

DESARROLLO DE UN SISTEMA PILOTO DE APROVECHAMIENTO DE AGUA RESIDUAL TRATADA PARA CRÍA DE PECES DE ORNATO, CON DESCARGA CERO



TC-1106.1

Jefe de proyecto
M.I. Luciano Sandoval Yoal

Colaboradores
M.I. Erika V. Miranda Mandujano
M.C. Victor Domínguez Martínez
Ing. Luís Angel Barrera Morteo
Pasante IBT Ana karen Rangel Barrios

INDICE

1.	ANTECEDENTES	1
1.1.	Filtración.....	1
1.1.1	Principales mecanismos presentes en la filtración.....	1
1.1.2	Tipos de filtros.....	2
1.1.3	Parámetros operacionales	4
1.1.4	Carga hidráulica disponible y calidad del agua tratada.....	6
1.1.5	Tasa de filtración.....	7
1.1.6	Granulometría y profundidad del lecho	9
1.1.7	Características de la suspensión	11
1.1.8	Retrolavado del filtro	12
1.2.	Filtración en Múltiples Etapas	14
1.2.1	Consideraciones generales.....	15
1.2.2	Alternativas de tratamiento FiM.....	19
1.2.3	Criterios de diseño	20
1.3.	Tezontle en Morelos.....	26
1.3.1.	Geología.....	26
1.3.2	Características y usos.....	28
1.4.	Acuicultura	29
1.4.1	Acuicultura en México	29
1.4.2	Acuicultura en Morelos.....	30
1.4.3	Calidad de agua.....	32
2.	JUSTIFICACIÓN	39
3.	OBJETIVOS	40
3.1	General	40
3.2	Particulares	40
4.	METODOLOGÍA.....	41
5.	RESULTADOS.....	42
5.1	Sistema de filtración	42
5.1.1	Descripción	42
5.1.2	Operación	47
5.1.3	Mantenimiento.....	56
5.2	Especies de peces en tanques de monitoreo.....	60
5.2.1	Tasa de filtración de 3 m ³ /m ² h	60
5.2.2	Tasa de filtración de 5 m ³ /m ² h	61
5.2.3	Tasa de filtración de 10 m ³ /m ² h	61
5.3	Determinación de parámetros de control del sistema de filtración	62
5.3.1	Parámetros físicos de entrada y salida del filtro.....	63
5.3.2	Parámetros físicos en los estanques de peces.....	70
5.3.3	Parámetros químicos a la entrada y salida del filtro.....	77
6.	Análisis de resultados.....	85
6.1	Tasa de filtración de 3 m ³ / m ² h	85

6.2	Tasa de filtración de 5 m ³ / m ² h	89
6.3	Tasa de filtración de 10 m ³ / m ² h	93
6.4	Análisis global	97
7.	CONCLUSIONES.....	103
8.	RECOMENDACIONES	104
9.	BIBLIOGRAFÍA	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tasas de filtración usuales en función del esquema de tratamiento	9
Tabla 1.2 Características de los materiales para filtros descendentes, de agua decantada y de capa simple y dual	10
Tabla 1.3 Características de los materiales para filtración directa descendente con capa simple	10
Tabla 1.4 Características de los materiales para filtración directa descendente con capa doble.....	11
Tabla 1.5 Índice de ruptura de Hudson	12
Tabla 1.6 Parámetros de calidad de agua cruda	16
Tabla 1.7 Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por FiME (Todas las opciones incluyen FGD _{i 2.0} y FLA _{0.15}).....	20
Tabla 1.8 Granulometría y espesor de capas para Filtro Grueso Dinámico	21
Tabla 1.9 Lecho de soporte para Filtro Grueso Dinámico	21
Tabla 1.10 Valores de diseño para el FDGi.....	22
Tabla 1.11 Granulometría y espesor de capas para Filtro Grueso Ascendente	23
Tabla 1.12 Valores de diseño para Filtros Gruesos Ascendentes.....	24
Tabla 1.13 Granulometría del lecho filtrante.....	25
Tabla 1.14 Criterios de calidad del agua para acuicultura.....	33
Tabla 5.1 Registro de datos para determinación de tasa de filtración (TF)	48
Tabla 5.2 Datos del ejemplo de determinación de tasa de filtración (TF).....	49
Tabla 5.3 Resultados del ejemplo de determinación de tasa de filtración (TF)	49
Tabla 5.4 Parámetros físicos de agua de filtro a tasa de 3 m ³ /m ² h	64
Tabla 5.5 Parámetros físicos de agua de filtro a tasa de 5 m ³ /m ² h	65
Tabla 5.6 Parámetros físicos de agua de filtro a tasa de 10 m ³ /m ² h	68
Tabla 5.7 Parámetros físicos de agua de estanques a tasa de 3 m ³ /m ² h	70
Tabla 5.8 Parámetros físicos de agua de estanques a tasa de 5 m ³ /m ² h	72
Tabla 5.9 Parámetros físicos de agua de estanques a tasa de 10 m ³ /m ² h	75
Tabla 5.10 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 3 m ³ /m ² h. A.....	80
Tabla 5.11 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 3 m ³ /m ² h. B.....	81
Tabla 5.12 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 5 m ³ /m ² h. A.....	81
Tabla 5.13 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 5 m ³ /m ² h. B.....	82
Tabla 5.14 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 10 m ³ /m ² h. A.....	82
Tabla 5.15 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 10 m ³ /m ² h. B.....	83
Tabla 6.1 Valores promedio de parámetros del agua de filtros	97
Tabla 6.2 Valores promedio de parámetros físicos de los estanques de peces.....	100

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Filtro rápido de arena	4
Figura 1.2 Posición recomendada para canaleta de filtros rápidos	5
Figura 1.3 Evolución de la pérdida de carga y calidad del filtrado	6
Figura 1.4 Volumen filtrado y pérdida de carga	7
Figura 1.5 Procesos que integran la FiME.....	17
Figura 1.6 Esquema isométrico de un filtro grueso dinámico	17
Figura 1.7 Esquema isométrico de un filtro grueso ascendente en capas	18
Figura 1.8 Corte isométrico de un filtro grueso ascendente en serie.....	18
Figura 1.9 Componentes básicos de un FLA con control a la entrada	19
Figura 5.1 Sistema de filtración	43
Figura 5.2 Arreglo del lecho de filtración	45
Figura 5.3 Ramal de distribución de agua en filtro	46
Figura 5.4 Arreglo hidráulico en el filtro	47
Figura 5.5 Distribución de agua en tanques	50
Figura 5.6 Recirculación de agua en tanques	53
Figura 5.7 Drenaje de agua en tanques	55
Figura 5.8 Distribución de aire en tanques	56

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 6.1 Color del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	85
Gráfica 6.2 SST del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	85
Gráfica 6.3 Turbiedad del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	86
Gráfica 6.4 Temperatura del agua en estanques a tasa de $3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	86
Gráfica 6.5 pH del agua en estanques a tasa de $3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	87
Gráfica 6.6 Oxígeno disuelto del agua en estanques a tasa de $3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	87
Gráfica 6.7 Color del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	89
Gráfica 6.8 SST del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	89
Gráfica 6.9 Turbiedad del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	90
Gráfica 6.10 Temperatura del agua en estanques a tasa de $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	90
Gráfica 6.11 pH del agua en estanques a tasa de $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	91
Gráfica 6.12 Oxígeno disuelto del agua en estanques a tasa de $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	91
Gráfica 6.13 Color del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	93
Gráfica 6.14 SST del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	93
Gráfica 6.15 Turbiedad del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$...	94
Gráfica 6.16 Temperatura del agua en estanques a tasa de $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	94
Gráfica 6.17 pH del agua en estanques a tasa de $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	95
Gráfica 6.18 Oxígeno disuelto del agua en estanques a tasa de $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$	95
Gráfica 6.19 SST en el efluente conforme a la tasa de filtración	98
Gráfica 6.20 Concentración de parámetros en el efluente del filtro. a	99
Gráfica 6.21 Concentración de parámetros en el efluente del filtro. b	100
Gráfica 6.22 Parámetros monitoreados en los estanques	102

INDICE DE FOTOS

Foto 1.1 Mina de tezontle (Fuente: TMYR S.A. de C.V.).....	28
Foto 5.1 Selección del material filtrante.....	44
Foto 5.2 Ramal de distribución de agua en el interior del filtro	46
Foto 5.3 Distribución de orificios en el ramal	46
Foto 5.4 Ramal de succión de tanques	54
Foto 5.5 Descarga de agua a desagüe	54
Foto 5.6 Acumulación de sólidos sobre el lecho de filtración	57
Foto 5.7 Retiro de sólidos por sifón	57
Foto 5.8 Retiro de la primera capa de material filtrante.....	58
Foto 5.9 Lavado de material filtrante	58
Foto 5.10 Estanque 1 con langostinos y ciclidos.....	61
Foto 5.11 Estanque 1 con langostinos	61
Foto 5.12 Estanque 5 con espadas	61
Foto 5.13 Estanque 1 con ángeles	61
Foto 5.14 Estanque 3 con guramís.....	62
Foto 5.15 Estanque 5 con espadas, gupis y myquis	62
Foto 5.16 Toma de muestra entrada del filtro.....	62
Foto 5.17 Toma de muestra salida del filtro.....	62
Foto 5.18 Preparación de muestra	63
Foto 5.19 Determinación de la turbiedad.....	63
Foto 5.20 Determinación del color.....	63
Foto 5.21 Determinación de los SST.....	63
Foto 5.22 Determinación y registro de parámetros en estanques	70
Foto 5.23 Determinación de dureza	77
Foto 5.24 Determinación de alcalinidad	77
Foto 5.25 Determinación de fósforo total.....	78
Foto 5.26 Determinación de nitrógeno total.....	78
Foto 5.27 Determinación de DQO	79
Foto 5.28 Determinación de DBO.....	79
Foto 5.29 Determinación de amoníaco.....	79

1. ANTECEDENTES

1.1. Filtración

La filtración es un proceso físico destinado a clarificar un líquido que contenga materia sólida en suspensión, haciéndolo pasar por un medio poroso. La filtración generalmente sigue a los procesos de coagulación, floculación y decantación, permitiendo una buena eliminación de bacterias, color, turbiedad, e indirectamente, ciertos problemas de olor y sabor en el agua.

La filtración profunda (deep filtration) en medio granular es considerada como el resultado de mecanismos complementarios de transporte, adherencia y, en su caso, desprendimiento. Primero las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio. Las fuerzas que mantienen a las partículas adheridas a la superficie de los granos del lecho son activas a distancias muy pequeñas (CEPIS, 1992), algunos angstroms, por lo que para su remoción es necesario que se acerquen suficientemente a la superficie de los granos. Finalmente, una partícula ya removida puede desprenderse y avanzar a capas más profundas del lecho o bien escapar de éste.

1.1.1 Principales mecanismos presentes en la filtración

a) Mecanismos de transporte

Los mecanismos de transporte se caracterizan por ser de naturaleza físico-hidráulica (O'Melia, 1967) y fundamentalmente dependen de la tasa de filtración; densidad, tamaño y forma de la partícula; y densidad de la suspensión.

b) Mecanismos de adhesión

La adsorción es un proceso en el que se extrae materia de una fase y se concentra en la superficie o interfase de otra (La Mer, 1963). Es un fenómeno fisicoquímico de superficie que se basa en las fuerzas de atracción y repulsión entre moléculas, iones y átomos.

La adherencia entre las partículas y el medio está gobernada principalmente por las características de la suspensión (pH, temperatura y concentración del soluto) y de la superficie, tanto de las partículas suspendidas como de los granos del lecho (área superficial, distribución de tamaños de poro, tamaño de partícula, naturaleza química del adsorbente). Las propiedades de la arena limpia en el lecho del filtro, por ejemplo, varían con el pH y con el tipo y valencia de los cationes presentes en el agua (Boyd, 1974 y Stumm, 1962).

Se puede lograr un óptimo aprovechamiento de la capacidad del lecho adicionando reactivos que favorezcan o disminuyan la adsorción, dependiendo de las características del influente. La adsorción puede disminuirse elevando el pH o adicionando iones fosfato, lo que provoca mayores tasas de penetración, y puede aumentarse mediante el uso adecuado de polielectrólitos.

Otro mecanismo de filtración por considerar es el tamizado. Este no es de adhesión en sí mismo, pero es un factor físico relacionado con la captura de partículas en las juntas de los granos del lecho y en pequeños poros abiertos. La remoción es función de la relación de tamaño de partícula a tamaño de grano. De acuerdo con Herzig (1970), esta relación debe ser a lo más 1:20 para que influya en el mecanismo de remoción.

c) Desprendimiento

El desprendimiento de las partículas del medio filtrante puede ser atribuido a dos fenómenos principalmente: a) la disminución de la eficiencia de fijación de las partículas y b) el incremento en la velocidad intersticial (Ginn, 1992 y Moran, 1993). Ambos fenómenos relacionan el desprendimiento con el depósito específico (volumen de partículas capturadas por volumen de lecho filtrante).

Conforme la carrera de filtración avanza, las características del medio filtrante cambian y por lo tanto, las posibilidades de que la partícula se adhiera al medio filtrante disminuyen, debido también a que los espacios activos se van ocupando por las partículas removidas y a que las características de la superficie del medio filtrante van cambiando.

La adhesión de partículas a los granos del lecho reduce los espacios libres de paso de la suspensión, lo que provoca un incremento en la velocidad intersticial. Consecuentemente, los esfuerzos de corte a que son sometidas las partículas adheridas al medio también aumentan. Esto tiene dos consecuencias importantes, por un lado las partículas fijas al medio son "arrancadas" de éste o fragmentadas y por el otro, se dificulta el que nuevas partículas se fijen a él.

1.1.2 Tipos de filtros

Hay muchos tipos de filtros con aplicación al tratamiento del agua, algunos de los más comunes se comentan brevemente a continuación.

Desde el punto de vista de la fuerza que provoca el flujo a través del medio filtrante, se pueden clasificar como: por gravedad, cuando el flujo es producido por la fuerza de gravedad, o a presión cuando el flujo es provocado por una diferencia de presiones antes y después del filtro, pudiendo ser causada por un equipo de bombeo o una diferencia de niveles por ejemplo.

Según la velocidad de filtración (tasa de filtración), pueden ser lentos o biológicos, con tasas de filtración entre 0.08 y 0.6 m³/m²/h, o rápidos con tasas de aplicación de 2 a 15 m³/m²/h. A los primeros se les llama biológicos puesto que fundamentan su operación en la actividad biológica que tiene lugar en la superficie del lecho filtrante.

Desde el punto de vista del sentido del flujo, los filtros pueden ser ascendentes, descendentes, biflujo u horizontales. Los filtros biflujo combinan un flujo ascendente y descendente en un mismo lecho.

Respecto a la manera en que operan (control de flujo), pueden ser de caudal constante cuando éste no varía durante la carrera de filtración, o de caudal variable.

De acuerdo a los materiales filtrantes, pueden ser homogéneos o simples cuando sólo están compuestos por un material filtrante; duales cuando hay dos materiales filtrantes (regularmente arena y antracita) o múltiples cuando cuentan con más de dos tipos de materiales filtrantes.

De acuerdo a la manera en que se retienen los sólidos en el medio filtrante, se pueden clasificar como de filtración superficial y de filtración profunda. La filtración de superficie se lleva a cabo sobre un soporte delgado (una membrana por ejemplo), con la consecuente formación de una capa de espesor creciente (torta) sobre el soporte. En la filtración profunda, la retención de los sólidos se realiza en todo el espesor del medio filtrante, regularmente compuesto de material granular. En el primer caso, la acción física de tamizado es el mecanismo dominante, mientras que para la filtración de acción en profundidad son otros los mecanismos responsables de la remoción de las partículas.

Los principales elementos que componen un filtro de acción en profundidad son (Figura 1.1).

Sistema de bajo dren: es la estructura que separa el medio filtrante del agua filtrada y tiene como función el coleccionar y evacuar el agua filtrada, además de distribuir uniformemente el agua del retrolavado. Debe ser suficientemente resistente para soportar el medio filtrante y la columna de agua situada por arriba de éste.

Medio de soporte: está situada directamente sobre el fondo del filtro y permite retener la arena del medio filtrante y mejorar la repartición del agua de lavado dentro del filtro.

Medio filtrante: material granular en el que se retienen los sólidos suspendidos, y en algunos casos los disueltos, encontrados en el agua.

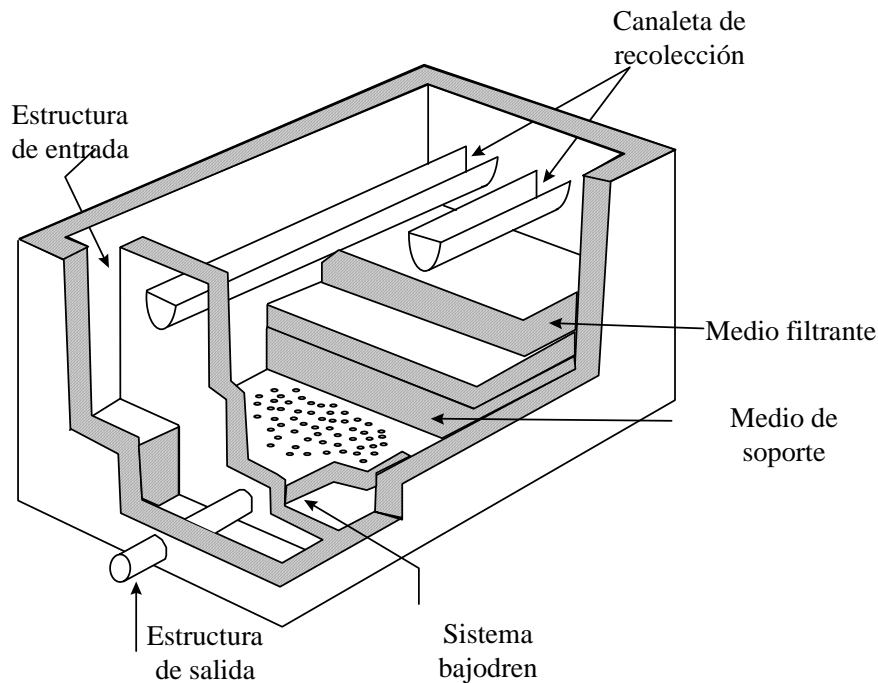


Figura 1.1 Filtro rápido de arena

Canaleta de recolección: la canaleta de recolección de agua de retrolavado es la estructura que permite el desalojo del agua utilizada para retrolar el medio filtrante. Las dimensiones y posición de dicha estructura son importantes ya que ésta y la velocidad de retrolavado, son los que evitan que se pierda material filtrante durante el mismo.

La Figura 1.2 muestra la relación que deben guardar las canaletas en los filtros.

1.1.3 Parámetros operacionales

La pérdida de carga a través del medio filtrante es una característica importante de la filtración. Las pérdidas hidráulicas crecen progresivamente con el atascamiento del filtro hasta que alcanza un nivel máximo en el que ya no se puede mantener la tasa de filtración de trabajo, o bien, se rebasa el límite permitido en la calidad del efluente.

El comportamiento dinámico de la calidad del efluente del filtro se desarrolla en tres etapas bien definidas: una etapa de maduración, un período estacionario de trabajo y una etapa final de perforación o fuga (Adin, 1974).

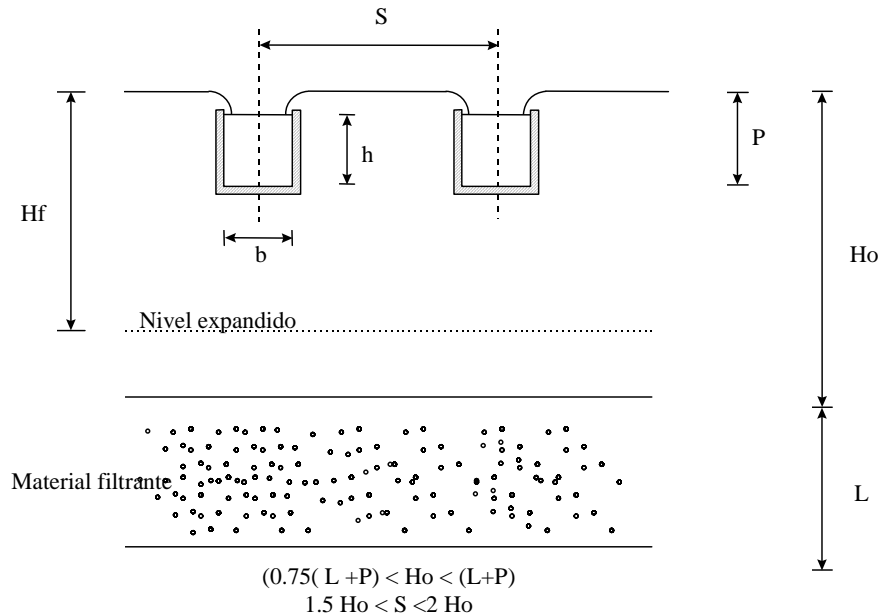


Figura 1.2 Posición recomendada para canaleta de filtros rápidos

Durante la etapa de maduración (Figura 1.3), la concentración del contaminante en el filtrado decrece rápidamente hasta alcanzar un valor bajo estable, esto marca el inicio de la etapa efectiva de trabajo para el lecho. Si la corrida de filtración continúa, la concentración del contaminante en el efluente empieza a elevarse con lo que se inicia la etapa de perforación.

Al cambio drástico en la pendiente de la curva mostrada en la Figura 1.3, entre la etapa de trabajo y la pérdida de calidad del efluente, se le denomina "punto de fuga" o de perforación del filtro que se caracteriza por un marcado incremento en la tasa del contaminante residual.

Si el proceso continúa dentro de la etapa de perforación, el lecho sigue removiendo material, pero la remoción es baja y constante, y la curva tiempo-remoción se hace asintótica cuando la concentración del contaminante con respecto a la concentración del agua cruda C/C_0 es igual a uno.

La fuga ocurre cuando las fuerzas de corte hidrodinámicas llegan a ser mayores que las fuerzas de adhesión, provocando desprendimiento (o ruptura) de las partículas previamente capturadas (flóculos), o bien debido al paso directo de algunas partículas a través del filtro.

1.1.4 Carga hidráulica disponible y calidad del agua tratada

Un ciclo óptimo es aquel en que la fuga aparece al mismo tiempo que la pérdida de carga desarrolla el límite posible. En un caso práctico, es necesario definir el punto de fuga como aquel en el que la calidad del filtrado alcanza un valor crítico, el cual es seleccionado de acuerdo con los requerimientos de calidad o la capacidad de desarrollo de pérdida de carga de las instalaciones. Por seguridad se busca consumir la carga disponible h_{max} antes de superar la norma de calidad que corresponda $t_2 < t_1$ (Figura 1.3). Con base en lo descrito se establecen los dos criterios que determinan la duración de los ciclos de filtración: el “criterio de calidad” y el de “pérdida de carga”. La carga hidráulica disponible influye significativamente en la duración de la carrera de filtración. Mayores cargas hidráulicas disponibles propician carreras de filtración más largas, pero también exigen filtros más altos.

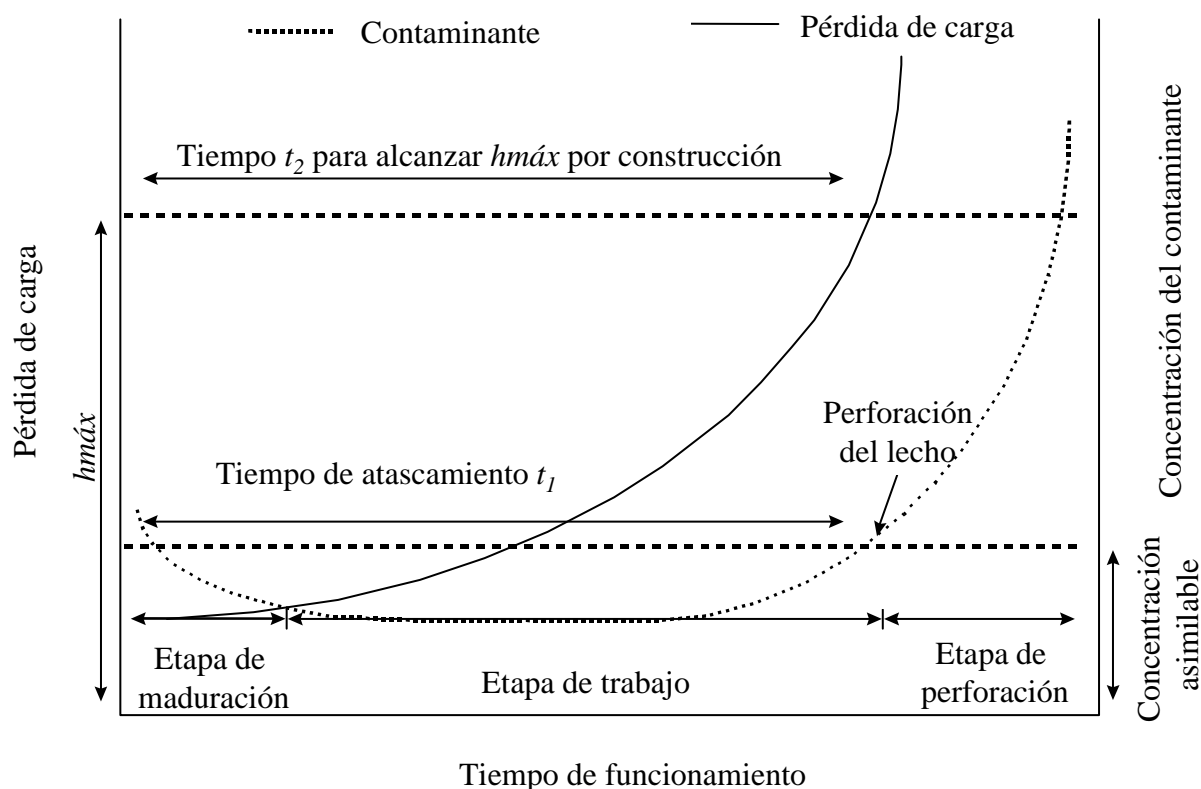


Figura 1.3 Evolución de la pérdida de carga y calidad del filtrado

Tanto t_1 como t_2 varían significativamente dependiendo de factores como las características y cantidad de material en suspensión; de la granulometría, propiedades y espesor del material filtrante; de la tasa de filtración y otros factores operativos. Las características del filtro se verán afectadas por la calidad requerida en el efluente del

mismo, éstas variarán según el uso que se les dé, por ejemplo para potabilizar, tratar aguas residuales u otro.

1.1.5 Tasa de filtración

No se puede generalizar que el empleo de tasas de filtración bajas aseguren la producción de agua filtrada de mejor calidad y mayor volumen de agua producida por ciclo de filtración, sin embargo, sí se puede establecer que para unas condiciones dadas, existe una tasa de filtración para la cual el volumen de agua filtrada es mayor por unidad de pérdida de carga (Figura 1.4)

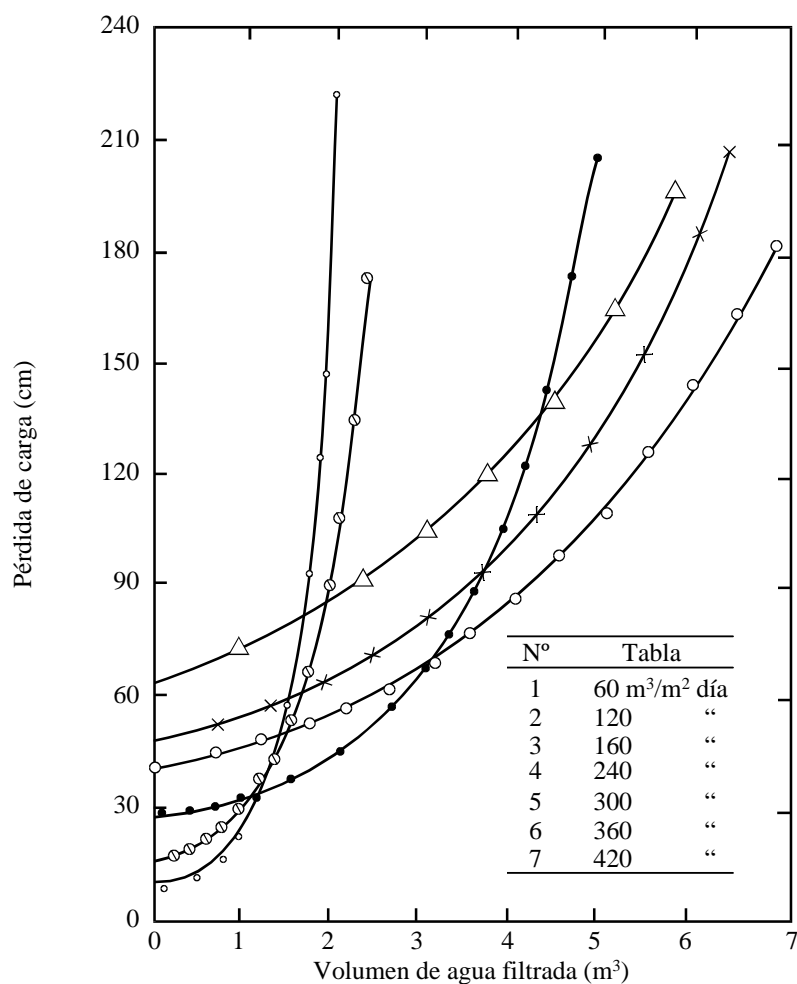


Figura 1.4 Volumen filtrado y pérdida de carga

En algunos casos, a altas tasas de filtración se produce más agua por unidad de tiempo o por unidad de incremento de las pérdidas, pero la duración del ciclo es menor debido

a las mayores pérdidas iniciales que se originan (Cleasby, 1962). La tasa de filtración se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ec. 1-1
$$v_f = \frac{V_f}{A_f t_f}$$

donde:

v_f = Tasa de filtración ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)

A_f = Área del lecho filtrante (m^2)

V_f = Volumen filtrado (m^3)

t_f = Tiempo de filtrado (h)

Otra manera de calcular la tasa de filtración es a través del gasto Q , mediante la ecuación de continuidad:

Ec. 1-2
$$v = \frac{Q}{A_f}$$

En general, para poder aumentar la tasa de filtración sin perjuicio de la calidad del efluente, es necesario aumentar el espesor del lecho si se mantiene constante el tamaño del grano; o bien, reducir las pérdidas finales y en consecuencia la duración de la carrera del filtro.

El incremento en la tasa de filtración tiene una fuerte dependencia de la granulometría del lecho, para mantener la calidad del efluente, cualquier aumento de la tasa de filtración se debe acompañar de la reducción en el diámetro efectivo del grano del lecho (criterio de calidad). Para alcanzar pérdidas de carga predefinidas en un mismo tiempo, un incremento en la tasa de filtración debe estar ligada a un aumento del tamaño del grano del lecho (criterio de pérdida de carga).

Al aplicar tasas de filtración bajas, se puede propiciar la formación de una torta de lodo en la superficie del lecho. Al aplicar tasas de filtración mayores, algunas partículas de la torta superficial son arrastradas a capas más profundas del filtro, provocando una disminución en las pérdidas de carga y un mejor aprovechamiento del espesor del lecho; sin embargo, una mayor tasa también implica un mayor número de partículas suspendidas arribando al lecho, por unidad de tiempo. La Tabla 1.1 muestra las tasas usuales de filtración, en función del esquema de tratamiento.

Tabla 1.1 Tasas de filtración usuales en función del esquema de tratamiento

Descripción	Tasa de filtración (m ³ /m ² ·h)
Filtración rápida descendente con tasa constante	
Agua decantada y medio simple de arena con espesor menor de 0.8 m	5 - 10
Agua coagulada o pre-floculada, medio simple de arena con espesor superior a 1.0m y uso de polímero como ayuda (filtración directa)	7.5 - 25
Agua decantada y medio dual (arena - antracita) con espesor total menor de 0.8 m	7.5 - 15
Agua coagulada o pre-floculada, medio doble con espesor superior a 1.0 m y uso de polímero como ayuda (filtración directa)	7.5 - 25
Filtración rápida descendente con tasa declinante	
Agua decantada y medio simple de arena con espesor menor de 0.8 m	6.25 - 10.0 (media) 10.0 - 12.5 (máxima)
Agua coagulada o pre-floculada, medio simple de arena con espesor superior a 1.0 m y uso de polímero como ayuda (filtración directa)	10.0 - 15.0 (media) 15.0 - 25.0 (máxima)
Agua decantada y medio dual (arena - antracita) con espesor total menor de 0.8 m	10.0 - 15.0 (media) 15.0 - 25.0 (máxima)
Agua coagulada o pre-floculada, medio doble con espesor superior a 1.0 m y uso de polímero como ayuda (filtración directa)	10.0 - 15.0 (media) 15.0 - 25.0 (máxima)

Fuente: CEPIS, 1992

1.1.6 Granulometría y profundidad del lecho

En mucho las características del medio filtrante determinan la calidad del filtrado. Es común que existan espesores de lecho menores a los recomendados, que el lecho se encuentre afectado por problemas de lavado y estado del bajo dren, o que observen grietas, montículos, zonas donde no hay turbulencia o la hay en exceso al retrolavar. No es raro encontrar granulometrías diferentes a las especificadas en proyecto o bien que cambie la calidad del agua y en consecuencia la operación del tren de tratamiento (mayores dosis por ejemplo), lo que podría justificar el cambio de la granulometría del medio.

El aumento en el diámetro del grano del material filtrante conlleva a una reducción de la pérdida de carga, pero la calidad del filtrado producido es peor si el resto de las condiciones se mantienen sin cambio; esto es, se favorece el criterio de pérdida de carga, pero va en contra del de calidad. En la filtración a profundidad, la remoción de las partículas se traslada gradualmente desde las capas superiores del filtro hacia las

inferiores a medida que el funcionamiento del filtro progresa. Si algunas partículas tienen mayor área superficie que otras, éstas tendrán diferente eficiencia de colisión que las de menor superficie. Las partículas menos estables serán capturadas preferentemente sobre el lecho, dejando que las partículas más estables pasen a capas inferiores.

Al contar con mayor altura de lecho se tiene mayor capacidad remoción al ofrecer mayor espacio de depósito y mayor recorrido de la partícula suspendida, consecuentemente se presenta una mayor probabilidad de colisión entre partícula y grano; sin embargo, también repercute en mayores pérdidas de carga y en estructuras de tratamiento necesariamente más altas. El diseño del espesor del lecho también se ve afectado por las características topográficas del lugar y la configuración del tren de tratamiento.

En las Tabla 1.2, Tabla 1.3 y Tabla 1.4 se sintetizan las principales características del material filtrante que recomienda la literatura para filtros de plantas potabilizadoras.

Tabla 1.2 Características de los materiales para filtros descendentes, de agua decantada y de capa simple y dual

Característica	Simple	Dual	
	Arena	Arena	Antracita
Espesor del lecho filtrante (m)	0.6 - 0.8	0.15 - 0.30	0.45 - 0.60
Tamaño efectivo (mm)	0.45 - 0.60	0.45 - 0.60	0.80 - 1.10
Coefficiente de uniformidad	≤ 1.5	≤ 1.5	
Tamaño menor del grano (mm)	0.42	0.42	0.7
Tamaño mayor del grano (mm)	1.41	1.41	2.0

Fuente: CEPIS, 1992

Tabla 1.3 Características de los materiales para filtración directa descendente con capa simple

Característica	Arena	Antracita
Espesor del lecho filtrante (m)	0.7 - 2.0	1.0 - 2.0
Tamaño efectivo (mm)	0.7 - 2.0	1.0 - 2.0
Coefficiente de uniformidad	≤ 1.6	
Tamaño menor del grano (mm)	0.59	0.7
Tamaño mayor del grano (mm)	2.00	2.4

Fuente: CEPIS, 1992

Tabla 1.4 Características de los materiales para filtración directa descendente con capa doble

Característica	Arena	Antracita
Espesor del lecho filtrante (m)	0.3 - 0.5	0.5 - 1.0
Tamaño efectivo (mm)	0.4 - 0.7	0.9 - 1.3
Coefficiente de uniformidad	≤ 1.5	
Tamaño menor del grano (mm)	0.42	0.7
Tamaño mayor del grano (mm)	1.41	2.4

Fuente: CEPIS, 1992

1.1.7 Características de la suspensión

Las características de las partículas por remover son quizás el factor de mayor influencia en el proceso de filtración. El diseñador y el operador pueden incidir en ellas a través del pre-tratamiento, principalmente mediante tipo y dosis de reactivo y condiciones de mezcla (tiempo e intensidad).

Un flóculo que se adhiere fuertemente al grano del lecho podría dar lugar a un efluente de buena calidad, pero por otro lado también generará un incremento en la pérdida de carga y mayores consumos de agua durante el retrolavado. Un flóculo grande y denso generará avances de pérdidas de carga aceleradas y escasa penetración en la profundidad del lecho, es decir, sólo se utilizarán los niveles superiores del filtro mientras que las capas inferiores serán desaprovechadas. Análogamente, un flóculo débil, con poca adherencia al lecho, será arrastrado rápidamente hacia capas inferiores.

Es muy importante conocer las características de las partículas que ingresan al medio filtrante (flóculo). Para ello se utilizan algunos indicadores y experiencia del evaluador. Aunque estas características son definidas por las etapas previas de tratamiento, es en la sedimentación y en la filtración donde se observa su efecto. Las características de la relación entre la partícula y el grano se pueden determinar mediante los indicadores siguientes:

a) Penetración del flóculo o índice de ruptura de Hudson (Fair, 1984).

Ec. 1-3
$$B = \frac{v_f D_{10}^3 h_c}{l}$$

donde:

- B = Índice de ruptura de Hudson
- v_f = Tasa de filtración (gal/min ft²)
- D_{10} = Tamaño efectivo del material filtrante (cm)
- h_c = Pérdida de carga crítica (ft)
- l = Espesor del lecho filtrante (pulg)

NOTA ACLARATORIA: Debido a que esta relación se calcula en base a datos empíricos, no existe una correlación de unidades, por lo tanto se sustrajo como se cita en Fair, 1984 (Tabla 1.5).

Tabla 1.5 Índice de ruptura de Hudson

Respuesta a la coagulación	Grado de tratamiento previo	Valor del índice
Pobre	Promedio	4×10^{-4}
Promedio	Promedio	1×10^{-3}
Promedio	Elevado	2×10^{-3}
Promedio	Excelente	6×10^{-3}

Fuente: Fair, 1984

b) Resistencia del flóculo o índice de dureza

Ec. 1-4
$$ID = \frac{h_c}{h_{max}}$$

donde:

ID = Índice de dureza del flóculo
 h_c = Pérdida de carga crítica en metros (ver índice de penetración de Hudson)
 h_{max} = Pérdida de carga máxima admisible (m)

Valor del índice	Condición del flóculo
1	Excelente
$1 < ID \leq 0.66$	Bueno
$0.66 < ID \leq 0.33$	Malo
$0.33 < ID > 0$	Inaceptable

1.1.8 Retrolavado del filtro

Para lavar un filtro se aplica el flujo de agua en sentido inverso hasta lograr que el lecho se expanda y las partículas no estén más en contacto unas con otras. Como el flujo bajo estas condiciones es generalmente turbulento, la agitación obliga a las partículas a chocar entre ellas, lo que favorece el desprendimiento de la suciedad retenida en las mismas. La tasa y el caudal de retrolavado se calculan a partir de:

Ec. 1-5
$$v_L = \frac{\Delta h}{t}$$

Ec. 1-6
$$Q_L = \frac{A\Delta h}{t}$$

donde:

v_L = Velocidad del retrolavado (m/h)

- Q_L = Caudal de retrolavado ($m^3/m^2 \cdot h$)
 A = Área del filtro (m^2)
 Δh = Variación de la altura del agua (m)
 t = Tiempo en que se incrementa una altura Δh (h)

Para verificar si la velocidad de retrolavado es la adecuada, es necesario conocer la velocidad mínima de fluidificación v_{mf} , que es aquella necesaria para iniciar la expansión del lecho durante el retrolavado. De manera sencilla, es la velocidad que se tiene en el instante en que logran equilibrarse las fuerzas descendentes debidas a la gravedad y las ascendentes producidas por el flujo de agua.

Las condiciones del flujo durante el retrolavado difieren de la condición normal de operación, debido a que en este caso el régimen de flujo no es estrictamente laminar. La siguiente relación que define a la v_{mf} .

$$\text{Ec. 1-7} \quad v_{mf} = \frac{\mu}{\rho d_{eq}} \left[(33.7)^2 + 0.0408 Ga \right]^{0.5} - \frac{33.7 \mu}{\rho d_{eq}}$$

$$\text{Ec. 1-8} \quad Ga = \frac{(d_{eq})^3 [\rho(\rho_s - \rho)g]}{\mu^2}$$

donde:

- v_{mf} = Velocidad mínima de fluidificación (m/s)
 d_{eq} = Diámetro equivalente (m)
 μ = Viscosidad dinámica (kg/m s)
 ρ = Densidad del agua (kg/m^3)
 ρ_s = Densidad del material filtrante (kg/m^3)
 g = Constante gravitacional ($9.81 m/s^2$)
 Ga = Número de Galileo

La velocidad efectiva de retrolavado v_L se estima en 1.3 la velocidad mínima de fluidificación:

$$\text{Ec. 1-9} \quad v_L = 1.3v_{mf}$$

Es común inyectar aire o utilizar agitadores de superficie para aumentar la turbulencia en el medio filtrante sin tener que aumentar la velocidad de lavado, lo que originaría pérdida del material y una cantidad excesiva de agua.

El aire se inyecta por el fondo del filtro al mismo tiempo que el agua. La velocidad de retrolavado debe ser superior a 5 m/h, y no es necesario que el lecho esté en expansión. Una vez detenido el aire, se continúa el lavado con agua para eliminar todas las impurezas por las canaletas de recolección de agua de retrolavado.

Cuando se tiene arena y antracita, primero debe bajarse el nivel del agua hasta el nivel mínimo de la capa de antracita y después se inyecta el aire. No debe inyectarse aire cuando el agua en el filtro esté a nivel de las canaletas de retrolavado, ni el agua al mismo tiempo que el aire. En los dos casos se favorece la pérdida de la antracita. Se debe comenzar con aire y al detenerlo, inyectar el agua a una tasa superior a 37 m/h para asegurar el arrastre de las impurezas y la reclasificación del material.

Cuando se utilizan agitadores de superficie, que pueden ser fijos o rotativos, generalmente se encienden antes de inyectar el agua de lavado por el fondo del filtro, ya que esto permite romper la capa superior de impurezas. Es recomendable, sin embargo, inyectar un poco de agua al inicio para que el lecho esté ligeramente expandido y después continuar con el lavado normal con agua.

En todos los casos el nivel máximo del lecho en expansión puede ser de 8 a 30 cm por arriba de su nivel de reposo. El grado de expansión depende de:

- El diámetro de los granos de arena
- La densidad de los granos
- La velocidad o tasa del agua de retrolavado
- La temperatura del agua

Un factor importante en consumo de agua tratada y un riesgo de contaminación de la misma, lo constituye la eficiencia del retrolavado. Un buen lavado ahorra agua filtrada y deja al medio filtrante regenerado (limpio) para iniciar nuevamente el ciclo de filtración.

1.2. Filtración en Múltiples Etapas

La Filtración en Múltiples Etapas (FiME) es una solución integrada para mejorar el abastecimiento de agua en comunidades rurales, y en pequeños o medianos municipios. Utiliza una combinación de filtración en grava y filtración lenta en arena (FLA) con dos o tres etapas para el tratamiento del agua.

Esta combinación permite el tratamiento del agua con niveles de contaminación por encima de los que se pueden tratar trabajando sólo con el sistema FLA. La FiME conserva las ventajas de la FLA como una tecnología robusta y confiable, que puede ser mantenida por operadores con bajos niveles de escolaridad.

Es mucho más sostenible que el tratamiento químico del agua para las comunidades rurales, pequeños y medianos municipios de los países en vía desarrollo, así como para las zonas más remotas de los países industrializados. Otros procesos de tratamiento como la sedimentación, las trampas de arena y rejillas pueden preceder a los sistemas

FiME. Donde sea posible, se debe incluir la desinfección final como una barrera de seguridad.

FiME fue desarrollada en América Latina en los años 80's por el instituto CINARA de la Universidad del Valle en Cali, Colombia, como parte de un proyecto de desarrollo e investigación, soportado por el IRC. Sin embargo, a pesar del éxito y esfuerzos que se hicieron en los 90's para desarrollar y transferir esta tecnología, esta sigue siendo desconocida en muchos países. FiME es quizás la única solución para muchos sistemas de abastecimiento de agua en las comunidades rurales y pequeños municipios.

En la presente modificación se pretende obtener un sistema de tratamiento más compacto, de costos inferiores y de fácil operación, que proporcione agua de buena calidad para los acuicultores en la producción de peces de ornato.

Los acuicultores en época de estiaje, no cuentan con la calidad ni cantidad requerida para mantener una buena productividad. Así, este sistema les proporcionará un ciclo cerrado de agua, al tratarla y reciclarla a los estanques nuevamente. Esto permite disminuir la demanda de agua de primer uso, por lo que solo se requerirá de un volumen de reposición que se pierde por evaporación y por el mismo manejo del agua. Otra ventaja es que no se verterá agua residual a los cuerpos superficiales, evitando así su contaminación.

La filtración en múltiples etapas fue diseñada para poblaciones rurales o pequeñas localidades, cuya fuente de abastecimiento de agua se ajuste a las normas de calidad de agua cruda requeridas para un tratamiento por FiME. Sin embargo, el sistema de tratamiento pretende modificar la tecnología de FiME para utilizar agua residual tratada en los estanques de acuicultura, tratarla nuevamente y regresarla a los mismos, de tal manera que se obtenga un sistema con descarga cero.

1.2.1 Consideraciones generales

a) Calidad del agua

El agua que ingresa al sistema de tratamiento inicial puede ser de tipo superficial, proveniente de un río o riachuelo o de un lago o presa, sin embargo, también puede provenir de una planta de tratamiento de agua residual, como se comentó anteriormente. Es importante disponer de toda la información posible sobre la calidad de agua a emplear, así como de sus variaciones, niveles máximos y mínimos.

Por ser un sistema aislado de posible contaminación industrial, se debe tener en cuenta básicamente los parámetros de turbiedad, color real y coliformes fecales.

A continuación se presentan los rangos de los principales parámetros con los que debe cumplir el agua de abastecimiento al sistema (Tabla 1.6).

Tabla 1.6 Parámetros de calidad de agua cruda

RANGO	NIVEL PROMEDIO
Bajo	Turbiedad < 10 UNT
	Coliformes Fecales < 500 UFC/100 ml
	Color Real < 20 UPtCo
Intermedio	Turbiedad 10 - 20 UNT
	Coliformes Fecales 500 - 10000 UFC/100 ml
	Color Real 20 - 30 UPtCo
Alto	Turbiedad 20 - 70 UNT
	Coliformes Fecales 10000 - 20000 UFC/100 ml
	Color Real 30 - 40 UPtCo

En aquellos lugares donde se tenga evidencia de la existencia de sustancias nocivas o metales pesados se deberán considerar los análisis respectivos.

b) Filtración en múltiples etapas

La filtración en múltiples etapas (FiME) es la combinación unidades de pretratamiento con filtración en grava (FGDi y FG) y unidades de tratamiento con filtración lenta en arena (FLA) con la finalidad de obtener un efluente de calidad sin necesidad de la utilización reactivos químicos durante el proceso (Figura 1.5).

c) Filtración Gruesa Dinámica (FGDi)

Los filtros dinámicos son tanques que contienen una capa delgada de grava fina (6 a 13 mm) en la superficie, sobre un lecho de grava más grueso (13-25 mm) y un sistema de drenaje en el fondo.

Esta unidad es utilizada para reducir los extremos de los picos de turbiedad y proteger de esta manera la planta de tratamiento ante altas cargas de sólidos transportadas por la fuente durante unas pocas horas.

Cuando la fuente transporta valores elevados de sólidos fácilmente sedimentables, estos se depositan en la superficie del lecho de grava, colmatándolo rápidamente y restringiendo parcial o totalmente el paso de agua. Esta respuesta protege las unidades de tratamiento siguientes (Figura 1.6).

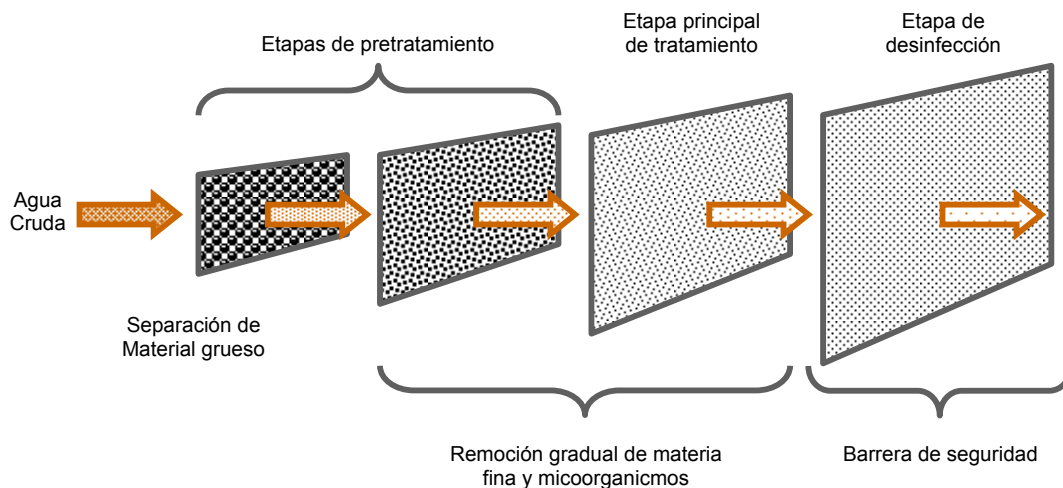


Figura 1.5 Procesos que integran la FiME

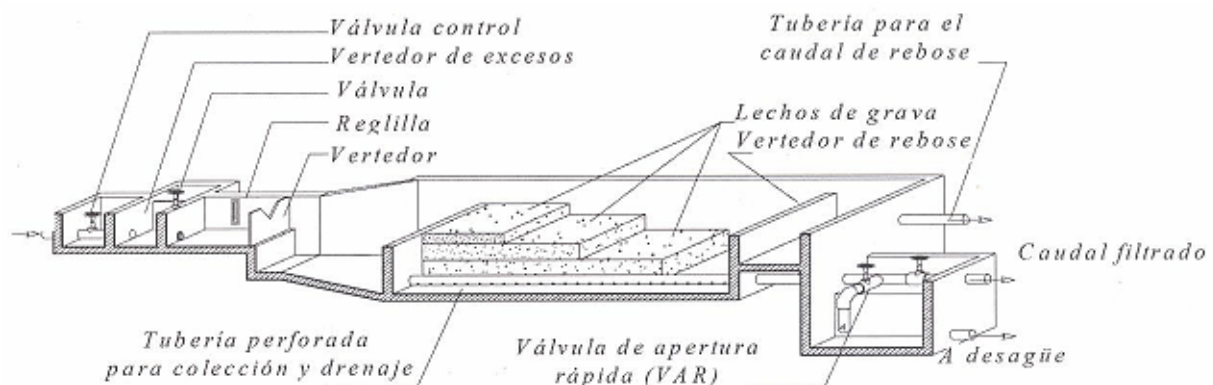


Figura 1.6 Esquema isométrico de un filtro grueso dinámico

d) Filtración Gruesa (FG)

Los filtros gruesos de grava pueden ser de flujo horizontal o vertical. Consiste en un compartimiento principal donde se ubica un lecho filtrante de grava. El tamaño de los granos de grava disminuye con la dirección del flujo.

Para el caso de un filtro de flujo ascendente se tiene un sistema de tuberías, ubicado en el fondo de la estructura, permite distribuir el flujo de agua en forma uniforme dentro del filtro.

Conforme funciona el filtro, los espacios vacíos se van colmatando con las partículas retenidas del agua, por lo cual se requiere una limpieza semanal controlada mediante las válvulas de apertura a la salida de la unidad (Figura 1.7 y Figura 1.8).

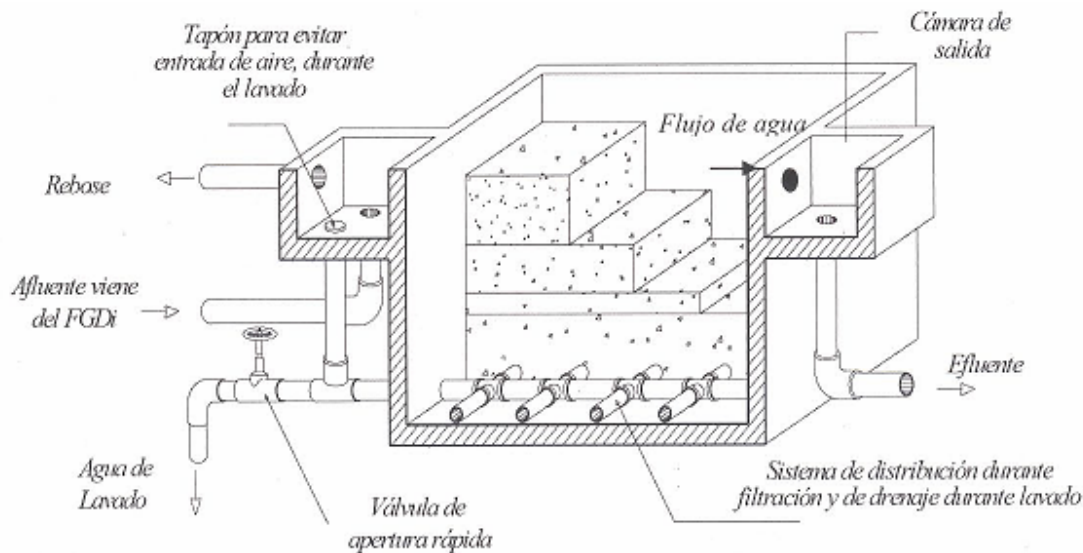


Figura 1.7 Esquema isométrico de un filtro grueso ascendente en capas

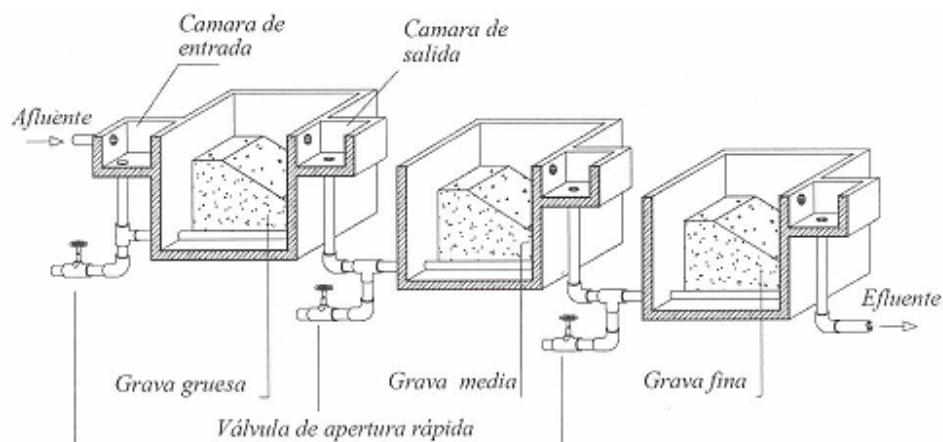


Figura 1.8 Corte isométrico de un filtro grueso ascendente en serie

e) Filtración Lenta en Arena (FLA)

El tratamiento del agua en una unidad de FLA es el producto de un conjunto de mecanismos de naturaleza biológica y física, los cuales interactúan de manera compleja para mejorar la calidad microbiológica del agua.

Consiste en un tanque con un lecho de arena fina, colocado sobre una capa de grava que constituye el soporte de la arena la cual, a su vez, se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada. El flujo es descendente, con una

velocidad de filtración muy baja que puede ser controlada preferiblemente al ingreso del tanque (Figura 1.9).

1.2.2 Alternativas de tratamiento FiM

Dependiendo de los parámetros seleccionados de calidad de agua, la eficiencia de las etapas de tratamiento y consideraciones de costos se pueden adoptar las siguientes alternativas de tratamiento FiME:

- FGD_i + FLA
- FGD_i + FGAC + FLA
- FGD_i + FGAS + FLA

La prefiltración gruesa continua o en serie dependerá de la calidad del afluente y las condiciones físicas del lugar.

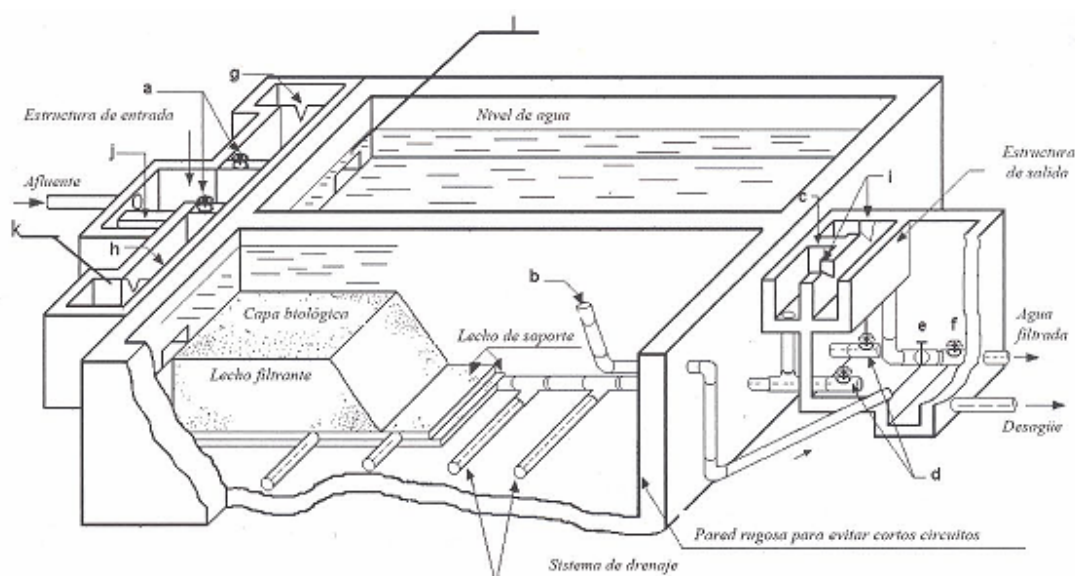


Figura 1.9 Componentes básicos de un FLA con control a la entrada

- a. Válvula para controlar entrada de agua pretratada y regular velocidad de filtración
- b. Dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante, "cuello de ganso"
- c. Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia
- d. Válvula para drenar lecho filtrante
- e. Válvula para desechar agua tratada
- f. Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia
- g. Vertedero de entrada

- h. Indicador calibrado de flujo
- i. Vertedero de salida
- j. Vertedero de excesos
- k. Cámara de entrada a FLA
- l. Ventana de acceso a FLA

Las condiciones mínimas requeridas para la adopción de un sistema de filtración por múltiples etapas serán asumidas de acuerdo a la siguiente Tabla 1.7.

Tabla 1.7 Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por FiME (Todas las opciones incluyen FGD_{i 2.0} y FLA_{0.15})

Turbiedad (UNT)	<10	10-20	20-50	50-70*
Color real (UPtCo)	<20	20-30	30-40	30-40*
Coliformes fecales (UFC7100ml)				
< 500	Sin FGA	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS3 _{0.3}
500-10000	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS3 _{0.3}
10000-20000*	FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAS3 _{0.3}

(*) Para valores superiores a 70 UNT; 20000 UFC/100 ml o 40 UC, se recomienda realizar estudio en planta piloto.

El subíndice indica la velocidad de filtración recomendada en m/h

Clasificación de fuentes según el rango de calidad:

Bajo	
Medio	
Alto	

FGDi - FILTRO GRUESO DINAMICO

FGAC - FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN CAPAS

FGAS3 - FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN SERIE (3 ETAPAS)

FGH3 - FILTRO GRUESO HORIZONTAL (3 ETAPAS)

FLA - FILTRO LENTRO ARENA

1.2.3 Criterios de diseño

a) Filtro grueso dinámico

Los diferentes elementos que constituyen un filtro grueso dinámico generalmente son:

- Cámara de filtración

Las dimensiones del lecho de la unidad, están condicionadas por el caudal disponible para el lavado superficial y la velocidad superficial de flujo.

La cámara debe tener la capacidad suficiente para contener el sistema de drenaje, lecho filtrante y la altura de agua sobre el lecho superficial de flujo.

La razón largo/ancho será de 3:1 a 6:1, recomendable para diseño 5:1 ó según sea la realidad de la zona de estudio.

- Lecho filtrante y de soporte

Para el lecho filtrante se recomienda la siguiente granulometría y espesor de capas (Tabla 1.8).

Tabla 1.8 Granulometría y espesor de capas para Filtro Grueso Dinámico

Posición en la Unidad	Espesor de la Capa (m)	Tamaño de Grava (mm)
Superior	0.20	3.0 – 6.0
Intermedio	0.20	6.0 – 13.0
Inferior, Fondo	0.20	13.0 – 25.0

Para el lecho de soporte se recomienda las siguientes características (Tabla 1.9).

Tabla 1.9 Lecho de soporte para Filtro Grueso Dinámico

Capa	Tipo	Diámetro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)
Superior	Arena gruesa	1 - 2	50
Segunda	Grava fina	2 - 5	50
Tercera	Grava	5 - 10	50
Inferior	Grava gruesa	10 - 25	150

La velocidad de filtración varía entre los 2.0 a 3.0 m/h dependiendo de la calidad del agua cruda. A mayor contaminación del agua de entrada menor velocidad de filtración.

- Estructuras de entrada y salida

La estructura de entrada consta de una cámara para remoción de material grueso y una cámara de disipación. El agua ingresa por una tubería a la cámara que contiene un vertedor de excesos y una rejilla de aforo, donde se remueve el material grueso. Inmediatamente, ingresa a una cámara de disipación de un vertedero de entrada.

La estructura de salida esta compuesta por una tubería perforada ubicada en la parte inferior del lecho filtrante. Esta a su vez cumple la función de drenaje y recolección de agua filtrada.

- Sistema de drenaje y cámara de lavado

El sistema de drenaje es una tubería perforada que cumple la función de recolección de agua filtrada y es regulado por válvulas.

Las cámaras de lavado deben ser amplias, seguras y de fácil acceso, sus dimensiones deben ser tales que faciliten el desplazamiento y maniobrabilidad del operador, recomendándose áreas superficiales entre 3 y 5 m² y profundidades de entre 0.2 a 0.4 m. La cámara debe ser abastecida con agua cruda para facilitar el mantenimiento eventual de FGD_i. El conducto de desagüe debe ser calculado para evaluar el caudal máximo de lavado y evitar sedimentación en su interior.

La velocidad superficial de lavado (V_s) puede variar entre 0.15 y 0.30 m/s, dependiendo del tipo de material predominante en el agua cruda; se asume una velocidad cercana a 0.15 m/s cuando predominan limos y material orgánico y superior a los 0.2 m/s para arenas y arcillas.

- Accesorios de regulación y control

La altura del vertedor de salida, medido a partir del lecho superficial de grava fina debe ser entre 0.03 y 0.05 m.

Finalmente en la Tabla 1.10 se presenta un resumen de los criterios de diseño para un filtro grueso dinámico.

Tabla 1.10 Valores de diseño para el FGD_i.

Criterios	Valores Recomendados
Período de diseño (años)	8 - 12
Período de operación (h/d) (*)	24
Velocidad de filtración (m/h)	2 - 3
Número mínimo de unidades en paralelo	2
Área de filtración por unidad (m ²)	< 10
Velocidad superficial del flujo durante el lavado superficial (m/s)	0.15 - 0.3
Lecho Filtrante	
Longitud (m)	0.6
Tamaño de gravas (mm)	Según Tabla anterior
Altura del vertedero de salida (m)	0.03-0.05 (**)

(*) En estaciones de bombeo de agua con períodos de bombeo inferiores a 24 h/día, se recomienda proyectar un almacenamiento de agua cruda, a partir del cual se suministre agua de manera continua al FGD_i y demás componentes.

(**) Medidos a partir del lecho superficial de grava fina.

b) Filtro grueso ascendente

Un filtro grueso ascendente generalmente está compuesto de:

- Cámara de filtración

La altura total del filtro está determinada por la altura del lecho de grava (incluyendo la capa de soporte), el nivel de agua sobrenadante, la altura de agua adicional para facilitar y mejorar el lavado hidráulico y el borde libre. Está en el rango de 1.1 a 1.5 m.

- Lecho filtrante

Para el lecho filtrante se recomienda la siguiente granulometría y espesor de capas (Tabla 1.11).

Tabla 1.11 Granulometría y espesor de capas para Filtro Grueso Ascendente

Lecho Filtrante (mm)	Altura (m)					
	FGAC	FGAS 2		FGAS 3		
		1	2	3	4	5
19 - 25	0.30*	0.30*		0.30*	0.20*	
13 - 19	0.20 - 0.30	0.30 - 0.45	0.20*	0.15	0.15*	0.15*
6 - 13	0.15 - 0.20	0.30 - 0.45	0.15*	0.45 - 0.75	0.15*	0.15*
3 - 6	0.15 - 0.20		0.30 - 0.45		0.40 - 0.70	0.15*
1.6 - 3	0.10 - 0.20		0.25 - 0.40			0.45 - 0.75
Total (m):						
Soporte	0.30	0.30	0.35	0.30	0.50	0.45
Lecho Filt.	0.60 - 0.90	0.60 - 0.90	0.55 - 0.85	0.60 - 0.90	0.40 - 0.70	0.45 - 0.75

* Lecho de soporte

En algunos casos la altura del lecho de soporte puede ser superior a lo indicado en la tabla, dependiendo del tamaño de grava predominante en cada unidad, del tamaño de grava en contacto con lecho de soporte y del diámetro de los orificios en el múltiple. Se recomienda una altura de agua sobrenadante de 0.1 a 0.2 m.

- Estructuras de entrada y salida

La estructura de entrada consiste de un canal pequeño que conduce el agua previamente acondicionada hasta la cámara de entrada a los filtros gruesos. En ella se reúnen tres tuberías: de entrada de agua, de rebose y de distribución hacia el lecho filtrante.

La salida es por recolección del sobrenadante en tuberías que distribuyen el agua filtrada en una cámara que contiene una tubería en la parte inferior para el efluente tratado.

- Sistema de drenaje y cámara de lavado

La descarga de la tubería de drenaje, debe ubicarse entre 1.5 y 2.0 m por debajo de la losa de fondo del filtro grueso. La carga estática de agua para lavado en contraflujo, que es la diferencia entre el nivel de agua máximo en el filtro grueso ascendente durante el lavado y el nivel de descarga de la tubería de drenaje en la cámara de lavado debe de estar entre los 2.5 y 3.0 m.

- Accesorios de regulación y control

Los accesorios utilizados en las unidades de filtración gruesa incluyen válvulas para regulación de caudal, vertedores y reglillas de aforo, dispositivos que se instalan en la estructura de cada etapa de tratamiento.

En la Tabla 1.12 se presenta una guía de diseño para los filtros gruesos ascendentes.

Tabla 1.12 Valores de diseño para Filtros Gruesos Ascendentes.

Criterios	Valores Recomendados
Período de diseño (años)	8 – 12
Período de operación (h/d)	24
Velocidad de filtración (m/h)(*)	0.3 - 0.6
Número de unidades en serie	
. FGAC	1
. FGAS	2 - 3
Lecho Filtrante	
Longitud total (m)	
. FGAC	0.60 - 0.90
. FGAS	1.15 - 2.35
Tamaño (mm)	Según tabla
Lecho de soporte total	
. Longitud (m)	0.30 - 1.25
. Tamaño (mm) (**)	Según tabla
Altura sobrenadante de agua (m)	0.10 - 0.20
Carga estática de agua para lavado en contraflujo (m)	2.5 - 3.0
Area de filtración por unidad (m ²)	15 - 25

(*) A mayor contaminación del agua afluente, menor velocidad de filtración

c) Filtro lento de arena

Una unidad de filtración lenta consta generalmente de los siguientes elementos:

- Caja de filtración y estructura de entrada

La caja del filtro posee un área superficial condicionada por el caudal a tratar, la velocidad de filtración y el número de filtros especificados para operar en paralelo.

Se recomiendan áreas de filtración máxima por módulo de 100 m² para facilitar las labores manuales de operación y mantenimiento.

La estructura consta de un vertedor de excesos, canales o conductos para distribución, dispositivos para medición y control de flujo, cámara de entrada y ventana de acceso al filtro propiamente dicho.

- Lecho filtrante

El medio filtrante debe estar compuesto por granos de arena duros y redondos, libres de arcilla y materia orgánica. En la Tabla 1.13 se presenta una referencia de la granulometría. La arena no debe contener más de 2% de carbonato de calcio y magnesio.

Tabla 1.13 Granulometría del lecho filtrante

Criterios	Valores Recomendados
Altura de arena (m)	
Inicial	1.00
Mínima	0.50
Diámetro efectivo (mm)	0.15 - 0.35
Coefficiente de uniformidad	
Aceptable	< 3
Deseable	1.8 – 2.0
Altura del lecho de soporte, incluye drenaje (m)	0.1 – 0.3

La velocidad de filtración varía entre los 0.1 y 0.2 m/h dependiendo de la calidad del agua cruda. A mayor contaminación del agua afluente menor velocidad de filtración.

La altura del agua sobre el lecho filtrante puede variar entre 1.0 y 1.5 m.

- Sistema de drenaje

El nivel mínimo del filtro se controla mediante el vertedero de salida, el cual se debe ubicar en el mismo nivel o 0.1 m por encima de la superficie del lecho filtrante.

- Capa de agua sobrenadante

Se recomienda una altura de agua sobrenadante de 1.0 a 1.5 m y un borde libre entre 0.2 y 0.3 m.

Conjunto de dispositivos para regulación, control y rebose de flujo

- Válvula para controlar entrada de agua pretratada y regular velocidad de filtración
- Dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante, cuello de ganso
- Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia
- Válvula para drenar lecho filtrante
- Válvula para desechar agua tratada
- Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia
- Vertedor de entrada
- Indicador de flujo
- Vertedor de salida
- Vertedor de excedencias

1.3. Tezontle en Morelos

1.3.1. Geología

El estado de Morelos queda comprendido dentro de dos provincias geológicas: la del Eje Neovolcánico y la de la Sierra Madre del Sur. Cubre la mayor parte del estado, desde el norte al sureste. Limita al sur y occidente con la cuenca del Balsas, que es una subprovincia de la Sierra Madre del Sur.

Las rocas más antiguas en el Eje Neovolcánico dentro del estado de Morelos son las ígneas extrusivas de composición intermedia (andesitas), que afloran al oeste de Huitzilac y datan probablemente del Terciario Medio; contemporáneo a estas rocas aflora al noroeste de Tepalzingo un pequeño cuerpo intrusivo.

Sobreyaciendo a las rocas intermedias afloran rocas sedimentarias clásticas (areniscas-conglomerado), así como un complejo volcánico constituido por diferentes tipos de rocas ígneas, como son: riolitas, tobas, brechas volcánicas y basaltos.

Los materiales volcánicos, que abundan en esta provincia, son en su mayoría susceptibles de aprovechamiento y suelen ser utilizados como material de construcción; destaca el tezontle, que se explota en numerosos bancos. Dicho material se usa en

acabados de obras y vías terrestres así como en el agregado de concretos ligeros en la fabricación de tabicón.

Al hablar de la minería del estado de Morelos, se refiere generalmente a la explotación de minerales no metálicos que se encuentran ampliamente distribuidos en el territorio, por lo que actualmente se cuenta con nueve regiones mineras, las cuales se enlistan a continuación:

- a.- Cuernavaca
- b.- Jojutla de Juárez
- c.- Yautepec
- d.- Tequesquitengo
- e.- Cuautla
- f.- Tilzapotla
- g.- Axochiapan
- h.- Coaxintlan
- i.- Miacatlan

De las anteriores, solo en dos regiones se cuenta con tezontle, en la de Cuernavaca, que comprende áreas de los municipios de Cuernavaca, Jiutepec, Tepetzingo, Emiliano Zapata y Xochitepec, y en la de Yautepec que comprende áreas de los municipios de Yautepec, Tepoztlán, Tlayacapán y Coacalco. Sin embargo, solo en los municipios de Xochitepec, Yautepec y Tlayacapán se tienen minas de tezontle registradas (Coordinación General de Minería, 2010).

En la región de Cuernavaca, más específicamente en el poblado de Tezoyuca, municipio de Emiliano Zapata, se localizan dos canteras de tezontle, situadas al norponiente en una serranía baja, formada por secuencias basálticas. El material extraído es de color rojo parduzco a negro.

La zona minera de Yautepec es proveedora de la materia prima conocida como tezontle (Foto 1.1), así como también de arena y grava, que se utilizan como material de relleno y compactación en la industria de la construcción. De los tajos que actualmente están en producción dentro de la zona, el más grande es el del cerro Las Tetillas, localizado a unos 4 Km al oeste de Yautepec. Aquí se explota el tezontle, en forma de grava y arena, en un banco espectacular que prácticamente llega hasta la cima del cerro, de más de 50 m de altura. El banco está excavado en horizontales, ligeramente inclinados, de piroclastos de composición basáltica con colores predominantemente rojizos, que varían hacia el negro en algunas partes. Existe otro banco en Tezontlala, al noreste de Tlayacapan, que tal vez haya originado el nombre de tezontle. En Tehuixcorral, al norte de Yautepec, se encuentran un tajo relativamente nuevo. Otro banco que era muy famoso, es el de Huilotepec, que hoy en día se encuentra inactivo. Hacia el oriente y

nororiental, se encuentran varios tajos más de tezontle y/o basalto, a saber, en los poblados de Citlatepec, Santa Bárbara, Tlalamac, Texcala, Ecatingo y Tepatónaya.

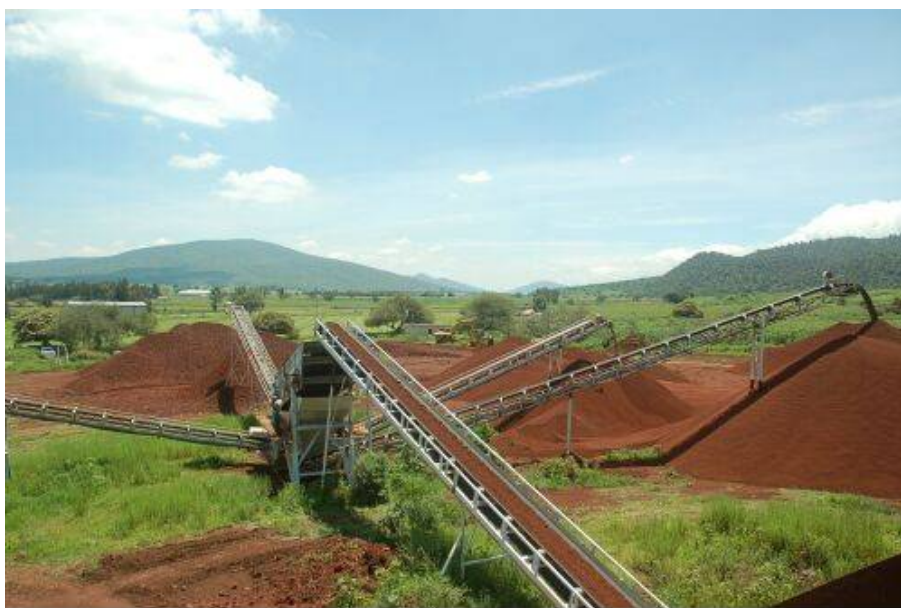


Foto 1.1 Mina de tezontle (Fuente: TMYR S.A. de C.V.)

1.3.2 Características y usos

Es Tezontle es una roca volcánica, constituida principalmente por Bióxido de hierro; tiene una textura porosa y una densidad de entre 1.2 y 1.6 g/mL. Su color es usualmente rojo anaranjado y negro, pudiendo encontrarse también en algunas variedades de amarillo rojizo.

Sus principales propiedades son; que conserva el calor, es impermeable pero no funciona como buen aislante.

Los principales usos son: para múltiples trabajos de albañilería, construcción de hornos (para preparar barbacoa, o en la elaboración de pan), para relleno de calles de terracería, para el acabado de la fachada en la construcción de casas habitación, en la jardinería para dar un acabado estético y recientemente es utilizado para conservar la humedad de las plantas al momento de regarlas. (Fuente: Materiales Ferrex).

El empleo que se le pretende dar es como medio filtrante, lo que permite realizar la retención de los sólidos suspendidos, disminuir la turbiedad y el color que contaminan el agua. Esto posibilita lograr el tratamiento del agua residual en cortos tiempos con excelente calidad.

1.4. Acuicultura

A continuación se realiza una breve descripción del desarrollo de la acuicultura, la información fue recopilada y adaptada de varias notas periodísticas tomadas de la página <http://www.panoramaacuicola.com>

1.4.1 Acuicultura en México

La acuicultura en México genera más del 16% de la producción pesquera nacional, lo que significa el crecimiento más dinámico del sector con una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 2.6 %. Esta manifiesta el mayor crecimiento en comparación con cualquier otro sector de la producción de alimentos de origen animal, pues la pesca de captura ha aumentado a razón de 1.2 por ciento y los sistemas de producción de carne de cría en tierra, 2.8 por ciento.

La Conapesca destacó que la acuicultura, tiene el potencial de garantizar la seguridad alimentaria mundial, además de que genera empleos y divisas, es la industria alimentaria con la tasa más alta de crecimiento en los últimos 10 años, lo que contribuye a solventar la demanda que ya no puede cubrir la pesca tradicional.

La Conapesca detalló que el 78% de la producción acuícola se concentra en Sonora, Sinaloa, Veracruz, Tabasco, Jalisco, México y Nayarit, sin embargo se ha identificado un gran número de unidades de producción acuícola en Michoacán, Guerrero, Yucatán, Guanajuato, Hidalgo, **Morelos** y Puebla. Así, en el aspecto alimentario, esta actividad ha incrementado la disponibilidad de adquirir pescado fresco y aún vivo en los estados sin litoral, con especies como carpa, trucha, bagre y tilapia, principalmente.

Además la acuicultura ha fomentado la creación de empleos directos e indirectos pues mientras que en el año 2000 eran de 18 mil 270 empleos, para 2009 la cifra se incrementó a 30 mil 272, lo que se representa una TMCA de 5.18%.

Además en el año 2000 se tenían mil 898 granjas acuícolas formadas por 31 mil 460 hectáreas destinadas a la producción pesquera, y para 2009 se tenían tres mil 12 granjas formadas por 76 mil 527 hectáreas.

Fuente: oem.com.mx/elsoldecuautla

*http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2011/03/24/capacitan_a_productores_de_pesces_de_la_zona_sur_de_morelos.html
(Consulta 20/07/2011)*

Ahora bien, el desarrollo de la acuicultura no tiene bien definidas aun sus condiciones de sustentabilidad, debido principalmente a factores como bajos niveles de bioseguridad en sus productos, falta de personal debidamente capacitado, instalaciones

inapropiadas y la ausencia de técnicas adecuadas para el cultivo, así como desarrollo y comercialización de las especies. Estos factores son las causas principales de que la producción y comercialización de peces no alcance definitivamente los niveles deseados por lo productores.

Es necesario impulsar la modernización de la planta productiva y los procesos de comercialización de peces de ornato de agua dulce, con el propósito de incrementar la producción nacional y propiciar la sustitución de importación de especies, lo cual generará mayor actividad en el mercado interno y creación de empleos.

El aumento y mejoramiento de la calidad en la producción nacional de peces de ornato de agua dulce, permitirá que los productores incursionen en mercados de exportación y en este sentido, México tiene la oportunidad de convertirse en uno de los principales proveedores de peces de ornato en Estados Unidos, uno de los mercados más importantes de este tipo de productos en el mundo.

Actualmente se comercializan cada año 43 millones de peces de ornato, de los cuales el 52 por ciento se producen en más de 250 granjas que se encuentran establecidas en 20 entidades de la República (entre las cuales Morelos es uno de los principales productores), mientras que el 48 por ciento se importa principalmente de Asia, a través de Estados Unidos y Sudamérica.

Fuente: Notimex

http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2011/03/22/la_acuicultura_el_sector_con_mas_crecimiento_en_la_produccion_pesquera_en_mexico.html (Consulta 20/07/2011)

1.4.2 Acuicultura en Morelos

De acuerdo con los investigadores de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), se comenta que Morelos es el principal productor de peces de ornato a nivel nacional, con más de 70 especies explotadas. Por otro lado, la producción de peces para consumo aún no se consolida como la primera, aunque en nuestros ríos y arroyos existen especies como charales, bagres y tilapias, especies de gran demanda para su consumo.

Pese a las alentadoras cifras, los investigadores señalan que aún no se llega a los parámetros de calidad deseados: “Hay mucha cantidad y poca calidad. Ha habido un crecimiento muy grande, pero también desordenado en cuanto a la explotación acuícola a nivel estatal, pero se está trabajando a nivel institucional para apoyar a los productores a que eleven su nivel en la producción acuícola ornamental, sobre todo cuidando la calidad para cubrir estándares de exportación”.

Fuente: oem.com.mx/elsoldecuautla

http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2011/03/24/capacitan_a_productores_de_peces_de_la_zona_sur_de_morelos.html (Consulta 20/07/2011)

Bajo este esquema, la Secretaría de Desarrollo Agropecuario informó que este año (2011) se van a invertir \$56 millones en la tecnificación de 108 granjas acuícolas que están operando en Estado de Morelos, a éstos se suman los \$24 millones que aportarán los productores, alcanzando una inversión total de \$80 millones. La tecnificación será mediante los Módulos Intensivos de Producción Acuícola (MIPAC).

Si bien en los últimos 10 años la actividad acuícola en Morelos ha tenido un crecimiento significativo y se han invertido más de 40 millones de pesos, con esta nueva inversión y la incorporación de nuevas tecnologías, infraestructura, capacitación y promoción se logrará una actividad competitiva, rentable y sustentable en el mercado. Esto le permitirá al productor alcanzar un desarrollo sustentable óptimo y competitivo, orientando los esfuerzos hacia la innovación constante y certificación de los procesos productivos.

Una de la ventaja del estado de Morelos, es que en él existe el primer Comité Sistema Producto Pez de Ornato que cuenta con un Consejo de Productores de Peces de Ornato y tiene el único laboratorio de producción de postlarvas de langostino, además de un centro de acopio y venta en la zona sur-oriente del Estado, y de un centro de negocios que se encuentra en desarrollo en la región Sur. En cuanto a tilapia se han establecido los primeros módulos tecnificados para la producción intensiva, con los que se espera alcanzar las 1 mil 620 toneladas de pez carne anuales.

Fuente: El Sol de Cuernavaca

http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2011/01/27/nse_tecnificaran_108_granjas_a_cuicolas_en_morelos_mexico.html (Consulta 20/07/2011)

Cabe destacar que esta actividad en Morelos cuenta con infraestructura acuícola en 25 municipios de los 33 que conforman la entidad, con un valor de \$28 millones, en una superficie de 65 hectáreas de espejo de agua, esta actividad genera 506 empleos directos con beneficios económicos y de alimentación para la gente de escasos recursos de las comunidades rurales.

Son 485 unidades de producción, de las cuales 73% se dedica a la producción de peces ornamentales y el resto a la producción de tilapia, bagre, trucha, langosta y langostino. Actualmente, Morelos cuenta con una producción anual de 20 millones de peces de ornato, y se espera alcanzar los 30 millones al final del 2012. En relación a carne de pez se producen 334.8 toneladas anuales

Fuente: CESAEM

<http://cesaem.org> (Consulta 20/07/2011)

1.4.3 Calidad de agua

Una ventaja del sistema de recirculación de agua es la capacidad de controlar el ambiente y algunos parámetros de calidad de agua para optimizar la salud de los peces y sus tasas de crecimiento. Aunque el medio acuático es un ecosistema complejo que está formado por diversas variables de calidad de agua, es afortunado el hecho de que sólo unos pocos de estos parámetros jueguen roles decisivos. Los parámetros en cuestión son la temperatura, los sólidos suspendidos y el pH, la concentración de oxígeno disuelto, amoníaco, nitritos, dióxido de carbono y alcalinidad. Cada parámetro por si solo es importante, pero lo que influye en la salud y la tasa de crecimiento de los peces es el agregado e interrelación entre los mismos.

Las concentraciones de cada uno de ellos puede ser inocua en una situación o tóxica en otra. Por, ejemplo, cuando se presentan problemas de aeración y desgasificación, generalmente los niveles de dióxido de carbono son altos y al mismo tiempo los de oxígeno disuelto son bajos. El resultado de esta situación no es la menor cantidad de oxígeno disuelto disponible para los peces, si no que el dióxido disminuye su capacidad retransportar oxígeno, agravando el estrés por los bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua. Otro ejemplo, es la interacción entre le pH y el amoníaco. A un pH bajo, la mayor parte del amoníaco se encuentra en la forma ionizada no tóxica. Sin embargo, al aumentar el pH en sólo una unidad (6.5 a 7.5) la concentración del amoniaco tóxico aumenta en un factor de 10. Al añadir bicarbonato de sodio para aumentar la alcalinidad en el agua se puede producir esta condición indeseable en forma accidental. Esto hace que sea importante entender las interacciones de la parámetros en el agua y su monitoreo de forma rutinaria. Por ello, cuando se requieren ajustes, hay que realizarlos en forma lenta y cuidadosa.

Otro parámetro importante de considerar es la temperatura, ya que los peces no tienen la capacidad de controlarla en su cuerpo y mantenerla independiente del medio ambiente. Los cambios de temperatura afectan directamente a sus reacciones bioquímicas, lo que lleva a diferentes tasas metabólicas y de consumo de oxígeno. En la medida que aumenta la temperatura, los peces se vuelven más activos y consumen una mayor cantidad de oxígeno, mientras simultáneamente producen más dióxido de carbono y otros productos de excreción, como el amoníaco. Si estas tasas de consumo y de producción de excretas van en aumento pueden causar un efecto de estrés impactando directamente en la salud general y sobrevivencia de los peces.

a) Normas de calidad de agua

La propia naturaleza de la acuicultura hace casi imposible formular una lista definitiva de parámetros y concentraciones permisibles, de tal manera que sea útil para todas las especies de peces y condiciones ambientales y de producción. Por lo que en el mejor

de los casos estas listas sólo son recomendaciones. La Tabla 1.14 proporciona los parámetros necesarios de calidad de agua para caracterizar el suministro potencial de agua y proporciona recomendaciones muy generales de criterios de calidad del agua para cada parámetro.

Tabla 1.14 Criterios de calidad del agua para acuicultura

Parámetro	Concentración (mg/L)
Alcalinidad (como CaCO ₃)	50 – 300
Aluminio	<0.01
Amoníaco (N- NH ₃ no ionizado)	<0.0125 (salmón)
Nitrógeno amoniacal total	
- Peces de agua fría	<1.0
- Peces de agua cálida	<3.0
Arsénico	<0.05
Bario	<5.0
Cadmio	
- Alcalinidad < 100 mg/L	<0.0005
- Alcalinidad > 100 mg/L	<0.005
Calcio	4 – 160
Dióxido de carbono	
- Especies tolerantes (tilapia)	<60.0
- Especies sensibles (salmón)	<20.0
Cloro	<0.003
Cobre	
- Alcalinidad < 100 mg/L	0.006
- Alcalinidad > 100 mg/L	0.03
Dureza total (como CaCO ₃)	>100
Cianuro de hidrógeno	<0.005
Acido sulfhídrico	<0.002
Hierro	<0.15
Plomo	<0.02
Magnesio	<15.0
Manganeso	<0.01
Mercurio	<0.02
Nitrógeno gas	<110% presión de gas total <103% como gas nitrógeno
Nitritos	<1.0 0.1 en agua blanda
Nitrato	0 – 400 o más
Níquel	<0.1
Oxígeno disuelto	>5.0
Ozono	<0.005
PCB's	<0.002

Parámetro	Concentración (mg/L)
pH	6.5 – 8.5
Fósforo	0.01 – 3.0
Potasio	<5.0
Salinidad	Depende de la sal o especie de agua dulce
Selenio	<0.01
Plata	<0.003
Sodio	<75
Sulfato	<50
Azufre	<1.0
Sólidos disueltos totales	<400
Sólidos suspendidos totales	<80
Uranio	<0.1
Vanadio	<0.1
Zinc	<0.005

b) Parámetros de calidad del agua

- Oxígeno disuelto

De todos los parámetros de calidad, el oxígeno disuelto es el más crítico e importante y requiere de un monitoreo continuo en sistemas intensivos de producción. La naturaleza le jugo una mala pasada a la acuicultura, cuando decidió que la concentración de saturación de oxígeno disuelto sería la más alta a baja temperatura y la más baja a altas temperaturas. Esta condición es exactamente contraria a la que los peces necesitan para su metabolismo basal y conversión de alimento, que es más alta a mayores temperaturas y más baja a menores temperaturas. Debido a que el oxígeno es ligeramente soluble en agua, las especies acuáticas deben gastar una gran cantidad de energía para extraerlo del agua.

Es difícil especificar las concentraciones críticas de oxígeno disuelto, porque la respuesta a las bajas concentraciones no es de vida o muerte, sino un conjunto de efectos fisiológicos. Estos efectos también son influenciados por el tiempo de exposición, el tamaño y la salud de los peces, la temperatura del agua, la concentración de dióxido de carbono y otras condiciones ambientales.

En general, los peces de agua cálida se alimentan mejor, crecen más rápido y son más sanos cuando las concentraciones de oxígeno superan los 5 mg/L. Sin embargo, concentraciones superiores no parecen proporcionar beneficios adicionales a los peces.

- Temperatura

Los peces se clasifican como poiquilotérmicos o de sangre fría, lo que significa que la temperatura de su cuerpo es muy parecida a la del ambiente que los rodea.

La temperatura del agua ocupa el segundo lugar en importancia e impacto en la producción acuícola. Esta influye directamente en los procesos fisiológicos, tales como la respiración, alimentación y asimilación, crecimiento, comportamiento y reproducción.

Los peces han sido agrupados en tres categorías; especies de agua muy fría con temperatura alrededor de 15 °C, agua fría entre 15 y 20 °C y cálida alrededor de 20 °C. Estos valores no son exactos y se debe tener en cuenta que existen diversos factores para determinar la tolerancia de los peces a diferentes temperaturas.

- Amoníaco/ Nitritos/Nitratos

Estos compuestos de nitrógeno son contaminantes en la columna de agua de los sistemas de acuicultura, por lo que su concentración deberá estar dentro de los límites permisibles. El nitrógeno es un nutriente esencial para todos los organismos vivos, y se encuentra en proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos de piridina y pigmentos. Sin embargo, el nitrógeno se necesita en relativamente pequeñas cantidades por lo que las necesidades fisiológicas se satisfacen fácilmente. Las cantidades excedentes se convierten en desechos nitrogenados y es necesario extraerlos. Los peces producen y excretan diversos productos de desecho por difusión a través de las branquias, por intercambio de cationes en branquias y excretan orina y heces. Además, de la urea, ácido úrico y aminoácidos, otras fuentes de nitrógeno son restos orgánicos de peces muertos, alimento que no se consume y del gas de la atmósfera.

El amoníaco, los nitritos y nitratos son altamente solubles en agua. El amoníaco existe en dos formas: NH_3 no ionizado y NH_4^+ ionizado. Su concentración en el agua está en función del pH, la salinidad y la temperatura.

El NH_3 es tóxico para los peces a bajas concentraciones, con un LC 50 de 96 horas que varía ampliamente por especie, comenzando a concentraciones tan bajas como 0.08 mg/L para salmón hasta 2.2 mg/L para la carpa común. En general los peces de agua cálida toleran mejor la toxicidad del amoníaco que los de agua fría, los de agua dulce son más tolerantes que los de agua salada. Por lo que se recomienda mantener la concentración por debajo de 0.05 mg/L.

El nitrito es el producto intermedio en el proceso de nitrificación del amoníaco a nitrato. Aunque éste se convierte rápidamente, constituye un problema en sistemas de recirculación porque es producido constantemente, por lo que los peces están expuestos continuamente a ciertas concentraciones de éste. Este compuesto es tóxico

porque afecta la habilidad de la hemoglobina de la sangre para transportar oxígeno, ya que cuando éste ingresa al torrente sanguíneo, oxida el hierro que contiene ésta, de ferroso a férrico.

El cloruro presenten el agua reduce la absorción de nitritos. Los niveles de cloruros se pueden aumentar agregando sal común. Se recomienda una relación de 20:1, cloruro:nitrito.

El nitrato es el producto final de la nitrificación es el menos tóxico, con valores que generalmente exceden los 100 mg/L. En los sistemas de recirculación, los niveles de nitratos son generalmente controlados con un intercambio diario de agua. En aquellos con poco intercambio o grandes períodos de retención hidráulica, se hace necesario implementar la desnitrificación.

- pH

El valor de pH expresa la intensidad de la acides o alcalinidad del agua. La escala varía de 0 a 14, con un valor neutro de 7, por debajo de éste predomina el ión H^+ (ácido), y por arriba predomina el OH^- (básico o alcalino). En la mayor parte de las aguas subterráneas y superficiales el pH es regulado por el sistema bicarbonato-carbonato y tiene valores de 5 a 9. En aguas de mar esta regulado por el sistema bicarbonato-borato y presenta valores de 8 a 8.5. El óptimo para el crecimiento y salud de los peces de agua dulce está entre 6.5 y 9.0.

La exposición a un pH extremo puede ser estresante o letal, pero son más importantes los efectos indirectos que resultan de su interacción con otros compuestos. Como por ejemplo, la relación que tiene con el amoníaco, ácido sulfhídrico, cobre, cadmio, zinc y aluminio y su toxicidad.

- Alcalinidad/Dureza

La alcalinidad es una medida de la capacidad de amortiguamiento de pH. En el agua dulce esta comprendida entre 5 y 500 mg/L. En los sistemas de recirculación la relación pH y alcalinidad se ha convertido en un tema importante. Esta relación requiere un monitoreo y ajuste cuidadoso tanto de los niveles de alcalinidad como de los de dióxido de carbono para mantener un pH óptimo. La Alcalinidad se ajusta fácilmente mediante la adición de bicarbonato de sodio. Una regla empírica es que por cada kilo de alimento se agregue 0.25 kg de bicarbonato. Las concentraciones de dióxido de carbono se controlan en forma rutinaria a través de sistemas de desgasificación, tales como torres de desgasificación de contraflujo.

En términos químicos, la dureza se define como la concentración total de calcio y magnesio. Por otra parte, el agua ha sido clasificada en blandas de 0 a 75, moderadamente duras 75 a 150, duras 150 a 300 y muy duras mayor a 300 mg/L.

Las recomendaciones para la dureza en el agua varían de 20 a 300 mg/L y esta es importante por su contenido de calcio, debido a que respalda a los huevos de peces recién fertilizados y para favorecer la calcificación de los esqueletos de las larvas. El calcio y el magnesio también disminuyen la toxicidad de los metales disueltos.

- Salinidad

El calcio, el sodio, el potasio, el bicarbonato, los cloruros y los sulfatos son los principales contribuyentes de las sales disueltas que generan la salinidad del agua.

Los peces mantienen la concentración de sales disueltas en los fluidos de su cuerpo regulando el ingreso de iones desde el ambiente y por otro lado evitando la pérdida de estos. Este proceso se llama osmoregulación. Los peces de agua dulce, por ejemplo, tienden a acumular agua porque tienen en su cuerpo fluidos con mayores concentraciones de iones que el agua que los rodea. Cuando están expuestos a valores de salinidad fuera de su rango óptimo, las especies deben gastar una considerable energía para la osmoregulación a expensas de otras funciones, tales como el crecimiento. Si la salinidad se desvía muy por encima de lo óptimo, el pez no puede mantener la homeostasis y muere. La sangre de los peces de agua dulce tiene una presión osmótica igual a la de una solución de cloruro de sodio de 7 mg/L. Los sistemas de acuicultura generalmente se mantienen a una salinidad de 2 a 3 mg/L para disminuir los niveles de estrés y la cantidad de energía requerida para la osmoregulación, con lo cual aumentan las tasas de crecimiento.

- Dióxido de carbono

La concentración de dióxido de carbono disuelto en aguas superficiales depende de la tasa de respiración, fotosíntesis e intercambio de gases con la atmósfera.

La exposición a altas concentraciones de dióxido de carbono reduce la eficiencia de la respiración y disminuye la tolerancia a concentraciones bajas de oxígeno disuelto. Niveles altos de dióxido de carbono en el agua reducen la excreción de dióxido de carbono en las branquias de los peces. Esto, a su vez, hace que aumente la concentración de CO₂ en la sangre de los peces, disminuyendo el pH del plasma sanguíneo, lo que produce una enfermedad llamada acidosis respiratoria. Cuando un pez sufre esta condición, la cantidad de oxígeno que puede transportar la hemoglobina disminuye, pudiéndose disparar la enfermedad respiratoria, incluso con altas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua. Se recomienda un límite superior de CO₂ de 15 a 20 mg/L como máximo en condiciones prolongadas. Sin embargo, como

una técnica de manejo, las concentraciones de 60 a 80 mg/L tienen un efecto narcótico y a veces son usadas temporalmente como anestésico para reducir estrés de manipulación.

- Sólidos

Los desechos sólidos que se acumulan en un sistema de acuicultura provienen de alimento no ingerido, desechos de los peces, algas y películas bacterianas desprendidas de los filtros biológicos. Algunos estudios indican que los peces producen entre 0.3 y 0.4 kg de sólidos suspendidos totales por cada kilogramo de alimento ingerido. Los desperdicios sólidos influyen en la eficiencia de todos los demás procesos de un sistema de recirculación. Ellos constituyen una fuente de la demanda de oxígeno e incorporación de nutrientes al agua, y pueden afectar directamente la salud de los peces dentro de los sistemas de recirculación dañando sus branquias y siendo un foco de crecimiento de patógenos. El límite superior tentativo para los peces de agua dulce es de 25 mg/L, siendo 10 mg/L lo recomendado para una operación normal. Por lo tanto, la remoción de sólidos es uno de los procesos más críticos e importantes en los sistemas de acuicultura.

c) Fuentes de agua

El requerimientos más importantes de un lugar para una instalación acuícola exitosa, es una fuente de agua de buena calidad, con suficiente capacidad para suministrar las necesidades iniciales y las ampliaciones futuras. Por esto es importante no perder de vista que el objetivo de un sistema de recirculación es minimizar el consumo de agua.

Los dos recursos hídricos más utilizados en la acuicultura son las aguas subterráneas y las que suministra el municipio. Ambas, tienen generalmente la calidad, cantidad y confiabilidad requerida, de manera que la selección entre ellas está basada en disponibilidad y economía. Las aguas superficiales no deben ser utilizadas, debido a los altos riesgos de contaminación por sustancias agrícolas o industriales, huevos de otros peces, larvas de insectos y microorganismos no deseados.

Fuente: Michel B. Timmons, James M. Eg, Fred W. Wheaton, Steven T Summerfelt, Brian J. Vinci, "Sistemas de recirculación para la acuicultura"; Editado e impreso por Fundación Chile, Chile 2002.

2. JUSTIFICACIÓN

En los recientes años en el Estado de Morelos esta tomando importancia la rama productiva de la acuicultura, la cual presenta un desarrollo económico para los productores de peces de ornato y de carne. Por lo tanto, un recurso valioso para el progreso de esta actividad es el agua, por lo que es importante considerar su calidad, ya que de ésta dependerá también la calidad del producto generado. Sin embargo, la agricultura compite abiertamente por el agua con la acuicultura, por lo que ésta, solo emplea casi siempre los excedentes de la primera y además con pésima calidad.

Por otra parte, para poder darle el auge que requiere la acuicultura, es necesario que los productores empiecen a tecnificar sus unidades productivas, esto con la finalidad de poder satisfacer la demanda del mercado nacional. Así, una de las primeras acciones que se deben tomar en cuenta, es la de contar con la cantidad y calidad del agua requerida para mantener una producción en constante crecimiento.

Un primer paso para lograr esta acción, sería el implementar un sistema de tratamiento de agua que permita minimizar el consumo de la misma y que proporcione una calidad adecuada para que se reuse nuevamente, sin que altere la vida de los peces que se cultiven. Por lo que se propone realizar una adaptación a la tecnología de filtración en múltiples etapas desarrollada por el CINARA, además de emplear tezontle como medio de filtración (material que abunda en la zona y que es económico).

3. OBJETIVOS

3.1 General

Establecer un sistema de tratamiento de agua residual proveniente de estanques de acuicultura que permita su reuso y una operación con descarga cero, sin que se afecte la calidad y productividad de los peces.

3.2 Particulares

Obtener una modificación al sistema de filtración en múltiples etapas que permita que el agua residual de los estanques, al pasar por éste, cumpla nuevamente con la calidad requerida para el cultivo de peces de ornato.

Evaluar el desempeño del tezontle como material filtrante.

Evaluar el desempeño del sistema a tasas de filtración de 3, 5 y 10 m³/m² h.

4. METODOLOGÍA

1. Sistema de filtración

- a) Descripción
- b) Operación
- c) Mantenimiento

2. Determinación de parámetros de control del sistema de filtración

a) Se determinarán diariamente a la entrada y salida del filtro los siguientes parámetros:

- Color
- Turbiedad
- Sólidos Suspendidos Totales

b) En los estanques de peces se determinarán diariamente:

- Temperatura
- pH
- Oxígeno Disuelto

c) Se determinarán semanalmente a la entrada y salida del filtro los siguientes parámetros:

- Nitratos
- Nitritos
- Nitrógeno Amoniacal
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Dureza total
- Alcalinidad

d) Se evaluarán tres tasas de filtración: 3, 5 10 m³/m² h. Cada una por un periodo de tres meses.

3. Análisis de resultados

- a) Tasa de filtración de 3 m³/m² h
- b) Tasa de filtración de 5 m³/m² h
- c) Tasa de filtración de 10 m³/m² h

4. Elaboración del Informe final

5. RESULTADOS

5.1 Sistema de filtración

El proceso de tratamiento es físico y trabaja por medio de filtración ascendente. Es empleado para remueve sólidos suspendidos, turbiedad, color y nitrógeno amoniacal. Puede ser empleado bajo dos conceptos de operación:

- Limpiar un agua con alto contenido de sólidos suspendidos y color de estanques de crecimiento.
- Mantener un agua limpia en estanques de crecimiento.

En el primer caso, el tiempo de la carrera de filtración se verá reducido drásticamente, por lo que es muy probable que una vez alcanzada la calidad del agua deseada, se tenga que retrolavar el sistema de tratamiento.

En la segunda alternativa, el iniciar con un agua limpia y mantenerla así, alarga hasta en seis meses el tiempo de la carrera de filtración, tiempo en el que se deberá retrolavar.

5.1.1 Descripción

El sistema de filtración en múltiples etapas fue concebido como un sistema de tratamiento para obtener un agua para abastecimiento público, sin embargo, los requerimientos para la acuicultura no son tan estrictos por lo que no se utilizará la filtración lenta, y los filtros grueso dinámico (FGD) y grueso ascendente en capas (FGAC) se unirán para constituir un solo filtro, que operará con un flujo en forma ascendente.

La capacidad del sistema de tratamiento de filtración puede variar de 1 a 10 m³/m² h y dependerá de la calidad del agua de entrada y de salida que se requiera.

El material filtrante y el soporte son de tezontle, que abunda en el centro de la República Mexicana y que es de bajo costo, por lo que sustituye a los materiales de grava y arena. Además, es un material poroso, que presenta un área de filtración mucho mayor que el de la arena y la gravilla.

Para el manejo del agua (sistema hidráulico), se recomienda que la tubería sea de PVC hidráulico y el diámetro será de acuerdo a la succión y salida de la bomba. En algunos casos para un abomba centrífuga de 1 HP comercial, la succión es de 32 mm (1 ¼") y la descarga de 25.4 mm (1"). Estos diámetros permiten trabajar de manera satisfactoria una tasa máxima de filtración de 10 m³/m² h.

La Figura 5.1 muestra el sistema de filtración. Siguiendo el flujo del agua los componentes son: Una tina con peces, de donde se toma el agua residual a filtrar, una bomba de agua centrífuga con la que se succiona y envía el agua a filtración, una válvula de globo para toma de muestras (1), una válvula de compuerta con la que se regula la cantidad de agua a filtrar (2), un tanque que contiene el material filtrante, otra válvula de globo para toma de muestras de agua tratada (3), una válvula de globo (4) para regular el agua que ingresa a la tina de peces, una válvula de globo (7), que regula al agua que sale de la tina de peces, una válvula de globo (8) que evita que cuando el sistema deja de operar el filtro no se quede sin agua. Cuando el sistema se retrolava el agua ingresa por la válvula de compuerta (5) y es drenada por la válvula de globo (6). Es necesario que permanezcan cerradas las válvulas (2) y (4).

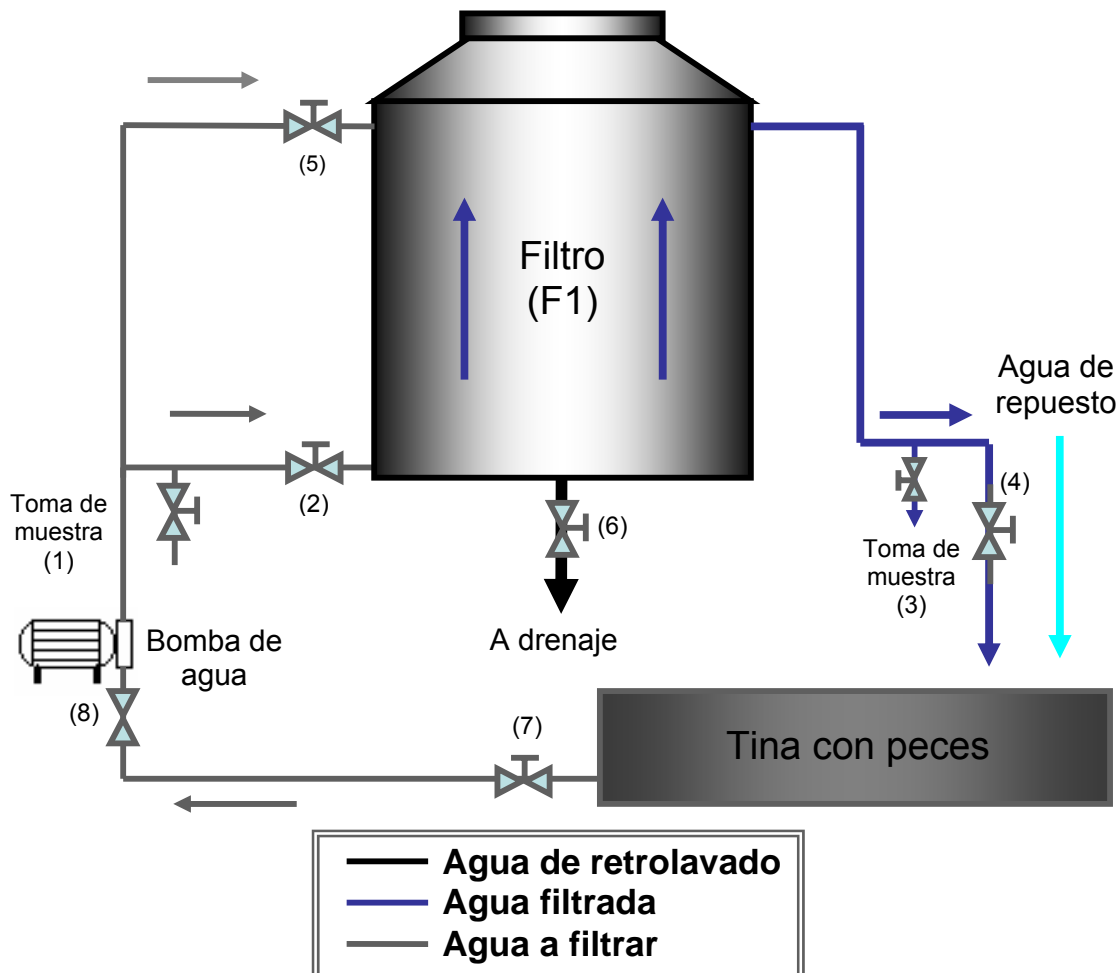


Figura 5.1 Sistema de filtración

En la Foto 5.1 se muestra en procedimiento que se realizó para obtener las diferentes granulometrías del lecho filtrante de tezontle.

En la Figura 5.2 se muestra el arreglo de la granulometría del tezontle que conforma el lecho filtrante, en donde el bajo dren esta constituido por un espesor de 15 cm, con un diámetro de 19 a 25 mm y el lecho filtrante tiene un espesor total de 60 cm, conformado por tres capas con espesor de 20 cm cada una, pero con diferentes diámetros.



Foto 5.1 Selección del material filtrante

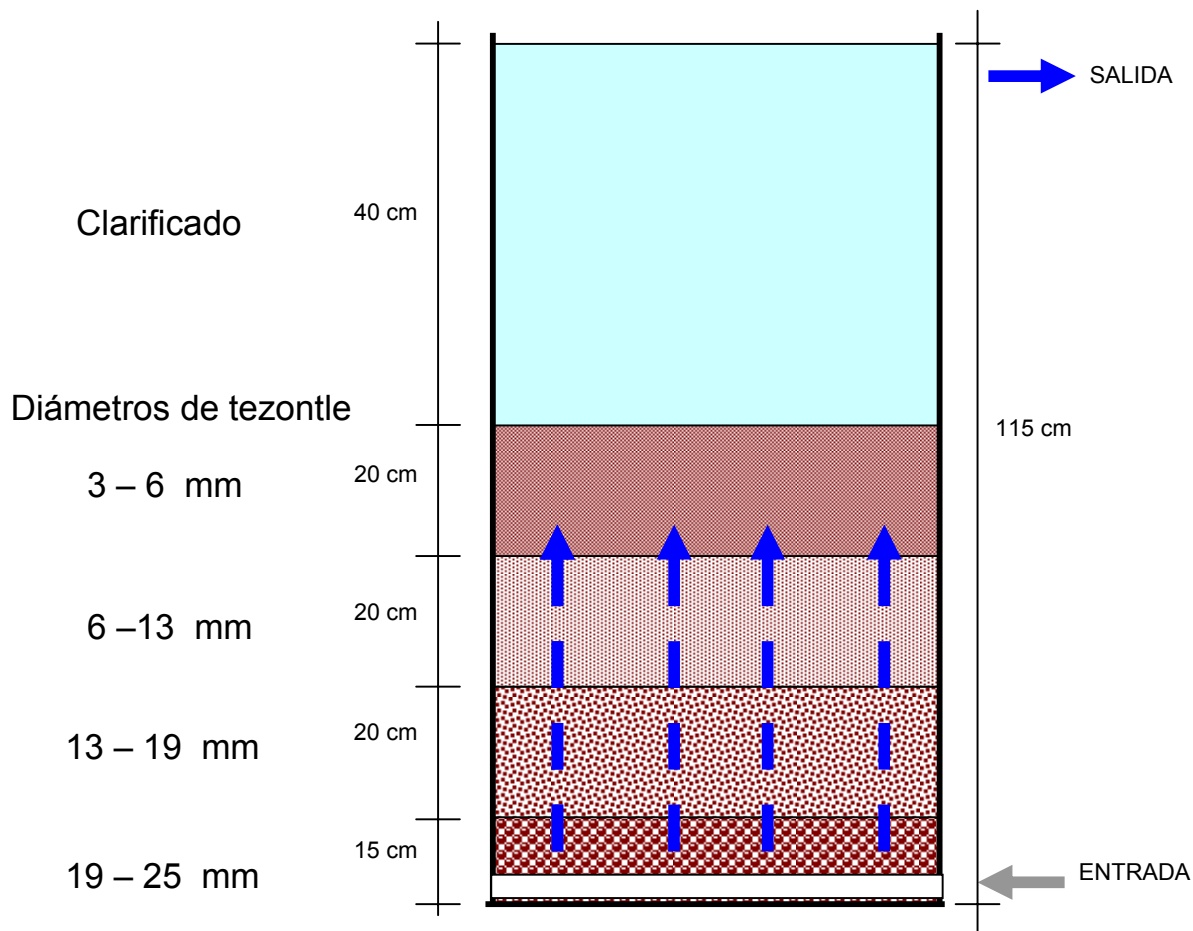


Figura 5.2 Arreglo del lecho de filtración

El ramal de distribución de agua en el interior es de PVC cédula 40 de 50 mm (2") de diámetro y su arreglo se muestra en la Figura 5.3. En la parte inferior tiene dos hileras de pequeños orificios de un diámetro de 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ ") con una separación en forma horizontal de 5 cm y entre líneas de 3 cm. En la Foto 5.2 y en la Foto 5.3 muestra claramente este arreglo.

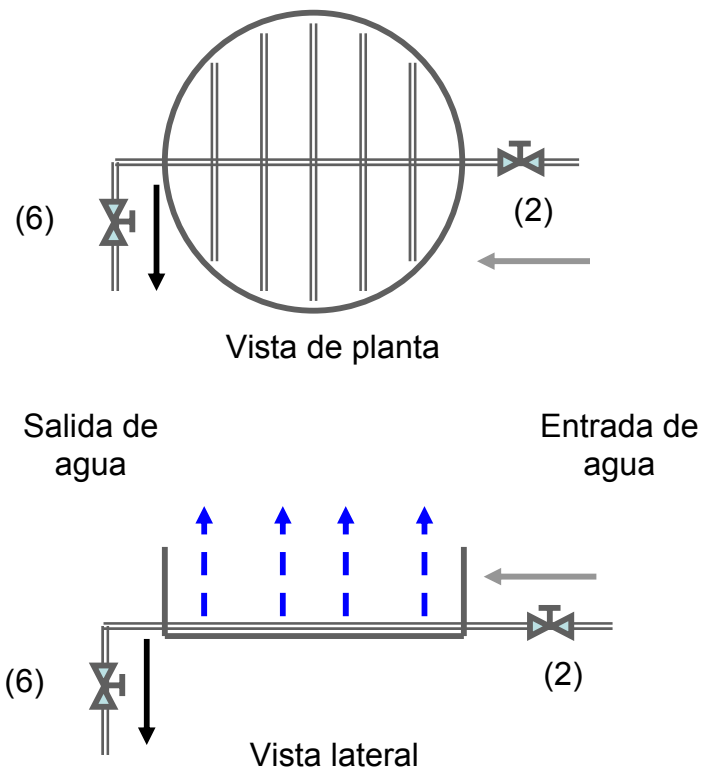


Figura 5.3 Ramal de distribución de agua en filtro



Foto 5.2 Ramal de distribución de agua en el interior del filtro



Foto 5.3 Distribución de orificios en el ramal

Encender la bomba centrífuga (BA-01) de un HP de potencia, el agua será succionada de las tinas con peces y enviada al filtro (F1). El flujo de agua que ingresa a éste será controlado o regulado por la válvula de compuerta (VA-03) mediante el número de vueltas de apertura.

b) Determinación de la tasa de filtración

A continuación se describe como establecer la tasa de filtración de acuerdo al número de vueltas de apertura:

- Determinar el diámetro del filtro y registrar el dato (Tabla 5.1).
- Determinar la distancia o altura que existe desde el nivel de lecho hasta la salida del agua (Tabla 5.1).
- Determinar cuantas vueltas de apertura tiene la válvula (VA-03) y registrar el dato (Tabla 5.1). Generalmente, son aproximadamente 6, para una de un diámetro de 2.54 cm (1").
- Mantener la válvula totalmente abierta (VA-03) y encender la bomba (BA-01) para iniciar su llenado hasta cubrir el lecho filtrante (F1). Apagar la bomba (BA-01) y cerrar la válvula (VA-03).
- Prepara un cronómetro.
- Abrir la válvula (VA-03) una vuelta y encender la bomba (BA-01) y registrar el tiempo que tarda en verter el agua del filtro (Tabla 5.1).
- Apagar la bomba (BA-01) y cerrar la válvula (VA-03).
- Abrir totalmente la válvula (VA-06), y cuando la altura del agua llegue al nivel del lecho filtrante cerrar la válvula (VA-06).
- Repetir la operación incrementado una vuelta de apertura a la vez, hasta tener totalmente abierta la válvula (VA-03).

Tabla 5.1 Registro de datos para determinación de tasa de filtración (TF)

Diámetro de del filtro (m)				
Área de filtración (m ²)				
Distancia del nivel de lecho hasta la salida del agua (m)				
# de vueltas	Tiempo (s)	Tiempo (h)	Velocidad (m/h)	TF (m ³ /m ² h)

Ejemplo de la determinación de la tasa de filtración:

Tomar como datos para el cálculo la información que se presenta en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Datos del ejemplo de determinación de tasa de filtración (TF)

Diámetro de del filtro (m) a				1.10
Área de filtración (m ²) b				
Distancia del nivel de lecho hasta la salida del agua (m) c				0.40
# de vueltas	Tiempo (s)	Tiempo (h)	Velocidad (m/h)	TF (m ³ /m ² h)
d	e	f	g	h
2	240			

Cálculos

Área de filtración

$$b = \frac{3.1416 * a^2}{4} = \frac{3.1416 * 1.1^2}{4} = 0.95$$

Conversión de segundos a horas

$$f = \frac{e}{3600} = \frac{240}{3600} = 0.066$$

Velocidad

$$g = \frac{c}{f} = \frac{0.40}{0.066} = 6.06$$

Tasa de filtración

$$h = \frac{g}{b} = \frac{6.06}{0.95} = 6.4$$

Tabla 5.3 Resultados del ejemplo de determinación de tasa de filtración (TF)

Diámetro de del filtro (m) a				1.10
Área de filtración (m ²) b				0.95
Distancia del nivel de lecho hasta la salida del agua (m) c				0.40
# de vueltas	Tiempo (s)	Tiempo (h)	Velocidad (m/h)	TF (m ³ /m ² h)
d	e	f	g	h
2	240	0.066	6.06	6.4

Algo similar se debe obtener para el registro de cada vuelta de apertura para la válvula (VA-03), con esta información se podrá establecer la tasa de filtración que mas convenga, sin olvidar que el máximo es de $10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$.

c) Distribución de agua en tanques

El arreglo que se muestra en la Figura 5.5 es el que se encuentra en las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Los tanques son de un diámetro de 2.5 m y una altura de 0.80 m, con una capacidad aproximada de 4 m^3 .

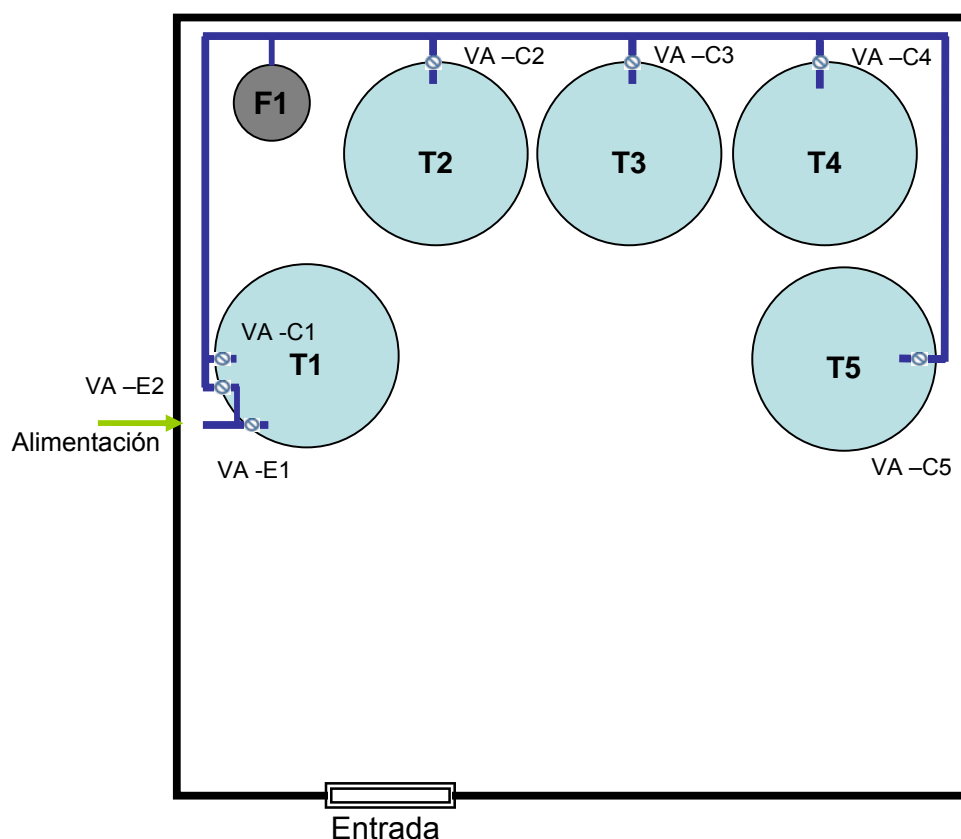


Figura 5.5 Distribución de agua en tanques

Para iniciar la alimentación de agua la válvula VE-E1 debe permanecer cerrada. El agua ingresa por la parte que indica la flecha verde y debe estar abierta la válvula VA-E2. Los tanques son alimentados mediante la apertura de las válvulas VA-C1, VA-C2, VA-C3, VA-C4 y VA-C5.

La alimentación del agua terminará cuando los tanques tengan el nivel deseado de agua, se recomienda dejar por lo menos un bordo libre de 10 cm. Se debe cerrar la válvula VE-E1.

Si se requiere agua de alimentación para otras áreas, tanques o peceras que no estén conectadas al sistema, se debe cerrar la válvula VE-E1 y abrir la válvula VE-E2. Una vez concluida la operación esta deberá ser cerrada.

Cuando el sistema se encuentra en operación normal el agua proviene del filtro (F1), en este caso las válvulas VA-E1 y VA-E2 deben permanecer cerradas y la bomba (BA-01) encendida y las válvulas VA-C1, VA-C2, VA-C3, VA-C4 y VA-C5 abiertas.

Por lo general, el tanque que este más cerca del filtro (F1) tenderá a tener un mayor caudal de agua de entrada, por lo que para controlar el flujo de ingreso a cada tanque se deben regular las aberturas de las válvulas VA-C1, VA-C2, VA-C3, VA-C4 y VA-C5. Mediante esta actividad se realiza una distribución equitativa del agua y se evita un desbalance de niveles en los tanques.

d) Monitoreo del sistema

Para poder registrar la eficiencia del sistema es necesario monitorear la calidad del agua. Por tal motivo, se determinaran los siguientes parámetros:

i) Diariamente a la entrada y salida del filtro.

- Color
- Turbiedad
- Sólidos suspendidos totales (SST)

La toma de muestra se realiza por medio de las válvulas VA-02 y VA-05 (Figura 5.4). Se recomienda realiza un registro mediante el empleo del siguiente formato.

Fecha	Entrada			Salida		
	Color (UPtCo)	Turbiedad (UNT)	SST (mg/L)	Color (UPtCo)	Turbiedad (UNT)	SST (mg/L)

El análisis de estos datos permite determinar cual es la eficiencia del filtro y si esta manteniendo la calidad de agua que se requiere en el sistema. Se recomiendan como valores límites: SST menor a 20 mg/L, turbiedad menor a 20 UNT y color menor a 100 UPtCo. Cuando se rebasen estos valores será necesario realizar un retrolavado del filtro.

ii) Diariamente en los estanques de peces.

- Temperatura
- pH
- Oxígeno disuelto (OD)

Las determinaciones son directas en el tanque y por lo menos a una profundidad de 10 cm bajo el nivel del agua. No es necesario realizarlo en todos los tanques, se debe elegir solo algunos y que sean de interés para el productor. Se recomienda realizar un registro mediante el empleo del siguiente formato.

Fecha	Tanque 1			Tanque 2		
	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)

Estos parámetros son importantes para mantener en buenas condiciones el agua de los tanques, debido a que indican si el agua está apta para la reproducción o crecimiento de los peces, además de contar con el oxígeno requerido.

iii) Semanalmente a la entrada y salida del filtro.

- Nitrógeno amoniacal (NH₃)
- Dureza total (DT)
- Alcalinidad

La toma de muestra se realiza por medio de las válvulas VA-02 y VA-05 (Figura 5.4). Se recomienda realizar un registro mediante el empleo del siguiente formato.

Fecha	Entrada			Salida		
	NH ₃ (mg/L)	DT (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	DT (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)

Estos parámetros son importantes, al igual que los anteriores, para mantener en buenas condiciones el agua en los tanques, debido a que indican si el agua está apta para la reproducción o crecimiento de los peces, y que los niveles del nitrógeno amoniacal no sobrepasen las concentraciones que puedan hacer el agua tóxica.

Para poder realizar las determinaciones que se describieron anteriormente, en el mercado actualmente se encuentran disponibles diversos equipos portátiles de campo

que permiten realizar estas determinaciones sin ningún problema. Algunas marcas comerciales son HACH y HANNA.

e) Recirculación de agua en tanques

Una vez que el agua a sido filtrada y es enviada a los tanques, ésta permanece un tiempo en ellos, tras el cual por la presencia de los peces el agua es nuevamente ensuciada, por lo que es necesario enviarla nuevamente al filtro. Por lo cual, el sistema cuenta con otro sistema hidráulico para recircular el agua (Figura 5.6). Así, los tanques cuentan con un ramal de succión (Foto 5.4) el cual es de PVC cédula 40 de 38 mm (1 ½”) de diámetro. En la parte inferior tiene dos hileras de pequeños orificios de un diámetro de 6.35 mm (¼”) con una separación en forma horizontal de 5 cm y entre líneas de 3 cm. El detalle se puede apreciar en la Foto 5.3.

Por lo general, el tanque que este más cerca de la bomba (BA-01) tenderá a tener un mayor caudal de agua de salida, por lo que para controlar esto se deben regular las aberturas de las válvulas VA-T1, VA-T2, VA-T3, VA-T4 y VA-T5. Esto permite mantener una distribución equitativa y evita un desbalance de niveles del agua en los tanques.

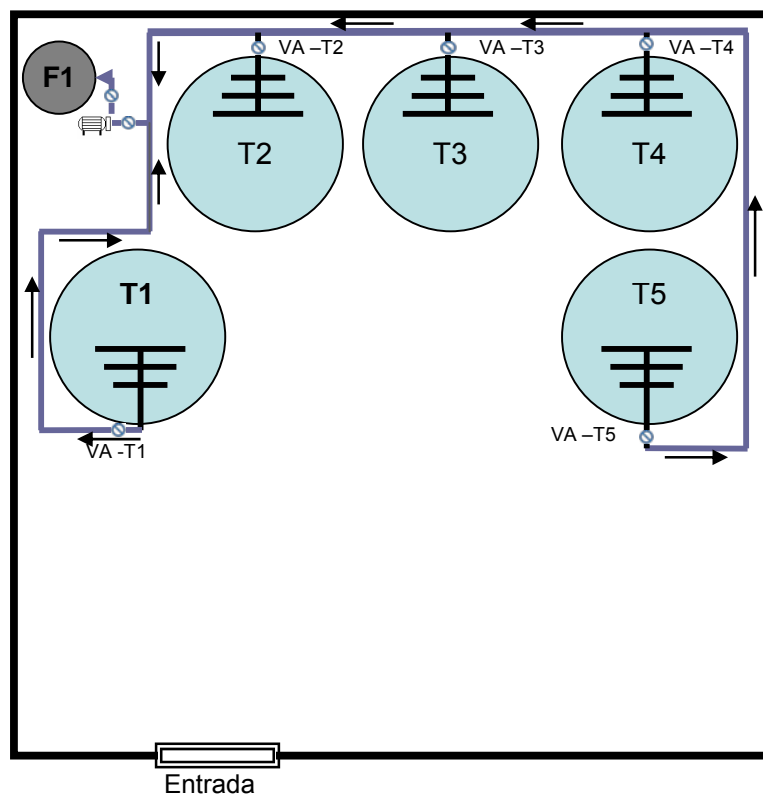


Figura 5.6 Recirculación de agua en tanques



Foto 5.4 Ramal de succión de tanques

f) Tanque fuera de operación

Si se requiere dejar fuera de operación un tanque y vacío, primero es necesario cerrar la válvula de entrada del agua, por ejemplo la VA-C1 y en seguida cerrar la válvula correspondiente de salida, en este caso sería la VA-T1. Una vez aislado el tanque, se procede a retirar lo peces. Ya sin ellos, para desalojar el agua se pueden emplear dos procedimientos, el primero y más sencillo es emplear una bomba sumergible y descargar el agua como se indica en la Figura 5.7 y Foto 5.5. La segunda realizar un sifón de agua con una manguera y descargar el agua como se indicó anteriormente.



Foto 5.5 Descarga de agua a desagüe

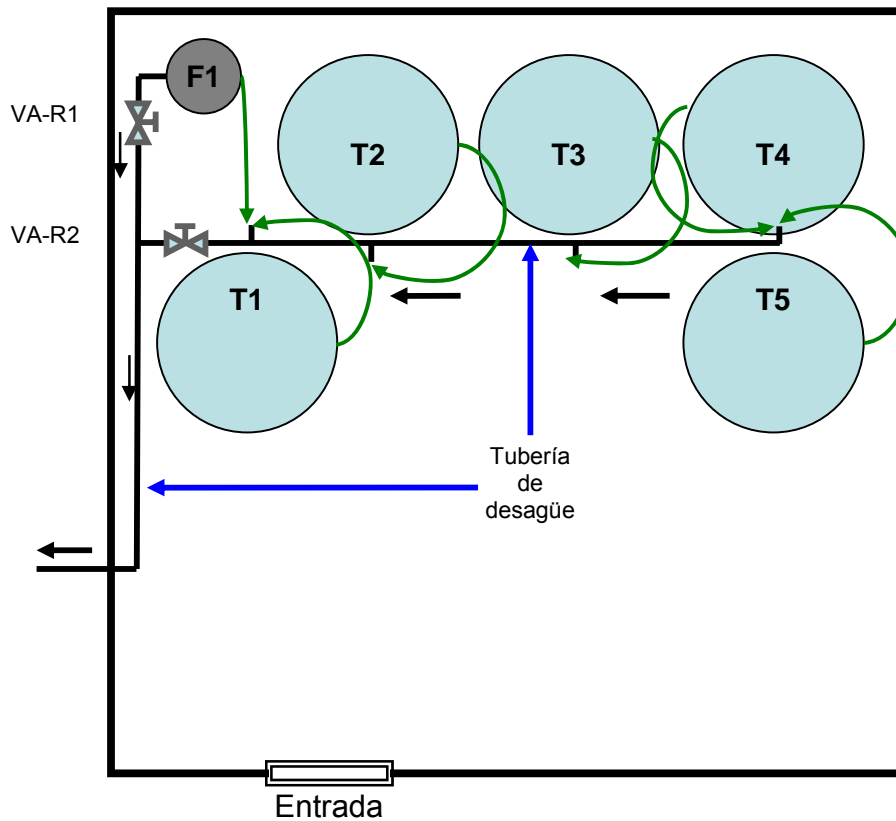


Figura 5.7 Drenaje de agua en tanques

g) Sistema de aire

Si por algún motivo el sistema de recirculación de agua debe dejar de operar por más de 2 horas, es conveniente que entre en operación el sistema de aeración que se muestra en la Figura 5.8. Para que este entre en operación primero es necesario abrir las válvulas VA-A1, VA-A2, VA-A3, VA-A4 y VA-A5 y después encender el soplador (SO-01).

Es necesario que la cantidad de aire que ingresa a cada tanque se regule y que sea uniforme en todas las tinas, esto se logra con el cierre o apertura de las válvulas VA-A1, VA-A2, VA-A3, VA-A4 y VA-A5.

Cuando ya no sea necesario introducir aire a las tinas, primero se deberá apagar el soplador (SO-01) y después cerrar las válvulas VA-A1, VA-A2, VA-A3, VA-A4 y VA-A5.

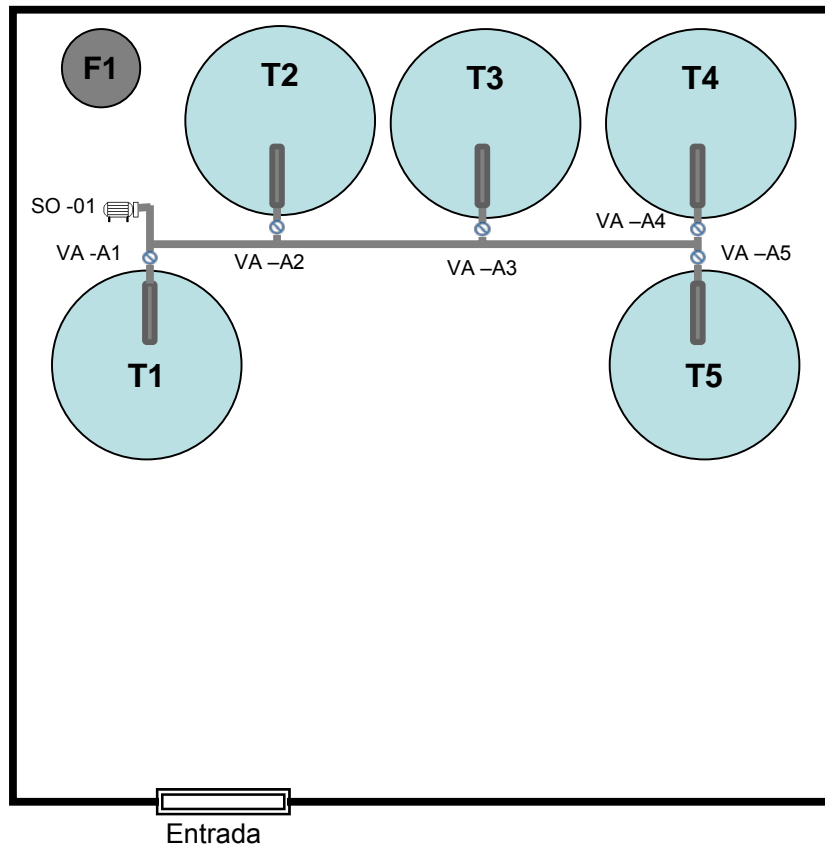


Figura 5.8 Distribución de aire en tanques

5.1.3 Mantenimiento

a) Filtro

Cuando la calidad del agua filtrada ya no es la adecuada y /o la tasa de filtración disminuyó es necesario limpiar el lecho filtrante, debido a que los pequeños sólidos que han sido retenidos se acumulan en los intersticios de éste reduciendo los canales por donde circula el agua, que en algún momento son tan estrechos que la presión del agua los rompe y provoca un arrastre de sólidos hacia la superficie. En algunos casos existe acumulación de sólidos en la superficie del lecho (Foto 5.6).

El procedimiento para realizar la limpieza del lecho se describe a continuación:

- Apagar la bomba BA-01.
- Realizar el procedimiento que se describe en el inciso (f).



Foto 5.6 Acumulación de sólidos sobre el lecho de filtración

- Retirar con la ayuda de un sifón los sólidos que se acumularon en la superficie del lecho (Foto 5.7) y desechar el agua en la tubería de desagüe como se muestra en la Figura 5.7 (línea verde). Tener cuidado de no arrastrar material.



Foto 5.7 Retiro de sólidos por sifón

- Retirar la primera capa del material (Foto 5.8).
- Lavar el material filtrante con agua en abundancia (Foto 5.9).
- Retrolavar el material restante:
 - o Cerrar la válvula VA-03.
 - o Abrir totalmente la válvula VA-04.



Foto 5.8 Retiro de la primera capa de material filtrante



Foto 5.9 Lavado de material filtrante

- Encender la bomba BA-01.
- Permitir que el agua alcance el nivel de entrada de la misma.
- Abrir la válvula VA-06.
- Cerrar la válvula VA-06 cuando el nivel del agua este casi al nivel de lecho filtrante.
- Volver a permitir que el agua alcance el nivel de entrada de la misma.
- Repetir los pasos anteriores, al menos dos veces más.

- Colocar el material filtrante que se lavó nuevamente en el filtro.
- Reponer el agua que se empleó para el retrolavado siguiendo lo descrito en el inciso (b) del punto 5.1.2.
- Iniciar operación normal de acuerdo a lo descrito en el inciso (b) del punto 5.1.2.

b) Tanques

Generalmente la materia fecal de los peces se deposita en el fondo de los tanque y al ser demasiado grandes para ser arrastradas por el cabezal de succión, éstas se acumulan, por lo que es necesario sean retiradas mediante el empleo de un sifón y el agua de desecho eliminada de acuerdo a lo descrito en el inciso (e) del punto 5.1.2.

La periodicidad de esta actividad dependerá de la cantidad y tamaño de los peces que se tengan en las tinas. Pero se recomienda que se realice por lo menos una vez cada tercer día.

Otra actividad a realizar es la limpieza de las paredes, más aun si estas son de color blanco, ya que existirá el desarrollo de una lama verde (algas). Por lo que es necesario contar con un cepillo para tallar continuamente las paredes.

La periodicidad de esta actividad dependerá de la cantidad y tamaño de los peces que se tengan en las tinas, así como de la incidencia solar sobre éstas. Se recomienda que se realice por lo menos una vez cada tercer día.

c) Ramal de succión

Los ramales están configurados por medio de la unión de tubos sobre los cuales se desarrolla el crecimiento de una lama verde (algas), más aun si estos son de color blanco. Por lo que es necesario contar con un cepillo para tallar continuamente los ramales.

La periodicidad de esta actividad dependerá de la cantidad y tamaño de los peces que se tengan en las tinas, así como de la incidencia solar sobre éstos. Se recomienda que se realice por lo menos una vez cada tercer día.

d) Difusores

Si los difusores no se operan continuamente sobre la membrana se adhiera una lama verde (algas). Por lo que es necesario contar con un cepillo para tallar continuamente las paredes.

La periodicidad de esta actividad dependerá de la cantidad y tamaño de los peces que se tengan en las tinas, así como de la incidencia solar sobre éstos. Se recomienda que se realice por lo menos una vez cada tercer día.

e) Equipo electromecánico

Debido a que la bomba (BA-01) es de operación continua se recomienda siempre contar con una de reserva. Esto con la finalidad de poder darle un mantenimiento preventivo, que se recomienda se realice por lo menos cada seis meses, y en el cual se debe revisar lo siguiente:

- Impulsor
- Rodamientos (Baleros)
- Capacitor
- Empaques
- Lubricación

De igual manera se debe realizar para el soplador (SO-01).

f) Instalación hidráulica

Toda la instalación hidráulica es de PVC y fue conectada con pegamento, por lo que es susceptible a que sufra algún golpe, se fracture o se rompa o se despeguen las uniones realizadas con el paso del tiempo. Por lo que es necesario realizar rutinariamente un recorrido para detectar fugas y repararlas. Ya que si éstas no son detectadas a tiempo pueden ocasionar una pérdida importante de agua en el sistema. Se recomienda que esta inspección se realice por lo menos una vez por semana.

5.2 Especies de peces en tanques de monitoreo

5.2.1 Tasa de filtración de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$

En el estanque uno: Alrededor 30 langostinos, 10 limones, 10 pavoreales, 10 kenyi, 20 copos de nieve y 20 naranjas (**Foto 5.10** y Foto 5.11).

En el estanque tres: 100 japoneses, 50 guramís y 20 carpas blancas.

En el estanque cinco: Alrededor de 500 espadas (Foto 5.12).

5.2.2 Tasa de filtración de $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$

En el estanque uno: Alrededor 30 langostinos, 6 limones, 20 pavoreales, 5 kenyi, 10 copos de nieve y 20 naranjas (Foto 5.10 y Foto 5.11).

En el estanque tres: 100 japoneses, 50 guramís, 100 caramelos y 10 carpas blancas.

En el estanque cinco: Alrededor de 1000 espadas, 100 myquis y 100 gupis (Foto 1.1).

5.2.3 Tasa de filtración de $10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$

En el estanque uno: Alrededor 100 ángeles (Foto 5.13).

En el estanque tres: 2000 guramís (Foto 5.14).

En el estanque cinco: Alrededor de 1200 espadas, 200 myquis y 300 gupis (Foto 5.15).



Foto 5.10 Estanque 1 con langostinos y ciclidos



Foto 5.11 Estanque 1 con langostinos



Foto 5.12 Estanque 5 con espadas



Foto 5.13 Estanque 1 con ángeles



Foto 5.14 Estanque 3 con guramís



Foto 5.15 Estanque 5 con espadas,
gupis y myquis

5.3 Determinación de parámetros de control del sistema de filtración

En la Foto 5.16 y en la Foto 5.17 se muestran los sitios de los cuales se tomó el agua para realizar los análisis requeridos.



Foto 5.16 Toma de muestra entrada del
filtro



Foto 5.17 Toma de muestra salida del
filtro

5.3.1 Parámetros físicos de entrada y salida del filtro

De la Foto 5.18 a la Foto 5.21 se muestra el equipo que se empleó para realizar las determinaciones de turbiedad, color y sólidos suspendidos totales.



Foto 5.18 Preparación de muestra



Foto 5.19 Determinación de la turbiedad



Foto 5.20 Determinación del color



Foto 5.21 Determinación de los SST

Tabla 5.4 Parámetros físicos de agua de filtro a tasa de 3 m³/m² h

FECHA	INFLUENTE			EFLUENTE		
	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)
14/01/2011	57.00	6.00	2.22	28.00	1.00	2.01
17/01/2011	122.00	7.00	7.46	17.00	0.00	1.07
18/01/2011	41.00	6.00	2.79	20.00	2.00	1.84
19/01/2011	69.00	8.00	7.87	17.00	0.00	1.04
20/01/2011	16.00	0.00	1.07	4.00	0.00	0.74
21/01/2011	14.00	8.00	2.02	48.00	4.00	1.34
24/01/2011	26.00	6.00	4.45	40.00	3.00	1.63
25/01/2011	61.00	5.00	3.43	20.00	1.00	1.49
26/01/2011	37.00	4.00	2.86	18.00	2.00	2.18
27/01/2011	88.60	11.00	8.50	60.00	1.00	1.25
28/01/2011	55.33	2.00	1.50	26.00	0.00	0.51
02/02/2011	32.00	2.60	2.00	15.00	0.00	0.96
03/02/2011	31.30	2.00	2.00	10.60	0.00	0.95
04/02/2011	56.30	1.60	2.10	25.60	0.00	1.11
08/02/2011	101.60	5.30	6.65	34.33	0.00	1.04
09/02/2011	77.66	7.60	4.54	22.33	2.30	0.92
14/02/2011	91.33	6.30		24.33	0.00	
15/02/2011	128.66	12.00	8.82	39.60	0.00	0.42
16/02/2011	20.00	4.00	2.50	4.00	0.00	0.74
17/02/2011	67.00	3.30	3.61	21.00	0.00	0.95
18/02/2011	66.30	5.00	4.23	31.00	0.60	0.50
21/02/2011	65.30	4.00		30.00	0.00	
22/02/2011	40.00	5.00	2.92	20.00	0.00	0.37
23/02/2011	71.00	3.00	5.38	57.00	1.00	3.71
25/02/2011	38.00	2.00	1.21	31.00	1.00	0.69
28/02/2011	66.00	8.00	4.76	40.00	1.00	4.32
07/03/2011	61.00	1.00	0.94	31.60	0.00	0.66

FECHA	INFLUENTE			EFLUENTE		
	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)
08/03/2011	48.60	0.00	0.71	39.30	0.00	2.12
09/03/2011	68.60	0.00	1.75	52.60	0.00	3.31
10/03/2011	64.60	0.00	2.11	57.60	0.00	1.27
11/03/2011	64.70	0.00	2.05	53.60	0.00	1.05
14/03/2011	33.60	0.00	0.65	57.60	2.00	0.85
15/03/2011	79.30	3.00	2.91	35.60	1.67	0.95
16/03/2011	88.60	0.00	2.94	42.10	0.00	0.89
17/03/2011	79.23	1.00	1.89	43.00	0.00	0.81
18/03/2011	89.80	0.00	2.24	49.00	0.00	0.89
22/03/2011	81.00	1.00	2.40	44.00	0.00	0.78
23/03/2011	46.30	0.00	2.92	62.33	0.00	0.61
24/03/2011	167.00	0.00	2.19	22.00	0.00	0.92
25/03/2011	47.66	2.33	3.17	25.00	0.00	0.69
28/03/2011	120.20	0.00	2.70	29.00	0.00	0.92
29/03/2011	57.00	2.66	1.51	62.30	2.66	1.73
31/03/2011	30.00	0.00	1.09	32.66	0.00	1.07

Tabla 5.5 Parámetros físicos de agua de filtro a tasa de 5 m³/m² h

FECHA	INFLUENTE			EFLUENTE		
	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)
04/04/2011	106.30	0.00	4.44	55.60	0.00	1.62
05/04/2011	52.60	0.00	1.68	30.30	0.00	0.80
06/04/2011	65.00	0.00	1.05	42.00	0.00	0.88
07/04/2011	60.00	0.00	1.02	54.00	0.00	0.91
08/04/2011	43.00	0.00	0.92	41.00	0.00	0.89
11/04/2011	42.00	4.00	0.91	52.00	1.00	0.98
12/04/2011	50.00	2.00	0.95	57.00	1.00	0.86

FECHA	INFLUENTE			EFLUENTE		
	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)
13/04/2011	53.00	1.00	0.99	69.00	1.00	0.95
18/04/2011	77.00	2.00	1.69	58.00	2.00	1.19
19/04/2011	66.00	0.00	0.69	52.00	0.00	0.59
20/04/2011	70.00	0.00	0.84	50.00	1.00	0.53
21/04/2011	70.00	0.00	0.90	57.00	1.00	0.53
22/04/2011	73.00	1.00	0.74	49.00	1.00	0.38
23/04/2011	70.00	1.00	0.72	58.00	2.00	0.47
25/04/2011	93.00	2.00	1.45	54.00	2.00	0.47
26/04/2011	107.00	4.00	3.70	48.00	1.00	0.90
27/04/2011	73.00	3.00	1.20	67.00	1.00	0.80
28/04/2011	77.00	5.00	2.80	64.00	1.00	0.60
29/04/2011	71.00	4.00	2.50	57.00	1.00	0.50
02/05/2011	152.00	13.00	12.00	61.00	2.00	0.60
03/05/2011	177.00	18.00	13.20	69.00	2.00	0.50
04/05/2011	69.00	3.00	1.10	64.00	1.00	0.60
06/05/2011	135.00	13.00	14.00	69.00	2.00	0.90
09/05/2011	124.00	9.00	7.50	66.00	1.00	0.60
10/05/2011	74.00	4.00	1.90	69.00	1.00	0.60
11/05/2011	102.00	6.00	4.70	67.00	1.00	0.60
12/05/2011	250.00	31.00	23.40	71.00	2.00	0.70
13/05/2011	80.00	4.00	1.70	69.00	1.00	0.80
16/05/2011	111.00	8.00	4.30	74.00	2.00	1.10
17/05/2011	132.00	9.00	7.40	70.00	1.00	0.60
18/05/2011	112.00	7.00	4.70	72.00	1.00	0.50
19/05/2011	82.00	5.00	2.10	75.00	2.00	0.60
20/05/2011	100.00	5.00	4.50	75.00	1.00	0.70
23/05/2011	195.00	12.00	11.00	84.00	2.00	1.00
24/05/2011	98.00	5.00	2.90	92.00	3.00	2.10
25/05/2011	103.00	8.00	3.70	83.00	2.00	1.10

FECHA	INFLUENTE			EFLUENTE		
	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)
26/05/2011	103.00	4.00	2.40	80.00	1.00	0.90
27/05/2011	89.00	4.00	2.00	86.00	2.00	1.50
30/05/2011	146.00	13.00	9.30	91.00	3.00	1.50
31/05/2011	29.00	2.00	19.70	87.00	7.00	1.00
01/06/2011	214.00	21.00	14.80	86.00	2.00	1.20
02/06/2011	240.00	24.00	21.50	88.00	1.00	1.30
03/06/2011	373.00	39.00	35.00	82.00	2.00	0.80
06/06/2011	289.00	29.00	75.30	94.00	3.00	1.73
07/06/2011	107.00	7.00	4.36	77.00	2.00	1.36
08/06/2011	105.00	6.00	4.05	84.00	2.00	1.70
09/06/2011	93.00	5.00	3.17	81.00	3.00	2.02
10/06/2011	77.00	3.00	1.42	81.00	2.00	1.40
13/06/2011	133.00	9.00	5.51	114.00	5.00	2.61
14/06/2011	112.00	6.00	4.28	85.00	2.00	1.27
15/06/2011	85.00	3.00	1.26	88.00	2.00	0.86
17/06/2011	80.00	4.00	2.29	108.00	2.00	1.49
20/06/2011	96.00	5.00	2.00	87.00	2.00	1.23
21/06/2011	93.00	4.00	2.37	90.00	3.00	2.21
22/06/2011	88.00	5.00	2.47	86.00	4.00	2.04
23/06/2011	102.00	4.00	2.15	86.00	3.00	2.28
24/06/2011	82.00	4.00	2.21	85.00	3.00	1.93
27/06/2011	91.00	2.00	3.00	84.00	1.00	2.00
28/06/2011	107.00	5.00	4.70	98.00	4.00	2.98
29/06/2011	112.00	6.00	5.21	100.00	3.00	4.36
30/06/2011	160.00	19.00	9.00	98.00	3.00	3.00
04/07/2011	51.00	1.00	1.54	48.00	0.00	1.30

Tabla 5.6 Parámetros físicos de agua de filtro a tasa de 10 m³/m² h

FECHA	INFLUENTE			EFLUENTE		
	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)
04/07/2011	51.00	1.00	1.54	48.00	0.00	1.30
06/07/2011	67.00	3.00	2.75	65.00	0.00	3.16
08/07/2011	75.00	3.00	3.47	71.00	1.00	2.51
11/07/2011	98.00	4.00	3.58	91.00	2.00	2.23
12/07/2011	86.00	3.00	4.78	93.00	10.00	5.83
13/07/2011	90.00	4.00	3.47	102.00	1.00	2.25
14/07/2011	81.00	3.00	3.24	82.00	2.00	3.21
15/07/2011	88.00	4.00	1.78	87.00	3.00	2.13
18/07/2011	119.00	2.00	1.98	107.00	4.00	2.28
20/07/2011	102.00	2.00	1.87	91.00	1.00	1.42
21/07/2011	113.00	3.00	2.32	91.00	2.00	1.25
22/07/2011	115.00	2.00	1.54	88.00	2.00	1.34
25/07/2011	109.00	1.00	1.46	91.00	1.00	1.17
26/07/2011	73.00	0.00	1.57	91.00	7.00	1.43
27/07/2011	112.00	4.00	4.39	130.00	4.00	1.70
28/07/2011	90.00	1.00	1.54	89.00	2.00	1.03
29/07/2011	99.00	1.00	2.04	98.00	2.00	0.95
01/08/2011	65.00	0.00	1.31	69.00	6.00	0.75
02/08/2011	118.00	3.00	3.00	74.00	3.00	1.00
03/08/2011	87.00	2.00	1.00	77.00	3.00	1.00
04/08/2011	103.00	1.00	1.00	100.00	2.00	1.00
05/08/2011	74.00	1.00	1.00	66.00	5.00	1.00
08/08/2011	70.00	6.00	2.00	82.00	2.00	1.00
09/08/2011	97.00	1.00	2.00	78.00	0.00	1.00
10/08/2011	108.00	6.00	5.00	103.00	6.00	1.00
11/08/2011	93.00	3.00	3.00	109.00	3.00	3.00
12/08/2011	89.00	3.00	3.00	92.00	2.00	2.00
15/08/2011	126.00	5.00	3.00	91.00	2.00	1.00

FECHA	INFLUENTE			EFLUENTE		
	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)
16/08/2011	119.00	1.00	3.00	81.00	5.00	1.00
17/08/2011	91.00	3.00	1.00	99.00	4.00	1.00
18/08/2011	89.00	6.00	1.00	85.00	2.00	1.00
19/08/2011	98.00	4.00	2.00	87.00	4.00	2.00
22/08/2011	105.00	0.00	2.00	81.00	0.00	1.00
23/08/2011	126.00	1.00	1.00	84.00	0.00	3.00
24/08/2011	87.00	3.00	1.00	72.00	2.00	4.00
25/08/2011	122.00	4.00	4.00	98.00	1.00	1.00
26/08/2011	92.00	0.00	1.00	65.00	0.00	1.00
29/08/2011	102.00	1.00	2.00	84.00	3.00	2.00
30/08/2011	116.00	1.00	2.00	84.00	1.00	1.00
31/08/2011	102.00	4.00	3.00	84.00	1.00	2.00
01/09/2011	85.00	7.00	1.00	61.00	5.00	1.00
02/09/2011	93.00	0.00	2.00	97.00	1.00	2.00
05/09/2011	87.00	3.00	2.00	86.00	3.00	1.00
06/09/2011	16.00	4.00	4.00	77.00	2.00	1.00
07/09/2011	114.00	3.00	2.00	97.00	3.00	1.00
08/09/2011	124.00	2.00	3.00	85.00	0.00	1.00
09/09/2011	113.00	2.00	2.00	91.00	1.00	1.00
12/09/2011	97.00	2.00	2.00	89.00	1.00	1.00
13/09/2011	134.00	7.00	8.00	77.00	1.00	1.00
14/09/2011	106.00	5.00	2.29	97.00	3.00	1.33
15/09/2011	106.00	4.00	2.04	92.00	2.00	1.54
20/09/2011	138.00	8.00	6.23	125.00	4.00	2.06
21/09/2011	1.55	5.00	1.73	94.00	4.00	1.00
22/09/2011	104.00	7.00	3.46	90.00	5.00	1.26
23/09/2011	150.00	9.00	4.70	96.00	5.00	1.23
26/09/2011	175.00	12.00	9.50	7.00	4.00	2.40
27/09/2011	112.00	5.00	3.00	88.00	3.00	1.50

FECHA	INFLUENTE			EFLUENTE		
	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)	Color (Pt-Co)	Sólidos (mg/L)	Turbiedad (UTN)
28/09/2011	96.00	4.00	1.30	57.00	3.00	1.20
29/09/2011	118.00	4.00	1.30	79.00	4.00	1.00

5.3.2 Parámetros físicos en los estanques de peces

En la Foto 5.22 se muestra el procedimiento de la determinación y registro de los parámetros de temperatura, pH y oxígeno disuelto que se realizó para los estanques.



Foto 5.22 Determinación y registro de parámetros en estanques

Tabla 5.7 Parámetros físicos de agua de estanques a tasa de 3 m³/m² h

FECHA	T1			T3			T5		
	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)
10/01/2011	18.40	7.45	6.80	18.10	7.24	6.99	18.20	7.24	6.86
11/01/2011	18.10	7.78	7.31	18.50	7.84	7.22	18.40	7.55	6.98

FECHA	T1			T3			T5		
	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)
12/01/2011	18.50	7.48	6.51	18.60	7.38	6.43	18.60	7.40	6.45
13/01/2011	18.50	7.29	6.15	18.40	7.26	7.21	18.40	7.31	6.12
14/01/2011	18.03	7.39	5.53	18.03	7.56	5.74	18.03	7.56	5.04
17/01/2011	17.70	7.54	5.58	17.60	7.42	6.03	17.80	7.59	5.24
18/01/2011	17.90	7.83	5.53	17.90	7.47	5.97	17.40	7.45	5.13
19/01/2011	17.90	7.81	5.73	17.80	7.47	5.46	17.90	7.75	4.81
20/01/2011	17.90	7.55	5.82	17.80	7.56	5.73	17.90	7.64	5.25
21/01/2011	18.40	7.41	5.81	18.30	7.41	5.60	18.40	7.42	5.29
24/01/2011	18.50	6.40	7.34	18.50	6.38	7.38	18.70	5.69	7.39
25/01/2011	19.40	7.28	6.59	18.00	7.29	5.10	18.20	7.41	5.84
26/01/2011	18.40	7.29	7.12	18.10	7.36	5.97	18.30	7.41	5.81
27/01/2011	18.30	7.51	6.06	18.30	7.52	6.14	18.10	7.57	5.55
28/01/2011	19.20	7.19	6.36	18.80	7.39	5.89	18.40	7.37	5.61
01/02/2011	19.60	7.57	6.66	19.40	7.54	6.51	19.30	7.44	6.21
02/02/2011	19.50	7.49	7.83	19.30	7.59	6.85	19.20	7.48	5.42
03/02/2011	19.30	7.38	6.68	19.20	7.38	7.98	18.90	7.31	5.58
04/02/2011	20.60	7.26	6.55	20.30	7.37	6.12	20.20	7.27	5.06
08/02/2011	20.80	7.21	7.19	20.20	7.37	7.21	20.10	7.40	6.74
09/02/2011	20.90	7.30	7.03	20.70	7.44	7.98	20.60	7.39	7.24
16/02/2011	20.20	7.21	6.79	20.10	7.60	6.81	20.20	7.40	6.74
17/02/2011	20.60	7.92	7.05	20.20	7.53	7.01	20.20	7.55	6.65
18/02/2011	20.20	7.27	7.56	20.10	7.42	7.42	20.20	7.48	7.24
21/02/2011	20.50	7.40	6.37	20.30	7.49	6.52	20.10	7.45	6.48
22/02/2011	20.30	7.44	5.39	20.10	7.48	5.23	20.10	7.46	5.14
23/02/2011	20.90	7.65	6.85	20.70	7.73	7.01	20.60	7.79	7.21
24/02/2011	21.00	7.14	6.28	20.90	7.22	6.78	20.80	7.28	7.01
25/02/2011	21.20	7.21	5.32	21.10	7.80	5.28	21.10	7.22	5.06
28/02/2011	22.10	7.05	6.30	22.10	7.26	6.85	22.00	7.33	6.80
07/03/2011	22.30	7.10	6.22	22.00	6.40	5.35	22.30	6.40	5.12

FECHA	T1			T3			T5		
	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)
08/03/2011	22.00	6.10	5.75	22.10	6.20	5.12	22.30	6.20	5.10
09/03/2011	20.80	7.50	5.62	20.70	7.40	5.44	20.90	7.20	5.01
10/03/2011	22.20	7.70	6.60	21.90	7.50	6.73	22.00	7.30	5.30
11/03/2011	22.50	7.70	5.63	22.50	7.40	5.59	22.10	7.20	5.19
14/03/2011	23.00	7.80	5.80	22.00	7.40	6.01	22.10	7.40	5.60
15/03/2011	22.60	7.60	5.69	22.20	7.50	5.72	22.70	7.50	5.91
16/03/2011	22.10	7.80	5.79	22.00	7.70	5.45	22.60	7.40	5.88
17/03/2011	23.10	7.80	6.01	22.90	7.90	6.12	23.10	7.50	5.99
18/03/2011	22.90	7.50	5.65	22.50	7.60	5.47	22.70	7.70	5.45
22/03/2011	22.30	7.60	6.75	22.10	7.60	6.22	22.70	7.70	5.98
23/03/2011	22.60	7.80	6.30	22.70	7.70	5.99	22.60	7.70	5.12
24/03/2011	22.30	7.70	5.01	22.30	7.70	5.47	22.30	7.70	4.55
25/03/2011	23.60	7.90	4.80	23.40	7.80	5.37	23.40	7.80	4.60
28/03/2011	23.80	7.70	5.64	23.90	7.80	5.87	23.90	7.70	5.12
29/03/2011	23.80	7.60	6.15	23.90	7.70	6.64	23.90	7.70	6.84
31/03/2011	23.30	8.40	4.91	23.20	8.30	4.94	23.20	8.10	4.44

Tabla 5.8 Parámetros físicos de agua de estanques a tasa de 5 m³/m² h

FECHA	T1			T3			T5		
	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)
04/04/2011	22.30	8.50	4.11	22.20	8.50	4.08	22.20	8.30	2.19
05/04/2011	22.70	8.50	4.20	22.60	8.60	4.91	22.60	8.50	4.61
06/04/2011	24.40	8.60	56.60	24.30	8.60	4.47	24.30	8.60	3.83
07/04/2011	24.20	8.60	5.91	24.10	8.60	5.62	24.10	8.60	5.19
08/04/2011	24.10	7.50	5.90	24.20	7.40	6.19	24.10	7.50	6.02
11/04/2011	24.50	7.40	5.12	24.30	7.40	5.02	24.30	7.40	6.52
12/04/2011	24.40	7.40	5.61	24.50	7.40	5.23	24.50	7.40	5.72
13/04/2011	24.40	7.40	5.69	24.40	7.40	5.01	24.40	7.40	5.23

FECHA	T1			T3			T5		
	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)
18/04/2011	23.50	6.88	8.50	23.40	6.56	8.50	23.50	5.54	8.30
19/04/2011	24.00	6.40	8.60	24.00	6.02	8.60	24.00	5.62	8.60
20/04/2011	23.70	4.97	8.70	23.70	3.30	8.40	23.80	2.95	8.30
21/04/2011	23.60	4.37	8.20	23.60	4.82	8.20	23.70	4.37	8.20
22/04/2011	24.32	4.44	8.40	24.30	3.35	8.40	24.30	4.11	8.40
23/04/2011	23.50	4.25	8.50	23.40	3.05	8.30	23.30	2.78	8.20
25/04/2011	24.40	3.48	8.30	24.30	2.69	8.30	24.20	2.71	8.30
26/04/2011	24.70	3.60	7.00	24.50	2.66	7.10	24.50	2.30	7.30
27/04/2011	24.10	5.35	6.80	24.00	3.25	6.80	23.90	1.70	6.70
28/04/2011	25.50	4.13	7.40	25.90	3.28	7.20	25.80	2.95	7.10
29/04/2011	24.60	4.68	7.40	24.50	3.15	7.20	24.40	2.08	7.10
02/05/2011	24.90	4.63	7.10	24.90	3.80	7.30	24.80	2.14	7.60
03/05/2011	24.80	3.78	7.20	24.70	2.91	7.10	24.60	1.76	7.00
04/05/2011	23.90	4.87	7.40	23.80	3.70	7.10	23.70	2.40	7.10
06/05/2011	24.00	4.67	7.50	24.10	3.20	7.40	23.90	2.19	7.20
09/05/2011	26.00	4.72	7.40	25.90	3.79	7.30	25.70	2.37	7.20
10/05/2011	25.80	4.84	7.40	25.70	3.51	7.20	25.50	1.75	7.10
11/05/2011	26.00	4.03	7.40	25.80	2.91	7.20	25.80	1.44	7.10
12/05/2011	25.80	5.13	7.20	25.80	4.31	7.30	25.80	2.76	7.40
13/05/2011	25.50	4.38	7.20	25.50	3.79	7.10	25.50	1.92	7.10
16/05/2011	26.20	4.39	7.10	26.10	3.62	7.00	25.90	2.03	7.10
17/05/2011	25.50	3.75	6.90	25.40	3.72	7.00	25.40	2.33	7.10
18/05/2011	24.70	4.42	7.00	24.70	2.92	7.10	24.80	2.41	7.00
19/05/2011	24.70	4.20	7.30	24.60	2.90	7.10	24.70	2.13	7.00
20/05/2011	24.70	4.21	7.30	24.50	2.64	7.10	24.40	1.38	7.00
23/05/2011	25.60	4.15	7.50	25.90	3.41	7.50	25.90	2.27	7.20
24/05/2011	26.20	3.99	7.50	26.20	3.85	7.40	26.30	2.22	4.40
25/05/2011	26.20	4.68	7.50	26.20	3.40	7.30	26.10	1.54	7.20
26/05/2011	26.60	4.04	7.40	26.30	2.01	7.30	26.30	1.52	7.30

FECHA	T1			T3			T5		
	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)
27/05/2011	25.60	5.20	7.50	25.50	3.68	7.40	25.40	1.41	7.40
30/05/2011	25.90	3.85	7.60	25.80	2.66	7.50	25.80	1.24	7.50
31/05/2011	26.00	4.26	7.40	25.80	2.83	7.50	25.70	1.61	7.50
01/06/2011	25.20	4.29	7.60	25.20	4.41	7.50	25.20	2.19	7.50
02/06/2011	24.70	4.15	7.70	24.80	3.34	7.60	24.90	1.45	7.50
03/06/2011	25.00	4.30	7.70	25.10	4.56	7.70	25.20	3.15	7.60
06/06/2011	24.90	4.42	7.90	24.90	5.26	8.00	25.00	4.00	8.00
07/06/2011	24.70	3.52	7.80	24.70	3.53	7.70	24.80	2.28	7.70
08/06/2011	25.20	3.58	7.80	25.30	3.14	7.80	25.30	1.59	7.80
09/06/2011	25.10	4.08	7.80	264.00	3.52	7.80	26.30	1.89	7.90
10/06/2011	25.50	4.00	7.80	25.60	4.03	8.00	25.70	1.49	7.90
13/06/2011	24.90	4.41	8.20	24.90	5.35	8.30	24.80	4.55	8.30
14/06/2011	25.00	4.37	7.60	25.60	2.94	7.90	25.60	3.37	7.80
15/06/2011	24.80	4.69	7.80	24.80	1.96	7.80	24.80	1.51	7.80
17/06/2011	26.00	8.16	8.80	25.30	3.79	8.20	25.20	2.12	8.00
20/06/2011	26.40	4.24	7.70	26.30	3.00	7.80	26.30	1.66	7.60
21/06/2011	24.30	5.16	7.60	24.20	2.75	7.80	24.10	1.73	7.70
22/06/2011	23.90	5.13	7.60	23.80	3.00	7.50	23.80	1.42	7.40
23/06/2011	23.80	5.04	7.60	23.80	2.36	7.50	23.80	0.84	7.60
24/06/2011	25.00	5.35	8.00	24.90	3.20	7.80	24.70	1.50	7.60
27/06/2011	24.40	4.33	7.60	24.40	3.74	7.50	24.40	1.10	7.40
28/06/2011	24.10	4.97	7.90	24.20	2.56	7.70	24.10	1.11	7.60
29/06/2011	24.40	5.39	8.00	24.30	3.08	7.80	24.20	2.18	7.80
30/06/2011	24.30	4.46	8.00	24.20	2.21	7.90	24.10	1.14	7.80
01/07/2011	22.60	4.17	8.30	22.40	2.41	8.10	23.00	1.95	7.70
02/07/2011	23.10	4.64	8.10	23.00	3.34	7.80	23.00	1.95	7.70
03/07/2011	22.90	5.59	8.10	22.90	4.24	7.90	23.00	2.79	7.80
04/07/2011	23.50	5.17	8.10	23.50	3.72	7.90	23.60	2.46	7.80

Tabla 5.9 Parámetros físicos de agua de estanques a tasa de 10 m³/m² h

FECHA	T1			T3			T5		
	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)
04/07/2011	23.10	8.10	4.64	23.00	7.80	3.34	23.00	7.70	1.95
05/07/2011	22.90	8.10	5.59	22.90	7.90	4.24	23.00	7.80	2.79
06/07/2011	23.50	8.10	5.17	23.50	7.90	3.72	23.60	7.80	2.46
08/07/2011	24.60	8.30	5.30	24.60	8.00	3.59	24.50	7.90	2.65
11/07/2011	24.30	8.10	5.54	4.30	8.00	4.43	24.30	7.80	3.65
12/07/2011	23.60	8.20	5.94	23.70	8.10	5.71	23.80	7.90	4.87
13/07/2011	24.00	8.00	5.41	24.10	8.20	4.00	24.00	7.90	3.52
14/07/2011	23.70	8.20	5.04	23.70	8.20	3.48	23.60	7.90	2.24
15/07/2011	23.50	8.20	5.59	23.50	8.00	4.60	23.60	7.80	2.24
18/07/2011	23.80	8.10	6.38	23.80	8.00	5.23	23.80	7.90	4.01
19/07/2011	23.70	8.20	5.72	23.80	8.00	5.04	23.80	7.90	2.80
20/07/2011	24.40	7.30	5.48	24.40	7.30	4.93	24.40	7.00	2.81
21/07/2011	24.40	7.10	4.57	24.40	7.10	4.15	24.50	6.90	2.26
22/07/2011	24.10	7.20	5.61	24.10	7.08	5.04	24.10	6.92	3.30
25/07/2011	24.40	7.90	5.85	24.40	7.80	5.34	24.40	7.80	4.18
26/07/2011	24.60	7.20	5.83	24.60	7.20	4.34	24.70	7.00	3.11
27/07/2011	24.20	7.20	4.77	24.20	7.20	5.20	24.10	7.20	4.15
28/07/2011	24.20	7.30	5.20	24.20	7.30	4.33	24.30	7.20	1.99
29/07/2011	24.70	7.00	5.07	24.70	7.00	4.67	24.60	6.80	2.22
01/08/2011	24.00	7.30	6.12	24.10	7.40	5.82	24.10	7.10	4.16
02/08/2011	24.20	7.40	6.12	24.40	7.30	6.11	24.40	7.10	2.80
03/08/2011	24.40	8.40	5.57	24.20	8.20	5.22	24.20	7.90	2.22
04/08/2011	24.00	8.10	5.67	24.10	7.90	5.71	24.10	7.80	2.43
05/08/2011	24.50	7.10	5.09	24.50	7.23	5.06	24.60	7.00	1.98
08/08/2011	24.00	7.30	5.26	24.00	7.20	4.97	24.10	7.10	2.61
09/08/2011	25.20	7.40	6.00	25.20	7.30	5.30	25.20	6.90	2.00
10/08/2011	24.70	7.40	5.56	24.70	7.30	4.15	24.70	7.10	1.96
11/08/2011	24.40	7.30	6.35	24.50	7.40	6.12	24.50	7.20	3.00

FECHA	T1			T3			T5		
	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)
12/08/2011	25.90	7.40	5.35	25.80	7.40	4.09	25.80	7.50	2.31
15/08/2011	24.50	7.30	5.59	24.50	7.20	3.95	24.50	7.10	3.49
16/08/2011	24.40	7.40	6.35	24.40	7.20	5.60	24.30	7.00	3.47
17/08/2011	24.00	7.10	6.46	24.10	7.20	5.27	24.20	7.20	3.97
18/08/2011	24.50	7.00	5.66	24.50	7.00	4.62	24.50	6.80	2.67
19/08/2011	24.70	7.10	5.54	24.90	7.10	4.57	25.00	7.10	2.05
22/08/2011	24.90	7.00	6.02	24.90	6.90	5.50	24.80	6.90	3.08
23/08/2011	24.60	7.90	6.40	24.60	7.00	4.66	24.60	6.80	3.04
24/08/2011	24.50	7.30	6.12	29.50	7.30	4.65	24.50	7.20	2.82
25/08/2011	24.70	7.10	5.80	24.70	7.40	4.93	24.80	7.00	1.94
26/08/2011	25.00	7.20	5.25	25.00	7.10	4.68	25.00	7.00	2.19
29/08/2011	24.00	7.50	6.33	23.90	7.20	5.07	23.90	7.10	3.63
30/08/2011	23.70	6.80	5.96	23.80	6.80	4.98	23.80	6.60	2.76
31/08/2011	23.80	7.30	5.41	23.70	7.20	4.50	23.60	7.10	2.37
01/09/2011	24.10	7.10	5.58	24.00	7.10	3.78	24.00	7.00	2.45
02/09/2011	23.70	7.30	55.00	23.70	7.20	4.46	23.60	7.30	2.46
05/09/2011	22.90	7.60	5.84	22.80	7.50	481.00	22.80	7.40	3.60
06/09/2011	24.10	7.30	5.75	24.00	7.20	5.88	24.10	7.10	3.87
07/09/2011	23.10	7.11	5.44	23.10	6.70	5.49	23.20	7.10	3.82
08/09/2011	22.50	7.10	6.03	22.40	7.08	4.27	22.40	7.00	3.88
09/09/2011	21.40	7.00	6.51	21.40	7.30	4.42	21.50	7.00	5.32
12/09/2011	22.20	7.30	5.02	22.30	7.20	4.27	22.30	7.10	4.24
13/09/2011	23.40	7.20	5.26	23.30	7.20	4.56	23.40	7.10	3.96
14/09/2011	23.50	7.10	4.56	23.50	7.10	3.93	23.50	7.10	3.35
15/09/2011	24.10	7.20	4.50	24.20	7.06	3.86	24.20	6.96	2.04
20/09/2011	24.40	7.10	4.85	24.30	7.10	3.77	24.40	7.10	3.05
21/09/2011	24.20	7.10	4.96	24.20	7.00	3.70	24.20	7.00	2.73
22/09/2011	23.90	7.10		23.90	8.00		23.90	7.10	
23/09/2011	24.20	7.10	7.53	24.20	7.10	2.53	24.10	7.00	7.16

FECHA	T1			T3			T5		
	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)
26/09/2011	24.20	7.00	5.31	24.20	7.00	3.22	24.20	7.00	5.12
27/09/2011	24.90	7.40	3.12	24.90	7.00	6.76	24.90	6.96	2.92
28/09/2011	24.20	7.00	6.10	24.20	7.00	4.60	24.10	6.91	6.70
29/09/2011	24.40	7.00	2.52	24.20	7.00	6.85	24.30	6.86	6.93

5.3.3 Parámetros químicos a la entrada y salida del filtro

De la Foto 5.23 a la Foto 5.29 se muestran las determinaciones analíticas que se realizaron a los diferentes parámetros para determinar la calidad el agua de entrada y salida del filtro.



Foto 5.23 Determinación de dureza

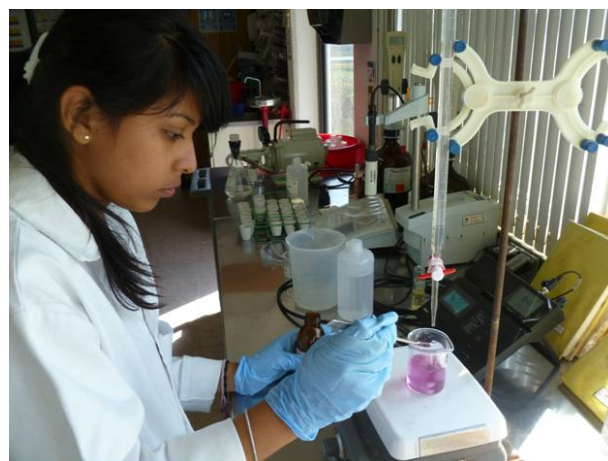


Foto 5.24 Determinación de alcalinidad



a



b

Foto 5.25 Determinación de fósforo total



a



b

Foto 5.26 Determinación de nitrógeno total



Foto 5.27 Determinación de DQO



Foto 5.28 Determinación de DBO



a



b

Foto 5.29 Determinación de amoníaco

Tabla 5.10 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 3 m³/m² h. A

FECHA	NH ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	Alcalinidad T (mg/L)	Dureza T (mg/L)
	INFLUENTE				
14/01/2011	0.06	1.00	8.50	50.88	89.73
19/01/2011	0.01	1.00	3.60	51.50	84.50
27/01/2011	0.08	1.00	7.10	51.50	92.55
02/02/2011	0.13	2.00	7.40	50.00	104.62
16/02/2011	0.50	2.00	13.90	55.50	110.66
23/02/2011	0.80	7.00	12.50	53.00	104.62
08/03/2011	0.40	5.00	8.50	39.00	191.00
23/03/2011	0.24	7.00	10.50	60.00	100.00
29/03/2011	0.53	5.00	9.00	56.00	102.00
12/04/2011	0.45	2.00	47.80	64.00	98.00
26/04/2011	0.40	0.00	61.10	46.00	116.00
FECHA	EFLUENTE				
14/01/2011	0.08	2.00	7.80	53.00	91.50
19/01/2011	0.07	1.00	5.70	57.00	94.50
27/01/2011	0.01	4.00	7.90	51.00	94.56
02/02/2011	0.10	2.00	10.00	51.00	91.88
16/02/2011	0.10	3.00	13.70	55.50	112.67
23/02/2011	0.40	4.00	12.90	56.00	106.63
08/03/2011	0.20	3.00	9.50	51.00	110.25
23/03/2011	0.35	5.00	6.50	62.00	114.00
29/03/2011	0.27	7.00	8.00	56.00	100.00
12/04/2011	0.40	0.00	47.30	62.00	100.00
26/04/2011	0.15	3.00	87.20	50.00	114.00

Tabla 5.11 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 3 m³/m² h. B

FECHA	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	PT (mg/L)
	INFLUENTE			
08/03/2011	<3.9	<15.3	18.0	0
23/03/2011	<3.9	25.8	<10.3	0
29/03/2011	<3.9	30.1	12.0	0
FECHA	EFLUENTE			
08/03/2011	<3.9	36.2	28.2	0
23/03/2011	<3.9	<15.3	<10.3	0
29/03/2011	<3.9	18.0	<10.3	0

Tabla 5.12 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 5 m³/m² h. A

FECHA	NH ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	Alcalinidad T (mg/L)	Dureza T (mg/L)
	INFLUENTE				
12/04/2011	0.45	2.00	47.80	64.00	98.00
26/04/2011	0.40	0.00	61.10	46.00	116.00
10/05/2011	0.35	6.20	10.30	60.00	118.00
24/05/2011	0.35	2.70	9.80	86.00	82.00
07/06/2011	0.23	2.00	7.00	86.00	148.00
21/06/2011	0.35	1.00	3.10	108.00	130.00
FECHA	EFLUENTE				
12/04/2011	0.40	0.00	47.30	62.00	100.00
26/04/2011	0.15	3.00	87.20	50.00	114.00
10/05/2011	0.17	0.00	8.60	60.00	114.00
24/05/2011	0.24	0.00	7.70	84.00	78.00
07/06/2011	0.19	4.00	5.00	88.00	122.00
21/06/2011	0.19	2.00	3.40	106.00	114.00

Tabla 5.13 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 5 m³/m² h. B

FECHA	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	PT (mg/L)
	INFLUENTE			
12/04/2011	<3.9	<15.3	<10.3	0
26/04/2011	<3.9	18.0	<10.3	0
10/05/2011	<3.9	<15.3	<10.3	0
24/05/2011	<3.9	44.0	<10.3	0
07/06/2011	4.4	46.7	15.0	6.0
21/06/2011	<3.9	20.2	<10.3	10.5
FECHA	EFLUENTE			
12/04/2011	<3.9	32.4	<10.3	0
26/04/2011	<3.9	<15.3	<10.3	0
10/05/2011	<3.9	<15.3	<10.3	0
24/05/2011	<3.9	27.5	<10.3	0
07/06/2011	<3.9	15.6	<10.3	7.0
21/06/2011	<3.9	15.6	<10.3	11.6

Tabla 5.14 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 10 m³/m² h. A

FECHA	NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Dureza de calcio (mg/L ₉)
	INFLUENTE					
06/07/2011	0.24	5.0	5.6	90	116	72
12/07/2011	0.27	7.0	21.0	90	108	76
19/07/2011	0.24	2.0	5.0	86	138	90
26/07/2011	0.23	3.0	12.0	70	142	62
02/08/2011	0.14	1.0	19.0	85	156	80
09/08/2011	0.09	6.0	3.4	90	148	78
17/08/2011	0.45	5.0	10.9	76	160	76
23/08/2011	0.26	5.0	13.0	70	160	100
31/08/2011	0.33	1.0	12.9	70	164	80
06/09/2011	0.29	2.0	7.8	88	160	80
13/09/2011	0.25	0.6	7.6	88	172	112

27/09/2011	0.24	0.6	7.4	78	174	111
FECHA	EFLUENTE					
06/07/2011	0.21	2.0	4.1	84	118	70
12/07/2011	0.25	8.0	19.0	82	106	70
19/07/2011	0.19	5.0	7.0	84	124	86
26/07/2011	0.22	3.0	8.0	68	140	84
02/08/2011		0.0	14.3	84	124	72
09/08/2011	0.01	1.0	10.8	88	148	66
17/08/2011	0.3	2.0	13.4	76	160	80
23/08/2011	0.21	4.0	13.0	68	156	94
31/08/2011	0.25	2.0	13.2	68	158	94
06/09/2011	0.23	3.0	5.5	88	160	100
13/09/2011	0.17	1.1	6.0	88	170	114
27/09/2011	0.18	1.0	6.0	80	180	113

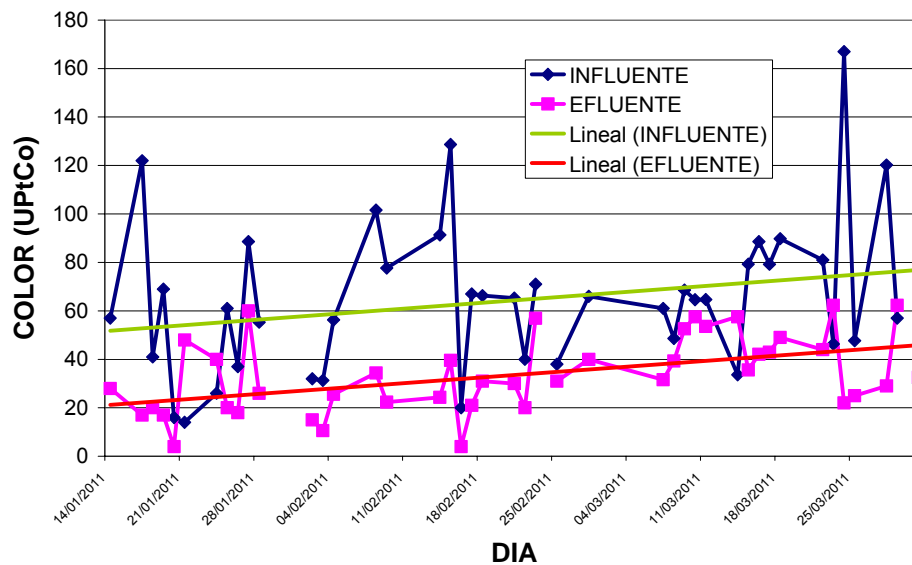
Tabla 5.15 Parámetros químicos de agua de filtros a tasa de 10 m³/m² h. B

FECHA	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	PT (mg/L)
	INFLUENTE			
06/07/2011	<3.9	20.7	<10.3	6.4
12/07/2011	*	*	*	7.2
19/07/2011	<3.9	26.8	<10.3	8.1
26/07/2011	*	*	*	10.9
02/08/2011	<3.9	33.1	<10.3	5.1
09/08/2011	*	*	*	7.0
17/08/2011	<3.9	<15.3	<10.3	9.3
23/08/2011	*	*	*	11.0
31/08/2011	<3.9	47.8	<10.3	13.0
06/09/2011	*	*	*	8.2
13/09/2011	<3.9	<15.3	*	10.0
27/09/2011	<3.9	70.2	14.0	7.0
FECHA	EFLUENTE			

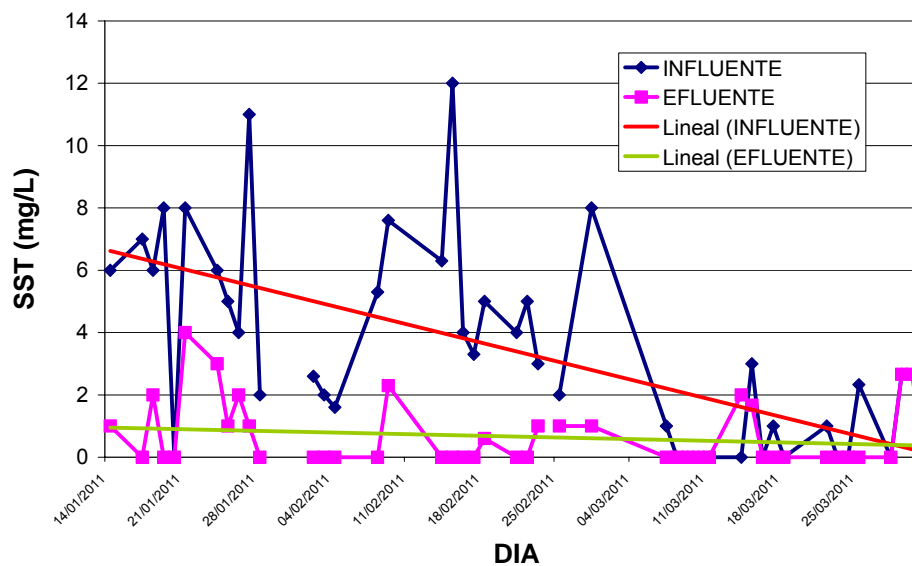
06/07/2011	<3.9	23.0	<10.3	7.5
12/07/2011	*	*	*	6.9
19/07/2011	<3.9	26.8	<10.3	8.4
26/07/2011	*	*	*	10.9
02/08/2011	<3.9	71.4	<10.3	5.6
09/08/2011	*	*	*	6
17/08/2011	<3.9	<15.3	<10.3	7.5
23/08/2011	*	*	*	12
31/08/2011	<3.9	<15.3	<10.3	14
06/09/2011	*	*	<10.3	9
13/09/2011	<3.9	<15.3	<10.3	9
27/09/2011	<3.9	<15.3	<10.3	5

6. Análisis de resultados

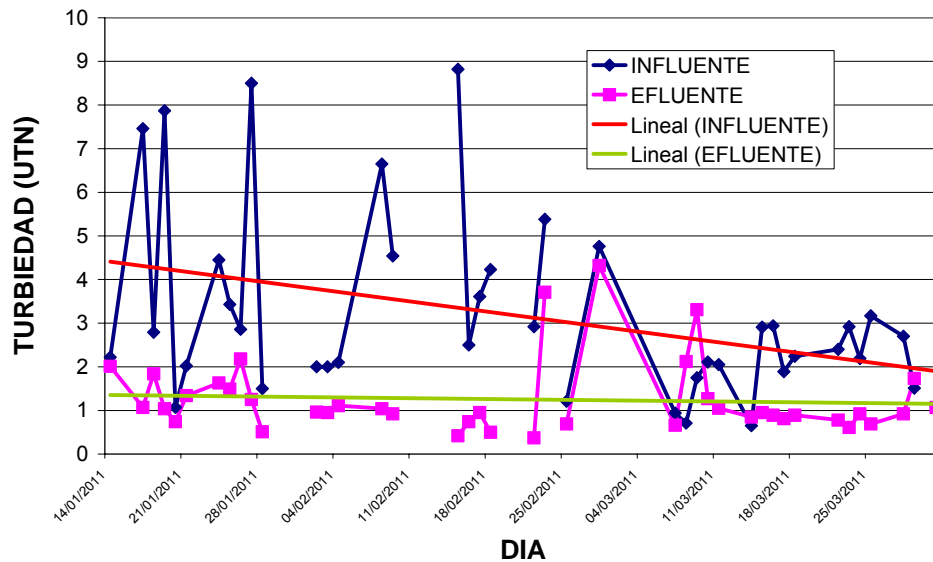
6.1 Tasa de filtración de $3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$



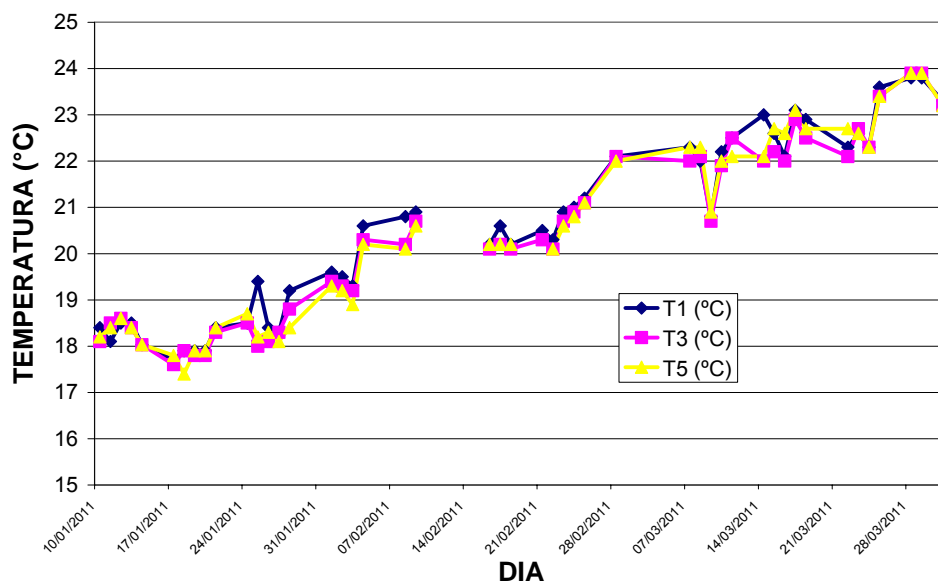
Gráfica 6.1 Color del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$



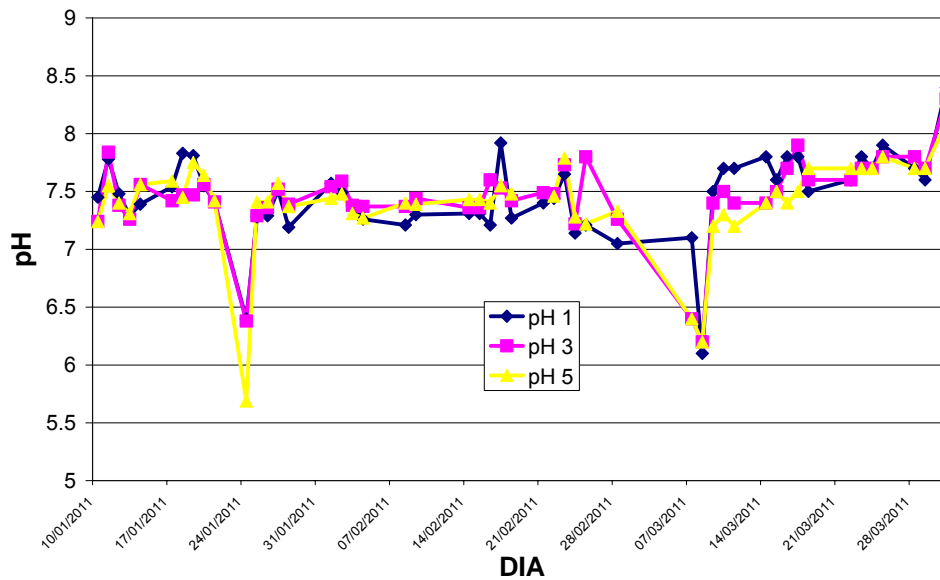
Gráfica 6.2 SST del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$



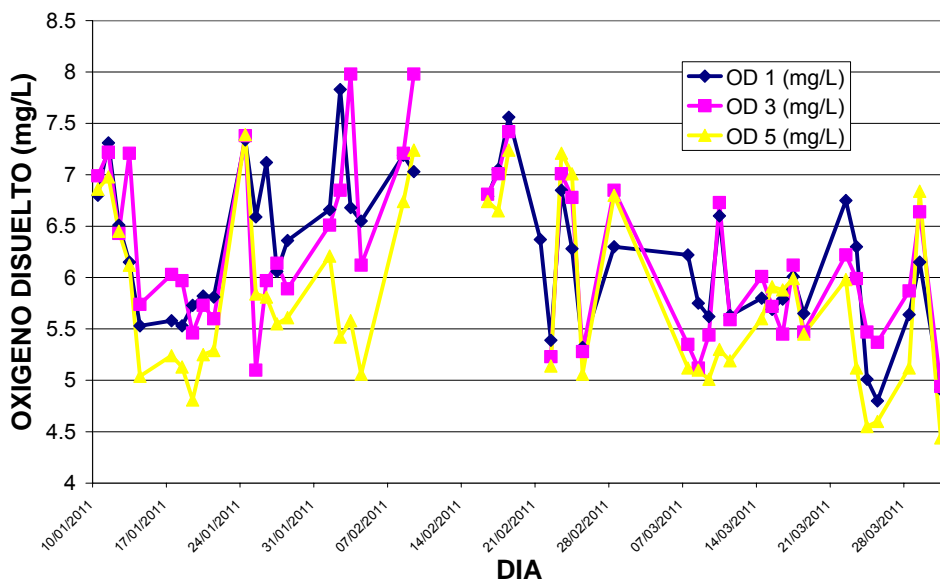
Gráfica 6.3 Turbiedad del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$



Gráfica 6.4 Temperatura del agua en estanques a tasa de $3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$



Gráfica 6.5 pH del agua en estanques a tasa de 3 m³ / m² h



Gráfica 6.6 Oxígeno disuelto del agua en estanques a tasa de 3 m³ / m² h

La determinación del color que se realizó corresponde al aparente. Tomando en consideración las líneas de tendencia que se muestran en la Gráfica 6.1, al inicio el color del agua de entrada se puede establecer en 50 con una salida de filtro de 20 UPtCo, mostrando una remoción del 60%. Sin embargo, conforme avanzó la prueba se

observó una tendencia de aumento, terminado en una concentración para el agua de entrada cercana a las 78 UPtCo y en la salida de 45 UPtCo, finalizando con una remoción del 42%.

En la Gráfica 6.2 y en la Gráfica 6.3, se muestran las tendencias que presentaron los parámetros de SST y turbiedad y éstas indican que conforme se realizó la prueba el filtro fue madurando y presentando una mejor remoción de ambos parámetros. Esto es, inicialmente para los SST se tiene una concentración de entrada del agua de 7 mg/L y se finalizó con menos de 1 mg/L, con lo turbiedad sucede algo similar al iniciar con 4.5 y terminar con 2 UTN.

La temperatura del agua sufrió un incremento de alrededor de 5 grados en el lapso que duro esta prueba, esto es debido a que se paso de la etapa de invierno a la de primavera. Este parámetro tiene una influencia marcada sobre otros, como lo es el pH, el color y oxígeno disuelto (OD). Al existir un incremento en la temperatura se favorece el crecimiento de microalgas que dan un color verdusco característico al agua y además incrementan el pH de la misma, al producir alcalinidad, y disminuye la concentración del OD, debido a que su condición natural es gas. Además, se puede observar que no existe una diferencia significativa entre los tres tanque monitoreados con relación a la concentración de del OD. Lo antes descrito se puede observar claramente en la Gráfica 6.5, en la Gráfica 6.6 y en la Gráfica 6.7.

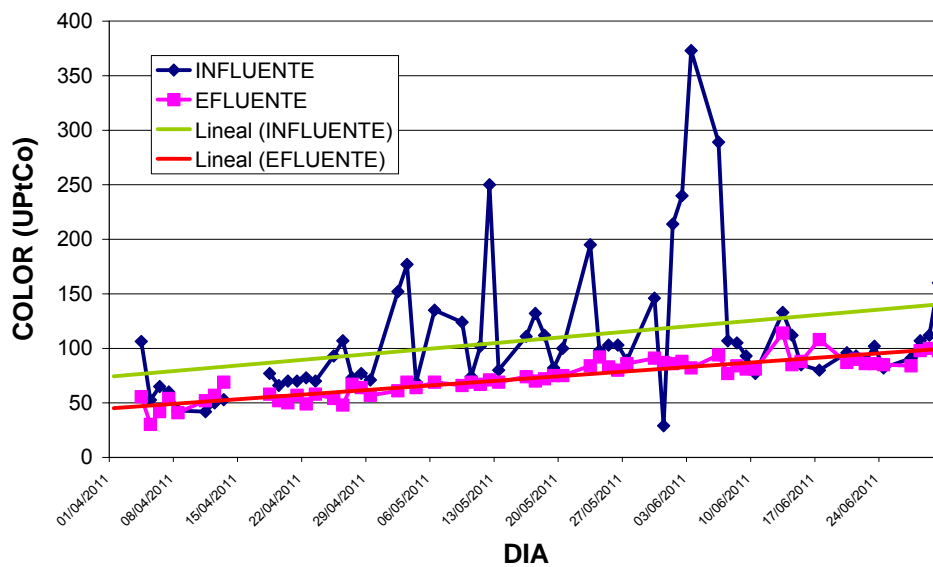
En relación a los parámetros químicos y de acuerdo a los datos que se proporcionan en la Tabla 5.10 y en la Tabla 5.11, se observó una tendencia de aumento en los compuestos nitrogenados, esto es porque al inicio no se tenían y conforme los peces se desarrollaban se acumularon en el sistema. Sin embargo, las concentraciones del nitrógeno amoniacal están por debajo de 1 mg/L, y aunque las concentraciones de nitratos son de hasta 60 mg/L, no representan un peligro para los peces, debido a que pueden tolerar concentraciones cercanas a los 100 mg/L. En relación al fósforo este no esta presente en el sistema.

Las concentraciones de alcalinidad y de dureza total, muestras que el agua es de buena calidad y prácticamente no presentan una variación importante durante los tres meses de prueba, al pasar el agua por el filtro.

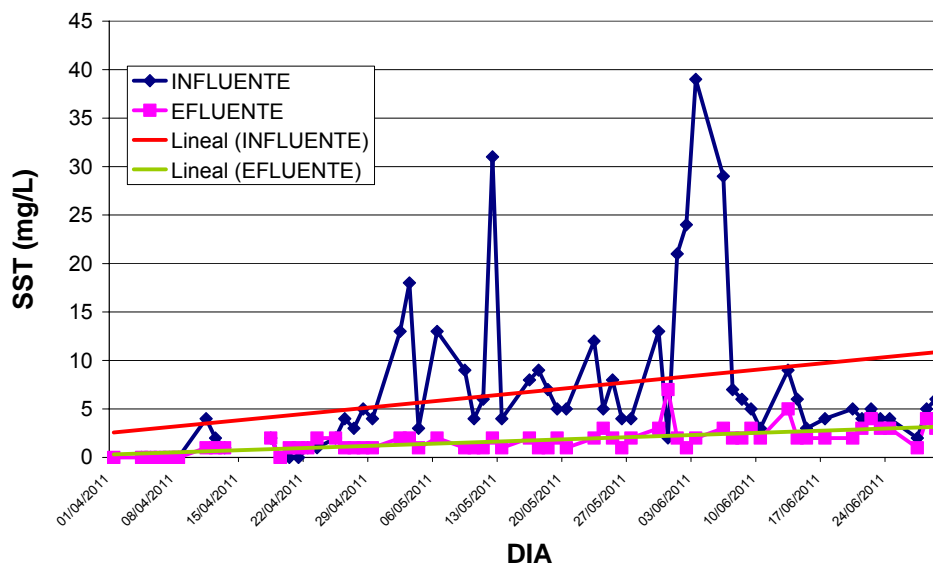
En relación a la materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), ésta siempre fue menor a los 4 mg/L tanto en la entrada como en la salida del filtro.

En general, los parámetros evaluados cumplen con los criterios establecidos en la Tabla 1.14 Criterios de calidad del agua para acuicultura.

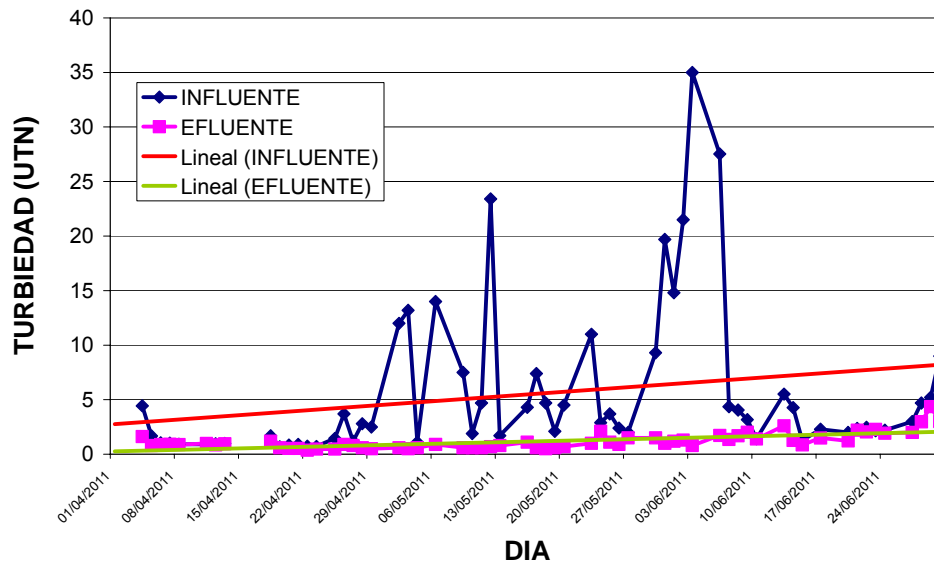
6.2 Tasa de filtración de 5 m³/m² h



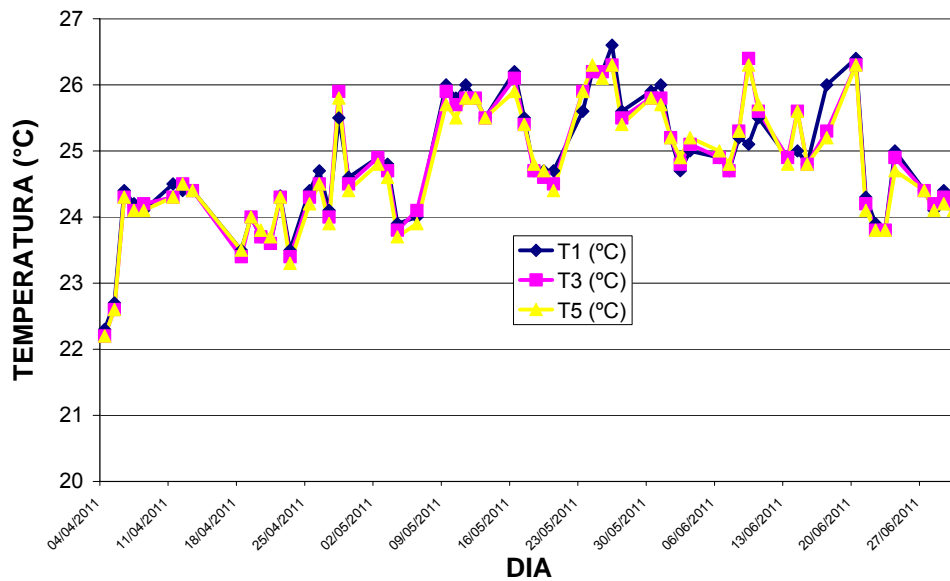
Gráfica 6.7 Color del agua de entrada y salida del filtro a tasa de 5 m³/m² h



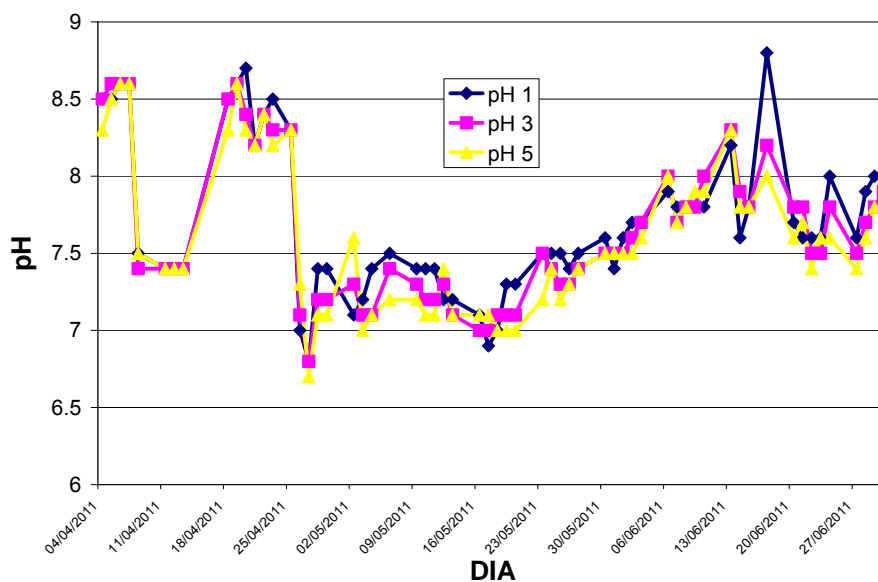
Gráfica 6.8 SST del agua de entrada y salida del filtro a tasa de 5 m³/m² h



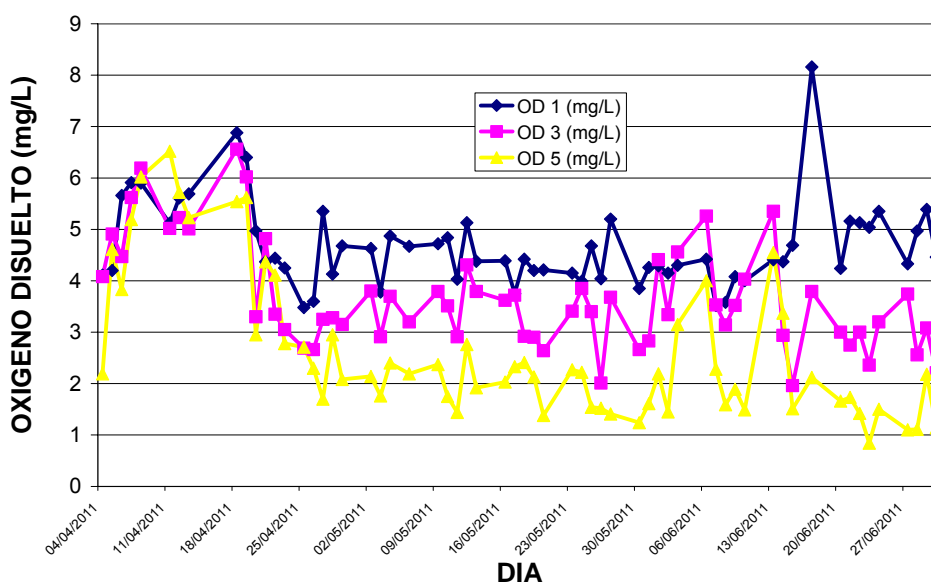
Gráfica 6.9 Turbiedad del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$



Gráfica 6.10 Temperatura del agua en estanques a tasa de $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$



Gráfica 6.11 pH del agua en estanques a tasa de 5 m³ /m² h



Gráfica 6.12 Oxígeno disuelto del agua en estanques a tasa de 5 m³ /m² h

Antes de iniciar la prueba se retrolavó el filtro de acuerdo a lo establecido en el punto 5.1.3 inciso a.

Tomando en consideración las líneas de tendencia que se muestran en la Gráfica 6.7, al inicio el color del agua de entrada se pudo establecer en 75 con una salida de filtro

de 50 UPtCo, mostrando una remoción del 33%. Sin embargo, conforme avanza la prueba se observó una tendencia de aumento, terminado en una concentración para el agua de entrada cercana a las 140 UPtCo y en la salida de 100 UPtCo, finalizando con una remoción del 29%.

En la Gráfica 6.8 y en la Gráfica 6.9 se muestran las tendencias que presentaron los parámetros de SST y turbiedad y éstas indican que conforme avanza la prueba, el filtro presentó una mejor remoción de ambos parámetros. Sin embargo, se aprecia una tendencia en el aumento de las concentraciones conforme se desarrolla la prueba. Así, inicialmente los SST se tiene una concentración cercana de entrada del agua de 0 mg/L y se finalizó con 3 mg/L, con lo turbiedad sucede algo similar al iniciar con 2 y terminar con 3 UTN.

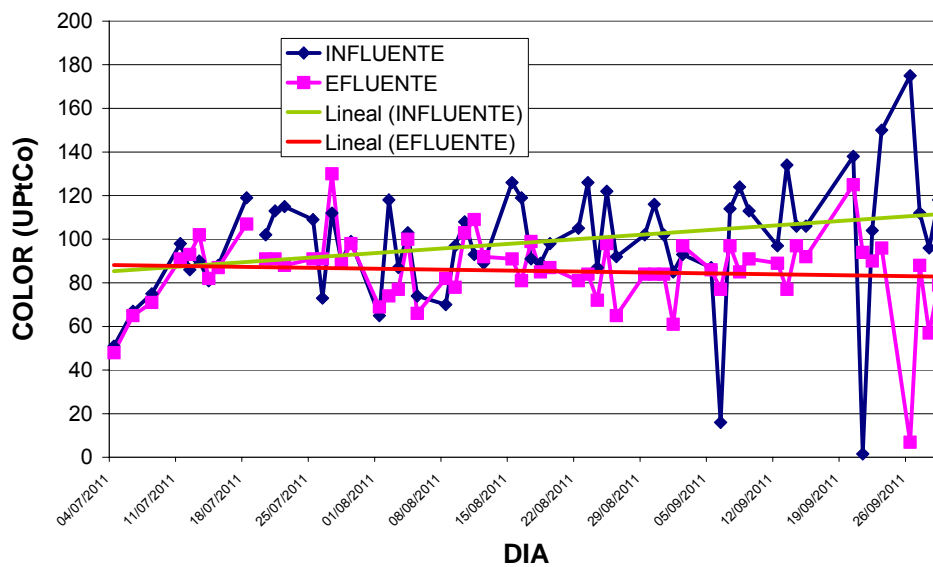
La temperatura del agua continuó incrementándose hasta llegar a los 26.5 °C, esto en el mes de mayo, debido a que es el mes más caluroso de la primavera. Este parámetro, como ya se comentó, tiene una influencia marcada sobre otros, como lo es el pH, el color y OD. Por lo que al existir un incremento en la temperatura se continuó favoreciendo el crecimiento de microalgas que aumentaron aun más el color verdusco característico al agua y además el pH en un intervalo de 7.5 y 8. Además, el afecto sobre la concentración del OD fue mayor, ya que estuvo por debajo de los 5 mg/L, siendo el estanque cinco el más afectado, al presentar concentraciones entre 1 y 2 mg/L. Lo antes descrito se puede observar claramente en la Gráfica 6.10, en la Gráfica 6.11 y en la Gráfica 6.12.

De acuerdo a los datos que se proporcionan en la Tabla 5.12 y en la Tabla 5.13, que muestra las concentraciones de los parámetros químicos que se analizaron, se observó un ligero aumento en las concentraciones de los compuestos nitrogenados en relación a los de la tasa de filtración anterior. Sin embargo, las concentraciones del nitrógeno amoniacal continúan por debajo de 1 mg/L. En lo que respecta a los nitratos, aunque en dos de las concentraciones de son superiores a los 40 mg/L, no representan un peligro para los peces, debido a que pueden tolerar concentraciones cercanas a los 100 mg/L. En relación al fósforo este se presentó en los dos últimos análisis con concentraciones superiores a las recomendadas en el sistema, mayores a los 3 mg/L.

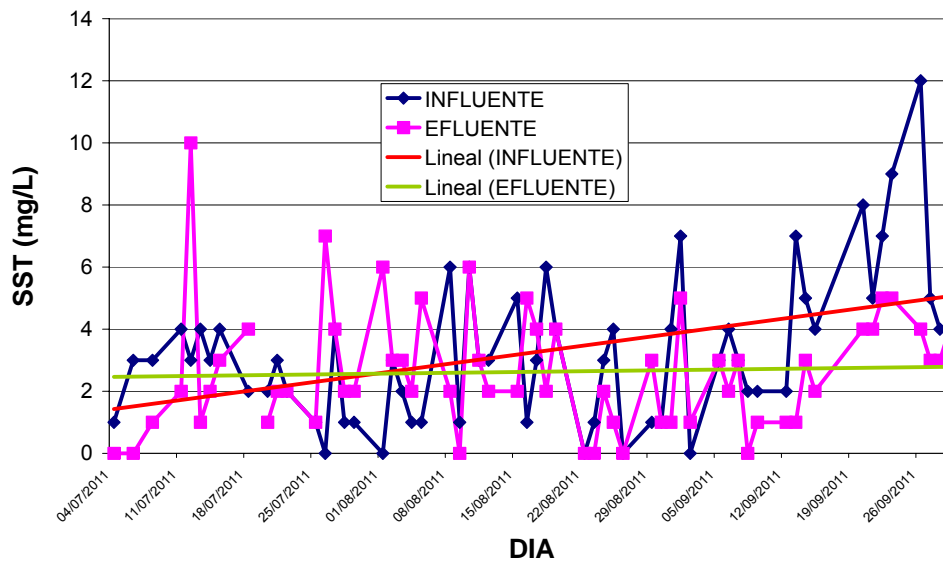
Las concentraciones de alcalinidad y de dureza total, muestran que el agua continúa siendo de buena calidad y prácticamente no presentan una variación importante durante los tres meses de prueba, al pasar el agua por el filtro.

La DBO₅ a la entrada y a la salida del filtro se mantiene en concentraciones menores a los 4 mg/L.

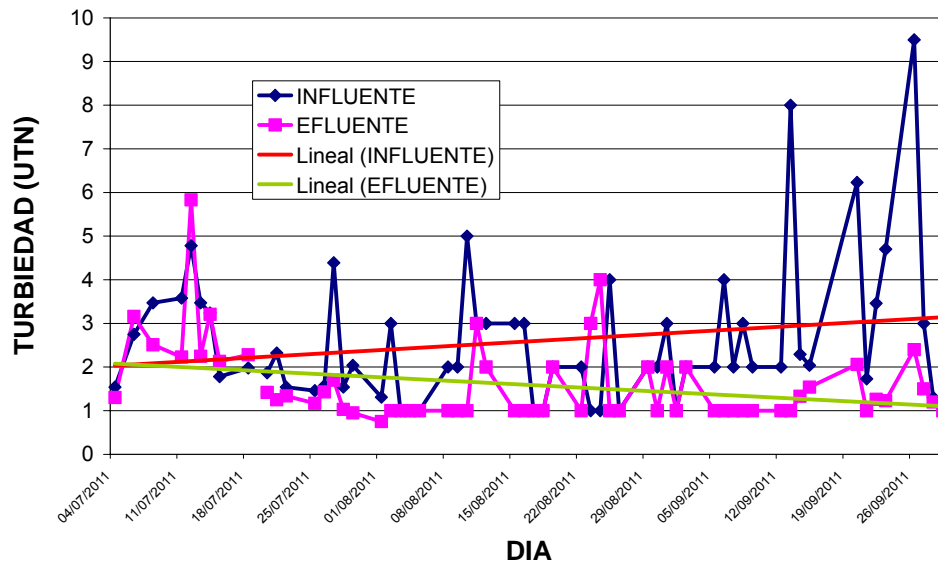
6.3 Tasa de filtración de 10 m³/m² h



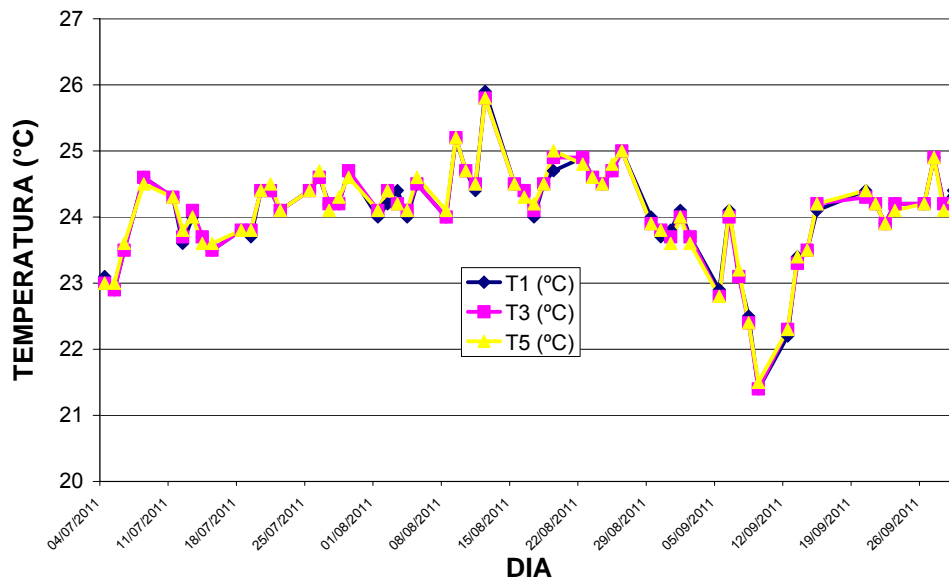
Gráfica 6.13 Color del agua de entrada y salida del filtro a tasa de 10 m³/m² h



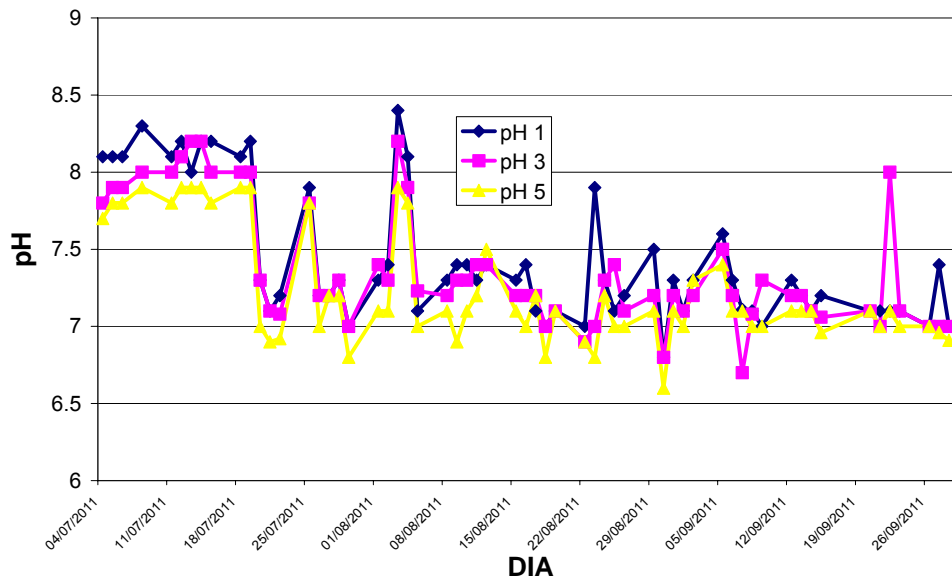
Gráfica 6.14 SST del agua de entrada y salida del filtro a tasa de 10 m³/m² h



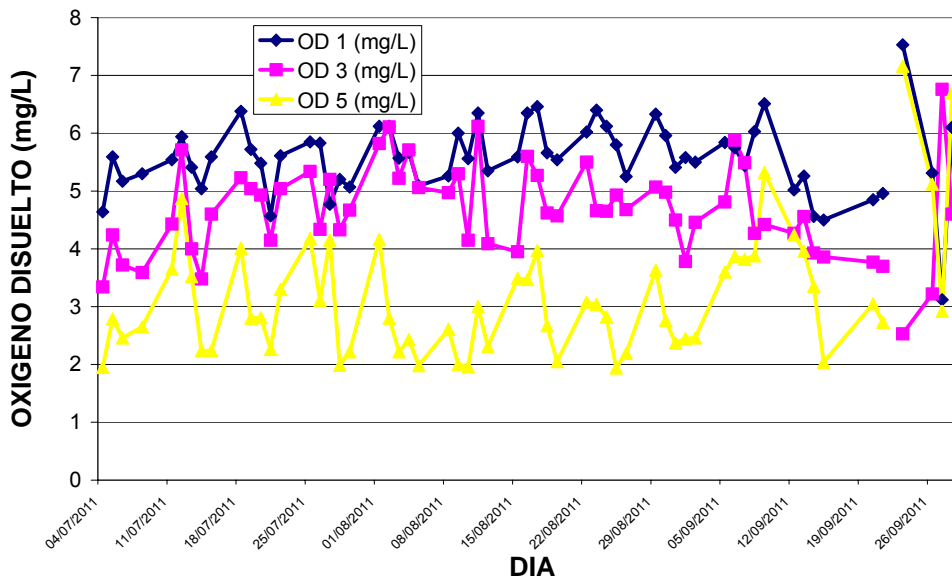
Gráfica 6.15 Turbiedad del agua de entrada y salida del filtro a tasa de $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$



Gráfica 6.16 Temperatura del agua en estanques a tasa de $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$



Gráfica 6.17 pH del agua en estanques a tasa de $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$



Gráfica 6.18 Oxígeno disuelto del agua en estanques a tasa de $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$

Antes de iniciar la prueba a una tasa de $10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$ nuevamente se retrolavó el filtro de acuerdo a lo establecido en el punto 5.1.3 inciso a.

En la Gráfica 6.13 muestra el comportamiento del color del agua de entrada mostrando un valor inicial de 50 UPtCo y terminando la prueba con valores de alrededor de 120 UPtCo y para el agua filtrada el valor inicial fue de 50 UPtCo llegando a valores cercanos a los 90 UPtCo, sin embargo, en casi toda la prueba se presentó una tendencia ligera de disminución hacia valores de 80 UPtCo, mostrando al final de la prueba una remoción del 33%.

La Gráfica 6.14 muestran el comportamiento de los SST observándose que en el primer mes de la prueba se presentó una inestabilidad en el sistema de filtración, la cual conforme maduro el filtro se fue minimizando, lo que permitió que los SST en el agua filtrada, al finalizar el periodo de la prueba, fueran de alrededor de los 4 mg/L. Este comportamiento fue similar para el parámetro de la turbiedad (Gráfica 6.16), donde inicialmente el efluente del filtro fue de 2 y finalizó con 1 UTN.

El periodo de prueba de esta tasa de filtración coincidió con la época de lluvias, por lo que la temperatura descendió, considerándose que el sistema operó con una temperatura promedio de 24 °C (Gráfica 6.16). Esto favoreció a que el pH del agua de los estanques descendiera y permaneciera más estable, esto es con valores alrededor de las 7 unidades (Gráfica 6.17). En relación a la concentración de oxígeno disuelto, éste también presenta una mayor concentración en los estanques, observándose que en el uno el OD está por arriba de los 5 mg/L, sin embargo en el cinco existió una variación constante entre 2 y 4 mg/L durante casi toda la prueba (Gráfica 6.18).

Las concentraciones de los compuestos nitrogenados; amoníaco, nitritos y nitratos, presenta una ligera disminución en relación a la concentración del agua a la entrada con la de salida del filtro. Así, se obtuvieron las siguientes remociones 20, 16 y 4 %, respectivamente (Tabla 5.14). Es importante tomar en cuenta que las concentraciones del nitrógeno amoniacal casi no presentan variación y están por debajo de 0.3 mg/L, la de nitritos menor a 4 mg/L y la de los nitratos menor a 13 mg/L, de los cuales solo las concentraciones de nitritos están fuera de lo recomendado, que es 1 mg/L. Otro parámetro que está rebasando el criterio recomendado es el fósforo, que en el agua de salida del filtro presentó una concentración promedio de 8.48mg/L. Sin embargo, aunque estos parámetros están fuera de lo recomendado no se nota una afectación en los peces que están en los estanques.

Las concentraciones de alcalinidad y de dureza total, muestran que el agua continúa siendo de buena calidad y prácticamente no presentan una variación importante durante los tres meses de prueba, al pasar el agua por el filtro.

La DBO_5 a la entrada y a la salida del filtro se mantiene en concentraciones menores a los 4 mg/L.

6.4 Análisis global

En Tabla 6.1 se muestran los resultados promedio de los parámetros químicos que se analizaron al agua de entrada y salida del filtro, y en la Tabla 6.2 los valores promedio de los parámetros físicos del agua de los estanques. En ambos casos los resultados reportados corresponden a las diferentes tasas de operación.

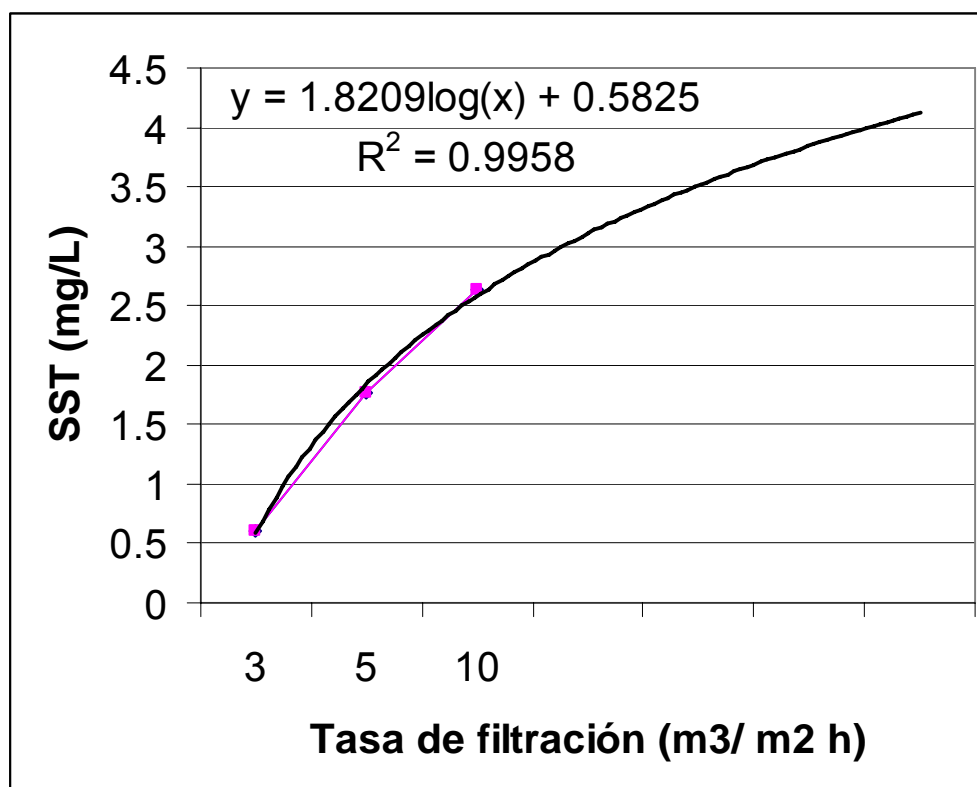
Tabla 6.1 Valores promedio de parámetros del agua de filtros

Parámetro	Criterio	Tasa filtración (m ³ /m ² h)					
		3	5	10	3	5	10
		Entrada			Salida		
NH ₃ (mg/L)	< 3.00	0.33	0.33	0.25	0.19	0.22	0.20
NO ₂ (mg/L)	< 1.00	3.00	2.41	3.18	3.09	1.50	2.68
NO ₃ (mg/L)	0-400	17.26	20.72	10.47	19.68	26.53	10.03
PT (mg/L)	0.01 -3.00	0.00	2.75	8.60	0.00	3.10	8.48
SST (mg/L)	<80.00	3.39	6.92	3.28	0.61	1.77	2.63
DBO ₅ (mg/L)	---	<3.9	<3.9	<3.9	<3.9	<3.9	<3.9
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	>100	104	115	150	108	109	145
Alcalinidad T (mg CaCO ₃ /L)	50 -300	50	76	82	53	78	80
Turbiedad (UTN)	---	3.15	5.59	2.58	1.25	1.20	1.58
Color (UPtCo)	---	64.34	108.54	98.73	33.56	73.29	85.83

Los resultados de los análisis químicos de los diferentes parámetros analizados, en términos generales indican que independientemente de la tasa de filtración siempre existió una remoción de los mismos. En relación a las concentraciones reportadas de los compuestos nitrogenados se puede establecer que no existe una acumulación en el sistema, por lo tanto se puede decir que se realiza una nitrificación y desnitrificación en el lecho filtrante. Hecho que favorece la operación del mismo en condiciones de recirculación continua de agua. Sin embargo, en fósforo se observa que conforme transcurrió el tiempo y se incremento la tasa de filtración se presentó una acumulación del mismo, así de una concentración inicial de 0 mg/L al término de los 9 meses de evaluación la concentración final de fósforo fue de 8.48 mg/L, esto en el efluente del filtro. Valor que sobre pasa el criterio recomendado, pero que no presentó un efecto negativo en la actividad de los peces.

Los sólidos suspendidos totales, es un parámetro que se encuentra estrechamente ligado a otros dos, como lo son el color aparente y la turbiedad, por lo que en medida que aumente uno los demás aumentaran y viceversa. Hecho que se observa

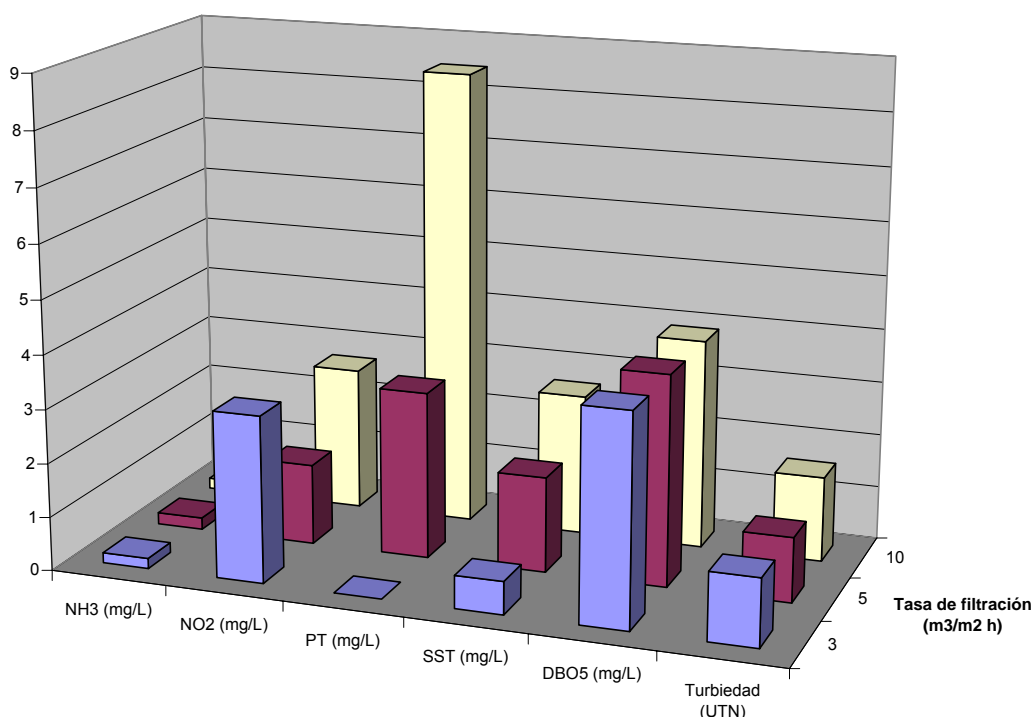
claramente en el sistema evaluado. Como resultado relevante se puede destacar que los SST (2.63 mg/L en el efluente del filtro) están muy por debajo del valor recomendado en los criterios (80 mg/L), y que se observa una ligera tendencia de aumento en su concentración conforme se incrementa la tasa de filtración, así a una tasa de 3 fue de 0.61, para una de 5 fue de 1.77 y para 10 m³/m² h de 2.63 mg/L, lo que indica una tendencia semilogarítmica (Gráfica 6.19) y sugiere que se puede incrementar ampliamente la tasa de filtración sin afectar la calidad del agua en relación a los SST. No obstante, esto se deberá comprobar en campo. Este mismo comportamiento lo presentan el color y la turbiedad.



Gráfica 6.19 SST en el efluente conforme a la tasa de filtración

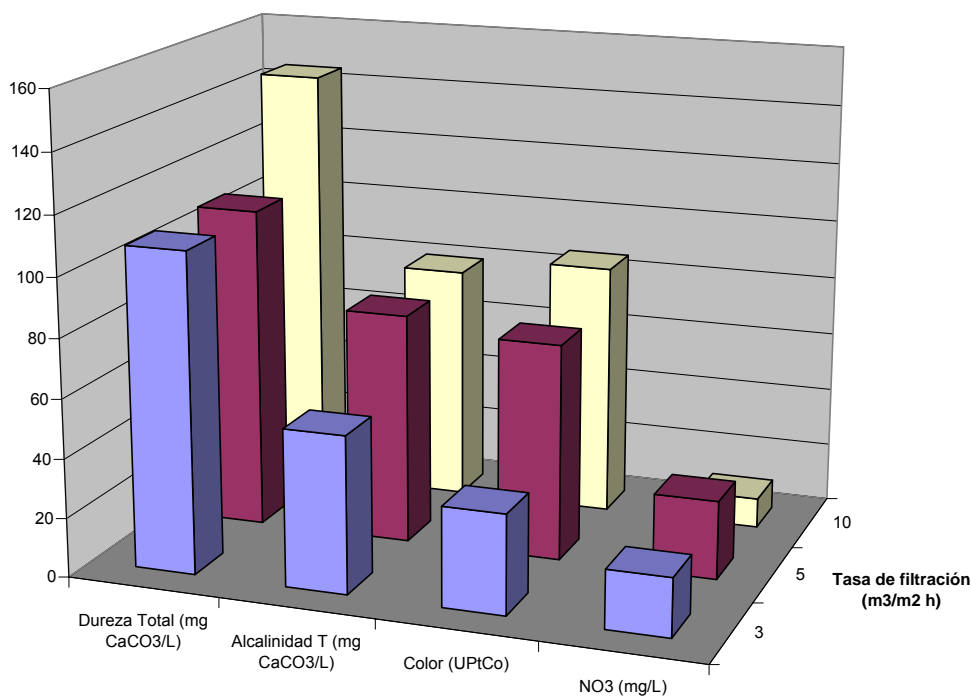
Un parámetro que no se considera en los criterios establecidos en la Tabla 1.14 y que es una medida de la materia orgánica presente en el sistema es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la cual como se puede observar en la Tabla 6.1, siempre fue menor al límite de cuantificación de 3.9 mg/L. Esto implica que el sistema de recirculación y en particular el de filtración operó de una manera eficiente al impedir una acumulación de materia orgánica en el agua.

En resumen se puede apreciar que conforme se aumenta la tasa de filtración la concentración de los parámetros a la salida del filtro también tienden a aumentar, como se puede apreciar en la Gráfica 6.20 y en la Gráfica 6.21, pero sin que este incremento sea de importancia, pero lo que realmente se debe destacar, es que se mantiene una agua en el sistema de excelente calidad, excepto por el fósforo, que como ya se comentó no se detectó un efecto en los peces.



Gráfica 6.20 Concentración de parámetros en el efluente del filtro. a

En relación a las concentraciones obtenidas de alcalinidad y dureza total, éstas están muy cercanas a los valores bajos establecidos por los criterios, y dependen directamente de la fuente de abastecimiento. Sin embargo, también se observó una tendencia de incremento en las concentraciones conforme la tasa de filtración se incrementó (Gráfica 6.21). En lo que respecta a la dureza se puede explicar que es debido a la evaporación, permitiendo que con el tiempo se concentren las sales de calcio y magnesio, pero sin que esto sea un factor que altere la calidad del agua y por tanto el sistema acuícola.



Gráfica 6.21 Concentración de parámetros en el efluente del filtro. b

En la Tabla 6.2 se presentan los valores promedio obtenidos de los parámetros físicos que se determinaron en el agua de los estanques de los peces durante el desarrollo de toda la prueba.

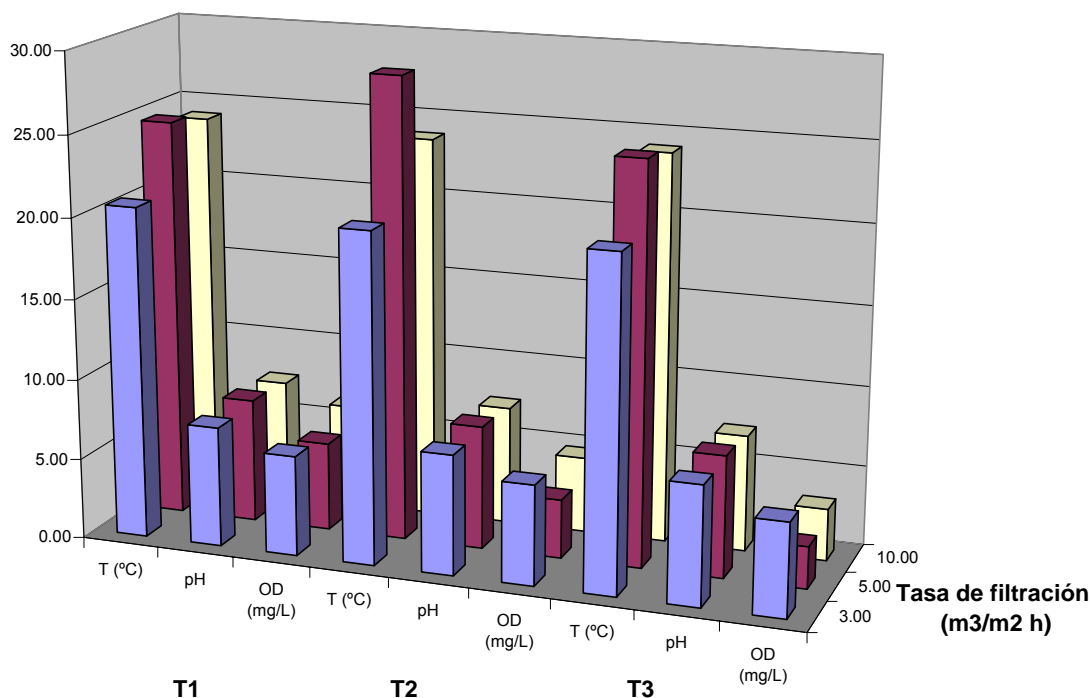
Tabla 6.2 Valores promedio de parámetros físicos de los estanques de peces

	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)	T (°C)	pH	OD (mg/L)
Criterio	20.00	6.5-8.5	>5.00	20.00	6.5-8.5	>5.00	20.00	6.5-8.5	>5.00
TF (m³/m² h)	T 1			T 3			T 5		
3.00	20.60	7.46	6.22	20.42	7.45	6.20	20.46	7.40	5.80
5.00	24.77	7.71	5.49	24.75	7.66	3.65	24.73	7.56	2.60
10.00	24.06	7.43	6.34	23.81	7.36	4.70	24.07	7.23	3.23

Un parámetro importante y que influye directamente en otros es la temperatura. Esta tiene los siguientes efectos:

- a) El que aumente o disminuya la temperatura en el agua, medio en el cual los peces se desarrollan, impacta directamente sobre su metabolismo.
- b) A temperaturas más calidas en el agua el metabolismo de los peces es más acelerado, por lo que consumen más alimento generando más desechos, esto a su vez eleva las concentraciones de compuestos nitrogenados, de fósforo, de SST, de turbiedad y materia orgánica en el agua.
- c) Al bajar o subir la temperatura del agua se modifican las concentraciones de oxígeno disuelto, que es más baja a mayores temperaturas y más alta a menores temperaturas.
- d) A temperaturas más calidas en el agua, existe una mayor producción de microalgas, aumentando la presencia de sólidos suspendidos totales y color en el agua.
- e) El tener una mayor cantidad de microalgas en el sistema incrementa el pH del agua.

Lo anteriormente expuesto se ve comprobado al correlacionar los resultados que se mostraron en la Tabla 6.1 (agua de entrada) con los de la Tabla 6.2. Así, cuando se operó el sistema a una tasa de 3, coincidió con la época de invierno, lo que representa temperaturas alrededor de 20 °C, pero para la tasa de 5 se tenía la estación de primavera y además con los meses más calurosos, abril y mayo, por lo que se presentaron temperaturas promedio alrededor de 25 °C. Estas dos pruebas y épocas del año permiten visualizar claramente el efecto que tuvo la temperatura sobre los demás parámetros monitoreados, ya que se incrementó el pH, los SST, el color, los nitratos y la turbiedad, y disminuyó la concentración de oxígeno disuelto. Por el contrario cuando se pasó a la tasa de 10, que corresponde a la época de lluvias, la temperatura disminuyó más o menos un grado, permitiendo que las concentraciones de OD aumentaran en el agua y disminuyendo los valores de los parámetros que aumentaron en la tasa anterior. En la Gráfica 6.22, se puede apreciar claramente la influencia de la temperatura sobre el pH y OD en los estanques que se monitorearon.



Gráfica 6.22 Parámetros monitoreados en los estanques

Es conveniente tomar en cuenta que durante los nueve meses de prueba solo se reponía el agua que se perdía por evaporación y por labores de retiro de los sólidos (sifoneo) que se depositaban en el fondo de los estanques y que no eran eliminados por el sistema de filtración. Así, el agua que se reponía más o menos mensualmente o de acuerdo a las necesidades representaba como máximo el 5% del volumen del sistema (800 litros). A esta cantidad de agua, se le deberá sumar la que se utilizó durante los dos retrolavados, que fue alrededor de 1 m³ cada uno, y que representa el 6.25% del volumen total del sistema.

En total el agua que se sustituyó en tres meses de prueba representó el 21.25% del agua del sistema. Al comparar éste con una condición normal de operación sin recirculación, donde los acuicultores cambian totalmente el agua cada mes, representa un empleo de agua del 300%, por lo que el ahorro de agua equivalente fue de un 278.75%.

A este ahorro se le deberá agregar que la calidad del agua en un sistema de recirculación por lo general siempre es buena y se mantiene dentro de los niveles aceptables, cosa que no sucede en una operación normal donde la calidad del agua se va deteriorando con el tiempo.

7. CONCLUSIONES

- El sistema de recirculación de agua de filtración en múltiples etapas propuesto, permite mantener una calidad de agua excelente de acuerdo a los criterios establecidos para el cultivo de peces.
- El incremento de la tasa de filtración, no tiene un impacto relevante en la calidad del agua del efluente, ya que los parámetros monitoreados cumplen con los criterios de calidad.
- El sistema de recirculación de agua, independientemente de la tasa de filtración, mantiene una buena calidad de agua en los estanques.
- La tasa de filtración de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ es la que proporcionó la mejor calidad de agua.
- La temperatura tiene un efecto directo sobre la calidad del agua en los estanques.
- El oxígeno disuelto en los tanques se mantiene entre 5 y 6 mg/L, así como el pH entre 6 y 7.
- Existe acumulación de fósforo en el agua.
- El tezontle probó ser un material de filtración eficiente, económico y de fácil adquisición.
- No existió una afectación sobre el desarrollo de los peces.
- En el estanque número 3 se desarrollaron cerca de 2000 guramís.
- En el estanque número 5 se presentó reproducción y crecimiento de gupis, espadas y myquis.
- El sistema de recirculación permite obtener un ahorro de agua del 278.75% en un periodo de operación de tres meses.

8. RECOMENDACIONES

- Probar tasas mayores de filtración, para determinar en que punto no se obtiene la calidad del agua establecida en los criterios.
- Probar periodos más amplios de retrolvado del filtro, para poder establecer cual puede ser el ahorro máximo de agua.

9. BIBLIOGRAFÍA

Adin, A., Rebhun, M. **High-Rate Contact Flocculation-Filtration With Cationic Polyelectrolytes**. JAWWA. February 1974.

Boyd, R.H., Ghosh, M.M. **An Investigation of the Influences of Some Physicochemical Variables on Porous-Media Filtration**. Jour AWWA. February, 1974.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). **Ciclo Tratamiento. Serie Filtración Rápida. Manual III: Teoría. Tomo III Filtración**. CEPIS, Perú, 1992.

Cleasby, J.L., Baumann, E.R.. **Selection of Sand Filtration Rates**. Jour AWWA. May, 1962.

Coordinación General de Minería. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. **Monografía Geológico-Minera del Estado de Morelos**. Editada por El Consejo de Recursos Minerales. Primera edición, México, 2000.

Coordinación General de Minería, Secretaría de Economía. **Panorama minero del Estado de Morelos**. México, agosto 2010.

Desjardins, Raymond. **Le traitement des eaux**. 2^e édition revue et améliorée. Editions de l'École Polytechnique de Montréal. 1997.

Fair, G.M., Geyer, J.C., Okun, D.A. **Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales**. LIMUSA. 1984

Ginn, T.M., Amirtharajah, A., Karr P.R. **Effects of Particle Detachment in Granular-Media filtration**. JAWWA. February, 1992.

Herzig, J.P., LeClerc, D.M., Le Goff, P. **Flow of suspensions Through Porous Media-Applications to Deep Filtration**. Ind Eng Chem. 62:5:8 (May 1970).

La Mer, V.K., Healy T. **Adsorption-Floculación Reactions of Macromolecules at the Solid-Liquid Interface**. Rev. Pure & Applied Chemistry, 13:3 (1963).

Michel B. Timmons, James M. Eg, Fred W. Wheaton, Steven T Summerfelt, Brian J. Vinci, **Sistemas de recirculación para la acuicultura**; Editado e impreso por Fundación Chile, Chile 2002.

Moran, M.C., Moran, D.C., Cushing, R.S., Lawler D.F. **Particle Behavior in Deep-Bed Filtration: Part 2 - Particle Detachment.** Jour AWWA. December, 1993.

O'Melia, C.R., Stumm, W. **Theory of Water Filtration.** Jour AWWA, 59:11:1393 (Nov 1967).

Organización Panamericana de la Salud /CEPIS. **Guía para diseño de sistemas de tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas.** 06.174 UNATSABAR. Lima, Perú, 2005

Stumm, W., Morgan, J. **Chemical Aspects of Coagulation.** Jour AWWA 54:8;971: (Aug 1962).

<http://www.materialesdeconstruccion.com.mx/materiales-tezontle.php>

(Consulta 19/07/2011)

<http://www.panoramaacuicola.com>

(Consulta 20/07/2011)

http://tmyrtrituciones.com/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=61

(Consulta 18/07/2011)