



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Especialidad en Ingeniería de Invernaderos

Tratamiento de aguas residuales en sistemas acuícolas, primera fase: sedimentación.

## TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Especialista en Invernaderos

**Presenta:**

Francisco Godínez Morales

**Dirigido por:**

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa

### SINODALES

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa  
Presidente


Dr. Enrique Rico García  
Secretario


Dra. Rosalía Virginia Ocampo Velázquez  
Vocal

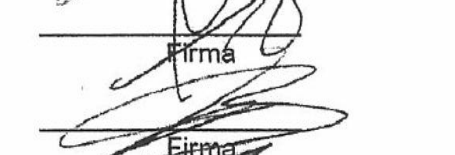
M. en C. Juan Fernando García Trejo  
Suplente

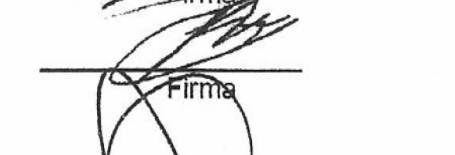
M. en C. Adán Mercado Luna  
Suplente

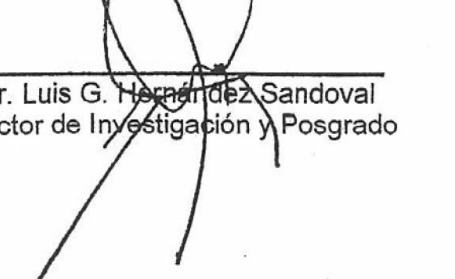
Dr. Gilberto Herrera Ruiz  
Director de la Facultad

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Dr. Luis G. Hernández Sandoval  
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Noviembre, 2010  
México

## RESUMEN

El diseño e implementación de tratamiento de aguas residuales en sistemas acuícolas, primera fase: sedimentación, en Querétaro permitirá incrementar la tecnificación de la acuicultura y maximizar la producción. El tratamiento que se desarrollo es para el de cultivo de tilapia, de primera instancia el módulo se implementó Unidad experimental de producción acuícola de la Universidad Autónoma de Querétaro, campus, Amazcala. Tratar las aguas residuales de sistemas acuícolas intensivos para la producción de tilapia (*Oreochromis* sp.) basada en sedimentación de alta tasa. Se les conoce también como sedimentación en elementos pocos profundos, en módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, ortogonales, de placas planas paralelas, de placas onduladas o de otras formas, en tanques poco profundos, con tiempos de retención menores de quince minutos. El módulo de sedimentación consta de un tambo de 160 litros, un tambo de 160 como cárcamo de bombeo, tres tinas de plástico de 40 litros, una bomba de 1/16 Hp. Se estuvo llevando un registro por 15 días en cada una, en la tina uno no se colocó ninguna especie, en la segunda y tercera se colocaron 10 peces, esto se hizo para analizar los siguientes parámetros: temperatura ambiente, Ph, temperatura de las tinas, turbiedad, oxígeno y porcentaje de sedimentación. Los resultados obtenidos se compararon con los que se enuncian en El Manual de la Calidad e Inocuidad de la Tilapia (SAGARPA, 2010), encontrándose dentro del rango el oxígeno y fuera de el Ph, temperatura. Se obtuvo 3 % de sedimentación durante ese tiempo.

**(Palabras clave:** sedimentación, tilapia, temperatura, Ph, oxígeno)

## SUMMARY

The design and implementation of waste water treatment in fishery systems, first stage: sedimentation, in Querétaro will allow to increase the automation of aquiculture and to maximize the production. The treatment that development is for the one of culture of tilapia, of first instance the module implemented experimental Unit of fishery production of the Independent University of Querétaro, campus, Amazcala. To deal with waste waters intensive fishery systems for the production of tilapia (*Oreochromis* sp.) based on sedimentation of high rate. One also knows like sedimentation in elements few deep ones them, in modules of circular tubes, squaring, hexagonal, orthogonal, of parallel flat plates, uneven plates or other forms, in little deep tanks, with smaller retention times of fifteen minutes. The sedimentation module consists of an inn of 160 liters, an inn of 160 like cárcamo of pumping, three plastic bathtubs of 40 liters, a pump of 1/16 HP. A registry by 15 days in each was taking, in bathtub one was not placed no species, in second and third 10 fish were placed, this was made to analyze the following parameters: room temperature, pH, temperature of the bathtubs, turbidity, I oxygenate and percentage of sedimentation. The obtained results were compared with which the Quality Manual of and Innocuity of the Tilapia are enunciated in (SAGARPA, 2010), being within the rank I oxygenate and outside the pH, temperature. 3% of sedimentation was obtained during that time. (Key words: sedimentation, tilapia, temperature, pH, I oxygenate)

**DEDICATORIA**

**A mi padre y madre por el apoyo de siempre,  
A mi esposa, hijos e hijas por su cariño incondicional de siempre.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Director y Coordinador de Investigación y Posgrado

Maestros de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro

## INDICE

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	viii
<b>1.- CAPTITULO</b>	
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Acuicultura mundial	1
1.1.2 Acuicultura Nacional	2
1.1.3 Acuicultura estatal	2
1.2 Justificación	2
1.3 Descripción del problema	4
1.4 Objetivos e Hipótesis	6
<b>2.- CAPITULO</b>	
2.1 Generalidades de la sedimentación. Tipos de sedimentación.	7
2.1.1 Sedimentación de partículas granulares	8
2.1.2 Sedimentación difusa de partículas floculadas	8
2.1.3 Sedimentación frenada de partículas floculadas	9
2.1.4 Sedimentación tipo 1	9
2.1.5 Sedimentación tipo 2	9
2.2 Comportamiento de un tanque de sedimentación	9
2.3 Sedimentación de alta tasa	10
2.3.1 Sedimentación de alta tasa o laminar, sus generalidades	10
2.3.2 Clasificación	14
2.4 Teoría de sedimentación laminar	21
2.5 Ecuación General	22
2.6 Ecuaciones específicas	25
2.7. Factores que influyen en la eficiencia de los sedimentadores laminares.	33
2.7.1 Carga superficial.	33
2.7.2 Características del agua.	34
2.7.3 Características del Sedimentador.	36
2.8 Características de los módulos.	36
2.8.1 Tipo de modulo.	36
2.8.2 Longitud del modulo	37
2.8.3 Influencia de corrientes secundarias.	42

<b>3. CAPITULO</b>	
3.1 Ubicación del proyecto	44
3.2 Diseño de sedimentadores de placas inclinadas.	45
3.3 Procedimiento	51
3.3.1 Parámetros Físico-Químicos	51
3.3.2 Tipos de Aireación	52
3.3.3 Temperatura	53
3.3.4. Dureza.	53
3.3.5. pH.	54
3.3.6 Amonio.	54
3.3.7. Nitritos.	56
3.3.8. Alcalinidad.	56
3.3.9 Dióxido de Carbono.	56
3.3.10 Gases Tóxicos.	56
3.3.11 Sólidos en Suspensión.	57
3.3.12 Fosfatos.	57
3.3.13 Cloruros y Sulfatos.	57
3.4 Sistemas Hídricos	57
3.4.1 Existen procesos naturales que dañan la calidad del agua	57
3.4.2 Calidad del Agua.	58
3.5 Puntos de Muestreo.	61
3.5.1 El programa de muestreo de fuentes contaminantes identificadas	62
3.5.2 Fuentes Externas de Contaminación.	62
3.5.3 Medidas Correctivas	63
3.5.4 Fuentes Internas de Contaminación.	63
3.5.5. Medidas Correctivas:	63
3.5.6 Monitoreo de la Calidad del Agua.	64
3.5.7 Metodología de Muestreo.	64
3.5.8 Equipos muestreadores comerciales.	65
3.5.9 Para análisis físicos, químicos y radiactivos, de acuerdo a parámetros a determinar.	66
3.5.10 En pozo profundo.	67
<b>4. CAPITULO</b>	70
4.1 Propuesta de diseño de prototipos	70
4.2 Prototipo definitivo para este caso	74
Referencias	76

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Variables críticas de sedimentadores.	32
Tabla 3.1. Especificaciones de calidad de agua para cumplir con las buenas prácticas acuícolas del cultivo del camarón (SENASICA, 2003).	48
Tabla 3.2. Especificaciones de calidad de agua para cumplir con las buenas prácticas acuícolas del cultivo de tilapia (SENASICA, 2008)	48
Tabla 3.3. Resumen de parámetros a muestrear en agua residual y sus características en toma de muestras y preservación para la NOM-ECOL-001-1996.	50
Tabla 3.4. Efecto del oxígeno en los peces.	51
Tabla 3.5. Reacción del amonio en los peces	55
Tabla 3.6. Parámetros Físico-Químicos del Agua para el cultivo de Tilapia.	59
Tabla 3.7. Especificaciones Microbiológicas del Agua Potable.	60
Tabla 3.8. Especificaciones Química del Agua Potable.	60
Tabla 3.9. Especificaciones Físicas y Organolépticas del Agua Potable.	61
Tabla 3.10. Constituyentes Radioactivos en el Agua Potable	61



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1.1. Esquema de flujos en un SRA a escala de laboratorio (Coll Morales, 1991).	3
Figura 1.2. Esquema de un SRA sencillo. (Brown, 2000).	4
Figura 2.1. Un tanque de flujo continuo.	7
Figura 2.2. Sedimentación de partículas granulares.	8
Figura 2.3. Sedimentación difusa.	8
Figura 2.4. Módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales y ortogonales.	10
Figura 2.5. Incremento de la capacidad de sedimentación al aumentar el área superficial.	12
Figura 2.6. Decantador de pisos paralelos.	12
Figura 2.7. Decantador de bandejas propuesto por Camp.	13
Figura 2.8. Sedimentadores laminares	14
Figura 2.9. Sedimentadores laminares tubulares.	15
Figura 2.10. Módulos de placas paralelas planas.	16
Figura 2.11. Módulos de placas paralelas corrugadas.	16
Figura 2.12. Módulos de placas corrugadas.	16
Figura 2.13. Instalación provisional de módulos de polietileno.	17
Figura 2.14. Módulos plásticos inclinados a 60 grados.	18
Figura 2.15. Sedimentador laminar de flujo horizontal.	19
Figura 2.16. Primer diseño de Sedimentador laminar de flujo ascendente.	20
Figura 2.17. Sedimentador laminar de flujo ascendente.	20
Figura 2.18. Sedimentador laminar de flujo descendente (separador Lamella).	21
Figura 2.19. Sistema de coordenadas.	23
Figura 2.20. Sedimentador laminar de placas planas de longitud "d".	26
Figura 2.21. Trayectoria límite de una partícula para placas horizontales.	29
Figura 2.22. Corte longitudinal por el eje del tubo.	30
Figura 2.23. Comparación entre el comportamiento de un sedimentador convencional con un tubular.	33
Figura 2.24. La influencia de la temperatura del agua de acuerdo en la eficiencia del sedientador laminar.	35
Figura 2.25. Variación de la eficiencia de sedimentadores de placas con el tiempo de funcionamiento.	36
Figura 2.26. Estudio comparativo de sedimentadores.	37
Figura 2.27. Familia de curvas que indican la velocidad de caída de la partícula crítica.	38
Figura 2.28. Eficiencia de los sedimentadores tubulares.	39

Figura 2.29. Variación de eficiencia en función de la longitud relativa de las placas paralelas.	40
Figura 2.30. Influencia de la inclinación en el rendimiento.	41
Figura 2.31. Decantador PULSATOR laminar.	43
Figura 3.1. Ubicación geográfica del proyecto.	44
Figura 3.2. Diseño propuesto para el primer sedimentador de alta tasa.	46
Figura 4.1. Construcción del primer prototipo con capacidad de 10 litros.	70
Figura 4.2. Agua con alga producida por la luz solar.	71
Figura 4.3. Filtro de antracita para quitar carbón y eliminar sabor y olor.	71
Figura 4.4. Vista interior del sedimentador, se puede observar que no hay penetración de luz.	72
Figura 4.5. Fondo cónico con un ángulo de inclinación de 60 °.	73
Figura 4.6. Distribución placas de policarbonato y tubo de captación de agua sedimentada.	73
Figura 4.7. Diseño definitivo de sedimentador con capacidad de 160 litros.	74
Figura 4.8. Salida de las tinajas.	75
Figura 4.9. Entrada para la distribución del flujo de manera uniforme.	75

# CAPITULO 1

## 1.1. Antecedentes.

La definición de acuicultura ha sido muy discutida y puede concebirse de acuerdo con su etimología como el “cultivo de especies acuáticas”, sin embargo, esta definición se ha complementado por investigadores quienes la han descrito como sigue: “cría de especies acuáticas útiles, controlando de alguna forma los organismos en cuestión con su ambiente” (Cifuentes *et al*, 1990); así mismo, se han formulado una serie de definiciones que giran en un mismo contexto orientado a la producción y cuidado de especies acuáticas. Dichas definiciones resultan generales y vagas, por eso los estudiosos la han ampliado para llegar a un acuerdo, siendo una de las más aceptadas la siguiente: “La acuicultura es una biotécnica cuyos métodos y técnicas abarcan el manejo y control total o parcial de los cuerpos de agua y de sus recursos bióticos, con el objetivo de lograr su aprovechamiento socioeconómico, o bien por interés de tipo biológico”, (Cifuentes *et al*, 1997).

### 1.1.1 Acuicultura mundial.

De acuerdo con datos de la FAO (2009) la Acuicultura continua creciendo a un ritmo acelerado, mayor que otros sectores dedicados a la fabricación de alimentos de origen animal.

La producción total de la pesca mundial alcanzó un nuevo máximo de 143, 6 millones de toneladas en el 2006 (92 millones de toneladas de la pesca de captura, 51.7 millones de la acuicultura) de las cuales 110,4 millones fueron empleadas para consumo humano mientras que las restantes se destinaron al uso no alimentario, por ejemplo la alimentación de ganado y la fabricación de harinas de pescado.

Es importante mencionar que el incremento tuvo lugar en lo que se refiere a la producción para consumo humano aportando el 47% todo el pescado

destinado para este fin. No así en la pesca de captura ya que esta se estabilizó y no se espera que aumenten sus niveles actuales.

### **1.1.2. Acuicultura Nacional.**

En términos nacionales, tenemos una producción pesquera total de 1'616,944 Ton (2007). De la cual la actividad acuícola aporta 267,701 Ton(2007). Lo que nos deja con una participación mundial del 0.5% en términos generales (CONAPESCA, 2007).

La producción acuícola nacional se genera principalmente en 4 estados de la República, de los cuales Querétaro ocupa el lugar número 24 y se centra en cuatro productos principalmente: camarón, trucha, mojarra y ostión (INEGI, 2004).

### **1.1.3. Acuicultura estatal.**

La producción acuícola estatal se basa en cuatro especies principales: mojarra, carpa, trucha y bagre. Cosechando un total de 795 toneladas anuales (INEGI, 2004).

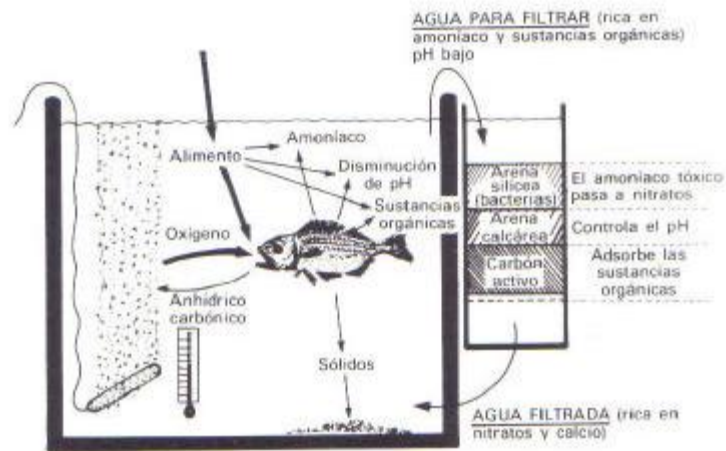
## **1.2 Justificación.**

Considerando que la acuicultura va en aumento, y por consecuencia, el consumo de agua para dicha actividad, se hace patente la necesidad de hacer eficiente el uso del recurso hidráulico para lo cual ya se tienen métodos estudiados como:

### **Sistemas de Recirculación para la Acuicultura (SRA)**

- Es la tecnología que permite el cultivo de peces a mayor intensidad. En el SRA, el ambiente es totalmente controlado, el agua circula a través del sistema, y solamente un pequeño porcentaje de agua es reemplazado diariamente. La temperatura, salinidad, pH, alcalinidad, composición química y el oxígeno son monitoreados y continuamente controlados.
- Los residuos sólidos son filtrados y removidos, se incorpora oxígeno para mantener concentraciones suficientes para la densidad de peces en cultivo, Y

por último el efluente es tratado en biofiltro para la conversión biológica del nitrógeno amoniacal a nitrato (Timmons, 2002) (Figura 1.1).



**Figura 1.1** Esquema de flujos en un SRA a escala de laboratorio (Coll Morales, 1991).

El SRA es necesario cuando:

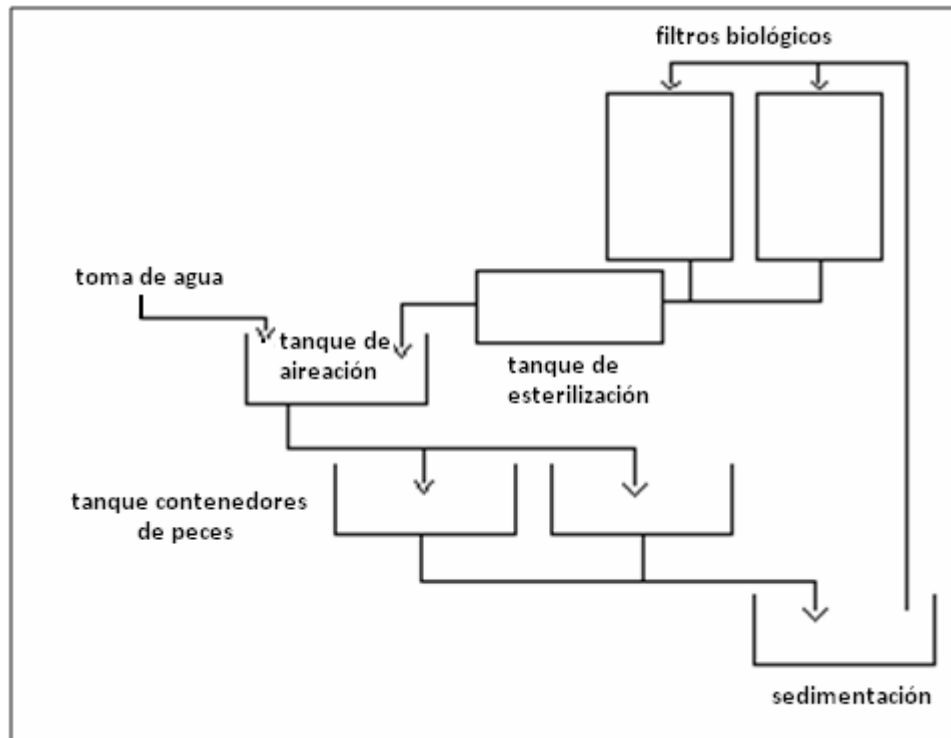
- Hay déficit de agua y aumenta la auto-contaminación.
- Cuando hay que tratar el agua (calentamiento por ejemplo) y el reciclaje representa una disminución del costo energético, es el caso de las salas de incubación y alevinaje.

Un sistema de recirculación esta conformado por los siguientes componentes: una cierta cantidad de depósitos de agua para los peces, una unidad de tratamiento del agua, bombas y tuberías para el suministro y retorno de agua. El corazón del sistema es la unidad de tratamiento de agua.

Diseñar y operar un SRA requiere de una solida comprensión de las operaciones unitarias y procesos incluidos; la falla de cualquiera de estas operaciones puede ocasionar que falle la totalidad del sistema no funcione, dando como resultado la muerte de los peces en el proceso (Timmons, 2002).

En la actualidad existen diversos diseños de SRA, por ejemplo:

- El Sistema de recirculación sencillo para cría de peces en tanques (Figura 1.2):



**Figura 1.2** Esquema de un SRA sencillo. (Brown, 2000).

### 1.3 Descripción del problema.

En México, el problema del suministro de agua está asociado al desarrollo de la planta productiva y al crecimiento vertiginoso de la población; en ambos casos, la demanda de líquido aumenta día con día y, consecuentemente, se incrementa la generación de aguas de desecho procedentes de los usos domésticos e industrial, incluido el sector acuícola y agrícola como sector de producción primaria (Quazi, 2001). La mayor parte de estas no reciben ningún tratamiento antes de ser vertidas a los cuerpos hidráulicos naturales, lo cual origina problemas de contaminación que en ocasiones han llegado a ser graves (González *et al*, 1989). La mayoría de las fuentes de abastecimiento del país son de origen subterráneo. Sin embargo, el déficit del líquido continúa a causa del aumento de la demanda por el acelerado crecimiento de la población y al desperdicio generado por esta (González *et al*, 1989; de Villiers, 2001; UN, 2003; Yuan *et al.*, 2003). La necesidad de satisfacer la demanda social y el esfuerzo enorme que debe realizarse para abastecer las ciudades principales del país, hacen indispensable el uso racional de los recursos hidráulicos, por ello se debe

reducir al mínimo, y de ser posible suprimir el desperdicio de agua potable, el cual se lleva a cabo de diversas maneras, de las que destacan las siguientes:

- Se utiliza un exceso de agua potable para transportar desechos resultantes de las actividades humanas domésticas (aproximadamente 150 l/hab/día), cuando se podría emplear solo el veinte por ciento de este valor, (Lama, 1986).
- Se usa agua potable para regar extensas áreas verdes en ciudades y zonas aledañas a la metrópolis, (Lama, 1986).
- En acuicultura se practican métodos tradicionales para producción con descargas continuas de agua y esto provoca grandes derroches innecesarios de agua que pueden ser reducidos mediante la integración de plantas de tratamiento sustentables basadas en energías renovables tal como la energía solar (Avnimelecht, 2006).
- En general, se emplea agua potable en procesos de producción que podrían funcionar con aguas residuales tratadas, González et al, (1989).

En el caso de la acuicultura, la razón principal de la recirculación de agua (reciclaje) en las granjas de peces es para ahorrar agua y energía (principalmente electricidad). Con este método se pueden criar en granja especies acuícolas como las anguilas, rodaballos, lubinas, tilapias, truchas, bagres, camarón, entre otras. El sistema de recirculación de agua es cerrado donde los peces están en tanques y el agua se cambia continuamente para garantizar las mejores condiciones físico-químicas para su desarrollo y sobrevivencia (Cnaani et al. 2000; Buentello et al. 2000; Shnel et al. 2002; Soto-Zarazúa et al. 2009; Olvera-Olvera et al. 2009; El-Sherif and El-Feky, 2009). La corriente de agua lleva el oxígeno a los peces y elimina los productos metabólicos de desecho (heces, amoníaco y CO<sub>2</sub>). Esos productos de desecho son transformados en compuestos menos perjudiciales o reducidos hasta concentraciones que no afectan a la salud ni al crecimiento de los peces (Focht et al. 1977).

Para realizar el cultivo de casi todas las especies importantes desde el punto de vista acuícola se requiere tratar agua con contenidos de: heces, amoníaco, CO<sub>2</sub> y en ocasiones, agua salada para lo cual es necesario la

construcción de una planta tratamiento para aguas residuales basada en energías renovables como: la solar, la eólica, etc.

## **1.4 Objetivos e Hipótesis**

### **Objetivo General**

Tratar las aguas residuales de sistemas acuícolas intensivos para la producción de tilapia (*Oreochromis sp.*) basada en sedimentación de alta tasa.

### **Objetivo Particular**

- Comparar la calidad de agua obtenida con la que requiere la especie de acuerdo a la literatura actual, en al menos tres parámetros básicos: Sólidos Totales Disueltos (TDS), pH y Oxígeno Disuelto (DO).
- Comparar la calidad de agua obtenida con aquella esperada para el cultivo de la especie en los parámetros Demanda Química y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO y DBO).

### **Hipótesis**

- A través de la sedimentación de alta tasa, los sólidos disueltos totales serán inferiores a aquellos requeridos por la especie.
- A través de la sedimentación de alta tasa el pH se acercará más a la neutralidad comparado con el pH de entrada.
- A la salida del sedimentador de alta tasa la concentración de oxígeno disuelto será inferior comparado con la concentración de entrada.



## CAPITULO 2

### 2.1 Generalidades de la sedimentación y tipos de sedimentación.

Un tanque de flujo continuo se puede dividir en cuatro zonas: 1) una zona de entrada, en la que el flujo entrante y la materia suspendida se dispersan a través de la sección transversal en ángulo recto al flujo; 2) una zona de sedimentación en las que las partículas en suspensión sedimentan dentro del agua sujeta a flujo; 3) una zona de fondo en la que los sólidos removidos se acumulan, y se extraen de ahí como flujo inferior, y 4) una zona de salida, en la que el flujo y las partículas en suspensión remanentes se llevan al conducto del efluente (Fair et al., 1971), (Figura 2.1).

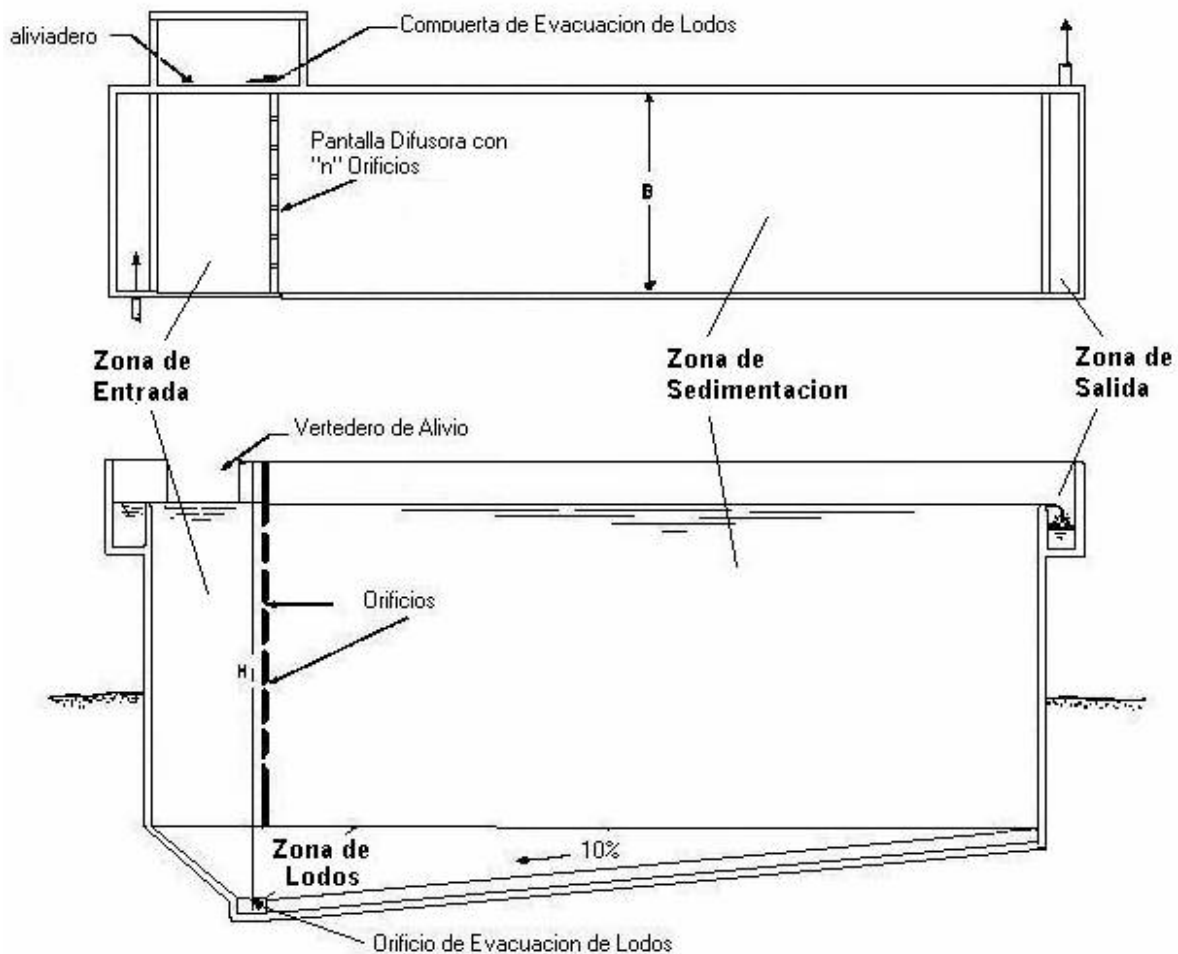
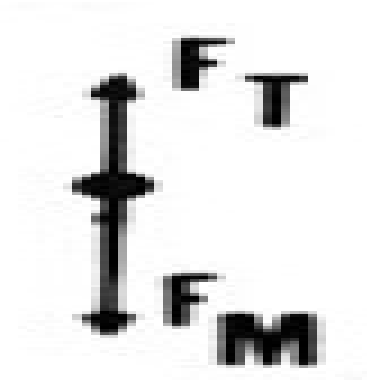


Figura 2.1 Un tanque de flujo continuo.

### 2.1.1 Sedimentación de partículas granulares.

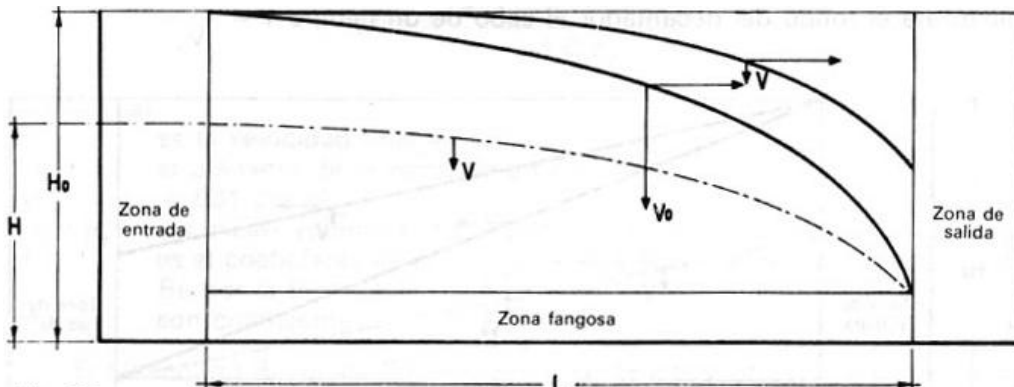
Una partícula granular suspendida en un líquido en reposo, se encuentra sometida a una fuerza  $F_M$ , debido a la gravedad, y a una fuerza resistente  $F_T$  gracias al rozamiento con el fluido, que es la resultante de las fuerzas de viscosidad y de inercia, (Figura 2.2).



**Figura 2.2** Sedimentación de partículas granulares.

### 2.1.2 Sedimentación difusa de partículas floculadas.

En un depósito las partículas se aglutinan (coalescencia), floculan y sedimentan con una velocidad creciente con una trayectoria de flujo horizontal de sedimentación curvilínea. La eficiencia de la sedimentación difusa está ligada no solamente a la carga superficial, sino también al tiempo de sedimentación, (Figura 2.3).



**Figura 2.3** Sedimentación difusa.

### **2.1.3 Sedimentación frenada de partículas floculadas.**

La sedimentación frenada es característica de los fangos activados y de las suspensiones químicas cuando su concentración es superior a 500 mg/l. Las partículas se adhieren entre si y la masa sedimenta en pistón, creándose una superficie de separación entre los flóculos y el líquido sobrenada, Degremont (1979).

La “clarificación clase 1” es la decantación de una suspensión diluida que tiene poca o nula tendencia a flocular y a la decantación de una suspensión diluida de partículas floculantes se le denomina “clarificación clase -2”, (Noyola, 1997).

### **2.1.4 Sedimentación tipo 1.**

Se refiere a la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida. Estas condiciones se dice que la sedimentación no interfiere ya que es función solamente de las propiedades del fluido y de las características de la partícula.

### **2.1.5 Sedimentación tipo 2.**

Se refiere a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas en las cuales es necesario considerar las propiedades floculentas de la suspensión y a las características de asentamiento de las partículas.

## **2.2 Comportamiento de un tanque de sedimentación.**

Para propósitos teóricos, se acostumbra a dividir el tanque de sedimentación en cuatro zonas:

La zona de entrada tiene como función suministrar una transición suave entre el flujo de entrada y el flujo uniforme permanente deseado en la zona de sedimentación.

La zona de salida provee una transición suave entre la zona de asentamiento o sedimentación y el flujo efluente.

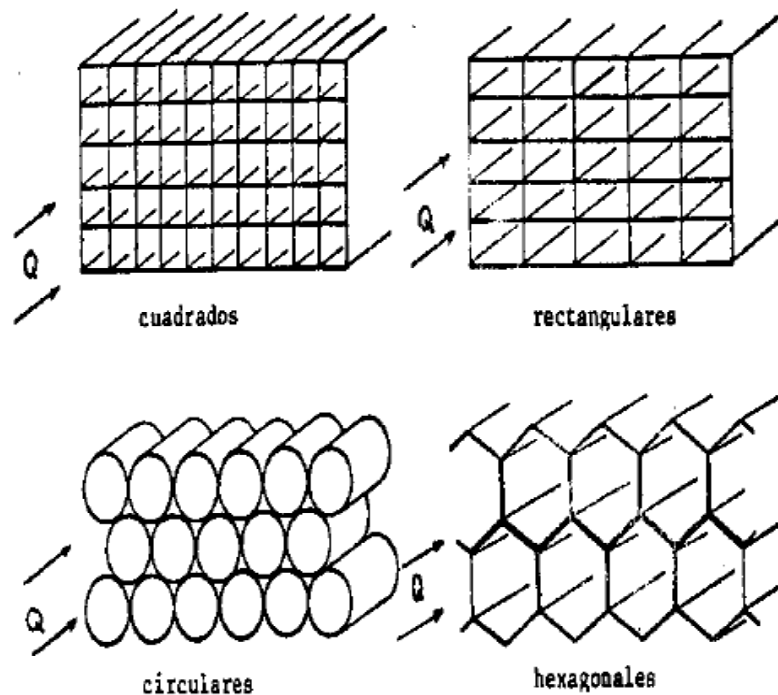
La zona de lodos tiene como función recibir el material sedimentado e impedir que interfiera con el asentamiento de partículas en la zona de

sedimentación; se supone que cada partícula que alcanza esta zona es removida efectiva y realmente de la suspensión.

La zona de sedimentación suministra el volumen de tanque necesario para el asentamiento de libre interferencia proveniente de las otras tres zonas.

### 2.3 Sedimentación de alta tasa.

A la conjunción de la sedimentación de alta tasa con los sedimentadores de poca profundidad, se les conoce también como sedimentación en elementos pocos profundos, en módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, ortogonales, de placas planas paralelas, de placas onduladas o de otras formas, en tanques poco profundos, con tiempos de retención menores de quince minutos (Romero, 1999), (Figura 2.4).



**Figura 2.4** Módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales y ortogonales.

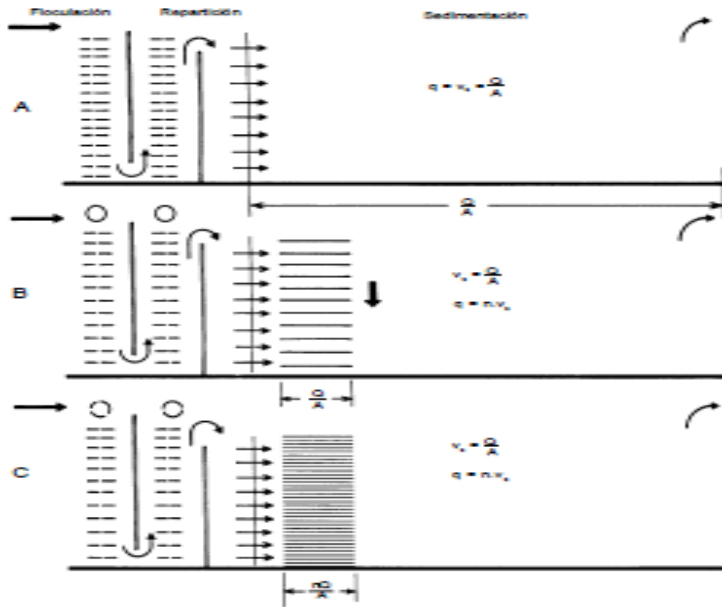
#### 2.3.1 Sedimentación de alta tasa o laminar y sus generalidades.

La característica principal de un sedimentador de alta tasa es su poca profundidad, usualmente de centímetros. En los pequeños ductos usados como

sedimentadores de alta tasa se puede desarrollar flujo laminar. La distribución de la velocidad dista mucho de ser uniforme por lo tanto las trayectorias de las partículas no son líneas rectas como el modelo ideal de Camp (Romero, 1999).

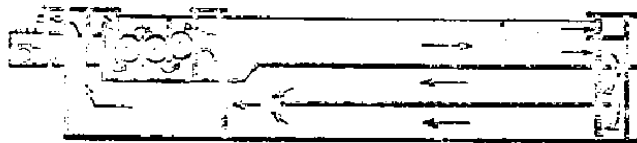
En el modelo de Hazen y Camp para tanques de sedimentación convencionales con flujo uniforme, la carga superficial del tanque representa la velocidad crítica de asentamiento de las partículas suspendidas; teóricamente, toda partícula con velocidad de asentamiento mayor o igual que la velocidad crítica será removida en el tanque. En el modelo de Yao, se generaliza la teoría de sedimentación de Camp suponiendo sedimentación de partículas discretas en tanques de alta tasa con flujo laminar y unidimensional (Romero, 1999).

Hazen en 1904 (Arboleda V, 1977). Enuncia los principios teóricos de la sedimentación laminar en la siguiente forma: “La acción del tanque sedimentador depende de su área y no de su profundidad, una subdivisión horizontal produciría una superficie doble para recibir sedimentos, en el lugar de una sencilla, y duplicaría la cantidad de trabajo. Tres de aquellas subdivisiones la triplicarían y así sucesivamente. Si el tanque pudiera ser cortado por una serie de bandejas horizontales, en un gran número de celdas de poca profundidad, el incremento de eficiencia sería muy grande”. Aseguró además que; “El problema práctico más difícil de resolver es el método de limpieza. Todo el aparato debe poderse limpiar en forma fácil y barata. Esta operación deberá hacerse con más frecuencia, por cuanto con la profundidad reducida a un pequeño valor, la cantidad de agua que pasa por un espacio dado en un tiempo dado será proporcionalmente mayor, y con ella la cantidad de lodos depositados”. En la Figura 2.5 se representa esta teoría.

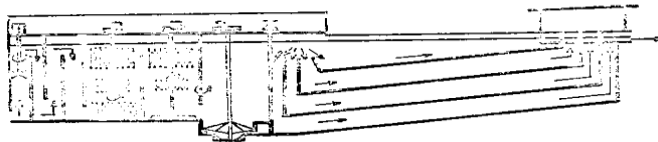


**Figura 2.5** Incremento de la capacidad de sedimentación al aumentar el área superficial.

Esta idea ha sido llevada a la practica en los últimos 70 años produciéndose los sedimentadores de piso paralelos (Balhowki, 1975) tales como los indicados en la figura 2.6, usados principalmente en Europa (Estocolmo, Paris) y Asia (Tokio).



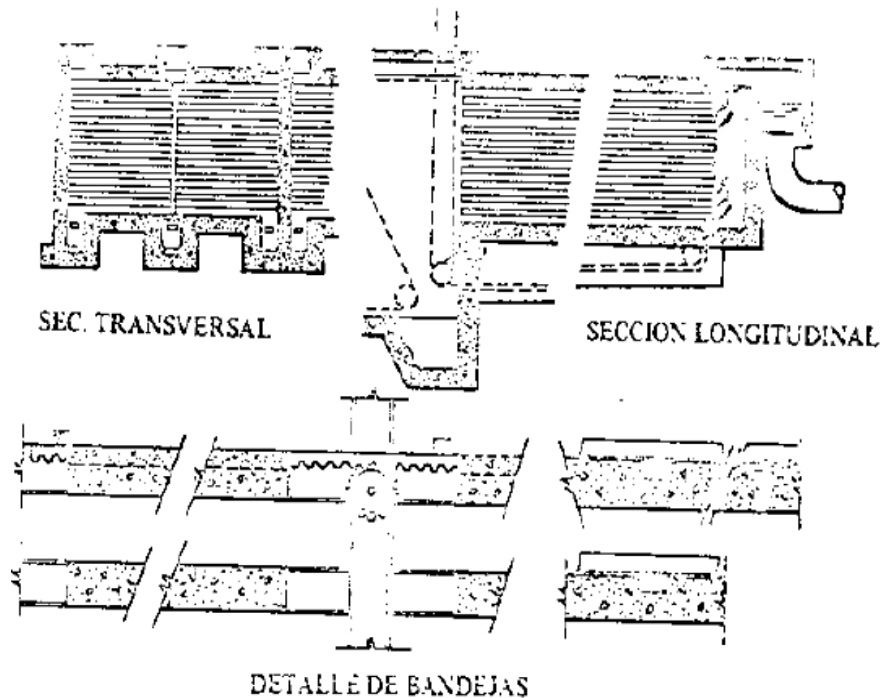
Decantador tipo "HALLOPEAU" de cuatro pisos



Decantador tipo "ASAKA" de 3 pisos

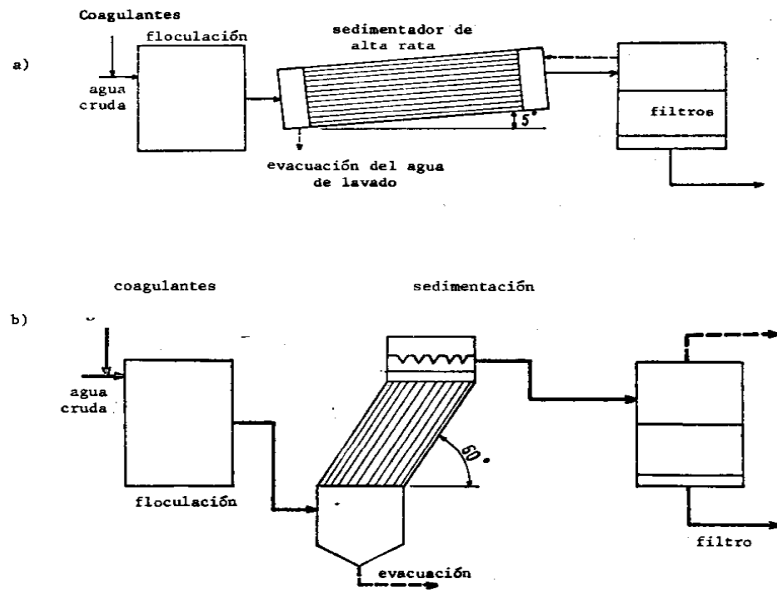
**Figura 2.6** Decantador de pisos paralelos.

En los Estados Unidos, Camp en 1946 (Blume, R., 1973) propuso el diseño de un sedimentador con bandejas espaciadas en 15 cm entre sí y con un sistema de recolección mecánica de lodos. Figura 2.7.



**Figura 2.7** Decantador de bandejas propuesto por Camp.

Yao (Brunsmann) desarrolló la bases teóricas del cálculo y de sedimentadores laminares, Culp y colaboradores (Camp, 1946) y (Centro Panamericano de Ingeniera y Ciencias del Ambiente, 1977) en los Estados Unidos facilitan las primera aplicaciones prácticas y Lamella en Europa utilizó tubos o laminas paralelas inclinadas con separaciones longitudinales de tal forma que produzcan flujo laminar, obteniendo soluciones de muy elevada eficiencia.



**Figura 2.8** Sedimentadores laminares

El término “sedimentación de alta tasa,” “sedimentación acelerada” o “sedimentación laminar”, “sedimentación de alta tasa” hace referencia a sedimentadores poco profundos, formados por una serie de tubos: circulares, cuadrados, octogonales o sucesión de laminas paralelas, ya sean planas u onduladas, entre las cuales circula el agua con flujo laminar (Figura 2.8). Con ellos se logran periodos de retención muy pequeños, iguales y generalmente menores a 15 minutos permitiendo utilizar normalmente cargas superficiales de 100 a 300  $m^3/m^2/día$  (velocidad de sedimentación 0.12 a 0.38 cm/seg) y en determinados casos, valores aún más elevados presentando de regímenes de flujo laminar, Características técnicas que determinan soluciones sumamente económicas y altamente eficientes para la clarificación tanto de agua potable como de aguas servidas.

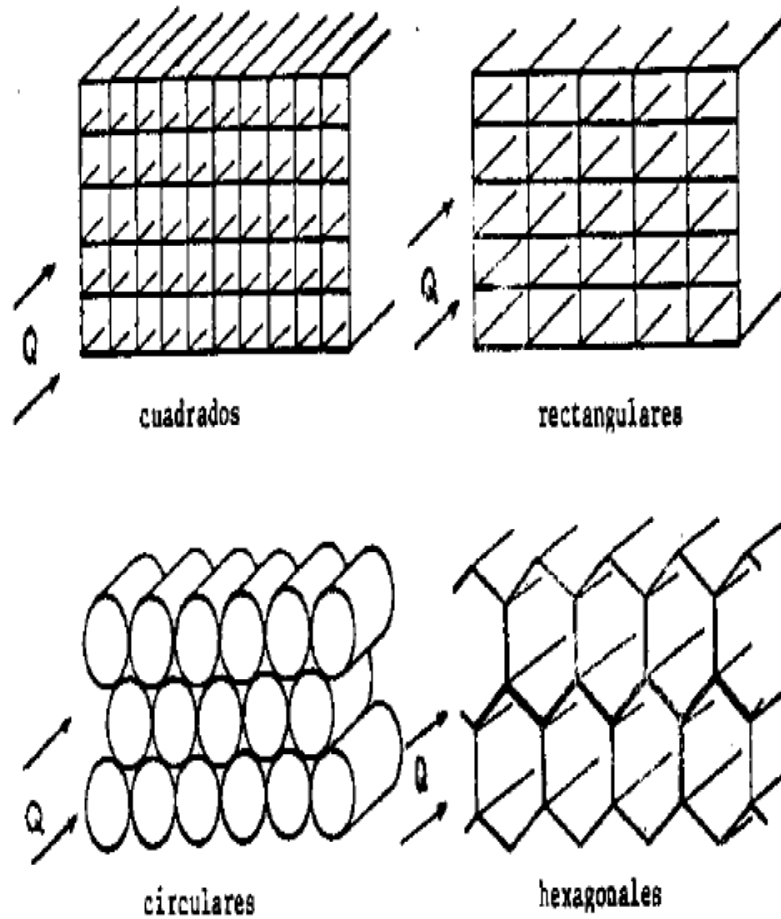
### 2.3.2 Clasificación.

Los sedimentadores laminares puede clasificarse de acuerdo con la forma del elemento utilizado en el módulo, pudiendo ser:



### A) Tubulares.

Para su elaboración se utilizan una serie de tubos generalmente de PVC. Pueden tener diferentes formas tales como: circulares, cuadrados hexagonales, ortogonales Como se muestran en la figura 2.9.



**Figura 2.9** Sedimentadores laminares tubulares.

### B) De placas.

Estas pueden ser paralelas planas o corrugadas como se muestra en las figuras 2.10, 2.11 respectivamente. O también agruparse en láminas corrugadas como se indica en la figura 2.12

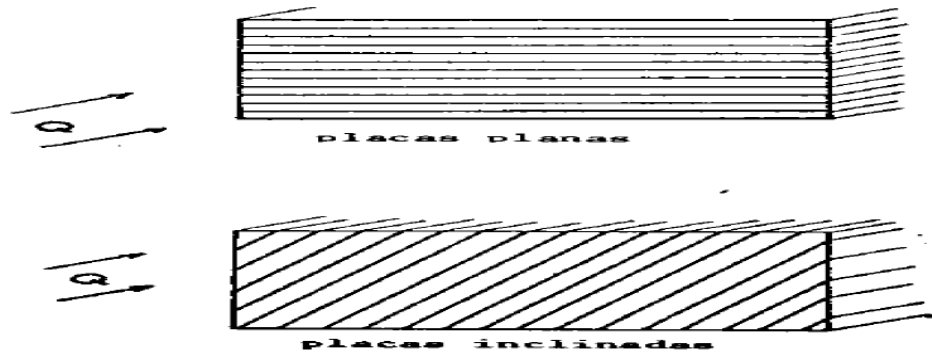


Figura 2.10 Módulos de placas paralelas planas.

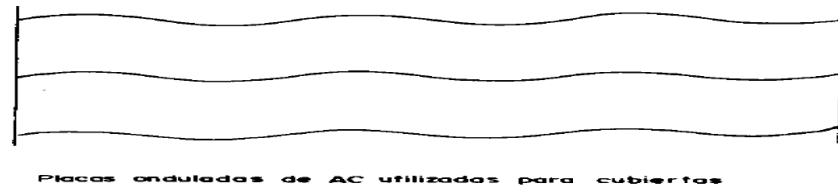


Figura 2.11 Módulos de placas paralelas corrugadas.

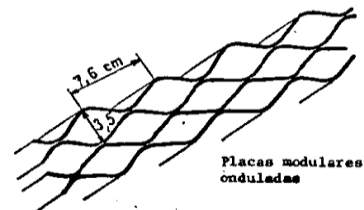
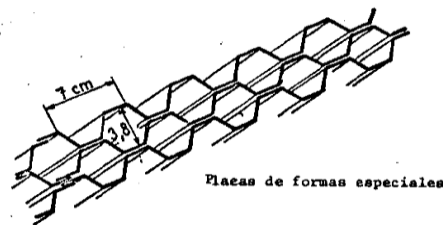
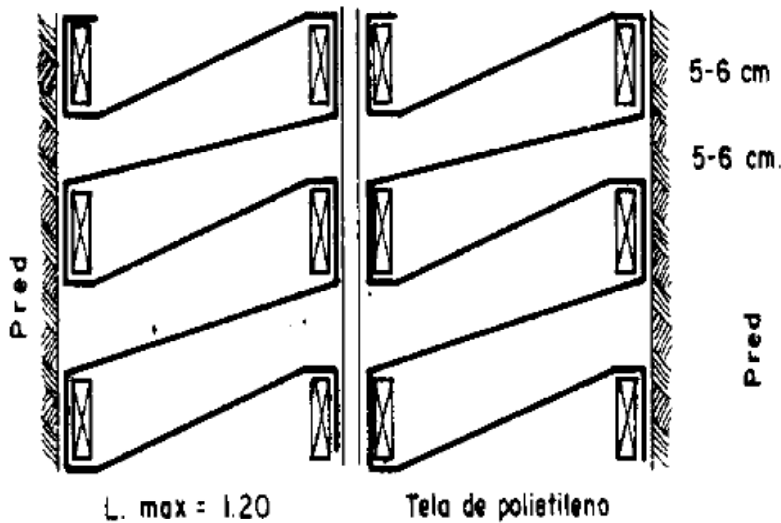


Figura 2.12 Módulos de placas corrugadas.

### C) De telas.

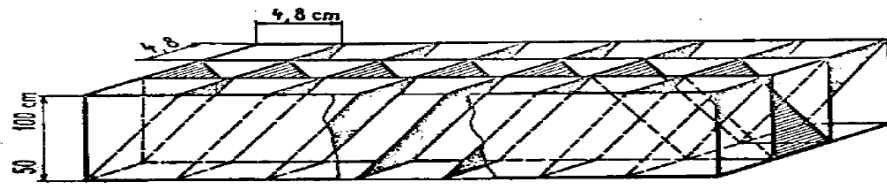
Generalmente esta solución se adopta en caso de emergencia, tales como sismos, desastres naturales, reparaciones, o en los que se desee mejorar la calidad del agua o el caudal producido durante corto tiempo. Se puede utilizar tela de polietileno, sujeta en la forma indicada en la Figura 2.13



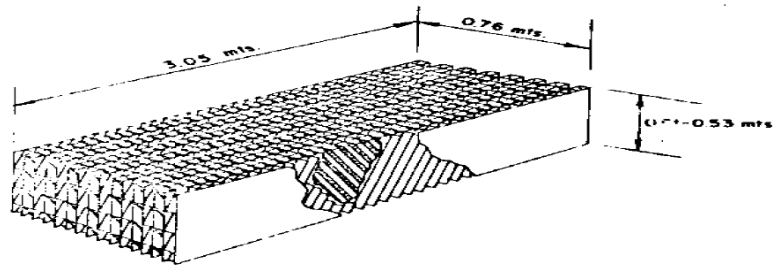
**Figura 2.13** Instalación provisional de módulos de polietileno.

### D) De módulos especiales.

Varios autores y firmas han desarrollado diversos módulos, tales como los indicados en la figura 2.14 patentado por Neptune-Microfloc, que consisten en celdas rectangulares de 4.8 por 4 cm inclinadas a 60° y alternando la dirección de las celdas, se obtienen módulos auto soportantes de 3.05 x 0.76 m de sección con una altura mínima de 0.53m (Culp *et al*, 1969)



Detalle de módulo



**Figura 2.14** Módulos plásticos inclinados a 60 grados.  
(Cortesía de NEPTUNE-MICROFLOC)

De acuerdo a la dirección del flujo los sedimentadores laminares pueden clasificarse en:

**I. De flujo horizontal.**

En los cuales el flujo del agua es o tiende a ser horizontal. La figura 2.15 representa un sedimentador laminar con laminas ligeramente inclinadas con un ángulo de  $5^\circ$  (de máxima eficiencia remocional). En esta solución se requiere invertir el flujo para realizar la limpieza del sedimentador, es muy sencilla en plantas comerciales o plantas de pequeña capacidad (inferior a 50 l/seg) se limita su uso por razones económicas únicamente.

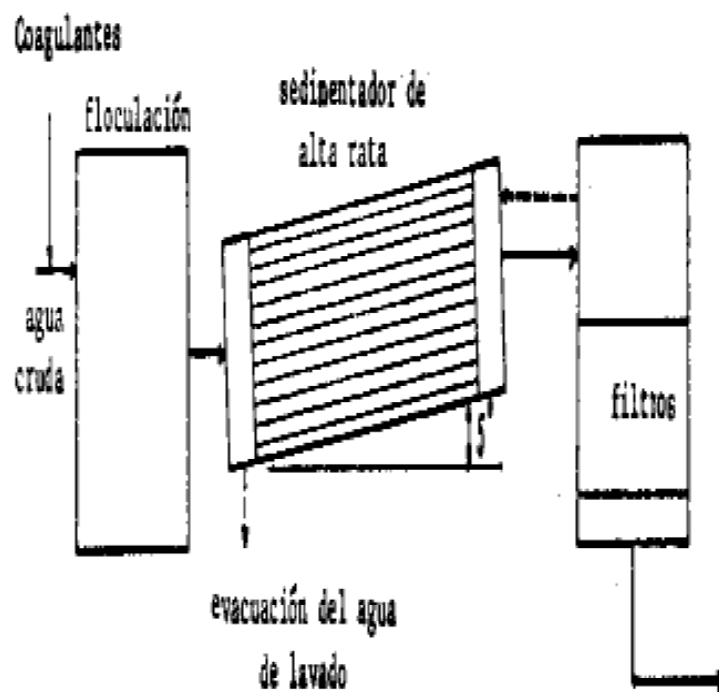
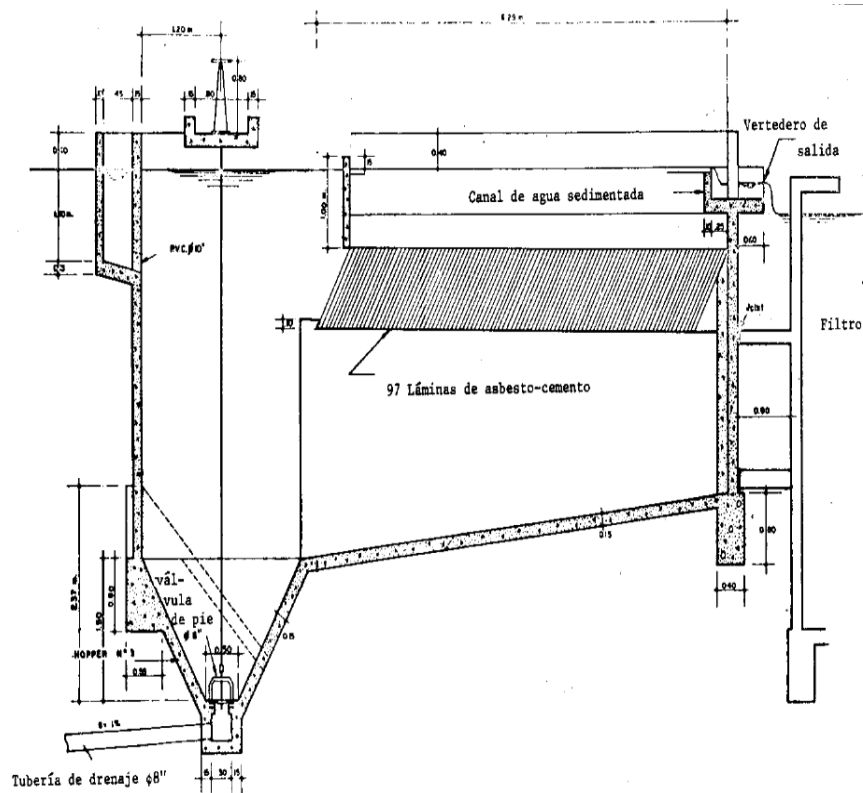


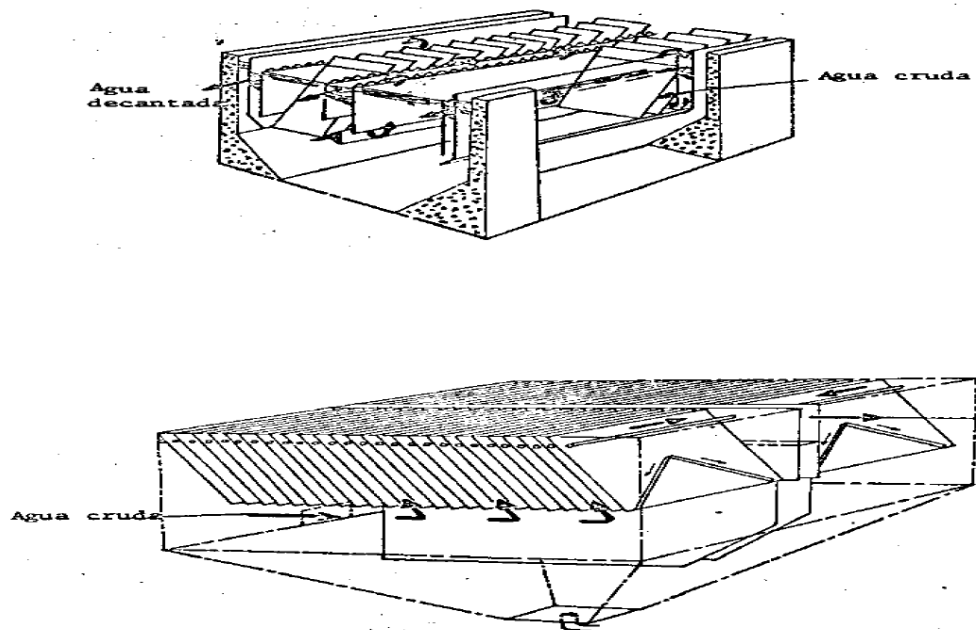
Figura 2.15 Sedimentador laminar de flujo horizontal.

## II. De flujo ascendente.

Este tipo de sedimentadores son los más usados. Generalmente en su parte inferior se presenta una zona de distribución de agua, existiendo en la parte media, módulos inclinados con ángulos de  $45^\circ$  a  $60^\circ$ . El agua se recolecta lateralmente en la parte superior. En la figura 2.16 se indican las primeras soluciones utilizadas (El-Baroude *et al*, 10) y las actuales (Balhowki, 1975) soluciones de sedimentadores laminares de flujo ascendente se pueden ver en la figura 2.17



**Figura 2.16** Primer diseño de Sedimentador laminar de flujo ascendente.

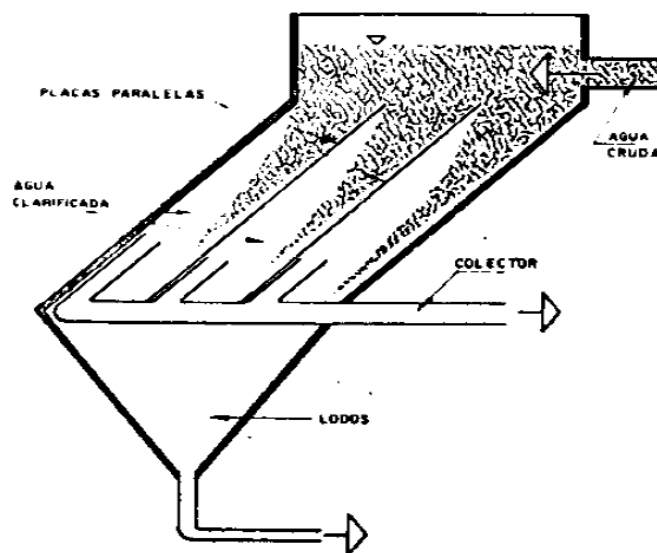


**Figura 2.17** Sedimentador laminar de flujo ascendente.

### III. De flujo descendente.

La sedimentación acelerada también se puede presentar con flujo descendente. La remoción de sólidos de estas unidades es más eficiente que las de flujo ascendente

El mayor problema radica en el sistema de recolección de agua decantada. La figura 2.18 presenta una de estas unidades, originaria de Suecia y usada en algunas partes de Europa (separador Lamella)



**Figura 2.18** Sedimentador laminar de flujo descendente (separador Lamella).

### 2.4 Teoría de sedimentación laminar.

Existen tres teorías básicas de sedimentación laminar o acelerada.

La primera propuesta por Hazen (Gomella, 1974) y posteriormente desarrollada por Camp (Blume, 1973), relaciona la remoción con el área superficial. Sostiene que la Proción de sedimento removido en función del área del sedimentador, de las características de asentamiento y de la cantidad de agua tratada por unidad de tiempo y completamente independiente de la profundidad de sedimentación. Consecuentemente, el parámetro área se incrementa aumentando el número de láminas. Esta teoría es la más utilizada en el tratamiento de agua.

La segunda teoría sostiene principalmente que solo las caras inferiores de las láminas aceleran la sedimentación al reducir sus alturas, asegurando también que las partículas al depositarse mantienen la misma separación entre sí. Esta teoría se basa en los trabajos de sedimentación estática realizados por Nakamura y Kuroda (Hazen, 1904) y transformada a sedimentación dinámica por Linzenmeier (Linzenmeier, 1925) (efectos de avalancha al determinar la influencia del crecimiento de floculo en los gradientes de velocidad producido por la diferencia de velocidad de asentamiento).

La última teoría sostiene la correlación entre condiciones ideales de flujo y de sedimentación. Afirma que la eficiencia remocional de partículas suspendidas es producida por la ocurrencia simultánea de bajos números de Reynolds y altos números de Froude.

## 2.5 Ecuación General (18).

Utilizando la primera de las teorías y suponiendo que en el sedimentador laminar las partículas suspendidas son: “discretas” y que se presenta flujo laminar unidimensional, la ecuación de movimiento es:

$$m * dv_p / dt = (\rho_p - \rho)Vg - Fr$$

Ecuación (1)

Donde:  $m$  es masa de la partícula

$v_p$  = velocidad de la partícula.

$t$  = tiempo

$\rho_p$  = densidad de la partícula.

$\rho$  = densidad del agua

$g$  = aceleración gravitacional

$V$  = volumen de la partícula

$Fr$  = fuerza de resistencia del liquido.

Por la ley de Stokes y con flujo laminar la fuerza de resistencia será:

$$Fr = 3\pi\mu d_p (v_p - v)$$

Ecuación (2)



En la cual:

$\mu$  = viscosidad dinámica del fluido

$d_p$  = diámetro de la partícula

$v$  = velocidad del fluido.

Despreciando el efecto de la inercia  $m \, dv_p/dt = 0$  y sustituyendo la ecuación (2) en la (1) se obtiene la ecuación 3,

$$(\rho_p - \rho)Vg - 3\Pi\mu d_p(v_p - v) = 0$$

Ecuación (3)

Agrupando da como resultado la ecuación 4:

$$v_p - v = (\rho_p - \rho) \frac{Vg}{3\Pi\mu} d_p$$

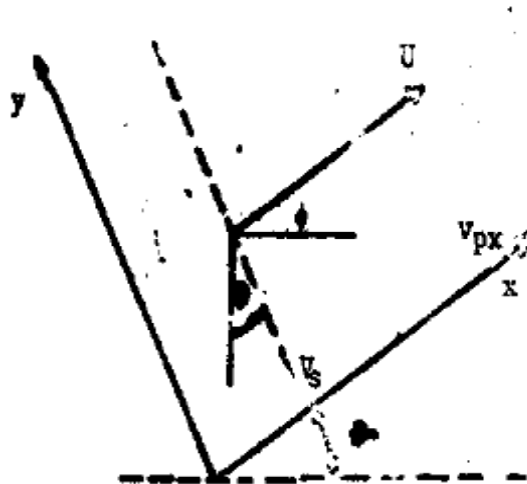
Ecuación (4)

Siendo

$$v_s = v_p - v$$

En la cual

$v_s$  = velocidad vertical de caída de partícula.



**Figura 2.19** Sistema de coordenadas.

Aceptando el sistema de coordenadas representadas en la figura 2.19, en la cual los ejes X y Y son paralelos normal a la dirección del flujo y  $\theta$  es el ángulo que hace el eje X con la horizontal, V la velocidad del flujo en el sentido X.

La ecuación vectorial (4) puede descomponerse en:

$$v_p x = \mu - v_s \text{sen} \theta$$

Ecuación (5)

$$v_p y = v_s \text{cos} \theta$$

Ecuación (6)

Siendo  $v$  = velocidad local del flujo en la dirección del eje X.

En las cuales  $v_p x$  y  $v_p y$  son las componentes de  $v_p$  en las direcciones  $x$  y  $y$  respectivamente.

Por definiciónse obtiene la ecuación 7.

$$v_p x = \frac{dx}{dt} : d_p y = \frac{ady}{dt}$$

Ecuación (7)

En las cuales “x” y “y” son las coordenadas en las direcciones X y Y respectivamente. Combinando las ecuaciones (5), (6) y (7) se obtiene la ecuación 8.

$$v_s \text{Cos} \theta dx = \mu dy - v_s d \text{Sen} \theta dy$$

Ecuación (8)

Ecuación diferencial de la trayectoria resultante de una partícula sometida a la acción de la gravedad y al movimiento del fluido:

$$\int u dy - v_s y \text{Sen} \theta + v_s d \text{Cos} \theta = C_0$$

Ecuación (9)

En la cual  $C_0$  es la constante de integración.

Dividiendo la ecuación (9) para  $v_0$  que es la velocidad media del líquido y siendo “d” la profundidad del flujo, medida normalmente a la dirección del mismo, obtenemos:

$$\int \frac{u}{v_0} dy - \frac{v_s}{v_0} y \text{Sen} \theta + \frac{v_s}{v_0} \times \text{Cos} \theta = C_1$$

Ecuación (10)

En la cual

$C_1$  = constante de integración

$$Y = \frac{y}{d}$$

$$X = \frac{x}{d}$$

Ecuación (10 a)

La ecuación (10) es la ecuación general de una partícula.

Los valores de  $\int \frac{u}{v_0} dY$  y de  $C_1$  se determinan para una trayectoria específica de una partícula en cualquier tipo de sedimentador laminar (20)

## 2.6 Ecuaciones específicas.

A continuación se deducirán las ecuaciones específicas de las trayectorias críticas de partículas en dos tipos de sedimentadores laminares: Placas planas paralelas y tubos circulares.

### A) Sedimentadores de placas planas paralelas.

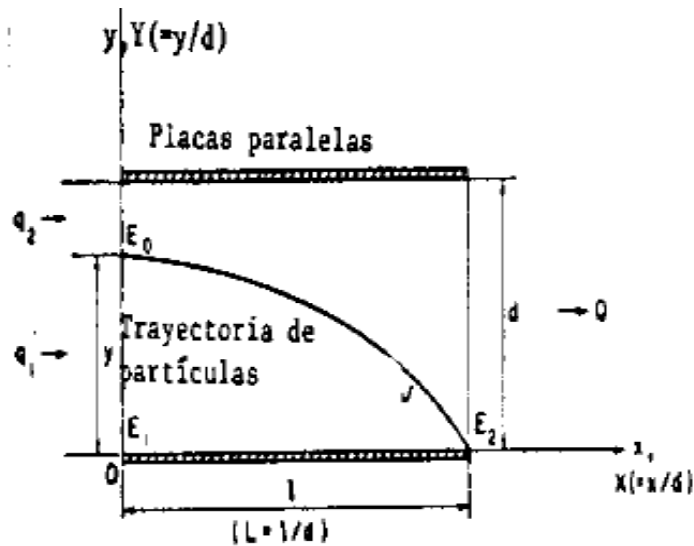
La ecuación del movimiento para flujo laminar, estacionario y uniforme con viscosidad ( $\mu$ ) constante y referida a ejes de coordenadas rectangulares, siendo "X" la dirección del flujo e "Y" La dirección normal a el, está representada a el,

$$0 = -\frac{dp}{dx} + \mu \frac{d^2 u}{dy^2}$$

Ecuación (11)

En el movimiento no existen superficies libres de tal modo que las únicas fuerzas son las de presión, pudiendo considerarse a la gravedad compensada por la sustentación (además el gradiente de presión  $\frac{dp}{dx}$  se considera como signo negativo).

La figura 2.20 representa un sedimentador laminar de placas planas de longitud "d" y separadas entre si por una distancia (d) coincidiendo el eje de las abscisas con la lamina del fondo



**Figura 2.20** Sedimentador laminar de placas planas de longitud “d”.

La dimensión en el sentido z es bastante grande comparada con “d” en tal forma que no influye en el régimen de flujo laminar.

De la ecuación (11) obtenemos

$$\frac{d^2 u}{dy^2} = \frac{1}{u} \frac{dp}{dx}$$

Ecuación (12)

Integrando esta ecuación tenemos:

$$\frac{du}{dy} = \frac{1}{u} \frac{dp}{dx} y + C1$$

Ecuación (13)

En la cual

C1 = constante de integración

$\frac{dp}{dx}$  Permanece constante por los considerandos indicados anteriormente.

Una nueva integración conduce a:

$$u = \frac{1}{2u} \frac{dp}{dx} y^2 + c_1 y + c_2$$

Ecuación (14)

Para determinar el valor de las constantes de integración  $c_1$  y  $c_2$  establecemos las condiciones de contorno:

$$u = 0, \text{ cuando } y = 0$$

Ecuación (15)

$$u = 0, \text{ cuando } y = d$$

Ecuación (16)

Sustituyendo en la ecuación (14) los valores de la ecuación (15) obtenemos:

$$C_2 = 0$$

Ecuación (17)

Con los valores de la ecuación (16) obtenemos:

$$0 = \frac{1}{2u} \frac{dp}{dx} d^2 + C_1 d \text{ y } C_1 = -\frac{1}{2u} \frac{dp}{dx} d$$

Ecuación (18)

Luego la distribución de la velocidad será según (14,17 y 18)

$$u = \frac{1}{2u} \frac{dp}{dx} y^2 = \frac{1}{2u} \frac{dp}{dx} y \cdot d$$

$$u = \frac{1}{2u} \frac{dp}{dx} (y^2 - y \cdot d)$$

Ecuación (19)

La velocidad media del sedimentador es:

$$v_0 = \frac{\int_0^d \frac{1}{2u} \frac{dp}{dx} (y^2 - y \cdot d) dy}{d}$$

Ecuación (20)

$$V_0 \frac{1}{d} \frac{dp}{dx} \left( \frac{d^3}{3} - \frac{d^2}{2} \right) = \frac{1}{12u} \frac{dp}{dx} d^2$$

Ecuación (21)

La ecuación de flujo laminar en un sedimentador de placas planas y paralelas, será igual a la ecuación (19) dividida por la (21)

$$\frac{u}{V_0} = \frac{\frac{1}{2u} \frac{dp}{dx} (y^2 - y \cdot d)}{\frac{1}{12u} \frac{dp}{dx} d^2} = 6 \left[ \frac{y}{d} - \frac{y^2}{d^2} \right]$$

Ecuación (22)

Sustituyendo en esta los valores de la ecuación (9<sub>a</sub>), se obtiene:

$$\frac{u}{V_o} = 6[y - y^2]$$

Ecuación (23)

Sustituyendo esta ecuación en la (10):

$$\int 6[y - y^2]dY - \frac{v_s}{v_o} Y \text{ Sen } \theta + \frac{v_s}{v_o} X \text{ Cos } \theta - C_1$$

$\theta$  Integrando obtenemos:

$$6 \left[ \frac{Y^2}{2} - \frac{y^2}{3} \right] - \frac{v_s}{v_o} Y \text{ Sen } \theta + \frac{v_s}{v_o} X \text{ Cos } \theta - C_1$$

Ecuación (24)

Ecuación que representa la trayectoria de una partícula en suspensión cuando existe un flujo laminar en un sedimentador de placas planas. Para obtener el valor de la constante  $C_1$  utilizamos  $X = L$ ;  $Y = 0$  que sustituidos en la ecuación (23) nos da:

$$C_1 = \frac{v_s}{v_o} L \text{ Cos } \theta$$

Ecuación (25)

Valor que al ser sustituido en (23) nos da la ecuación de la familia de curvas que pasan por los puntos externo inferior del sedimentado (B).

$$6 \left[ \frac{Y}{2} - \frac{Y^2}{3} \right] - \frac{V_s}{V_o} Y \text{ Sen } \theta + \frac{V_s}{V_o} X \text{ Cos } \theta - \frac{V_s}{V_o} L \text{ Cos } \theta = 0$$

Simplificando se obtuvo:

$$6 \left[ \frac{Y}{2} - \frac{Y^2}{3} \right] - \frac{V_s}{V_o} Y \text{ Sen } \theta + \frac{V_s}{V_o} (x - 6) \text{ Cos } \theta = 0$$

Ecuación (26)

El punto inicial de la curva será  $X=0$ ,  $H=1$ , sustituyendo estos valores en la (B) ecuación (25) se obtiene:

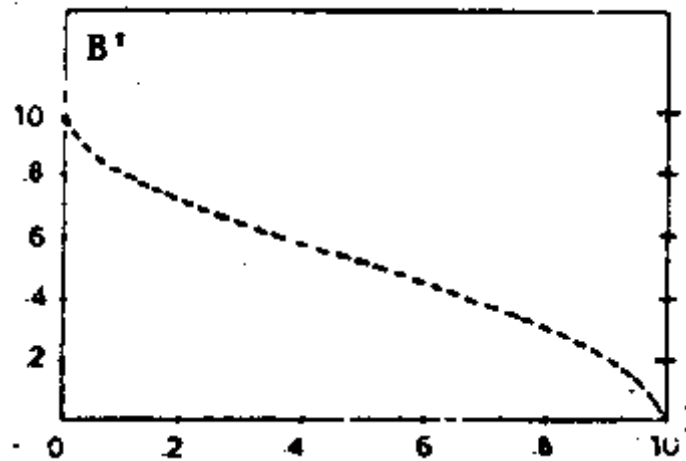
$$1 = \frac{V_s}{V_o} (\text{Sen } \theta + L \text{ Cos } \theta)$$

S=1

Ecuación (27)

Esta ecuación indica que el rendimiento del sedimentador se puede representar por un parámetro "S" como lo hemos denominado y que para sedimentadores de placas planas es igual a la unidad. Cualquier partícula que tenga un valor de "S" mayor o igual a la unidad será removida.

La trayectoria límite de una partícula para placas horizontales se representa en la Figura 2.21



**Figura 2.21** Trayectoria límite de una partícula para placas horizontales.

### **B) Sedimentadores tubulares**

En el caso de sedimentadores laminares utilizan unidades de tubos circulares, si el eje  $X$  coincide con el fondo del tubo y " $d$ " y " $L$ " con el diámetro y la longitud relativa respectivamente.

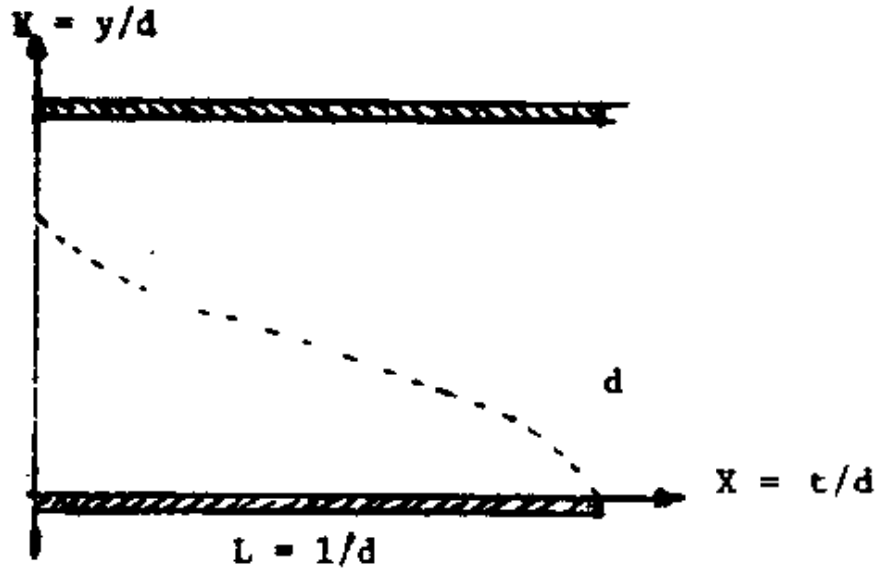


Figura 2.22 Corte longitudinal por el eje del tubo.

La figura 2.22 indica un corte longitudinal por el eje del tubo.

Para flujo laminar, siguiendo un proceso similar al indicado en el numeral anterior se obtiene con la ecuación:

$$\frac{u}{V_o} = 8(Y - Y^2) \quad \text{Ecuación (28)}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación (9) obtenemos la ecuación 28:

$$\int 8[y - y^2]dY - \frac{v_s}{v_o} Y \text{ Sen } \theta + \frac{v_s}{v_o} X \text{ Cos } \theta = C_1 \quad \text{Ecuación (29)}$$

Integrando obtenemos la ecuación 29:

$$8 \left[ \frac{Y^2}{2} - \frac{y^2}{3} \right] - \frac{v_s}{v_o} Y \text{ Sen } \theta + \frac{v_s}{v_o} X \text{ Cos } \theta = C_1 \quad \text{Ecuación (30)}$$

Ecuación que representa las trayectorias de partículas en suspensión cuando se presentan condiciones en el flujo laminar en tuberías circulares.

La constante  $C_1$  puede ser evaluada si se conocen las coordenadas de un punto cualquiera de una trayectoria.



Consideremos una familia de trayectorias tales como  $F_1, F_2, F_3$ , las cuales pasan por el punto ubicado en el fondo del tubo cuyas coordenadas son:

$$X = L \quad Y = 0$$

Ecuación (31)

En la cual  $L$  es la longitud relativa del sedimentador siendo igual a  $l/d$  por lo cual  $C_1$  será:

$$C_1 \frac{v_s}{v_o} L \cos \theta$$

Ecuación (32)

Sustituyendo en la ecuación (28) y reordenando, se obtiene:

$$8 \left[ \frac{Y^2}{2} - \frac{y^2}{3} \right] - \frac{v_s}{v_o} Y \operatorname{Sen} \theta + \frac{v_s}{v_o} (X - L) \operatorname{Cos} \theta = 0$$

Ecuación (33)

Ecuación que representa en una trayectoria específica, denominada trayectoria límite, cuyo significado físico constituye la velocidad crítica de sedimentación ( $V_{sc}$ ). Cualquier partícula suspendida con una velocidad igual o mayor a esta será removida por el sedimentador. Para el punto B' correspondiente a la carga superior del inicio del sedimentador las coordenadas son:

$$X = 0 \quad Y = 1$$

Valores que sustituidos en la ecuación (31) dan el siguiente resultado:

$$8 \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{3} \right] - \frac{v_s}{v_o} \operatorname{Sen} \theta - v_s L \operatorname{Cos} \theta = 0$$

$$\frac{v_s}{v_o} (\operatorname{Sen} \theta + L \operatorname{Cos} \theta) = \frac{4}{3} = 1.33$$

Ecuación (34)

La cual indica el rendimiento de un sedimentador de tubos, siendo el valor:

$$S = 1.33$$

### C) Otros tipos de sedimentadores

En forma similar se deducen las ecuaciones para:  $\zeta$

Sedimentadores abiertos:

$$\frac{\mu}{v_o} = \frac{3}{2} [2V - Y^2], y$$

Ecuación (35)

$$S = \frac{v_s}{v_o} (\text{Sen } \theta \times L \text{ Cos } \theta) = 1$$

Ecuación (36)

$$\frac{\mu}{v_o} = \frac{-\frac{1}{8} - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{m^3 \pi^3} (\text{Cos } m\pi - 1) \text{Sen } \frac{m\pi}{2} (\text{Cosh } m\pi Y - \frac{\text{Cosh } m\pi - 1}{\text{Senh } m\pi} \text{Sen } m\pi Y)}{-\frac{1}{12} + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{m^5 \pi^5} (\text{Cos } m\pi - 1)^2 \left[ \text{Senh } m\pi - \frac{(\text{Cosh } m\pi - 1)^2}{\text{Senh } m\pi} \right]}$$

Ecuación (37)

$$S = \frac{v_s}{v_o} (\text{Sen } \theta + L \text{ Cos } \theta) = \frac{11}{8}$$

Ecuación (38)

La tabla siguiente resume los valores de “S” para los diversos tipos sedimentadores laminares.

**Tabla 2.1** Valores críticas de sedimentadores

Tipo	Valor de s
Flujo uniforme	1
Sedimentador abierto de profundidad muy pequeño	1
Placas paralelas	1
Tubos circulares	1.33
Tubos cuadrados	1.36
Otras formas tubulares	1.33-1.42 (*)

## 2.7. Factores que influyen en la eficiencia de los sedimentadores laminares.

### 2.7.1 Carga superficial.

En el diseño de sedimentadores laminares se considerará como un parámetro importante la carga por unidad de superficie, que representa la velocidad critica de sedimentación de un partícula.

Teóricamente cualquier partícula con velocidad igual o mayor a la critica será automáticamente removida. Por lo que cualquier partícula con un valor "S" de 1 o más será totalmente removida en sedimentador de placas planas.

La ecuación general de la velocidad de sedimentación esta dada por:

$$v_s = \frac{S \cdot v_o}{\text{Sen}\theta + L \text{Cos}\theta}$$

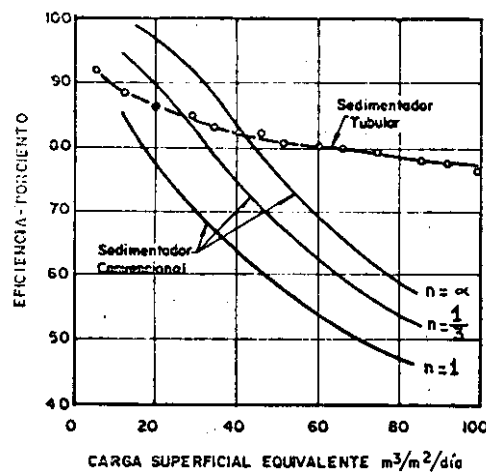
Ecuación (39)

Siendo  $v_s$  la velocidad en cm/seg y expresando la carga superficial en  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ , se obtiene:

$$q = \frac{864 S \cdot v_o}{\text{Sen}\theta + L \text{Cos}\theta}$$

Ecuación (40)

En la sedimentación laminar, la eficiencia decrece a medida que la carga superficial en las celdas aumenta. Usando la teoría de Hazen, Yao compara las curvas de comportamiento obtenidas según decía teoría en sedimentadores horizontales, y las de los decantadores tubulares. (Figura 2.23).



**Figura 2.23** Comparación entre el comportamiento de un sedimentador convencional con un tubular.

En ella se ve que para cargas superficiales de  $40 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$  la sedimentación horizontal puede ser tan eficiente la acelerada. En cambio, para cargas mayores la sedimentación con alta velocidad es siempre más eficiente que la convencional. Se puede observar también que los decantadores laminares pueden soportar mejor las sobrecargas teniendo con menos pérdida a deficiencia de los otros. Las cargas normales fluctúan entre  $60$  a  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ , con valores medios de  $180 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ . Se sugiere la utilización de sedimentadores piloto con un mínimo ensayos de velocidad de asentamiento para fijar las cargas superficiales de diseño de estas unidades ( $V_{sc}$ )

### **2.7.2 Características del agua.**

Entre las características del agua que más influencia tienen de un sedimentador laminar cabe mencionar las siguientes:

#### **A. Calidad del agua (turbiedad y color)**

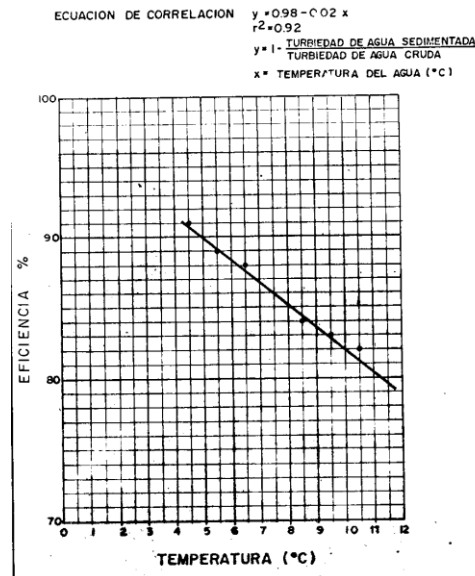
Los resultados de la evolución de la planta de tratamiento de agua de Cuenca, Ecuador, demuestran que la eficiencia de un sedimentador laminar es directamente proporcional a la turbiedad y color del agua cruda. Conservándose constante la carga superficial ( $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ ) se obtuvieron eficiencias del 88.9 con turbiedades de agua cruda comprendidas entre un 5 y 27 UJ; sin embargo, entre 100 y 1000 UJ las deficiencias son mayores a 99% y con una turbiedad máxima de 1500UJ, se obtuvo una eficiencia de 99.99%.

La eficiencia remocional del color es menor, obteniéndose un 67.7 y 78.7% para valores de color comprendidos entre 8 a 15 UC, 24 y 52 UC respectivamente.

#### **B. Temperatura del agua.**

La influencia de la temperatura del agua de acuerdo a la evaluación de la planta de agua de Cochabamba, Bolivia, parece ser mayor a la usualmente considerada. (Figura 2.24)

Con cargas constantes ( $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ ) y una buena calidad de agua (turbiedad media de agua cruda de 9 UJ) se obtuvieron eficiencias de 91% para una temperatura de  $4^\circ\text{C}$ , disminuyendo a 80% para  $11^\circ\text{C}$ .



**Figura 2.24** La influencia de la temperatura del agua de acuerdo en la eficiencia del sedimentador laminar.

### C. Influencia de la coagulación.

Sin lugar a duda la operación de coagulación – floculación es el factor que mayor influencia tiene en el rendimiento y la operación de los sedimentadores laminares tanto en lo referente a la remoción de turbiedad como en la calidad misma del agua, puesto que puede regularse la concentración y el volumen del floculo, variando los criterios de diseño y las practicas de mezcla y coagulación, especialmente el valor de  $Gt$ , para obtener diferentes tamaños de floculo con distintas concentraciones.

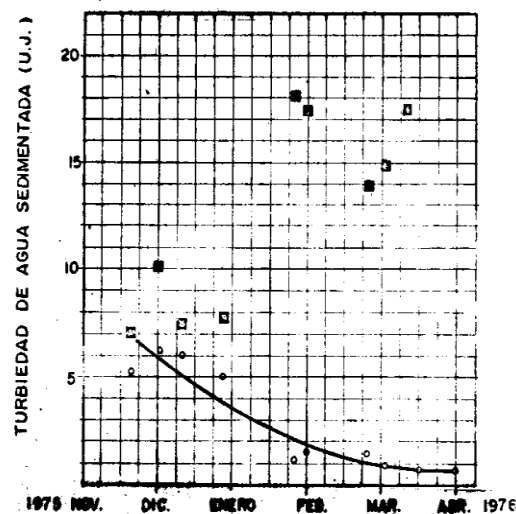
Se comprobó en la evolución de la planta de tratamiento de agua de Cuenca que un floculo grande y esponjoso se sedimenta con dificultad disminuyendo considerablemente el rendimiento del sedimentador, en cambio un floculo pequeño y compacto, producto de altos valores de  $G$ , en floculación sedimenta con mayor facilidad. Se logra un rendimiento mayor al usar polímeros, puesto que permite incrementar el peso del floculo.

### 2.7.3 Características del Sedimentador.

Cabe mencionarse como más importantes las siguientes:

#### Tiempo de operación del sedimentador.

Contrariamente a lo establecido, la eficiencia de un sedimentador laminar mejoró con el tiempo de funcionamiento. Los ensayos realizados en Prudentopolis, Brasil, demuestran que los sedimentadores presentaron eficiencias iniciales de 60% (turbiedades de 6 UJ), incrementando el lapso hasta valores de 95% (turbiedades de 1 UJ), en que permanecía con un valor asintótico (Figura 2.25).



**Figura 2.25** Variación de la eficiencia de sedimentadores de placas con el tiempo de funcionamiento.

## 2.8 Características de los módulos.

### 2.8.1 Tipo de modulo.

Como se ha indicado anteriormente cada de sedimentador presenta una velocidad crítica de sedimentación definida por el parámetro:

$$S = \frac{v_s(\text{Sen } \theta + L \text{ Cos } \theta)}{v_o}$$

Ecuación (41)

Ensayos realizados en Cuenca, Ecuador en plantas piloto produjeron los resultados que se indican en la figura 2.26, datos que pueden ser considerados como relativos y ser usados para fines comparativos exclusivamente, pero que demuestran la validez de la teoría expuesta.

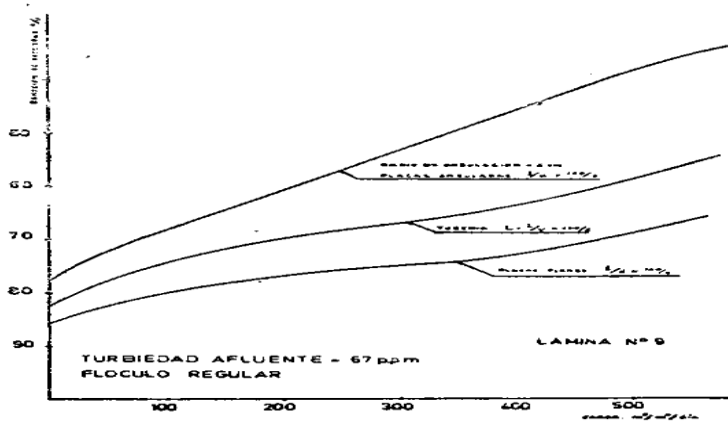


Figura 2.26 Estudio comparativo de sedimentadores.

### 2.8.2 Longitud del modulo

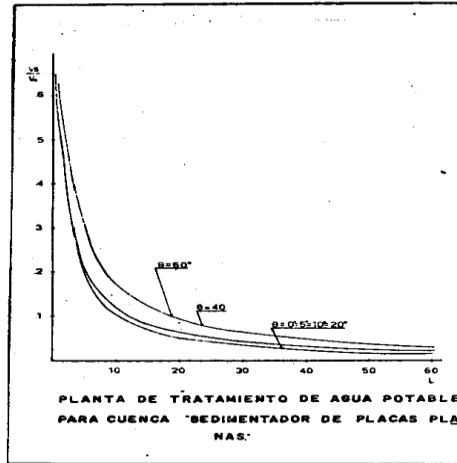
La partícula crítica tendrá una velocidad de caída, expresada por:

$$\frac{v_s}{v_o} = \frac{S}{-Sen \theta + L Cos \theta}$$

Ecuación (42)

Graficando  $\frac{v_s}{v_o}$  y  $L$  para diferentes inclinaciones se obtiene la familia de curvas

indicadas en la Figura 2.27



**Figura 2.27** Familia de curvas que indican la velocidad de caída de la partícula crítica.

De la ecuación (40), podemos obtener el valor de la relación de la longitud ideal de sedimentación con flujo laminar.

$$L = \frac{1}{\cos\theta} (864 S v_o - \text{Sen } \theta)$$

Ecuación (43)

Imponiéndose la separación entre placas se puede obtener la longitud real de sedimentación  $l = Ld$

Ecuación (44)

En esta longitud de sedimentación "1" debe producirse únicamente flujo laminar. Diversos autores han demostrado que el rendimiento es inversamente proporcional al número de reinos, recomendando que se utilicen valores de 150 a 500, o aun valores inferiores a 150. En las zonas de entrada del sedimentador se producen flujo turbulento con un numero de reinos de 2000 a 25000, necesiándose establecer una zona de transmisión en la cual se obtenga un cambio paulatino de flujo turbulento a laminar.

Según Yao, estos valores deben como mínimo de:

$$1_e = 0.35 d Re$$

$$1_e = 0.58 \frac{v_o d_s}{v}$$

$$1_e = 0.232 Re.$$

Ecuación (45)



Valores aparentemente muy elevados.

Cuando el número de Reynolds es <200, Gomella sugiere adoptar los siguientes valores

$$L_e = 0.10 Re \text{ para tubos circulares.}$$

$$L_e = 2.5V_e^2 \text{ Para tubos cuadrados.}$$

$$L_e \frac{5p}{PL} V_e^2 \text{ Para tubos rectangulares siendo } p=b/a$$

$$L_e = 5V_e^2 \text{ Para placas paralelas.}$$

Ecuación (46)

Estudios clásicos de mecánica de los fluidos recomiendan utilizar para la determinación del número de Reynolds:

$$Re = \frac{v_o \cdot Rh}{\nu}; \text{ si } Rh + \frac{el}{2l} = \frac{e}{\lambda}; Re = \frac{v_o \cdot e}{\lambda \nu}$$

Ecuación (47)

y Para la longitud de transmisión en placas paralelas

$$L_e = 0.035eR_e \text{ Siendo "e" la separación entre placas.}$$

Experimentos realizados por Hazen y Culp, demuestran la influencia de la longitud relativa en la remoción de la turbiedad (Figura 2.28), la investigación realizada en Cuenca, Ecuador sobre este aspecto se representa en la Figura 2.29.

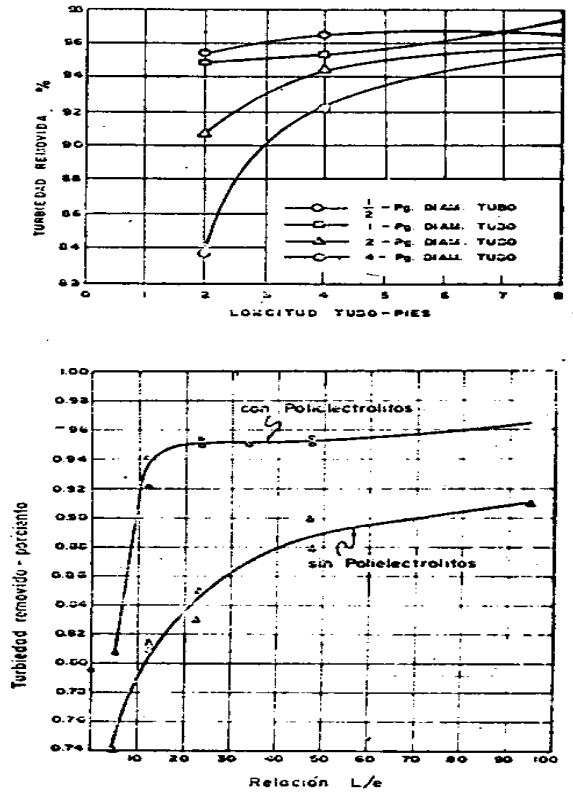


Figura 2.28 Eficiencia de los sedimentadores tubulares.

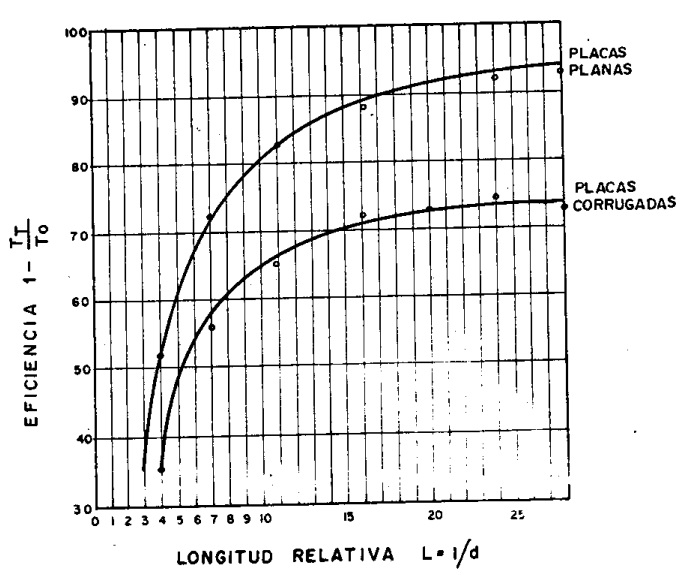


Figura 2.29 Variación de eficiencia en función de la longitud relativa de las placas paralelas.

En los módulos patentados se utilizan valores de  $L$  entre 10 y 12, pero para placas planas paralelas se recomienda utilizar un valor de  $L = 20$ , comprendiendo este valor tan la longitud de transición como la longitud de sedimentación.

### b.3 Inclinación del modulo.

Por la segunda derivada de la ecuación (42) con respecto a  $\theta$ :

$$\frac{d^2 \frac{v_s}{v_0}}{d\theta^2} = \frac{2S(\cos \theta - \text{Sen}\theta)^2}{(\text{Sen} \theta + L \cos \theta)} + \frac{S}{\text{Sen} \theta + L \cos \theta}$$

Ecuación (47)

Se obtiene el máximo rendimiento teórico para un ángulo  $\theta$  de  $2.57^\circ$  cuando se utiliza un valor  $L = 20$  y el resto de parámetros permanece constante.

Si la inclinación  $\theta$  puede ser mayor a  $90^\circ$ , el lado derecho de la ecuación anterior es siempre positivo.

La Figura 2.30 demuestra los resultados de experiencias de rendimiento de sedimentadores de placas planas variando la inclinación. Se puede observar que se presenta una disminución lenta y paulatina del rendimiento, del cual disminuye muy rápidamente sobre los  $40^\circ$ .

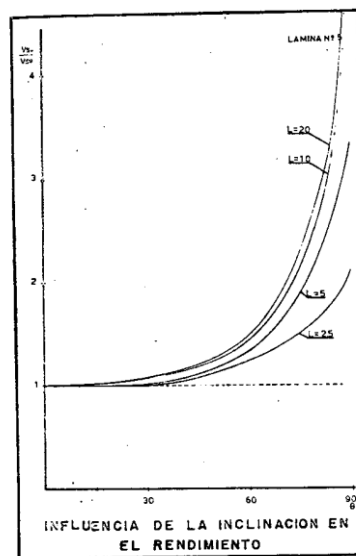


Figura 2.30 Influencia de la inclinación en el rendimiento.

En un sedimentador se debe seleccionar una inclinación tal que asegure una continua y remoción de lodos. La fuerza neta que mueven los lodos depositados es la resultante a las fuerzas gravitacionales y el esfuerzo constante con la fase líquida, está dada por la ecuación (51) (48).

El segundo término representa el esfuerzo constante entre los lodos y el agua, que para el caso del flujo laminar es proporcional a la diferencia de velocidades. Si el líquido y los lodos se mueven en los mismos sentidos, las fuerzas se suman y se restan en caso contrario. De acuerdo a Forsell, el ángulo óptimo es de  $30^\circ$  a  $40^\circ$  cuando el flujo de líquido tiene el mismo sentido que el movimiento de los lodos y de  $55^\circ$  a  $60^\circ$  en caso contrario.

### **2.8.3 Influencia de corrientes secundarias.**

Por cuanto los sedimentadores son más pequeños y las relaciones geométricas diferentes, se presentan menores perturbaciones, debido a corrientes de densidad o perturbaciones por viento; pudiéndose apreciar adicionalmente que los tabiques impiden notablemente las corrientes de densidad y que en caso de producirse perturbaciones por viento, estas no tienen la importancia que revisten en sedimentadores ordinarios.

Se trató de investigar la influencia que las corrientes cinéticas derivadas a los dispositivos de entrada, salida y alteraciones en las zonas de sedimentación pueden tener en el sedimentador.

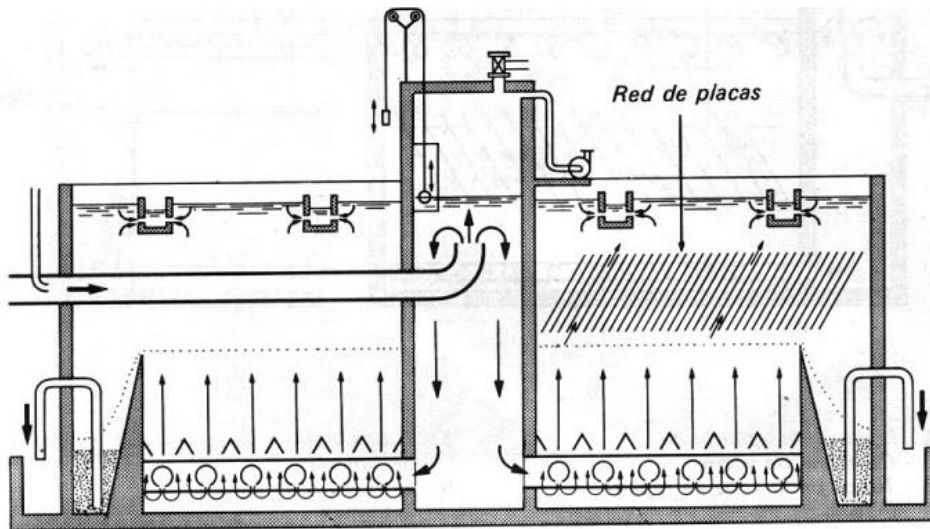
#### **A) Alteraciones en la zona de entrada:**

Al producirse una distribución igual de flujo en la entrada del sedimentador, o cuando las masas de agua entran con un alto gradiente de velocidad crean corrientes cinéticas, las cuales originan una distribución no uniforme en las celdas, creando perturbaciones que pasan a tener mucha importancia cuando la altura de la zona de entrada (h.e.) es menor que la altura de sedimentación y pierde importancia cuando se obtiene una altura de zona de entrada igual a la de sedimentación.

## B). Alteraciones en la zona de salida.

La influencia del tipo de estructura de salida afecta en forma apreciable a la distribución de velocidades en las celdas. Sin embargo, en la práctica se tiene vertederos de salida con carga uniforme, por lo que la influencia puede ser relativamente pequeña (de acuerdo a los ensayos). Es necesario realizar mayor investigación para obtener datos exactos sobre la influencia de vertederos de salida con relación a la altura de agua y la separación entre vertederos.

Instalado módulos laminares, placas o tubos generalmente de material plástico, inclinados unos  $60^\circ$  con respecto a la horizontal, por encima de lecho de fangos del Pulsator, puede mejorarse la calidad del agua producida a igual velocidad de decantación en una aparato clásico. (Degrèmont, 1979) (Figura 2.31).



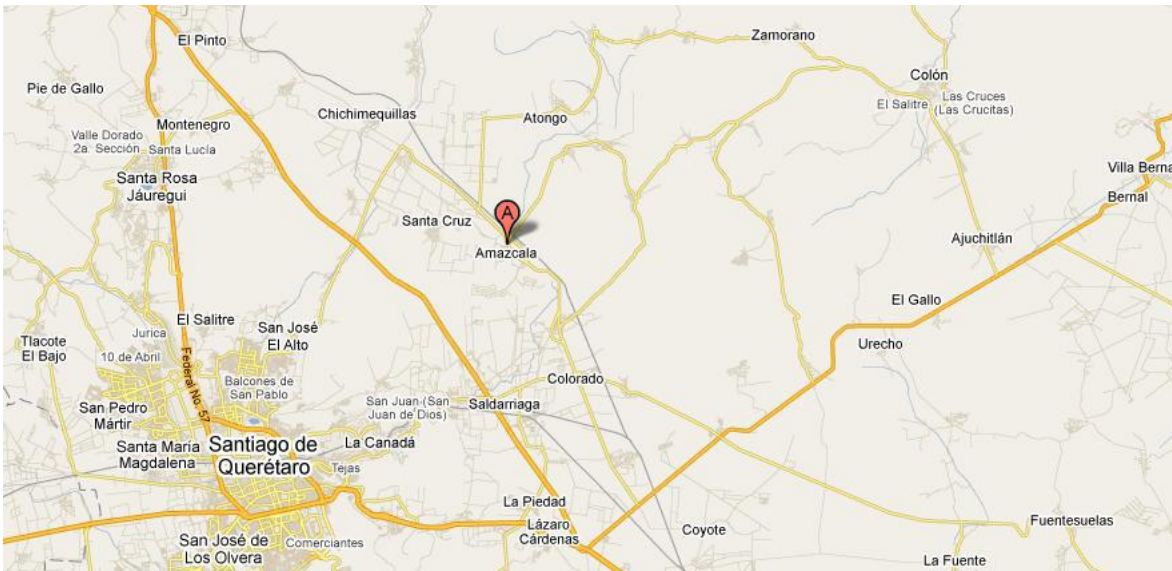
**Figura 2.31** Decantador PULSATOR laminar.

## CAPITULO 3

### 3.1 Ubicación del proyecto

El trabajo se desarrolló en el Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. El pueblo de Amazcala pertenece al municipio del Marqués, Qro., se localiza en el sector Suroeste del estado, entre los 20° 31' y 20° 58' de latitud Norte. Su longitud se encuentra entre los 100° 09' y los 100° 24' del Oeste a 1850 m sobre el nivel del mar. Colinda al Oeste con el municipio de Querétaro, al Norte con el estado de Guanajuato, al Este con el municipio de Colón y al Sur con los municipios de Huimilpan y Pedro Escobedo.

Las carreteras disponibles para llegar el poblado de Amazcala son la carretera 57, la carretera a Chichimequillas y México libre. La temperatura media oscila entre los 18 y los 24°C, con un clima predominante subtropical, templado semiseco (INEGI, 2005), Figura 3.1.



**Figura 3.1** Ubicación geográfica del proyecto.

Llevar a cabo los análisis de los parámetros de interés, pH, oxígeno disuelto, TDS, en el efluente de salida de los tanques de cultivo.

Diseñar, con base en las características de flujo y físico – químicas del agua, un sedimentador de alta tasa adecuado a las condiciones.

### **3.2 Diseño de sedimentadores de placas inclinadas.**

Se utilizará un sedimentador de placas de policarbonato con una inclinación de 60°.

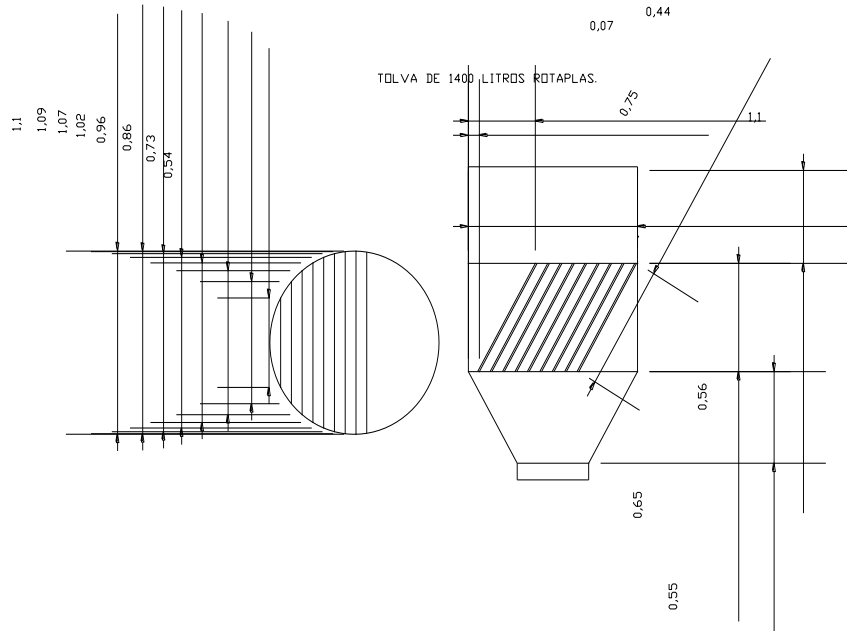
Los sedimentadores de placas son también llamados de alta tasa o de flujo laminar, su eficiencia se debe a que los diferentes compartimientos que se forman entre las placas, funcionan como un sedimentador individual. Pueden considerarse tres diferencias básicas entre estos tipos de sedimentadores y los convencionales:

- a.- El fondo del decantador de placas no es horizontal sino inclinado
- b.- La profundidad del clarificador es muy baja, debiéndose construir un gran número de celdas.
- c.- El flujo del sedimentador de alta tasa es laminar, teniéndose número de Reynolds menores a 500 la inclinación de las placas, esto constituye un factor importante en el análisis de la eficiencia de operación de sedimentador, y la definición de las ecuaciones de diseño corresponden a un desarrollo matemático basado en la geometría que se presentan en esta unidad. Aunque al aumentar la inclinación de las placas desde un ángulo de 45° hasta 60° se logra aumentar la remoción hasta en un 15%, pero si sobrepasa los 60° podría no ser necesario, considerándose este valor como el óptimo de diseño.

La velocidad de sedimentación crítica en instalaciones pequeñas con operación precaria está entre 20-30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.

Los materiales propuestos para el desarrollo del sedimentador son: Placas de policarbonato como láminas y tubería de PVC comercial, en este caso de 1" y 2". El armado del sedimentador y la distribución de las láminas se harán conforme se obtengan los parámetros necesarios del agua a tratar. Se propone el uso de un sedimentador cónico por la facilidad en la extracción de lodos.

Se determinan los parámetros básicos de diseño de un sedimentador de tasa alta, para un caudal de aproximadamente 3.04 L/s, de acuerdo a las observaciones hechas *in situ*, con una temperatura aproximada de 20 °C, viscosidad cinemática igual a  $0.0162037 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$  (Figura 3.2).



**Figura 3.2.** Diseño propuesto para el primer sedimentador de alta tasa.

Esta propuesta se hace con base en la utilización de placas planas de policarbonato de 1.10 m x 0.70 m x 0.01 m y un área útil de sedimentación de tasa alta de 1.10 m x 0.70 m se tiene:

$$CS = \frac{Q}{A} = \frac{(0.000304 \times 86400)}{(1.1 \times 0.70)} = 341 \frac{m}{d}$$

$$V_0 \frac{Q}{A} \text{sen} \alpha = \frac{(0.00304 \times 86400)}{(1.1 \times 0.07 \text{sen} 60^\circ)} = 393.88 \frac{m}{d} = 0.27$$

Utilizando una separación entre placas de 6 cm, la longitud relativa de sedimentación es:

$$L = \frac{l}{d} = \frac{70}{6} = 12$$



$$L = \frac{(0.013V_0d)}{v} = \frac{(0.013 \times 0.27 \times 0.06)}{(60 \times 0.016237 \times 10^{-6})} = 0.02$$

$$L < L_c \Rightarrow L_c = L - L = 20 - 0.02 = 19.98$$

La velocidad crítica de asentamiento o carga superficial de sedimentación de alta tasa será, según la ecuación de Yao:

$$V_{sc} = \frac{(S_0V_0)}{(\text{sen}\alpha + L_c \cos\alpha)} = \frac{(1 \times 393.88)}{\text{sen}60^\circ + 19.98 \cos 60^\circ} = 33.28 \text{ m/d}$$

El valor de  $V_{sc}$  es comparable con la carga superficial de convencional de diseño; para el floculo de alumbre es de  $14\text{-}22 \text{ m/d}$ .

El número de Reynolds será, según la ecuación:

$$N_{RE} = \frac{(V_0d)}{v} = \frac{(393.88 \times 0.06)}{(86400 \times 0.016237 \times 10^{-6})} = 16881$$

El tiempo de retención en las celdas será, la ecuación:

$$t = \frac{l}{V_0} = \frac{0.70}{0.27} = 2.59 \text{ min}$$

El tiempo de retención en el tanque de sedimentación será:

$$t = \frac{V}{Q} = \left[ \frac{\Pi \times 0.0254^2}{4} \right] \times \frac{1.23}{(0.00304 \times 60)} = 12.3 \text{ min}$$

El número de placas planas serán:

$$N = \frac{(L_s \text{sen}\alpha + d)}{(d + e)} = \frac{(1.1 \text{sen}60^\circ + 0.06)}{(0.06 + 0.01)} = 14$$

$$N = \frac{(L_s \text{sen}\alpha + d)}{(d + e)} =$$

En este primer diseño se utilizó un sedimentador de color blanco, el cual no cumplió con los resultados requeridos.

Si se logró que existiera la sedimentación, pero no en forma óptima ya que se producía alga en forma constante, para tratar de eliminarla se procedió a pintar de negro en sedimentador y evitar que el agua tuviera una penetración constante

del sol. Se decidió no continuar trabajando en él puesto que resultaba complicado tener control sobre la regulación y medición del flujo.

Las especificaciones que rigen nuestra calidad de agua de salida son las siguientes de acuerdo a SENASICA (2003, 2008) (Tablas 3.1, 3.2 y 3.3)

**Tabla 3.1.** Especificaciones de calidad de agua para cumplir con las buenas prácticas acuícolas del cultivo del camarón (SENASICA, 2003).

Parámetro	Intervalos establecidos
Oxígeno disuelto	4 ppm – saturación
Salinidad	20-35 ppm
pH	7.8- 8.3
Alcalinidad	1.82-4 meq/l
	90-120 mg CaCO <sub>3</sub> /l
Amoniaco	< 0.12 mg NH <sub>3</sub> (unionizado) / l
Nitritos	< 0.1 mg/l
Temperatura	20-30° C / var.a con la especie y el estado de vida)
Acido Sulfhídrico	< (0.001 mg/l)
Turbidez	25-50 cm

**Tabla 3.2.** Especificaciones de calidad de agua para cumplir con las buenas prácticas acuícolas del cultivo de tilapia (SENASICA, 2008)

Parámetro	Tilapia	<i>Oreochromis niloticus</i>	<i>Oreochromis mossambicus</i>	<i>Oreochromis aureus</i>
Oxígeno disuelto (mg/L)	<2.0 <sup>2</sup> <4.5 <sup>5</sup>			<3.0 <sup>4</sup>
Salinidad (‰)		5 a 10 <sup>1</sup>	17.5 <sup>1</sup>	10 a 15 <sup>1</sup> 36 a 44 <sup>4</sup>
pH	6.5 a 9.0 <sup>2</sup> 6.5 a 8.5 <sup>3</sup> 6.5 a 9.0 <sup>5</sup>			4 a 11 <sup>4</sup>

Alcalinidad total (mg/L) (CaCO <sub>3</sub> )	100 a 200 <sup>3</sup> 100 a 200 <sup>5</sup>			Hasta 3000 <sup>4</sup>
Dureza total (mg/L)	20 a 350 <sup>3</sup> 50 a 350 <sup>5</sup>			
Turbidez (mg/L)				13000 <sup>4</sup>
Dióxido de carbono (mg/L)	>20 <sup>5</sup>			>73.0 <sup>4</sup>
Amonio no-ionizado, N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	>0.1 <sup>1</sup> 0.01 a 0.1 <sup>5</sup>			0.5 a 2.35 <sup>4</sup>
Amonio total (mg/L)				>20 <sup>4</sup>
Nitrito, N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	>0.1 <sup>3</sup> >0.1 <sup>5</sup>			Hasta 0.45 <sup>4</sup>
Nitrato, N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	>10 <sup>3</sup>			
Fosfatos, P-PO <sub>4</sub> (mg/L)	0.6 a 1.5 <sup>5</sup>			
Temperatura (°C)	25 a 30 <sup>1</sup> 34 a 36 <sup>3</sup> 28 a 32 <sup>5</sup>	27 a 30 <sup>1</sup>	28 a 30 <sup>1</sup>	30.6 a 36.7 <sup>4</sup>

**Tabla 3.3.** Resumen de parámetros a muestrear en agua residual y sus características en toma de muestras y preservación para la NOM-ECOL-001-1996.

Parámetro	Recipiente	Enjuague antes de tomar la muestra	Volumen mínimo requerido	Tipo de muestra	Preservación	Tiempo máximo para análisis
<b>Coliformes fecales</b>	Bolsas o frascos esterilizados de vidrio	no	150 ml	Simple	Previamente con EDTA+Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 4°C	24 horas
<b>Huevos de helminto</b>	Plástico	no	5 L	Simple o Compuesta	Formol 10% y/o 4°C	6 meses
<b>Grasas y aceites</b>	Vidrio (boca ancha)	no	1 L	Simple	HCl o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, 4°C	28 días
<b>DBO</b>	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	4°C	48 horas
<b>Materia flotante</b>	Plástico (boca ancha)	2 a 3 veces	3L	Simple		Inmediata
<b>Sólidos sedimentables</b>	Plástico (boca ancha)	2 a 3 veces	1L	Compuesta	4°C	24 horas
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	4°C	7 días
<b>Fósforo total</b>	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	4°C	28 días
<b>Nitrógeno total</b>	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, 4°C	28 días
<b>Metales</b>	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	HNO <sub>3</sub> , pH<2, 4°C	6 meses
<b>Cianuros</b>	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	NaOH, pH>12, 4° C	24 horas

### 3.3 Procedimiento

#### 3.3.1 Parámetros Físico-Químicos

Oxígeno:

Es el requerimiento más importante, al igual que la temperatura, para los cultivos de las especies hidrobiológicas.

Su grado de saturación es inversamente proporcional a la altitud y directamente proporcional a la temperatura y el pH. El rango óptimo está por encima de las 4 ppm medido en la estructura de salida del estanque. En la tabla 3.4 se muestran los efectos del oxígeno en los peces de acuerdo a la cantidad de este.

**Tabla 3.4** Efecto del oxígeno en los peces.

Oxígeno (ppm)	Efectos
0.0 - 0.3	Los peces pequeños sobreviven en cortos períodos.
0.3 - 2.0	Letal en exposiciones prolongadas.
3.0 - 4.0	Los peces sobreviven pero crecen lentamente.
> 4.5	Rango deseable para el crecimiento del pez.

Factores que disminuyen el nivel de oxígeno disuelto:

- \* Descomposición de la materia orgánica.
- \* Alimento no consumido.
- \* Heces.
- \* Animales muertos.
- \* Aumento de la tasa metabólica por el incremento en la temperatura (variación de la temperatura del día con respecto a la noche).

- \* Respiración del plancton (organismos microscópicos vegetales y animales que conforman la productividad primaria).
- \* Desgasificación: salida del oxígeno del agua hacia la atmósfera.
- \* Nubosidad: en días opacos las algas no producen el suficiente oxígeno.
- \* Aumento de sólidos en suspensión: residuos de sedimentos en el agua, heces, etc.
- \* Densidad de siembra.

La tilapia es capaz de sobrevivir a niveles bajos de oxígeno disuelto (1.0 mg/ l), no obstante, el efecto de estrés al que se somete es la principal causa de infecciones patológicas. Los niveles mínimos de oxígeno disuelto para mantener un crecimiento normal y baja mortandad se debe ser superior a los 3.0 mg / l, valores menores a éste reducen el crecimiento e incrementan la mortandad.

Consecuencias de las bajas prolongadas de oxígeno:

- \* Disminuye la tasa de crecimiento del animal.
- \* Aumenta la conversión alimenticia (relación alimento consumido/ aumento de peso).
- \* Se produce inapetencia y letargia.
- \* Causa enfermedad a nivel de branquias.
- \* Produce inmunosupresión y susceptibilidad a enfermedades.
- \* Disminuye la capacidad reproductiva.

### **3.3.2 Tipos de Aireación:**

- \* Natural: caídas de agua, escaleras, chorros, cascadas, sistemas de abanico.
- \* Mecánica: Motobombas, difusores, aireadores de paletas, aireadores inyección O<sub>2</sub>, generadores de oxígeno líquido.

Ventajas de una buena aireación:

- \* Permite incrementar las densidades de siembra hasta en un 30% y manejar densidades más altas por unidad de área, como en el caso de las jaulas.

- \* Buenos rendimientos (crecimiento, conversión alimenticia, incremento de peso y menor mortandad).
- \* Control de los excesos en los niveles de amonio, fósforo y nitritos.
- \* Compensa los consumos de oxígeno demandados en la degradación de la materia orgánica, manteniendo niveles más constantes dentro del cuerpo de agua.
- \* Controla el crecimiento excesivo de algas, ya que evita altas concentraciones de nutrientes.
- \* Elimina los gases tóxicos.

### **3.3.3 Temperatura**

Los peces son animales poiquiloterms (su temperatura corporal depende de la temperatura del medio) y altamente termófilos (dependientes y sensibles a los cambios de la temperatura).

- \* El rango óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias fluctúa entre 28 y 32°C, con variaciones de hasta 5°C.
- \* Los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, mientras mayor sea la temperatura, mayor tasa metabólica y, por ende, mayor consumo de oxígeno.
- \* Variaciones grandes de temperatura entre el día y la noche deben subsanarse con el suministro de alimentos con porcentajes altos de proteína (30%, 32%, etc.).

### **3.3.4. Dureza.**

Es la medida de la concentración de los iones de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  expresada en ppm de su equivalente a carbonato de calcio. Existen aguas blandas (< 100 ppm) y aguas duras (>100 ppm).

- \* Rango óptimo: entre 50-350 ppm.
- \* Debe tener una alcalinidad entre 100 ppm a 200 ppm. La alcalinidad está relacionada directamente con la dureza.
- \* Mantener un pH entre 6.5 a 9.0 (pH < 6.5 son letales).

- \* Dureza por debajo de 20 ppm ocasionan problemas en el porcentaje de fecundidad (se controlan adicionando carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), o cloruro de calcio ( $\text{CaCl}$ )).
- \* Dureza por encima de 350 ppm se controlan con el empleo de zeolita en forma de arcilla en polvo, adicionada al sistema de filtración.

### 3.3.5. pH.

Es la concentración de iones de hidrógeno en el agua.

- \* El rango óptimo está entre 6.5 a 9.0.
- \* Valores por encima o por debajo, causan cambios de comportamiento en los peces como letargia, inapetencia, disminuyen y retrasan la reproducción y disminuyen el crecimiento.
- \* Valores de pH cercanos a 5 producen mortandad en un período de 3 a 5 horas, por fallas respiratorias, además causan pérdidas de pigmentación e incremento en la secreción de mucus.
- \* Cuando se presentan niveles de pH ácidos el ion  $\text{Fe}^{++}$  se vuelve soluble afectando los arcos branquiales y disminuyendo los procesos de respiración, causando la muerte por anoxia (asfixia por falta de oxígeno).

El pH en el agua fluctúa en un ciclo diurno, principalmente influenciado por la concentración de  $\text{CO}_2$ , por la densidad del fitoplancton, la alcalinidad total y la dureza del agua. El pH para tilapia debe de ser neutro o muy cercano a él, con una dureza normalmente alta para proporcionar una buena condición de mucus en la piel.

### 3.3.6 Amonio.

Es producto de la excreción, orina de los peces y de la descomposición de la materia (degradación de la materia vegetal y de las proteínas del alimento no consumido). El amonio no ionizado (en forma gaseosa) y primer producto de excreción de los peces es un elemento tóxico. La reacción que ocurre se muestra en la tabla 3.5.



**Tabla 3.5** Reacción del amonio en los peces.

$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$	$\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow$	$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$
Forma no ionizada Forma tóxica Producto de excreción de los peces Degradación de la materia orgánica	Su velocidad de conjugación con el agua depende del pH	Forma ionizada Forma no tóxica

La toxicidad del amonio en forma no ionizada ( $\text{NH}_3$ ), aumenta con una baja concentración de oxígeno, un pH alto (alcalino) y una temperatura alta. En pHs bajos (ácidos) no causa mortandades.

Los valores de amonio deben fluctuar entre 0.01 a 0.1 ppm (valores cercanos a 2 ppm son críticos). El amonio es tóxico, ya que depende del pH y la temperatura del agua, los niveles de tolerancia para la tilapia se encuentra en el rango de 0.6 a 2.0 ppm.

Una concentración alta de amonio en el agua causa bloqueo del metabolismo, daño en las branquias, afecta el balance de las sales, produce lesiones en órganos internos, inmunosupresión y susceptibilidad a enfermedades, reducción del crecimiento y la supervivencia, exoftalmia (ojos brotados) y ascitis (acumulación de líquidos en el abdomen).

El nivel de amonio se puede controlar con algunas medidas de manejo como:

- \* Secar y encalar dependiendo del pH del suelo (pH < 5: 2 500 a 3 500 kg/ ha, pH de 5 a 7: 1 500 a 2 500 kg/ ha, pH > de 7: de 1 000 a 500 kg/ ha).
- \* Adición de fertilizantes inorgánicos, fosfatados (SFT, 25 kg/ ha o al 20%, 45 kg/ ha), durante 5 días continuos.
- \* Implementar aireación: aireadores de paletas para estanques de profundidad de 1.5 m o aireadores de inyección para estanques con profundidades mayores de 1.8 m.

### **3.3.7. Nitritos.**

Son un parámetro de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante. Se generan en el proceso de transformación del amoníaco a nitratos y su toxicidad depende de la cantidad de cloruros, de la temperatura y de la concentración de oxígeno en el agua. Es necesario mantener la concentración por debajo de 0.1 ppm, haciendo recambios fuertes, limitando la alimentación y evitando las concentraciones altas de amonio en el agua.

### **3.3.8. Alcalinidad.**

Es la concentración de carbonatos y bicarbonatos en el agua. Los valores de alcalinidad y dureza son aproximadamente iguales. La alcalinidad afecta la toxicidad del sulfato de cobre en tratamientos como alguicida (en baja alcalinidad aumenta la toxicidad de éste para los peces).

Para valores por debajo de 20 ppm es necesario aplicar 200 g/ m<sup>2</sup> de carbonato de calcio, entre dos y tres veces por año.

### **3.3.9 Dióxido de Carbono.**

Es un producto de la actividad biológica y metabólica, su concentración depende de la fotosíntesis. Debe mantenerse en un nivel inferior a 20 ppm, porque cuando sobrepasa este valor se presenta letargia e inapetencia.

### **3.3.10 Gases Tóxicos.**

Son gases producidos en los estanques por la degradación de materia orgánica. Las concentraciones deben estar por debajo de los siguientes valores:

- \* Sulfuro de hidrógeno: < 10 ppm.
- \* Ácido cianhídrico: < 10 ppm.
- \* Gas metano: < 25 ppm.

Estos gases incrementan su concentración con la edad de los estanques y con la acumulación de materia orgánica en el fondo, produciendo mortandades masivas y crónicas. Se pueden controlar con la adición de cal y zeolita a razón de 40 kg/ ha, además, del secado (entre cosechas).

### **3.3.11 Sólidos en Suspensión.**

Aumentan la turbidez en el agua, disminuyendo el oxígeno disuelto. Los sólidos se deben controlar con sistemas de desarenadores y filtros.

De acuerdo con la concentración de sólidos disueltos podemos clasificar los estanques de la siguiente manera:

- \* Estanques limpios: Sólidos menores a 25 mg/ l.
- \* Estanques intermedios: Sólidos entre 25 - 100 mg/ l.
- \* Estanques lodosos: Sólidos mayores a 100 mg/ l.

### **3.3.12 Fosfatos.**

Son un producto de la actividad biológica de los peces y de la alimentación con concentrado (generalmente por sobrealimentación) Una concentración alta causa aumento en la población de fitoplancton provocando bajas de oxígeno por la noche. Su valor debe fluctuar entre 0.6 y 1.5 ppm como  $\text{PO}_4^-$ . Su toxicidad aumenta a pH ácido.

### **3.3.13 Cloruros y Sulfatos.**

Al igual que los fosfatos, se derivan de la actividad metabólica de los peces y del aporte de los suelos y aguas subterráneas utilizadas en las piscícolas. El límite superior para cada uno es 10 ppm y 18 ppm respectivamente.

## **3.4 Sistemas Hídricos**

El agua es el recurso natural de mayor importancia en la vida de los seres humanos. En una granja de peces su uso es indispensable, pero con una mala utilización puede contaminarse con mucha facilidad y dañar todo lo que está a su alrededor.

### **3.4.1 Procesos naturales que dañan la calidad del agua**

Existen procesos producidos de forma natural que causan daños importantes en la calidad del agua como la erosión, estancamiento, insectos, desechos animales, sin embargo los mayores contaminantes son el uso de

fertilizantes y agroquímicos que por escurrimiento llegan hasta la fuente más cercana, cambiando su estado natural y afectando la flora y fauna que la rodea.

Por estas razones es de vital importancia situar a la granja de peces en una zona que no ha sido utilizada para la agricultura, o que al menos no ha sido tratada con sustancias químicas.

También se debe poner atención en la ubicación del principal abastecedor de agua en el cultivo, así como en el sistema de tuberías, drenaje y disposición de éstas, para que no haya problemas de contaminación del producto. Con esto cumplimos con la Norma Oficial Mexicana NOM-230- SSA1-2002 donde menciona que la vigilancia de la calidad del agua es fundamental para reducir los riesgos de transmisión de enfermedades a la población por su consumo, como las de tipo gastrointestinal y las producidas por contaminantes tóxicos; esta vigilancia se ejerce a través del cumplimiento de los límites permisibles de calidad del agua y complementariamente, inspeccionando que las características de las construcciones, instalaciones y equipos de las obras hidráulicas de captación, plantas cloradoras, plantas de potabilización, tanques de almacenamiento o regulación, líneas de conducción, redes de distribución, cisternas de vehículos para el transporte y distribución y tomas domiciliarias protejan el agua de contaminación. En el caso de obras nuevas, la selección del sitio de ubicación y su protección, tienen importancia vital para el abastecimiento de agua segura. Siempre será mejor proteger el agua de la contaminación en lugar de proporcionarle tratamiento cuando ya está contaminada.

#### **3.4.2 Calidad del Agua.**

Como se había mencionado, el agua es el recurso básico para la producción de Tilapia, por lo que es necesario disponer de ella en cantidad y calidad suficientes para sustentar el proceso productivo.

En una granja de peces, el agua debe ser preferentemente de flujo corriente y continuo, en el caso de estanques, tener un sistema que permita la recirculación y además de cumplir con ciertas características físico-químicas y

microbiológicas que permiten el correcto desarrollo de los organismos. (Tabla 3.6 a 3.10).

**Tabla 3.6** Parámetros Físico-Químicos del Agua para el cultivo de Tilapia.

PARÁMETRO	RANGO ÓPTIMO
pH	6.5- 9
Temperatura	Mínima: 24 ° C Ideal: 28-30° C Máxima: 32 ° C
Amonio Tóxico (NH <sub>3</sub> )	0.01-0.1 mg/L (en sistemas semi-intensivos).
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	< 0.1 mg/L

Alcalinidad	0.1-0.2 mg/L
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	50-350
Dióxido de Carbono	<20 mg/L
<b>Oxígeno</b>	<b>Mínimo: 4.5 mg/L</b> <b>Ideal: 8-10 mg/L</b>
Fosfatos	0.6-1.5 mg/L
Cloruros	< 5 mg/L
Sulfatos	< 18 mg/L

GASES TÓXICOS	
Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	< 10 mg/L
Gas Metano (CH <sub>4</sub> )	< 25 mg/L
Ácido Cianhídrico (HCN)	< 10 mg/L

**Tabla 3.7** Especificaciones Microbiológicas del Agua Potable.

MICROORGANISMOS	LÍMITE PERMITIDO
Coliformes Totales	2 NMP/100 mL
Coliformes Fecales	No detectable NMP/100 mL Cero UFC/100 mL

**Tabla 3.8** Especificaciones Química del Agua Potable.

SUSTANCIA QUÍMICA	LÍMITE PERMITIDO (mg/L)	SUSTANCIA QUÍMICA	LÍMITE PERMITIDO (mg/L)
Aluminio	0.20	Nitrógeno Amoniacal	0.50
Arsénico	0.05	pH	6.5-8.5
Bario	0.70	Plaguicidas: aldrin y dieldrín*	0.03 µg/l
Cadmio	0.005	Clordano, total de	0.30

		isómeros	
Cianuros, como CN-	0.07	DDT, total de isómeros	1.00
Cloro residual libre	0.2-1.50	d-HCH, lindano	2.00
Cloruros como Cl-	250.00	Hexaclorobenceno	0.01
Cobre	2.00	Heptacloro y epóxido de Heptacloro	0.03
Cromo total	0.05	Metoxicloro	20.00
Dureza total, como CaCO <sub>3</sub>	500.00	2,4-D	50.00

Fenoles o compuestos fenólicos	0.001	Plomo	0.025
Fierro	0.30	Sodio	200.00
Floruros como F-	1.50	Sólidos disueltos totales	1000.00
Manganeso	0.15	Sulfatos como SO <sub>4</sub> *	400.00
Mercurio	0.001	SAAM	0.50
Nitratos como N	10.00	Trihalometanos totales	0.20
Nitritos como N	0.05	Zinc	5.00

**Tabla 3.9** Especificaciones Físicas y Organolépticas del Agua Potable.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMITIDO
Color	20 unidades de color verdadero en escala de platino-cobalto
Olor y Sabor	Agradable*
Turbiedad	5 UTN**

\* Tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean objetables desde el punto de vista químico o biológico.

\*\* O su equivalente por otro método

**Tabla 3.10** Constituyentes Radioactivos en el Agua Potable

CONSTITUYENTE RADIOACTIVO	LÍMITE PERMITIDO (Bq/l)
Radioactividad A Global	0.1
Radioactividad B Global	1.0

### 3.5 Puntos de Muestreo.

Debe haber un encargado de realizar monitoreos de la calidad del agua en la unidad de producción periódicos de 1 vez por mes aproximadamente, o quincenalmente si se amerita de esa manera. Esto es para tener la seguridad completa de que el agua que se está utilizando durante todo el proceso es la

idónea para la especie y que no ha sido contaminada o se encuentra en un estado no conveniente para salud de la cosecha y de los consumidores.

Las fuentes de contaminación del agua son muchas, sin embargo las que pueden generar mayor problemática son:

- Contaminación que provenga de otras granjas o de asentamientos humanos cercanos, establos, zonas agrícolas, etc.
- Contaminación proveniente del fondo de los estanques.
- Contaminación por plaguicidas
- Contaminación por aguas de desecho, drenajes, aguas residuales.
- Contaminación industrial.

Si se presenta una contaminación en el agua, ya sea de sustancias biológicas o químicas, y se identifica su procedencia, entonces es necesario identificar el grado de afectación del agua (mediante muestreo de los parámetros físico-químicos, microbiológicos, organolépticos, etc.).

El muestreo debe realizarse correctamente de acuerdo a la norma NOM-230-SSA1-2002, por una persona capacitada, ya que de no ser así puede ocasionar problemas en la medición de los parámetros.

### **3.5.1 El programa de muestreo de fuentes contaminantes identificadas.**

Consta de:

Muestreo en la zona adyacente a la fuente de contaminación.

Muestreo en el canal de distribución de agua.

En la entrada de la sala de producción de alevines y crías.

En la entrada y salida de cada uno de los estanques y canales que conforman el sistema de cultivo.

En el canal de descarga de la granja.

### **3.5.2 Fuentes Externas de Contaminación.**

Se debe identificar si la granja tiene un riesgo de contaminación si está ubicada cerca de:

Drenes Agrícolas



Afluentes de Industrias

Afluentes de desarrollos urbanos

Fumigación aérea

Desembocadura de Afluentes de agua dulce con residuos de minas

Suelo contaminado por el uso de suelo anterior

Zonas ganaderas

Presencia de aves acuáticas y otros animales silvestres

### **3.5.3 Medidas Correctivas.**

Cambiar la toma de agua hacia una zona segura

Evitar la fumigación aérea en presencia de viento

Analizar periódicamente (2 veces por año) el suelo y determinar peligros y niveles.

### **3.5.4 Fuentes Internas de Contaminación.**

Si hay indicios de contaminación, y se ha determinado que la zona de construcción de la granja es la correcta o que no hay ningún indicio de contaminación externa, entonces se deberá prestar atención a:

- Zonas de sanitarios, drenaje o desechos animales y humanos.
- Uso de fertilizantes orgánicos contaminados con peligros biológicos y/o químicos
- Área de eliminación de desechos y basura
- Uso inapropiado de químicos, antibióticos, plaguicidas, etc.
- Presencia de plagas.

### **3.5.5. Medidas Correctivas.**

- Delimitar bien los sanitarios y áreas que utiliza el personal para su aseo. Limpieza diaria de los mismos.
- No permitir la entrada de animales, delimitar la granja para evitar que éstos ingresen a la zona.
- Utilizar fertilizantes inorgánicos u orgánicos no contaminados
- Establecer cuadrillas de limpieza y desinfección de las áreas.

- Colocar botes de basura y material necesario para los desechos.
- Los químicos deben ser utilizados por un experto, o en su caso, establecer metodologías y seguimiento.
- Control de plagas mediante trampas.

### **3.5.6 Monitoreo de la Calidad del Agua.**

Se requiere que haya personal capacitado para realizar un seguimiento de la calidad del agua durante todo el proceso productivo. Este personal debe:

- Tener conocimiento en la implementación de buenas prácticas acuícolas de tilapia.
- Tener conocimiento de métodos de análisis físicos y químicos del agua.
- Tener el equipo necesario y materiales adecuados para el monitoreo.
- De preferencia, contar con una computadora u hojas de datos para capturar la información de los muestreos realizados.
- Contar con apoyo de laboratorios de análisis especializados y aprobados por la autoridad.
- Definir concretamente los puntos de muestreo
- Diseñar formatos para recabar la información arrojada por los monitoreos y poder escoger sobre medidas de prevención en una problemática.

### **3.5.7 Metodología de Muestreo.**

El procedimiento de muestreo debe iniciar con la toma de muestras para análisis microbiológico.

Material, reactivos y equipo de muestreo:

- Para análisis microbiológico.- Frascos de vidrio con tapón esmerilado, frascos estériles desechables o bolsas estériles con cierre hermético y capacidad de 125 o 250 ml.
- Para análisis físicos y químicos.- Envases de plástico o vidrio inertes al agua con tapones del mismo material que proporcionen cierre hermético.

- El material del envase, así como el volumen de muestra requerido y el método de preservación para la determinación de los diferentes parámetros.
- Potenciómetro portátil o comparador visual para determinación de pH.
- Colorímetro portátil o comparador visual para determinación de cloro residual.
- Hielera con tapa.
- Bolsas refrigerantes o bolsas con hielo cerradas.
- Agua destilada o desionizada.
- Solución de hipoclorito de sodio con una concentración de 100 mg/l.
- Gasas o torundas de algodón, estériles.

### **3.5.8 Equipos muestreadores comerciales.**

Preparación de envases para la toma de muestras:

Los recipientes para la toma de muestras, deberán ser proporcionados con hoja de cadena de custodia por el laboratorio responsable del análisis, para análisis microbiológico o físico y químico, ya que deberá ser lavado y con la preparación adecuada para el análisis general o particular de los parámetros seleccionados.

Para análisis microbiológico: En el caso de frascos no estériles para muestras de agua sin cloro residual libre. Colocar papel resistente a la temperatura de esterilización en forma de capuchón sobre el tapón o tapa del frasco, agregar 0.1 ml de tiosulfato de sodio al 3% por cada 120 ml de capacidad de los mismos, esterilizarse en estufa a 170°C, por un tiempo mínimo de 60 min. o en autoclave a 120°C durante 15 min. o a 15 PSIA durante 20 min.

La colecta de muestras con alto contenido de metales, incluyendo cobre o zinc (mayor a 1.0 mg/l) los frascos deben contener 0.3 ml de solución de sal disódica del ácido etilendiaminotretaacético (EDTA) al 15 por ciento (ajustar el pH de la solución a 6.5 antes de su uso) en frasco de 120 ml de capacidad adicionar por separado al frasco de muestreo antes de la esterilización o combinarse con la solución de tiosulfato de sodio antes de la adición.

### **3.5.9 Para análisis físicos, químicos y radiactivos, de acuerdo a los parámetros a determinar.**

Preparación de envases para la toma de muestras para análisis microbiológico:

En bomba de mano o grifo el agua debe provenir directamente del sistema de distribución. No debe efectuarse toma de muestra en grifos que presenten fugas entre el tambor y el cuello, ya que el agua puede correr por la parte exterior y contaminar la muestra.

Deben removerse los accesorios o aditamentos externos como mangueras, boquillas y filtros de plástico o hule antes de tomar la muestra, se deja correr el agua aproximadamente 3 min., hasta asegurarse que el agua que contenían las tuberías ha sido renovada o que la temperatura del agua sea estabilizada antes de tomar la muestra y finalmente reducir el volumen de flujo para permitir el llenado del frasco sin salpicaduras.

Cerca del orificio de salida, en el caso de frascos de vidrio con tapón esmerilado y protegidos con papel, deben quitarse simultáneamente el tapón del frasco y el papel de protección, manejándolos como unidad, evitando que se contaminen el tapón, el papel de protección, o el cuello del frasco. Para lo anterior es necesario sostener el tapón o tapa con el esmeril o rosca hacia abajo; en el caso de frascos estériles desechables, desprender y eliminar el sello de seguridad y mantener la tapa con la rosca hacia abajo, (para el uso de bolsas estériles desprender y eliminar el sello de seguridad de la bolsa) proceder a tomar la muestra sin pérdida de tiempo y sin enjuagar el frasco, se debe dejar el espacio libre requerido para la agitación de la muestra previa al análisis (aproximadamente 10% de volumen del frasco). Efectuada la toma de muestra deben colocarse el tapón con el papel de protección o la tapa al frasco (en el caso de las bolsas proceder al cerrado hermético).

En captación de un cuerpo de agua superficial o tanque de almacenamiento hay que sumergir el frasco en el agua con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, destapar y a continuación girar el frasco ligeramente permitiendo el llenado (en todos los casos debe evitarse tomar la

muestra de la capa superficial o del fondo, donde puede haber nata o sedimento, no deben tomarse muestras muy próximas a la orilla o muy distantes del punto de extracción); si existe corriente en el cuerpo de agua, la toma de muestra debe efectuarse con la boca del frasco a contracorriente. Efectuada la toma de muestra debe colocarse el tapón o tapa, sacar el frasco del agua y colocar el papel de protección en su caso. Si se utiliza bolsa, sumergirla a la profundidad arriba indicada. Tomar la muestra y cerrar la bolsa bajo el agua, posteriormente sellar ésta fuera del agua.

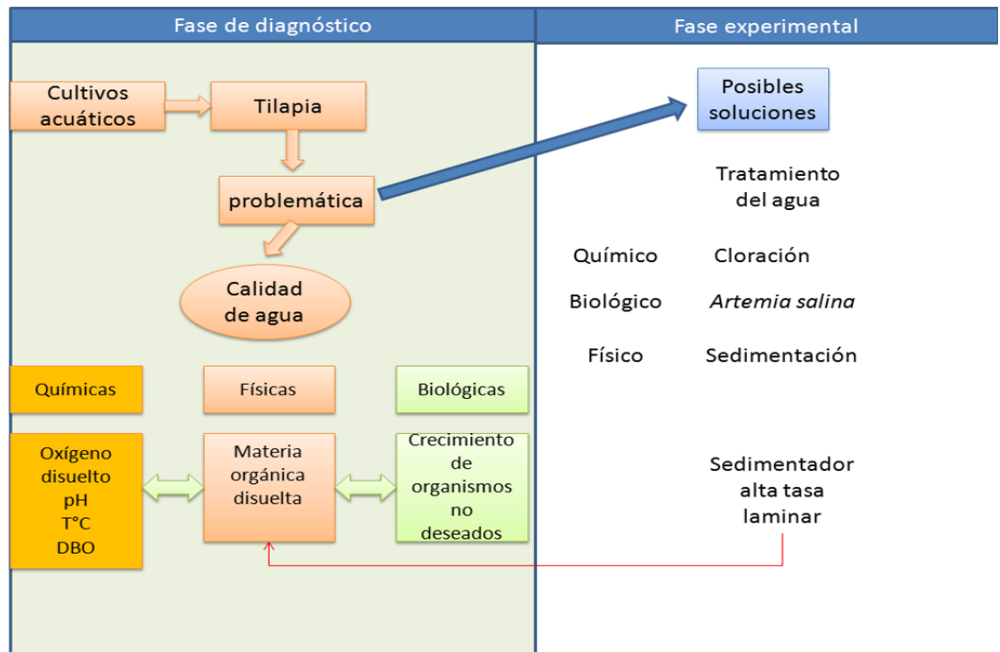
### **3.5.10 En pozo profundo.**

Proceder a tomar la muestra, bajando el frasco dentro del pozo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, evitando que el frasco toque las paredes del pozo, efectuada la toma deben colocarse la tapa o el tapón con el papel de protección al frasco o en su caso sellarla bolsa. El muestreo debe realizarse cuidadosamente, evitando que se contaminen el tapón, boca e interior del envase. Se requiere tomar un poco del agua que se va a analizar, cerrar el envase y agitar fuertemente para enjuagar, desechando esa agua; se efectúa esta operación dos o tres veces, procediendo enseguida a la toma de muestras que deben colocarse en hielera con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo cerradas para su transporte al laboratorio, a una temperatura entre 4 y 10°C, cuidando de no congelarlas.

En caso de que el agua de cultivo no sea de calidad el primer paso a realizar, es la selección del sitio, una vez que se ha llevado a cabo este procedimiento se detectan los niveles de contaminación física, química o biológica, que sean inaceptables, es necesario elegir un nuevo lugar de construcción, de esta manera se evitará poner en riesgo la salud del personal y de los consumidores.

Si la contaminación se puede eliminar mediante medidas correctivas, entonces es necesario contratar con expertos que puedan implementar dichas disposiciones y brindar un apoyo para la construcción adecuada de una granja de peces.

Si la granja ya está construida y en funcionamiento, pero se ha determinado la presencia de cualquier contaminante, es necesario determinar la fuente, una vez realizado esto se establecerán medidas correctivas en caso de ser necesario. Si la contaminación es inaceptable y rebasa los límites permitidos o es incorregible, se deberá cambiar la ubicación de la granja.



Obteniendo los siguientes resultados:

### Resultados de primer día.

Agua de salida	Tina 1	Tina2	Tina 3
Ph	10.20	10.19	10.27
T °C	18.1	7.5	17.4
Turbiedad	22	16	15
O2	11.80	7.57	7.56

Temperatura ambiente 20.8 °C

Resultados de segundo día.

<b>Agua de salida</b>	<b>Tina 1</b>	<b>Tina2</b>	<b>Tina 3</b>
<b>Ph</b>	<b>10.4</b>	<b>10.3</b>	<b>10.3</b>
<b>T °C</b>	<b>15.4</b>	<b>15.3</b>	<b>15.2</b>
<b>Turbiedad</b>	<b>22</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
<b>O2</b>	<b>9.93</b>	<b>9.05</b>	<b>9.13</b>

**Temperatura ambiente 12.4°C**

**Resultados del tercer día.**

<b>Agua de salida</b>	<b>Tina 1</b>	<b>Tina2</b>	<b>Tina 3</b>
<b>Ph</b>	<b>10.23</b>	<b>10.17</b>	<b>10.20</b>
<b>T °C</b>	<b>14.3</b>	<b>14.6</b>	<b>14.1</b>
<b>Turbiedad</b>	<b>22</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
<b>O2</b>	<b>9.5</b>	<b>9.5</b>	<b>9</b>

**Temperatura ambiente 11.1 °C**

**Resultados del cuarto día.**

<b>Agua de salida</b>	<b>Tina 1</b>	<b>Tina2</b>	<b>Tina 3</b>
<b>Ph</b>	<b>9.7</b>	<b>9.6</b>	<b>9.6</b>
<b>T °C</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
<b>Turbiedad</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
<b>O2</b>	<b>8.8</b>	<b>7.1</b>	<b>9.1</b>

**Temperatura ambiente 20.2 °C**

## CAPITULO 4

### 4.1 Propuesta de diseño de prototipos.

Se observó que el primer problema que se tuvo con este prototipo fue que la capacidad del mismo no cubría la demanda requerida de sedimentación de acuerdo con la capacidad instalada (Figura 4.1); sedimentaba el agua pero como tenía penetración de luz solar, empezamos a notar el crecimiento de alga en el agua sedimentada así como en las mangueras que introducían el agua y también en las mangueras de recirculación (Figura 4.2)



**Figura 4.1** Construcción del primer prototipo con capacidad de 10 litros.





**Figura 4.2** Agua con alga producida por la luz solar.

Para resolver el problema de la producción de alga se propuso la construcción de un filtro de antracita para filtrar el alga y de igual manera se propuso otro filtro de carbón activado para quitar olor y sabor al agua lo cual se logró de acuerdo con las pruebas que se realizaron (Figura 4.3).



**Figura 4.3** Filtro de antracita para quitar carbón y eliminar sabor y olor.

La propuesta de diseño del sedimentador se hace en base a las observaciones obtenidas en prototipos anteriores.

Se optó por elaborarlo de color negro y que no permita la penetración de la luz solar es para evitar el crecimiento de alga, ya que en prototipos anteriores se hicieron pruebas para eliminarla con proporciones que no afectaran a la especie, lo cual no se logró, ya que si dotábamos de una proporción mayor se vería afectada la especie (Figura 4.4). También se propuso que tuviera una tapa hermética y del mismo color para evitar la penetración de la luz solar y se le puso un tubo de ventilación para evitar la acumulación de gas.



**Figura 4.4** Vista interior del sedimentador, se puede observar que no hay penetración de luz.

En el fondo, debe tener una inclinación de 60 grados para lograr una mayor concentración de sólidos y debe ser de forma circular porque es la única manera de no tener problema de acumulación en diferentes puntos, ya que convergen en un central. (Figura 4.5)



**Figura 4.5** Fondo cónico con un ángulo de inclinación de 60 °.

La función principal del emparillado de tubos en el fondo es para realizar una distribución de agua más uniforme y con un flujo que sea laminar, ya que el turbulento provocaría una agitación del sedimento. Las placas tienen la tarea de retener todas las partículas que se encuentran en la clasificación de discretas y en algunos casos cuando ya exista algo de floculo desarrollado por las heces de la especie o por alimento no aprovechado (Figura4.6) .



**Figura 4.6** Distribución placas de policarbonato y tubo de captación de agua sedimentada.

## 4.2 Prototipo definitivo para este caso

Es el prototipo propuesto de acuerdo a los análisis obtenidos tendrá una capacidad de 160 litros. En el se realizaran los muestreos de: Temperatura, pH, O<sub>2</sub>, turbiedad y sólidos totales producidos.

Consta de 3 tinas con una capacidad de 40 lts. Cada una, un tambo de 180 lts. el cual tiene la función cárcamo de rebombeo y regularización, una bomba de 1/16 de hp. (Figura 4.7)



**Figura 4.7** Diseño definitivo de sedimentador con capacidad de 160 litros.

Cuenta con una salida de las tinas con cierta pendiente para evitar que los sedimentos sean detenidos dentro de los tubos, ya que estos deben trabajar teniendo una función de drenaje sanitario, se pintaron de color negro para evitar la producción de alga provocada por la penetración de la luz solar. La entrada por la parte inferior del sedimentador es para realizar una distribución con un flujo uniforme sobre la parte cónica del mismo para la concentración de los sedimentos, esto se puede observar en las figuras 4.8 y 4.9 respectivamente.



**Figura 4.8** Salida de las tinas.



**Figura 4.9** Entrada para la distribución del flujo de manera uniforme.



## REFERENCIAS

Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA, 2007)

Arboleda V., Jorge. Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. Lima, CEPIS, OPS/OMS, 1977, 558 p. OPS Departamento de ingeniería y Ciencias del Ambiente, Serie Técnica, 13.

Avnimelech, Y., 2006. Bio-filters: The need for an new comprehensive approach. *Aquacult. Eng.* 34, 172-178.

Balhowki Aplicación de técnicas modernas de tratamiento de agua en nuevas instalaciones. SANEPAR, 1975.

Blume, R. Proyecto de la planta de agua potable de El Imperial (cañete, Perú). Nuevos métodos de tratamiento de agua, Lima, CEPIS, 1963, p.446-448.

Brunsmann. Gravity separation and flow conditions. Pielkenrood Vinitex Pub. April.

Buentello JA, Gatlin III DM, Neill WH (2000) Effects of water temperature and dissolve oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 182:339-352

Censos Económicos 2004, (INEGI, 2004).

Cifuentes Lemus J. L.; P. Torres García; M. Frías. 1997. El océano y sus recursos. XI. Acuicultura. 2a. Edición. Fondo de Cultura Económica. México.

Cnaani A, Gall GAE, Hulata G (2000) Cold tolerance of tilapia species and hybrids. *Aquacult Int* 8:289-298.

Coll Morales J.1991. Acuicultura marina animal. Ediciones Mundi-Prensa.3ª Edición. Madrid España. pp. 522-567.

Culp, Gordon L.; Hsiung, Kou-ying & Conlex, Walter R. Tube clarification process operating experiences. Jour. of the Sanitary Engineering Division. 95 (SA5): 829-847, Oct. 1969.

Degrèmont, 1979, Manual Técnico del Agua.

de Villiers, M., 2001. Water: the fate of our most precious resource. Mariner Books, Houghton, Mifflin, Boston, p 368.

El-Sherif MS, El-Feky AMI (2009) Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fingerlings. I. Effect of pH. Int J Agric Biol 11:297-300

Fair/Geyer y Okun, 1984, Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales.

Focht DD, Verstraete W. 1977. Biochemical ecology of nitrification and denitrification. In: Alexander, M. (Ed.), Advances in Microbial Ecology. Plenum, New York, pp. 135-214

FAO, 2009. El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. FAO. Roma, Italia.

González Martínez Simón/Elías Castro José G. 1989. Diseño de biodiscos.

Gumella, Caryl. Clarification avant filtration ses progres récents. International Water Supply Association, 10<sup>th</sup> Congress, Brighton about 1974, p. A1-A44.

Hazen, Allen. On sedimentation. Transactions. ASCE. 5:45-71, 1904

Henry J. Glynn / Heinke Gary W., 1999, Ingeniería Ambiental.

Linzenmeier, E. Munch. Med. Wsehr, 1925, p.5

Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Camarón para la Inocuidad Alimentaria, (SENASICA, 2003).

Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria, (SENASICA, 2008).

Manual de Producción de Tilapia con Especificaciones de Calidad e Inocuidad (SAGARPA, 2010)

Manual de Crianza de Tilapia. Alicorp S.A. Av. Argentina 4695 Carmen de la Legua - Callao 3, Lima, Perú. [atencionclientes@alicorp.com.pe](mailto:atencionclientes@alicorp.com.pe) Página Web: <http://www.alicorp.com.pe>

Noyola-Robles, A., E. Vega-González y J. G. Ramos-Hernández. 1997. Alternativas de tratamiento de aguas residuales. Edición, Editorial, Cd. de edición, número de páginas.

Romero Rojas Jairo Alberto, 2001 Potabilización del agua.

Quazi, R., 2001. Strategic Water Resources Planning: A Case Study of Bangladesh. Water Resources Management 15, 165-186.

UN, 2003. Water for people, water for life. The UN World Water Development Report (WWDR), UNESCO Publishing and Berghahn Books, UK, pp 34.

Timmons M.B., Ebeling J.M., Wheaton F.W, Summerfelt S.T. y Vinci B.J.2002.Sistemas de Recirculación para la Acuicultura. Editado por Fundación Chile. Santiago Chile. pp. 207-258; 278- 279.

Yuan, H., Reichert, P., Abbaspour, K., Zehnder, A.J.B., 2003. A water resources threshold and its implications for food security. Eviron Sci Technol 37, 3048–3054.



<http://www.vistaalmar.es/content/view/576/203/> : julio/ 2010.

[http://www.minagri.gob.ar/SAGPyA/pesca/acuicultura/01=Cultivos/03-Otros\\_Sistemas/archivos/000003](http://www.minagri.gob.ar/SAGPyA/pesca/acuicultura/01=Cultivos/03-Otros_Sistemas/archivos/000003).

[Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf?PHPSESSID=9188826e558a70f6ae70810c92eae172](http://www.vistaalmar.es/content/view/576/203/Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf?PHPSESSID=9188826e558a70f6ae70810c92eae172): julio/ 2010.