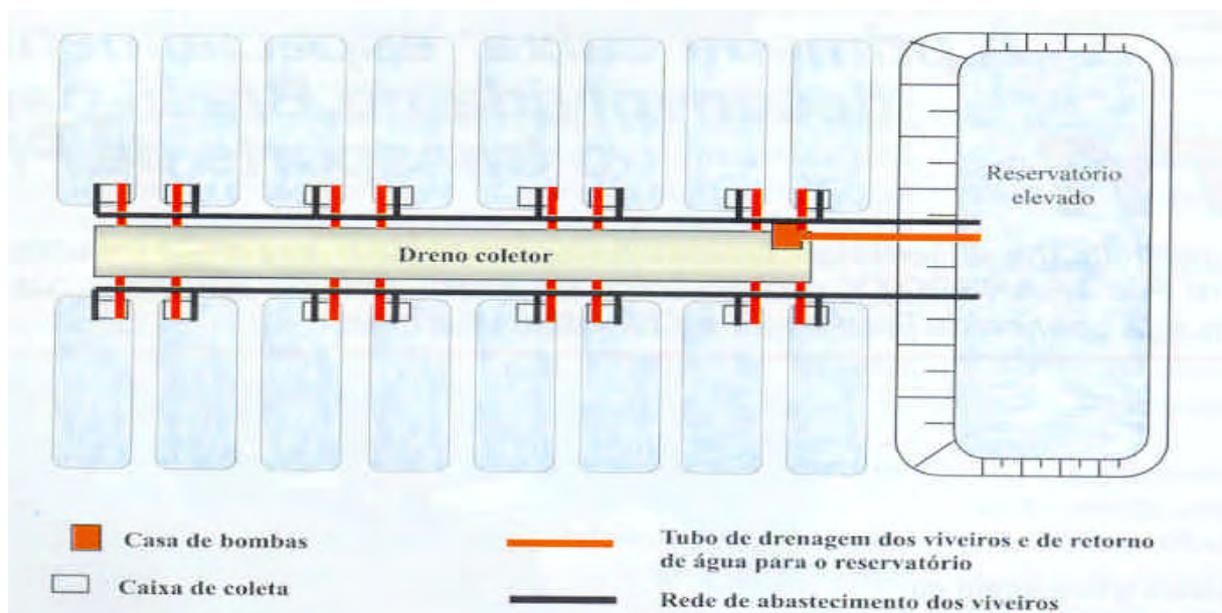


Figura 1: en este sistema el agua de descarga de los estanques es conducida por gravedad hacia un colector común. En el drenaje está instalada la estación de bombeo que envía el agua para un reservorio elevado de mayor volumen. De este reservorio, el agua puede ser direccionada por gravedad para el llenado del estanque que fue drenado o para reponer las pérdidas de agua en otros estanques.

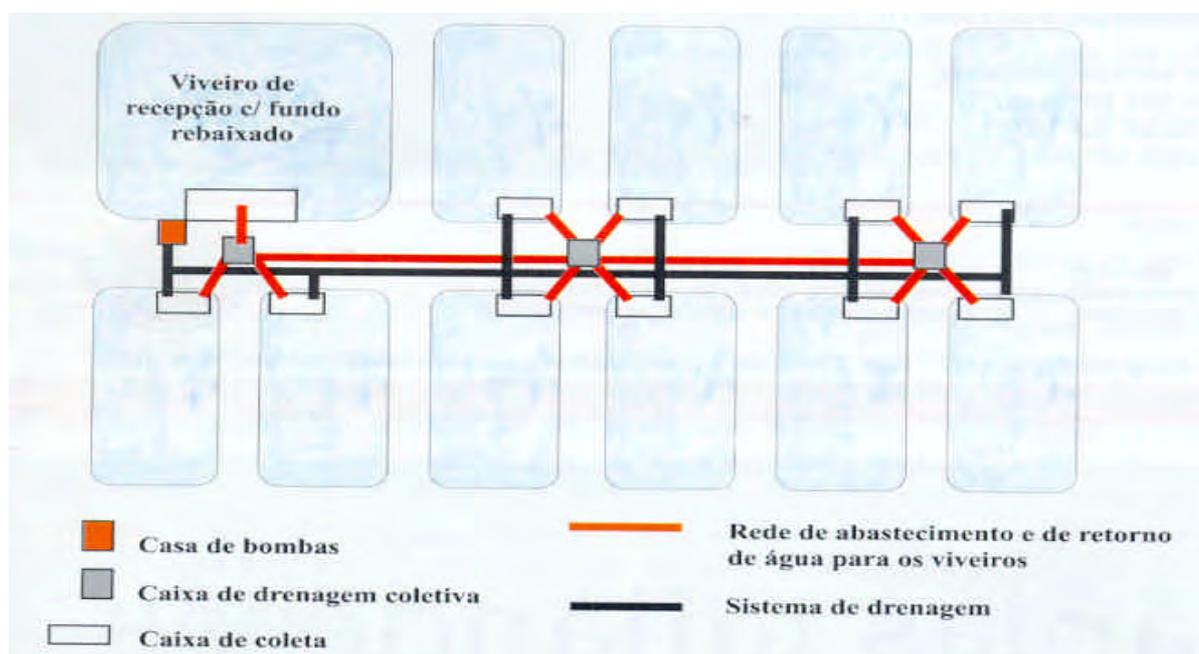


Figura 2: el agua de descarga de los estanques es direccionada para un estanque recolector, que posee la cota de fondo más baja que la cota de los demás estanques. El tamaño del estanque colector y la profundidad deben ser definidos en función del volumen total de agua que será drenado de uno o más estanques

simultáneamente. En general, el estanque colector es dimensionado de modo que se acomode el agua del estanque mayor de la piscicultura, posibilitando también el drenado simultáneo de un segundo estanque. El vaciado de los estanques es realizado por gravedad para el estanque receptor. En éste, existe una estación de bombeo que está interligada al sistema de abastecimiento de agua y posibilita el retorno del agua para llenar nuevamente los estanques drenados o para reponer las pérdidas de agua de los demás estanques.

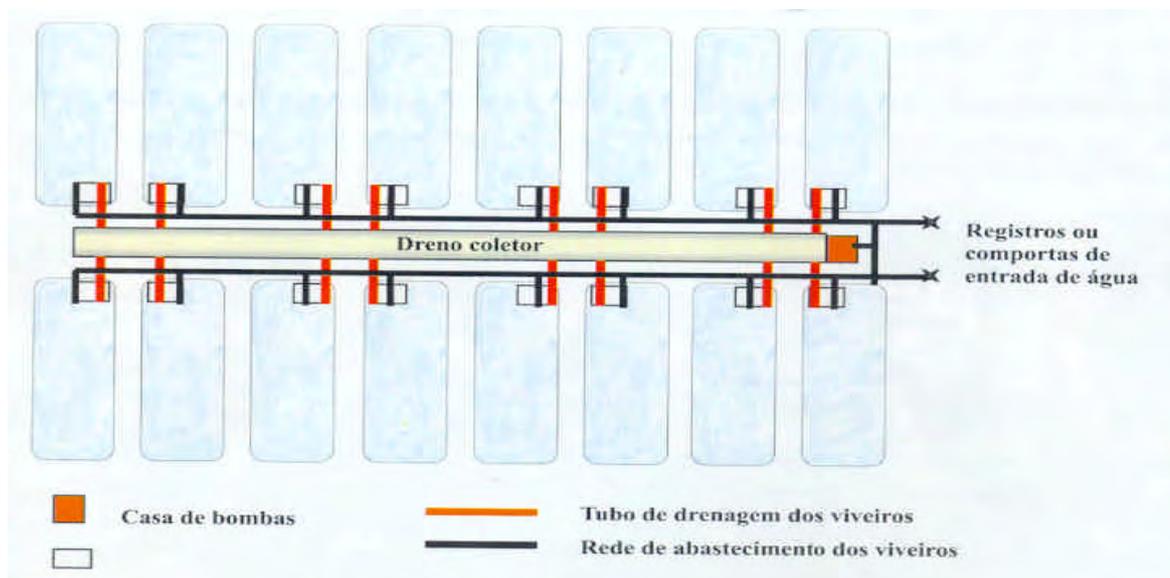


Figura 3: los estanques poseen bordes libres mayores que lo convencional, posibilitando acomodar un volumen extra de agua. De esta forma, cuando un estanque es vaciado, su agua escurre por gravedad para un colector común, de donde es simultáneamente bombeada para los estanques que están siendo utilizados. El volumen extra de agua acomodada por estos estanque es reutilizado para llenar el estanque que fue vaciado. El retorno del agua almacenada puede ser realizado a través de la red de abastecimiento, por sifoneado, por bombeo directo de un estanque a otro (demandando bombas móviles), o aún a través de la descarga de agua de los estanques para el colector y bombeo de toda el agua para el estanque que se pretende llenar.

### Reducción de la infiltración de agua de los estanques

La infiltración de agua de los estanques es uno de los principales motivos de pérdidas de agua en una piscicultura. Por ejemplo, cada aumento de 0,5 mm/h en la velocidad básica de infiltración de agua en el suelo, representa una demanda hídrica adicional de 120 m<sup>3</sup>/ha/día o 43.800 m<sup>3</sup>/ha/año. Frecuentemente los piscicultores enfrentan problemas con los estanques instalados en suelos con alta permeabilidad, en los cuales la infiltración excesiva de agua puede inviabilizar el cultivo. A continuación se presentan diversas estrategias que pueden ser utilizadas en la tentativa de reducir la infiltración de agua en los fondos de los estanques.

### Compactación del suelo del fondo y de los laterales de los estanques

El arado del suelo a una profundidad de 15 cm para soltar la tierra. En suelos muy arcillosos puede existir la necesidad de mezclarlo con suelos más arenosos para obtener una mejor distribución de partículas, favoreciendo así el trabajo de compactación e impermeabilización del suelo (consultar parte 1 de esta materia). Debe prestarse atención especial al tenor de humedad del suelo arado a fin de obtenerse un adecuado grado de compactación. Informaciones más detalladas sobre las propiedades de los suelos y el trabajo de compactación pueden ser obtenidas en las partes 1 y 2.

### Aplicación de abonos orgánicos para obstruir los poros del suelo

La aplicación de elevadas dosis de estiércol animal (de 25 a 50 toneladas por hectárea o de 2.5 a 5 toneladas / 1.000 m<sup>2</sup>) puede ayudar a la reducción de la infiltración de agua en los estanques. La aplicación de estiércol

debe ser realizada con el estanque vacío. El estiércol animal en estado líquido penetra en los poros del suelo y favorece el desarrollo de un film orgánico (bacteriano) luego del llenado del estanque. El estiércol seco aplicado sobre los fondos y los laterales también estimula la formación de este film orgánico. Este film se forma más eficientemente en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno). Esto es posible con la aplicación de grandes cantidad de estiércol en los estanques, que consume el oxígeno disuelto en el agua y propicia la anaerobiasis. El estiércol aplicado sobre el fondo y los laterales del estanque también puede ser cubierto con placas de cartón, plástico, bolsas de ración, hojas de banano, pasto u otros materiales que sirvan para esta finalidad. El estanque debe ser luego llenado. El fitoplancton formado sobre el estímulo del abono orgánico también auxilia a obstruir los pequeños poros en el suelo del fondo de los estanques, reduciendo (después de un tiempo) aún más la infiltración. La siembra de peces en el estanque sólo podrá ser realizada después de reestablecidos los niveles adecuados de oxígeno disuelto (lo que podrá llevar entre 4 a 6 semanas, o después del vaciado y nuevo llenado del estanque).

### **La utilización de dispersantes de partículas**

Pueden utilizarse dispersantes de partículas, como el tripolifosfato de sodio, la soda cáustica (NaOH – hidróxido de sodio) y la sal común (NaCl – cloruro de sodio), para reducir la infiltración de agua en los estanques construidos en suelos arcillosos bien estructurados (agregados), como por ejemplo la tierra roja o los suelos dilatados. De estos productos, el tripolifosfato de sodio es generalmente el más eficaz, aunque la soda y la sal resulten con buen resultado cuando los suelos presentan alta capacidad de cambio de cationes (alta CTC). Los tratamientos químicos con estos productos no son eficaces en suelos arenosos (de textura grosera).

### **Las dosis frecuentemente utilizadas de estos productos son:**

- Tripolifosfato de sodio: 0,25 a 0,5 kg/m<sup>2</sup>;
- Soda cáustica: 0,6 a 1,0 kg/m<sup>2</sup>;
- Sal común: 1,2 a 1,8 kg/m<sup>2</sup>.

El material debe ser incorporado homogéneamente en una camada de 15 a 20 cm del suelo del fondo y de los laterales del estanque drenado y seco. Este trabajo puede ser realizado con el auxilio de un arado o asada rotativa, a partir de que las condiciones del fondo del estanque posibiliten el tránsito de tractores. La humedad del suelo debe ajustarse (ver Parte 2 de esta materia) a fin de posibilitar que el suelo arado y mezclado con el dispersante, pueda ser compactado eficientemente.

### **Utilización de arcillas con alta capacidad de expansión y absorción de agua (bentonita):**

Esta alternativa es indicada para la reducción en la infiltración de agua en los estanques construidos en suelos arenosos, con un gradiente suave de partículas. La expansión de la bentonita en un suelo húmedo posibilita el llenado de los poros entre las partículas del suelo, además de conferir mayor cohesión al mismo. De manera general, suelos con un suave gradiente de partículas (ver Parte 1 de esta materia) y que contienen por lo menos 12 % de finos (arcilla y silte) posibilitan una buena compactación e impermeabilización. Así, la dosis de bentonita a ser aplicada dependerá del tenor inicial de arcilla en el suelo. Cuanto más permeable sea el suelo, mayor la dosis necesaria de bentonita. Comúnmente se emplea entre 5 y 30 kg de bentonita / m<sup>2</sup>. Pueden ser necesarias dosis mayores en suelos desprovistos casi totalmente de arcilla y silte. La bentonita debe esparcirse uniformemente sobre el suelo, siendo posteriormente mezclada (con arado) para efectuar la mezcla de la bentonita con el suelo en una camada 15 a 20 cm. La humedad del suelo debe ajustarse para permitir una adecuada compactación con pie de cabra o con las ruedas de los tractores o camiones.

### **Revestimiento con filmes de polietileno o de polivinil (PVC)**

Los filmes o mantas de polietileno de alta densidad (PEAD) y de cloreto de polivinil (PVC) pueden utilizarse en el revestimiento de los estanques construidos en suelos de alta permeabilidad (Foto 2). Si bien, tal alternativa adiciona un costo considerable al proyecto, tanto por el elevado costo del material, como por la

necesidad de contar con personal y equipamiento especializado para su instalación y mantenimiento. Así, la utilización de estos filmes es más frecuente en tanques de pequeño tamaño, destinados al cultivo intensivo en sistemas de recirculación o sistemas de alto flujo, o pequeños tanques destinados a la producción de peces de alto valor comercial, particularmente peces ornamentales.



Foto 2: tanque construido en suelo arenoso y revestido con film de polietileno para eliminar las pérdidas de agua por filtración.

Los estanques revestidos con mantas plásticas demandan cuidados especiales en su construcción, ya que no pueden presentar irregularidades en el fondo ni en los laterales, así como cualquier tipo de material que pueda perforar la manta una vez llenado el estanque (piedras, tocones de madera, entre otros). También son necesarios los cuidados en relación al pisoteo sobre las mantas que revisten el fondo y los laterales del estanque y a la utilización de objetos puntiagudos, como hierros que se utilizan para la sustentación de las redes durante las cosechas. Periódicamente debe realizarse una inspección para verificar la existencia de orificios en el revestimiento. Las pérdidas de agua deben ser rápidamente detectadas y reparadas, ya que el agua drenada a través de fisuras provoca una erosión localizada sobre la manta, creando un sitio hueco y susceptible de ruptura en función de la presión del agua o del tránsito de personas.

### **Manejo del suelo del fondo del estanque**

Frecuentemente los piscicultores reclaman por el acumulo excesivo de barro en los fondos de los estanques (Foto 3) que, además de dificultar las cosechas, se considera como la principal causa del deterioro precoz de la calidad de agua y del aumento en la incidencia de enfermedades en el ciclo de cultivo siguiente.



Foto 3: final de la cosecha en un estanque, mostrando el gran acúmulo de barro.

Este barro es una mezcla de sedimentos minerales y orgánicos acumulados a lo largo de diversos ciclos de producción. Las principales fuentes de residuos orgánicos en piscicultura intensiva son las heces y la deposición de los organismos planctónicos, especialmente el fitoplancton. Cuanto mayor sea la tasa de alimentación y peor sea la calidad del alimento, mayor será la cantidad de heces excretadas. La descomposición de las heces por los microorganismos (particularmente las bacterias) y la excreción nitrogenada (excreción de amoníaco) de los peces hacen disponibles grandes cantidades de nutrientes que pueden estimular un intenso desarrollo del fitoplancton. Con el envejecimiento de los organismos del fitoplancton durante el cultivo, una gran parte de la masa fitoplanctónica se deposita continuamente sobre los sedimentos, enriqueciéndolos con material orgánico.

El material orgánico depositado en el fondo de los estanques sufre un proceso continuo de descomposición realizado a través de las bacterias y otros pequeños organismos presentes en la interface sedimento/agua. Diversos factores influyen sobre la velocidad y la eficiencia de descomposición (mineralización) de la materia orgánica por estos organismos (ver Cuadro 2). Uno de los más importantes es la disponibilidad de oxígeno en la interfase sedimento/agua, para que la descomposición de la materia orgánica no genere compuestos como el amoníaco, el nitrito o el gas sulfídrico y el gas metano, que son tóxicos para los peces y otros organismos acuáticos.

### Aireación y circulación del agua en los estanques

A pesar que la degradación de la materia orgánica es mas intensa cuando los estanques están vacíos (con los sedimentos expuestos al aire, con mucho oxígeno para los procesos de descomposición de la materia orgánica), es durante el cultivo, que la mayor parte de la materia orgánica generada en la producción, es degradada. La descomposición de la materia orgánica sobre los sedimentos hace que el oxígeno disponible en la interfase agua/sedimento sea rápidamente consumido. Como la actividad microbiana utiliza el oxígeno más rápidamente que el repuesto a través de la circulación espontánea de agua próxima al sedimento, invariablemente los sedimentos se tornan anaeróbicos (desprovistos de oxígeno y de color negro). En los sedimentos anaeróbicos la descomposición de la materia orgánica se produce a través de procesos fermentativos que generan diversas sustancias tóxicas para los peces (ver detalle en la Figura 3).

### Cuadro 2: factores que influyen la descomposición microbiana de la materia orgánica.

<p><b>Temperatura del agua o del sustrato (25 a 35°):</b> la velocidad de la descomposición de la materia orgánica está determinada por la temperatura. El drenaje de los estanques y la consecuente exposición de los sedimentos al aire y a los rayos solares, proporciona una elevación de la temperatura de los sedimentos, acelerando la descomposición de la materia orgánica.</p>
<p><b>Relación carbono/nitrógeno en los residuos orgánicos:</b> en los estanques donde la ración externa es la principal fuente de alimento, la relación carbono/nitrógeno (C/N) en la materia fecal, generalmente está próxima a 10:1, ya adecuada para los procesos microbianos de descomposición de la materia orgánica. Por otro lado, cuando la fuente de nutrientes son abonos orgánicos con una alta relación C/N (encima de 20:1), como el estiércol bovino, equino, caprino y ovino; restos vegetales (pasto y residuos de cultivos agrícolas) la aplicación de nitrógeno en la forma de fertilizantes inorgánicos (urea, nitrato de sodio, sulfato de amonio) con la intención de aproximar la relación C/N en los sedimentos para valores próximos a 10:1 favorece los procesos de descomposición de la materia orgánica.</p>
<p><b>PH del sustrato (7,5 a 8,5):</b> las bacterias que descomponen la materia orgánica actúan generalmente mejor sobre condiciones de pH neutro o ligeramente alcalino. Cuando el sedimento presenta un pH ácido, la aplicación de cal en el fondo de los estanques luego del vaciado o aún antes (cuando el estanque aún mantenga una rasa lámina de agua), auxilia a la corrección de la acidez y restaura los niveles de pH más favorables para la descomposición microbiana de la materia orgánica. En los estanques ubicados en suelos ácidos, la descomposición de la materia orgánica es perjudicada. De ahí la importancia de corregir la acidez del suelo antes de iniciar un cultivo.</p>

<p><b>Abastecimiento de oxígeno:</b> el mantenimiento de los niveles adecuados de oxígeno en los sedimentos favorece el predominio y la acción de los microorganismos aeróbicos, que son más eficientes en la descomposición de la materia orgánica.</p>
<p><b>Humedad de los sedimentos y tiempo de acción de los microorganismos:</b> observaciones realizadas en laboratorio indican que la descomposición microbiana de la materia orgánica se produce a mayor velocidad cuando la humedad del sedimento ronda el 20 %. En sedimentos encharcados, la disponibilidad de oxígeno para los procesos aeróbicos de descomposición se reduce. En los sedimentos secos, la baja actividad de agua libre, no favorece los procesos microbiológicos de descomposición de los residuos orgánicos.</p>
<p><b>Productos químicos que pueden matar los microorganismos:</b> productos como la cal virgen y la cal hidratada se aplican a los fondos de los estanques drenados con el objetivo de asepsia (reducción de carga de microorganismos) o para eliminar peces indeseables que quedaron al final de la cosecha. De este modo, cuando existe necesidad de utilizar estos productos, la aplicación solamente debe ser realizada uno o dos días antes de iniciar el llenado del estanque; nunca después del vaciado, para que no mueran las bacterias y otros organismos deseables que auxiliarán a la descomposición de la materia orgánica del barro mientras el estanque esté vacío.</p>

La aireación mecánica de los estanques posibilita el mantenimiento de las concentraciones más adecuadas de oxígeno a lo largo de toda la columna de agua, favoreciendo el proceso de descomposición de la materia orgánica, especialmente en la zona de contacto agua/sedimento. Los aireadores a paleta y los de tipo propulsor también son eficaces en promover la circulación de agua en los estanques, enriqueciendo con oxígeno el agua de los fondos del estanque. Con el objetivo de hacer circular el agua de los estanques, es recomendable accionar los aireadores diariamente por algunas horas (2 a 3 horas) durante el horario de mayor insolación. Así, el aireador promoverá la mezcla de agua más superficial (donde la producción de oxígeno es muy intensa) con el agua del fondo, mejorando la disponibilidad de oxígeno para los procesos de descomposición de la materia orgánica.

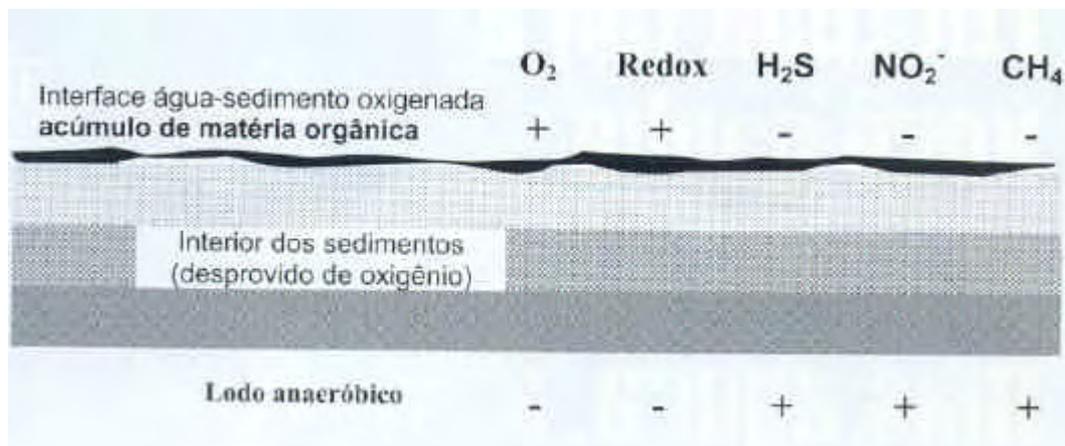


Figura 3: Representación del perfil de los sedimentos del fondo de los estanques. La interfase sedimentos/agua puede ser oxigenada, dependiendo de la profundidad del estanque y de las estrategias de manejo (aireación y circulación), entre otros factores. Con la interfase oxigenada, la descomposición de la materia ocurre de forma aeróbica, generando compuestos oxidados poco tóxicos, como el gas carbónico, nitratos u otros compuestos oxidados (sulfatos y fosfatos, por ejemplo). A medida que vamos de la interfase agua/sedimento hacia el interior del sedimento, la concentración de oxígeno declina, llegando a ser negativa. Esto hace que los sedimentos presenten un potencial redox negativo, parámetro que indica un acúmulo de sustancias reducidas, en virtud de la degradación anaeróbica (fermentativa) de la materia orgánica. El potencial redox indica la condición reducida u oxidada de los sedimentos: de una manera simple, el redox

positivo está asociado con suficiente oxígeno para la descomposición de la materia orgánica por vía aeróbica; y el redox negativo está asociado a falta de oxígeno, favoreciendo la formación y acúmulo de compuestos reducidos altamente tóxicos a los peces, como el gas sulfídrico (H<sub>2</sub>S), el nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) y el gas metano (CH<sub>4</sub>). Estos compuestos generalmente no están presentes en grandes concentraciones en la columna de agua, pero pueden estar potencialmente almacenados en el barro y causar problemas cuando los sedimentos son levantados como, por ejemplo con el arrastre de las redes.

### **Vaciado y exposición del fondo del estanque**

El vaciado de los estanques entre ciclos de producción expone el suelo del fondo al aire, medio más rico en oxígeno. El aire penetra en los poros del suelo (espacios intersticiales) y favorece una acción más rápida de los microorganismos aeróbicos en la descomposición de la materia orgánica. El arado del fondo de los estanques entre los ciclos de cultivo, es una práctica que puede ser utilizada para mejorar la entrada de oxígeno (aire) en los sedimentos, a pesar de favorecer un secado más rápido del fondo del estanque.

La aplicación homogénea de cal agrícola sobre los sedimentos corrige el pH de los mismos y favorece la descomposición de los residuos orgánicos. Generalmente, la tasa (velocidad) de descomposición de la materia orgánica alcanza un pico alrededor de 3 a 4 días después del vaciado de los estanques. A partir de este punto, la descomposición del material orgánico en los sedimentos es más lenta, en función de la disminución en la cantidad de materia orgánica disponible a la acción de los microorganismos y del resecamiento del suelo.

Como la tasa de descomposición de la materia orgánica es optimizada cuando la humedad del suelo es cercana al 20 %, una práctica eficaz para promover una degradación aún mayor de la materia orgánica es restaurar la humedad del suelo cerca del 6<sup>a</sup> o 7<sup>a</sup> día después de vaciado el estanque (caso no hubiere ocurrido lluvias en el período en el cual el estanque estuvo vacío). Esto puede ser realizado por medio del llenado parcial, suficiente apenas para cubrir el fondo del estanque, que luego será nuevamente vaciado.

Generalmente dos semanas de exposición al aire es más que suficiente para que ocurra la oxidación de la mayor parte de la materia orgánica presente en los sedimentos, no existiendo grandes ventajas en mantener el estanque vacío por períodos más prolongados. Hay que recordar, como se sugiere en el Cuadro 2, de aplicar cal virgen o hidratada en los fondos de los estanques solamente uno o dos días antes de que el estanque sea nuevamente llenado.

### **Buenas prácticas para el manejo del fondo del estanque**

- Durante el cultivo, utilice aireación o circulación de agua para mantener la interface agua/sedimento oxigenada adecuadamente;
- Dejar los estanques vacíos por una semana o dos entre ciclos de cultivo;
- Durante el período de exposición al aire, mantener el fondo húmedo, si bien no encharcado;
- Si fuera necesario corregir la acidez de los sedimentos aplique cal agrícola;
- Solamente aplique productos cáusticos como la cal virgen o la cal hidratada en el fondo de los estanques después de completado el período reservado para la descomposición de la materia orgánica de los sedimentos.