

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA MARÍTIMA Y CIENCIAS DEL MAR**

**“Evaluación de Piscinas Sedimentadoras Para el Mejoramiento de la Calidad de Agua  
de Unidades de Producción Acuícola”**

**TOPICO DE GRADO**

Previa a la obtención del título de:

**INGENIERO ACUICULTOR**

Presentado por:

**JOSE EDUARDO HOLGUIN WILSON  
NELSON PATRICIO SAMANIEGO CARPIO  
JUAN FERNANDO VALDIVIESO ARIAS**

Guayaquil – Ecuador

2001

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos infinitamente a DIOS por ayudarnos a superar todos los escollos que encontramos en el camino que nos hemos propuesto construir, por iluminarnos en la oscuridad y en la soledad, por bendecirnos cada día de nuestras vidas y por darnos el regalo de tener a nuestros padres con nosotros.

Nuestro más preciado agradecimiento, respeto y admiración a nuestros padres por creer en nosotros, ayudarnos a caminar y darnos la mano para comenzar, sin su fuerza incondicional no lo hubiésemos podido lograr. Gracias de corazón.

A nuestros familiares, decirles gracias no sería suficiente para poder corresponder todo su amor.

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL por habernos permitido cursar la presente carrera en su plantel, a los profesores de la Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar por haber contribuido en nuestra formación profesional.

Un especial agradecimiento al M. Sc. Jerry Landívar Z. Por aportar con sus ideas y experiencia para la culminación de nuestro trabajo.

Nuestro reconocimiento a las diferentes Instituciones y personas que brindaron su ayuda para la obtención de datos e información útil para la elaboración de este proyecto.

A Ubaldo Cervantes por su desinteresada participación durante la realización del presente proyecto. Estamos eternamente agradecidos contigo "gordo".

A cada uno de los compañeros y amigos que no nos abandonaron ni un sólo instante durante nuestros años de estudio y que de una manera u otra nos ayudaron; ustedes representan un pedacito del resultado de incalculables esfuerzos, ni el tiempo ni el espacio bastarían para agradecerles.

Que DIOS los bendiga a todos, gracias . . .

**Pepe, Nelson, Juan.**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo  
A mi estrella: mi madre,  
A mi sol: mi padre,  
A mi luna: mi bebe.

Gracias por ser mi cielo por el que  
Vuelo con alas de libertad.

**PEPE HOLGUIN**

## **DEDICATORIA**

- A Dios y a mis Padres:

Ruth Carpio de Samaniego.  
Nelson Samaniego Andrade.

A mis Hermanos:  
Christian, Carlos y Junior.

**NELSON SAMANIEGO**

## **DEDICATORIA**

A Dios

A mis padres:  
Maruja Arias de Valdivieso  
Juan Ignacio Valdivieso E.

A mis Hermanos:  
Paúl, Guillermo, María del Carmen y Daniel.

Gracias por todo.

**JUAN VALDIVIESO**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad por los hechos,  
ideas y doctrinas expuestas en este Tópico de Grado,  
corresponden exclusivamente a sus autores,  
y el patrimonio intelectual de este Tópico de Grado corresponderá a la  
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)

---

José Holguín Wilson

---

Nelson Samaniego Carpio

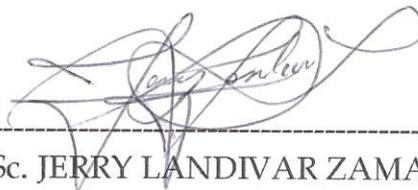
---

Juan Valdivieso Arias

## TRIBUNAL DE GRADUACION



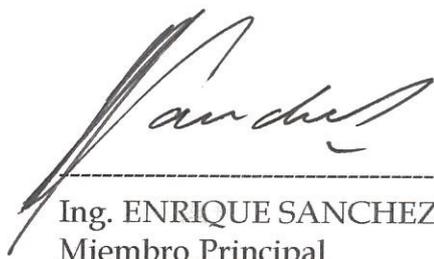
Ing. BOLIVAR VACA ROMO  
Presidente Tribunal



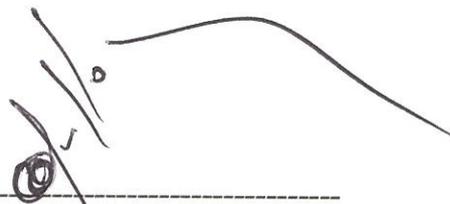
MSc. JERRY LANDIVAR ZAMABRANO  
Director de Tesis



BIBLIOTECA  
FAC. ING.  
MARITIMA



Ing. ENRIQUE SANCHEZ CUADROS  
Miembro Principal



Ing. ECUADOR MARCILLO  
Miembro Principal

## RESUMEN

El presente Tópico de Grado consiste en elegir, diseñar, elaborar y poner en funcionamiento un sistema de sedimentación de partículas para afluentes en unidades de producción acuícola mediante la utilización de áreas de decantación. El objetivo principal es el mejoramiento de la calidad del agua reduciendo un porcentaje elevado de la carga bacteriana a través del mejoramiento de la DBO<sub>5</sub>, los sólidos sedimentables y de materia orgánica y de las variables físicas y químicas, previo su ingreso al canal reservorio y a las piscinas de producción.

En la parte inicial se hace una breve reseña histórica de la industria camaronera en nuestro país desde sus inicios hasta su situación actual; además se describe datos generales sobre la camaronera donde se llevó a cabo el proyecto y por último se realiza una caracterización físico-química del afluente de dicha camaronera.

En el segundo capítulo se sustenta teóricamente el proceso de sedimentación señalando su importancia y detallando además las características de los diferentes procesos físicos y químicos relacionados con la sedimentación entre los cuales están el desarenado, desengrasado, decantación primaria y floculación.

La tercera parte describe los cambios en la estructura de la camaronera realizados para el diseño y dimensionamiento de las piscinas de sedimentación, así como también se hace un análisis económico del trabajo, el cual demuestra que los costos

de construcción y funcionamiento están sólo al alcance de empresas con un poder económico elevado.

En la última parte se evalúa la eficiencia del sistema para lo cual se seleccionó sitios de muestreo en donde se realizaron análisis tales como determinación de amonio, sulfuro, nitritos, nitratos, transparencia, sólidos en suspensión, materia orgánica, etc. en el agua al inicio y al final del sedimentador.

El sistema propuesto de sedimentación nos demuestra que existen parámetros que mejoran significativamente en las estaciones extremas con relación a la estación inicial tal es el caso del oxígeno, transparencia, sólidos en suspensión, materia orgánica, etc. Por el contrario no se mostró un mejoramiento de los parámetros como el amonio y el amoniaco que se incrementaron, pero siendo estos incrementos no significativos ( $p > 0,05$ ).

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	VIII
INDICE GENERAL.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XIII
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
INDICE DE FOTOGRAFIAS.....	XVI
ABREVIATURAS.....	XVII
INTRODUCCION.....	XVIII

### CAPITULO I

#### GENERALIDADES

1.1 Generalidades sobre el sector camaronero en nuestro país.....	1
1.2 Datos generales de la camaronera donde se realiza el proyecto.....	8
1.3 Caracterización físico – química del agua de ingreso a la camaronera.....	9

### CAPITULO II

#### SUSTENTO TEORICO DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN

2.1 Importancia del proceso.....	10
2.2 Características de los diferentes métodos de sedimentación.....	13
2.2.1 Desarenado .....	14
2.2.2 Desengrasado.....	19
2.2.3 Depuración Física. Decantación.....	21

2.2.3.1 Fundamento y Alcance.....	21
2.2.4 Sedimentación de Partículas Flocculadas – Proceso Químico.....	43
2.3 Ventajas y desventajas de los métodos físicos.....	45

### CAPITULO III

#### ELECCIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA SEDIMENTADOR

3.1 Rediseño de la camaronera.....	47
3.2 Dimensionamiento de las piscinas de sedimentación.....	54
3.3 Análisis económico del proyecto.....	56
3.3.1 Costos de construcción del proyecto.....	56
3.3.1.1 Movimiento de Tierra.....	56
3.3.1.2 Construcción de Compuertas.....	57
3.3.1.3 Costos Totales.....	60

### CAPITULO IV

#### EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN

4.1 Selección de los sitios de muestreo.....	61
4.2 Análisis a realizar.....	63
4.2.1 Materias oxidables biológicamente.....	65
4.2.1.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	65
4.2.2 Sólidos y Microorganismos.....	68
4.2.3 Oxígeno Disuelto (OD).....	70
4.2.4 Ciclo del Nitrógeno.....	72

4.2.4.1 Concentración del ION-AMONIO.....	72
4.2.4.2 Concentración de NITRITOS y NITRATOS.....	73
4.2.5 Fósforo Total.....	76
4.2.6 pH.....	77
4.2.7 Sulfuro.....	78
4.2.8 Salinidad.....	79
4.2.9 Temperatura.....	80
4.2.10 Alcalinidad.....	81
4.2.11 Materia Orgánica.....	84
4.2.12 Turbidez.....	85
4.2.13 Color del Agua.....	86
4.3 Resultados y evaluación del análisis.....	87
4.3.1 Evaluación espacial y temporal del sedimentador.....	88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
ANEXOS.....	98
BIBLIOGRAFÍA.....	107

## INDICE DE TABLAS

Tabla I	Parámetros del afluente.....	9
Tabla II	Decantabilidad de las arenas.....	18
Tabla III	Características Decantador Circular Flujo Horizontal.....	25
Tabla IV	Características Decantador Rectangular Flujo Horizontal.....	26
Tabla V	Información típica para el proyecto de tanques de decantación primaria.....	32
Tabla VI	Información típica para el proyecto de los tanques de decantación rectangulares y circulares utilizados para el tratamiento primario del agua residual.....	35
Tabla VII	Información típica sobre el peso específico y la concentración del fango procedente de los tanques de decantación primaria.....	42
Tabla VIII	Velocidad de sedimentación.....	45
Tabla IX	Distribución de los sedimentadores.....	50
Tabla X	Dimensiones de los Sedimentadores.....	54
Tabla XI	Maquinaria Utilizada en la Construcción.....	56
Tabla XII	Costos de Movimientos de Tierra.....	57
Tabla XIII	Costos Totales.....	60
Tabla XIV	DBO <sub>5</sub> /DQO.....	67
Tabla XV	Concentración de Alcalinidad en el Agua.....	83
Tabla XVI	Demanda Bioquímica de Oxígeno obtenida en cada estación a los 5 días .....	94

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Desarenador de flujo horizontal. Sección transversal.....	15
Figura 2	Desarenador de flujo horizontal. Sección longitudinal. ....	16
Figura 3	Desarenador circular con extracción de arenas por bomba Mammuth....	17
Figura 4	Desarenador - desengrasador. Sección transversal. ....	20
Figura 5	Esquema decantador circular flujo horizontal.....	23
Figura 6	Esquema decantador rectangular flujo horizontal. ....	24
Figura 7	Variación del tiempo de decantación respecto a la temperatura en decantadores primarios.....	31
Figura 8	Diseño original del sector destinado al sedimentador.....	49
Figura 9	Diseño actual del sedimentador.....	52
Figura 10	Corte transversal del sedimentador.....	53
Figura 11	Dimensiones y circulación de agua del sedimentador.....	55
Figura 12	Vista aérea de la compuerta de salida del sedimentador.....	58
Figura 13	Corte transversal de la compuerta de salida del sedimentador.....	59
Figura 14	Ubicación de los sitios de muestreo.....	62
Figura 15	Evolución de la DBO en función del Tiempo y Temperatura.....	66
Figura 16	Variación del Oxígeno, pH, Secchi y Turbidez en las estaciones 1, 2 y 3.....	88
Figura 17	Variación del Oxígeno, pH, Secchi y Turbidez en las estaciones 1, 4 y 5.....	89

Figura 18	Variación del Amoniac, Amonio, Nitrito y Nitrato en las estaciones 1, 2 y 3.....	90
Figura 19	Variación del Amoniac, Amonio, Nitrito y Nitrato en las estaciones 1, 4 y 5.....	91
Figura 20	Variación del Sulfuro, Fosfato, Materia Orgánica y Alcalinidad en las estaciones 1, 2 y 3.....	92
Figura 21	Variación del Sulfuro, Fosfato, Materia Orgánica y Alcalinidad en las estaciones 1, 4 y 5.....	93

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.- Estación de bombas de la Camaronera.....	99
Fotografía 2.- Vista aérea del sedimentador. ....	100
Fotografía 3.- Vista frontal del sedimentador. ....	101
Fotografía 4.- Compuerta de salida del sedimentador A. ....	102
Fotografía 5.- Compuerta de salida del sedimentador B (Vista Interna). ....	103
Fotografía 6.- Compuerta de salida del sedimentador B (Vista desde el Reservorio). ....	104

## INDICE DE ABREVIATURAS

DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días a 20° C.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
NH <sub>3</sub>	Amoniaco
NH <sub>4</sub>	Amonio
NO <sub>2</sub>	Nitrito
NO <sub>3</sub>	Nitrato
pH	Potencial de Hidrógeno
S	Sulfuro
SD	Sólidos Disueltos
SDF	Sólidos Disueltos Fijos
SDV	Sólidos Disueltos Volátiles
SS	Sólidos en Suspensión
SSF	Sólidos en Suspensión Fijos
SSV	Sólidos en Suspensión Volátiles
SSs	Sólidos en Suspensión Sedimentables
SSsF	Sólidos en Suspensión Sedimentables Fijos
SSsV	Sólidos en Suspensión Sedimentables Volátiles
SSn	Sólidos en Suspensión no Sedimentables
SSnF	Sólidos en Suspensión no Sedimentables Fijos
SSnV	Sólidos en Suspensión no Sedimentables Volátiles
ST	Sólidos Totales
STF	Sólidos Totales Fijos
STV	Sólidos Totales Volátiles
T	Temperatura

## INTRODUCCIÓN

El ingreso de aguas con una alta carga de material particulado tanto de origen orgánico como inorgánico propias de los afluentes empleados en unidades de producción acuícola destinadas al cultivo de camarón, constituye un verdadero problema en sistemas cuya toma de agua es un estero. Muchas veces malas condiciones, contribuyen al deterioro evidente de la calidad química y biológica del agua para los fines a los cuales estaban destinadas, además esto origina un alto nivel de sedimentación cercano a la zona de descarga de la estación de bombeo, disminuyendo progresivamente la capacidad de almacenaje con el transcurso de los años, hasta el punto de que la misión a cumplir puede quedar totalmente anulada o muy disminuida formándose verdaderos playones.

Estas sedimentaciones típicas de estas zonas reducen drásticamente el volumen del reservorio, lo cual conlleva a que éste sólo trabaje como un canal de distribución que conduce agua hasta las piscinas agravando aún más el asunto, causando que las partículas en suspensión se desplacen con mayor rapidez logrando así ingresar en mayor proporción y más fácilmente a éstas, esto también ocasiona una turbidez no deseada dentro de las piscinas que interfiere con el paso de la luz dificultando el proceso de fotosíntesis por parte del fitoplancton.

Dado los problemas se tomó inicialmente la decisión de disminuir el recambio de agua a las piscinas lo que en cierta forma mejoró la química inicial del agua, pero por

otro lado provocó que la población de protozoarios externos e internos del camarón se incrementa en forma desproporcionada debido a la alta carga de materia orgánica presente en el agua en gran parte en forma coloidal, por lo que estos comenzaron a sufrir fuertes infestaciones de éstos organismos degenerando significativamente su salud.

En general por todo lo antes descrito, se ha hecho evidente que la productividad de las camaroneras se ha visto afectada negativamente con el paso del tiempo y la rentabilidad de las mismas se hace cada año más estrecha, así mismo se ha reportado que la operación y el control técnico sobre las condiciones de cultivo se han complicado enormemente.

Dado los problemas de sedimentación existentes en este sistema de producción el presente tópico está enfocado a reducir un porcentaje elevado de la carga de sólidos suspendidos y de materia orgánica presentes en el agua previa a su ingreso a las piscinas destinadas a producción de camarón con un evidente mejoramiento en la calidad de agua y con ello aumentar la producción y porcentajes de supervivencia de la especie cultivada.

Para cumplir nuestros objetivos se tomó la decisión de diseñar e implementar piscinas sedimentadoras con la finalidad de permitir la decantación primaria de los sólidos sedimentables debido a la reducción de la velocidad de corriente suficientemente lenta y de forma adecuada del agua a depurar.

## **CAPITULO I.- GENERALIDADES**

### **1.1 GENERALIDADES DEL SECTOR CAMARONERO EN EL PAIS**

Ecuador es un país que concentra cuatro regiones poseedoras de una impresionante diversidad de recursos naturales. A lo largo de una de ellas, la costa, se levantan vastas superficies de manglar, que acantonadas en suelos armoniosos y alimentadas por aguas frescas y puras, forman el hábitat propicio para la vida de un crustáceo que se ha constituido en una de las fuentes de ingreso más importantes para el Ecuador y en uno de los productos de mayor demanda del exigente mercado internacional.

En 1968 aparecen los pioneros de la industria camaronesa ecuatoriana y se instalan fincas en una superficie de 283 hectáreas. Se abrió paso a una nueva y desde entonces, siempre creciente industria.

Las prometedoras perspectivas de este recurso marino cautivaron el interés de algunos empresarios que confiaron sus inversiones a este sector. Al llegar a 1979 las

fincas de camarón habían alcanzado las 6.475 hectáreas, pero realmente fue en 1977 cuando en Ecuador se inicia la industria de la Acuicultura con el cultivo del camarón silvestre capturado (Cámara Nacional de Acuicultura, 2000).

Pocos confiaban para entonces en que el cultivo de camarón en cautiverio fuera rentable, e inclusive había escepticismo en poder llevar a cabo con éxito este proceso. El primer paso lo dio Explorklore, una empresa que se dedicaba a la exportación de aletas de tiburón. Desde entonces no sólo aumentaron las empresas que invirtieron en los cultivos, sino que el sector se diversificó y cada vez fueron más las empacadoras, laboratorios y fábricas de alimentos para camarón y una serie de industrias relacionadas con la actividad acuícola.

Las estadísticas dan fe del crecimiento que ha tenido la industria camaronera ecuatoriana desde 1977 cuando tímidamente se inició. El crecimiento de la producción camaronera ha sido siempre sostenido, aunque en los últimos períodos se ha visto afectada por diferentes agentes patógenos, afectando al camarón principalmente en su etapa larval y juvenil.

El sector camaronero en la actualidad sigue con problemas, pues no encuentra salida a la crisis socioeconómica y productiva que mantiene semiparalizada a la industria, tras ser afectada hace un año (mayo/99) por el virus de la Mancha Blanca o White Spot y el reciente brote del virus de la Cabeza Amarilla.

Su capacidad operativa, en las diferentes instalaciones, funciona apenas en un cincuenta por ciento con la consecuente agudización de la crisis durante el segundo semestre del año 2000, sin la consecución de líneas de crédito que soporten al sector.

En el último año y medio, la industria en general ha dejado de percibir US \$1.130 millones, y las pérdidas netas para el gremio camaronero son de US \$600 millones, asumiendo que se mantenga la proyección para el segundo semestre, con el temor de que esos rubros se incrementen si no logran controlarse los efectos de estos dos virus en los períodos siguientes.

Cuando se comprobó en el país la presencia de la epidemia y una vez que se extendió por todas las zonas de cultivo, alrededor del 80% de las piscinas se secó, hoy sólo el 50% del total de 176.000 hectáreas camaroneras es sembrado y bajo el esquema actual este porcentaje tiende a disminuir. (Cámara Nacional de Acuacultura, 2000)

Pese a los esfuerzos que la Cámara Nacional de Acuacultura ha venido realizando con la colaboración de la Fundación Cenaim Espol y el Centro de Servicios para la Acuicultura (CSA), en el control y prevención del virus, organizando seminarios, cursos de capacitación y monitoreos sobre la prevalencia de la Mancha Blanca en las zonas afectadas, el panorama no ha cambiado mucho; pues no existe la receta mágica que sirva para erradicarlo y la única opción que le queda a los camaroneros es acostumbrarse a producir con la enfermedad, manejando las piscinas bajo las mejores

normas de bioseguridad que permitan ejecutar mayores controles en cada una de las etapas productivas.

En el mes de abril del año anterior se identificaron las primeras muestras positivas del virus e inmediatamente se registró un descenso en las exportaciones del crustáceo, tanto en libras como en dólares, con relación al año 98, generándose pérdidas en el orden del 33% en el mes de mayo; en el mes de agosto las bajas se incrementaron a un 39%, en noviembre al 60%, cerrándose diciembre del 99 con pérdidas del 63% e ingresos de 494 millones de dólares con respecto a diciembre del 98 en que se exportaron 836 millones de dólares.

Durante el primer trimestre del año 2000, las pérdidas llegaron al 65% con proyecciones de que los ingresos para finales de año sean de 315 millones de dólares, manteniéndose la baja del 65%.

Asimismo, en el período de abril del 2000, la mayor participación de los diferentes mercados la tiene Estados Unidos con un 47%, seguido por Europa con el 26%, Asia 23% y otros países de América con el 4%, esto hace un total de 37 millones de dólares exportados y 9 millones de libras, frente a 64 millones de dólares y 23 millones de libras que se exportaron en el mismo período del año 99. (Cámara Nacional de Acuicultura, 2000)

Un año después de la aparición de las mortalidades asociadas a la Mancha Blanca (WSSV), la industria se encuentra aún en una etapa de expectativa ante lo que suceda en la temporada seca que se avecina, porque no se sabe que ocurrirá con las siembras del verano 2000; sin embargo, mantiene el optimismo de que se pueda recuperar.

Probablemente el problema le tome un año más a los productores y quizás tengan 2 ciclos de verano y 2 ciclos de invierno hasta observar alguna mejora consistente en las supervivencias, donde el trabajo de mejoramiento genético, que han emprendido las empresas que poseen maduración en el país, será la clave para los próximos años.

Para el manejo de las piscinas se han aprendido procedimientos, por ejemplo, el hecho de que las siembras de juveniles o de transferencia logran mejores supervivencias que las siembras directas, que las medidas de bioseguridad inicialmente aplicadas en el país fueron intentos caros que no dieron los resultados esperados, que la calidad de la larva que se siembra es clave para obtener éxito en la cosecha, así como una buena nutrición y el buen uso del sentido común.

La aparición reciente de un virus tipo Cabeza Amarilla podría complicar más la situación, aunque hoy estamos más conscientes de lo que significa trabajar con patologías de este tipo, por lo que las precauciones y cuidados tomados contra WSSV tienen aplicación válida en el trabajo contra YHTV; además, los incrementos en precios han ayudado al sector, si no fuera por esto muchas empresas ya estarían fuera del negocio.

La industria seguirá siendo afectada por patologías y el futuro de la misma es aprender a lidiar con los procesos patológicos, evitándolos con manejos tendentes a limitar el ingreso de éstas al país y por ende a las granjas. Hoy en día el reto es mayor pero contamos con nuevas herramientas y conceptos tecnológicos que los productores debemos estudiar, entender e implementar.

El mejoramiento de la calidad de animales y la domesticación, deberán ser puntos a nuestro favor, al igual que el buen uso del recurso agua, el cuidado de nuestras granjas y el buen criterio a la hora de aplicar prácticas de manejo.

Para contrarrestar el virus lo ideal sería trabajar con animales mejorados, aprender más sobre nuevas tecnologías aplicables a nuestra situación de cultivo semintensiva, implementar manejos y criterios que evadan la introducción o aparición de patologías en las granjas.

También es importante mejorar el aspecto nutricional de los animales desde sus primeros estadios, tratar de sembrar juveniles sean de sistemas de raceways o de pre criaderos, ser más eficientes en el manejo de los costos de producción e ir hacia una Acuicultura limpia que se preocupe mucho por el entorno. (Cámara Nacional de Acuicultura, 2000)

Para los laboratorios de larvas, la situación quizás no fue tan nefasta puesto que al haberse cerrado la importación de nauplios y larvas de otros países, la producción

nacional se comercializó en todo el Ecuador y obligó a aquellos que cuentan con áreas de maduración a emprender en proyectos para producir una larva más resistente, no obstante las ventas fueron poco significativas al no haber una excesiva demanda para la siembra debido al virus.

Se estima que la industria del cultivo de camarón está pasando por su peor momento en la historia desde su inicio como actividad productiva, y al igual que todo el sector está consciente de que el virus llegó para quedarse y la industria tendrá que adaptarse a su presencia.

La industria mundial de cultivo de camarón ha sufrido un revés del que se recuperará lentamente y con muchas dificultades. Estamos frente a un proceso selectivo del que surgirán sólo empresas que mantengan un criterio tecnológico exigente.

El segundo semestre del presente año será el peor en producción desde el inicio del síndrome. Pasarán muchos años para alcanzar nuevamente los niveles productivos en libras de 1998; por ello, para paliar las consecuencias de la enfermedad en esta etapa inicial de la producción camaronera recomienda respetar la prohibición de importación de cualquier estadio de camarón blanco u otras especies. En la práctica cualquier selección de reproductores debería salir del propio medio.

Actualmente en el Golfo de Guayaquil existen 110.000 hectáreas de camaroneras, de las cuales 80.000 están en el cantón Guayaquil. Considerando la densidad y

frecuencia de siembras en condiciones normales, este sistema utiliza casi 10 veces el número de animales por superficie que en cualquier otra área de las Américas. Este índice constante es importante en el momento de selección de especies, el Golfo de Guayaquil debe ser considerado como una gran piscina. Adicionalmente, el traer nauplios, larvas, reproductores de otras regiones es peligroso, pues éstos no están acostumbrados a las características microbiológicas del medio y su cruce podría degenerar las poblaciones incluyendo las salvajes. Se debe incluir en esta lista cualquier otra especie exótica, pues éstas pueden portar nuevos agentes infecciosos o eliminar la fauna local, lo cual implica emitir un proyecto de ley para oficializar estas sugerencias, además, debería establecerse una estricta regulación para la desinfección de la descarga de las empacadoras ya que estas exacerban los brotes al incrementar la concentración viral en el medio.

## **1.2 DATOS GENERALES DE LA CAMARONERA DONDE SE REALIZA EL PROYECTO.**

**Lugar.-** Área estuarina ubicada en el Golfo de Guayaquil, caracterizada como zona mayormente de manglar con variaciones de salinidad en el año 10 y 25 ppt. Ubicada entre el estero salado y el estuario del río Guayas frente a la Isla Puna. Camaronera compuesta por 1400 hectáreas de las cuáles 1100 hectáreas son espejos de agua. Sistema de cultivo semi-intensivo con densidades de siembra final de 80.000 a 100.000/has.

### 1.3 CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA DEL AGUA DE INGRESO A LA CAMARONERA.

La caracterización del afluente nos permite observar que ciertos parámetros como el amoníaco, el nitrito, el nitrato, el sulfuro, el fosfato, y la alcalinidad están sobre los rangos óptimos de cultivo del camarón *Litopenaeus vannamei*. En la tabla I se puede ver tanto los promedios obtenidos de todos los parámetros analizados en la camaronera como también los rangos óptimos de cultivo:

**Tabla I. - Parámetros del Afluente**

Parámetro	Unidades	Promedio	DS	Rangos Óptimos
Oxígeno	mg/l	5.089	1.119	6 - 8
Temperatura	°C	28.558	0.643	24 - 32
Secchi	cm	24.230	6.977	25 - 35
Color	-	Verde oscuro	-	-
Salinidad	ppm	14.071	1.980	2 -35
pH	-	7.9	0.298	6.8 – 8.5
Amonio (NH <sub>3</sub> )	mg/l	0.212	0.069	< 1
Amoniaco (NH <sub>4</sub> )	mg/l	0.224	0.074	< 0.1
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	mg/l	0.119	0.069	0.01 – 0.1
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/l	5.374	1.403	2.2 – 3.5
Sulfuro (S <sub>2</sub> )	mg/l	0.090	0.056	< 0.03
Fosfato (PO <sub>4</sub> )	mg/l	0.783	0.351	0.2 – 0.5
Turbidez	FAU	78.076	46.826	-
Alcalinidad	mg/l	226.428	64.283	75 - 150
Materia Orgánica	%	3.476	1.151	< 5
DBO <sub>5</sub>	mg/l	14.8	7.6	-

## **CAPITULO II.- SUSTENTO TEORICO DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN**

### **2.1 IMPORTANCIA DEL PROCESO**

Los niveles de contaminación que han alcanzado los cuerpos receptores de agua causados por efluentes industriales, agrícolas y domésticos, han dado lugar a que los organismos de control y saneamiento ambiental, exijan a las fábricas, empacadoras, camaroneras y todo lugar que produzca aguas residuales, la realización de un estudio de sus afluentes y efluentes, con el afán de proteger sus cultivos y rescatar estos cuerpos.

El objetivo fundamental de la sedimentación o decantación primaria, es la eliminación de los sólidos sedimentables y del material flotante y, por lo tanto, reducir el contenido de sólidos en suspensión del agua.

Estos estudios implican el diseño de un sistema de tratamiento con el objetivo de descontaminar dichos efluentes y poder ser desalojados a los cuerpos receptores con

un contenido mínimo de contaminante, respetando y tomando como base las normas elaboradas por los organismos de control.

El contenido total de materia sólida contenida en el agua constituye los Sólidos Totales (ST), comprendiendo los sólidos tanto orgánicos como inorgánicos; su valor queda definido por toda la materia que permanece como residuo de la evaporación a 105°C. Estos Sólidos Totales pueden encontrarse como:

- Sólidos disueltos (SD) que no sedimentan encontrándose en el agua en estado iónico o molecular.
- Sólidos en Suspensión (SS), que pueden ser:
  - Sedimentables (SSs), que por su peso pueden sedimentar fácilmente en un determinado periodo de tiempo (2 horas en cono Imhoff)
  - No sedimentables (SSn), que no sedimentan tan fácilmente por su peso específico próximo al del líquido o por encontrarse en estado coloidal.

Los sólidos en suspensión sedimentables constituyen una medida de la cantidad de fango que se depositara durante el proceso de decantación o sedimentación.



La reducción de la velocidad de corriente por debajo de un determinado valor, (función de la eficacia deseada en la decantación), es el fundamento en la eliminación de un 50 a 60% de las materias en suspensión del afluente. Al depositarse estas partículas de fango, arrastran en su caída una cierta cantidad de bacterias, con lo que se alcanza también, en este tipo de tratamiento, una reducción de la DBO y una cierta depuración biológica.

Cuando se usan los tanques de sedimentación como único medio de tratamiento, sirven para la eliminación de:

- Sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en las aguas receptoras.
- Aceite libre, grasas y otras materias flotantes, y
- Parte de la carga orgánica vertida a las aguas receptoras.

Debido al frecuente ingreso de aguas con una alta carga de material particulado tanto de origen orgánico e inorgánico la calidad química y biológica del agua para la producción acuícola en general y en especial la del camarón se ha deteriorado evidentemente, además ha originado un alto nivel de sedimentación por lo que, el área útil para almacenar agua se reduce drásticamente, esto además ocasiona una turbidez no deseada dentro de las piscinas que interfiere con el paso de la luz dificultando el proceso de la fotosíntesis por parte de la producción primaria existente.

Sirven como decantadores o sedimentadores todos los depósitos que sean atravesados con velocidad suficientemente lenta y de forma adecuada por el agua a depurar. La exigencia, sin embargo, de separar fácil y rápidamente las partículas sedimentadas de las aguas clarificadas han conducido a ciertas formas especiales.

## **2.2 CARACTERISTICAS DE LOS DIFERENTES METODOS DE SEDIMENTACIÓN**

Los materiales residuales emitidos directamente desde fuentes industriales y agrícolas son las causantes de una considerable contaminación del suelo y del agua. Los tipos de residuos peligrosos encontrados en un vertedero así como su cantidad y toxicidad, varían de forma importante. Un vertedero típico puede contener un material tan diverso como la mezcla de conchas de ostras, cobre, pintura, aceite, productos asociados, etc...

Para eliminar la exposición a residuos peligrosos han sido eficaces diversos tratamientos no biológicos. Estos métodos físico-químicos incluyen:

- Almacenamiento a largo plazo,
- Los vertederos,
- La incineración,
- El arrastre por aire,
- Desarenado,
- Desengrasado,
- Decantación primaria o sedimentación,
- Lagunaje,
- Floculación y coagulación, etc...

Cada uno de estos procesos presenta sus ventajas y desventajas en base a su poder de depuración, costos, y rendimientos obtenidos.

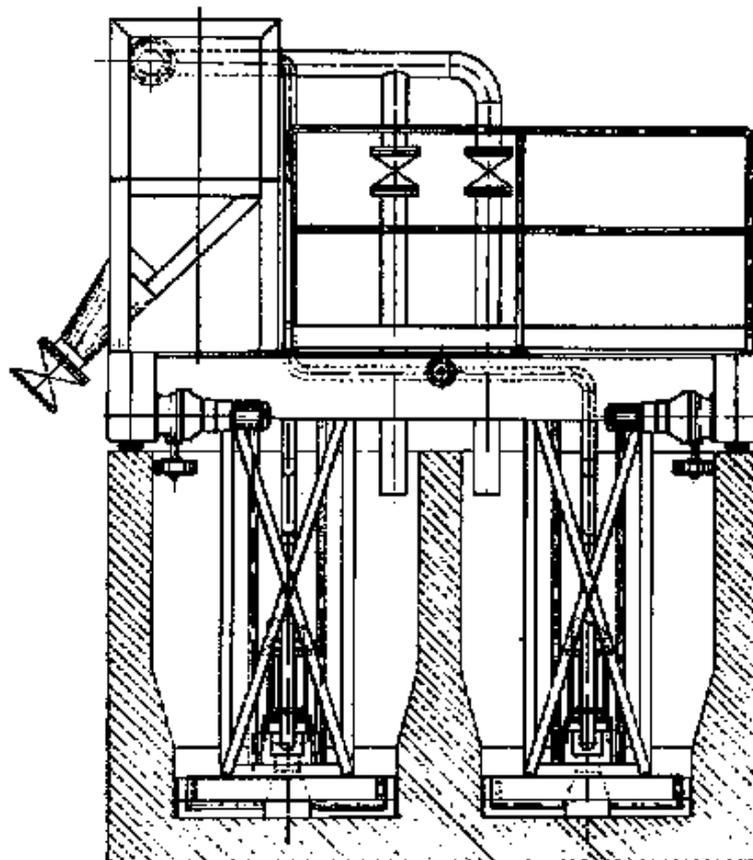
### **2.2.1 DESARENADO**

Su función es separar los elementos pesados en suspensión (arenas, arcillas, limos), que lleva el agua residual generando sobrecargas en fangos, depósitos en las tuberías y canales, etc... La retirada de estos sólidos se realiza en depósitos, donde se remansa el agua, se reduce la velocidad del agua, aumentando la sección de paso. Las partículas en suspensión, debido al mayor peso, se depositan en el fondo del depósito denominado desarenador.

Existen varias clasificaciones de los desarenadores atendiendo a características, a veces no totalmente disyuntivas, y con denominaciones mas o menos confusas. Una de las menos equivocada podría ser la siguiente:

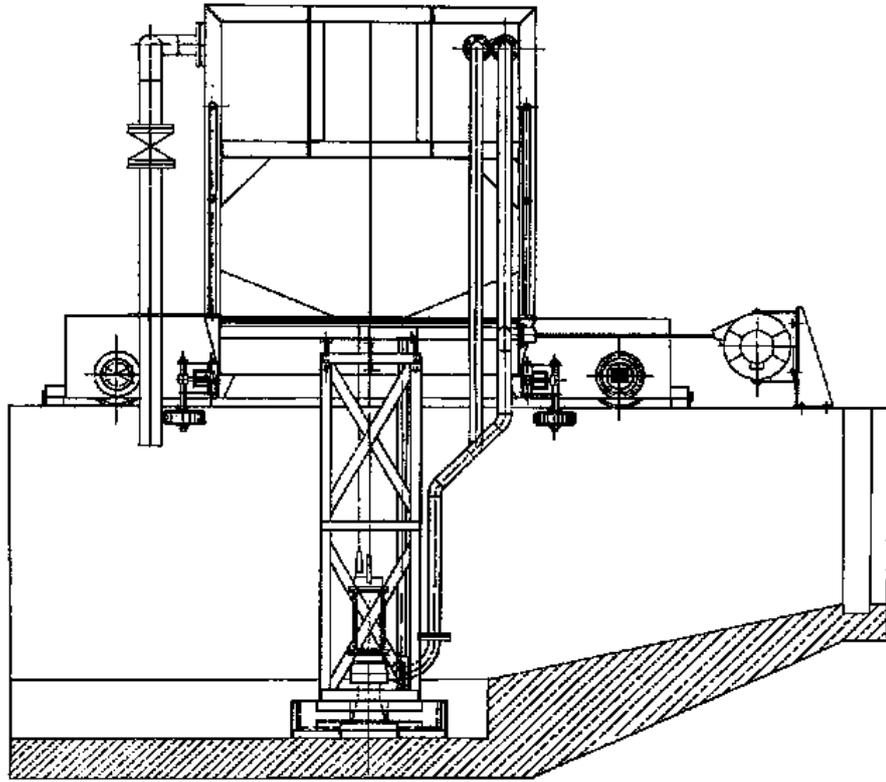
- a) Desarenadores de flujo horizontal.
- b) Desarenadores de flujo vertical.
- c) Desarenadores de flujo inducido.

**Figura No. 1.- Desarenador de Flujo Horizontal. Sección Transversal.**



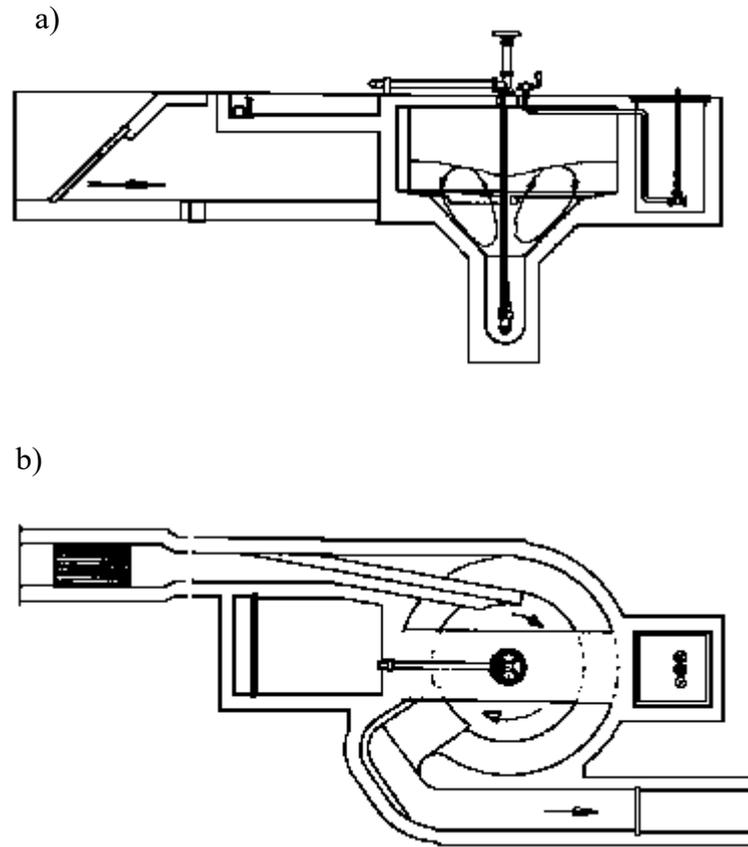
**Fuente:** Manual de Depuración URALITA. (1996)

**Figura No. 2.- Desarenador de Flujo Horizontal. Sección Longitudinal.**



**Fuente:** Manual de Depuración URALITA. (1996)

**Figura No. 3.- Desarenador Circular con Extracción de Arenas por Bomba Mammut.**



**Fuente:** Manual de Depuración URALITA. (1996)

Experiencias realizadas con distintos tamaños de arena, a distintas velocidades ascensionales, para determinar los porcentajes de pesos de arenas arrastrados por la corriente, han dado los siguientes resultados:

**Tabla II. - Decantabilidad de las Arenas.**

Velocidad del agua m/s	Gruesos de granos y % sedimentado						
	Mas de 2 mm %	De 1 a 2 mm %	De 0,5 a 1 mm %	De 0,25 a 0,5 mm %	De 0,2 a 0,25 %	De 0,15 a 0,2 mm %	Menos de 0,15 %
0,01	0	0	0	0	0	3,3	17,3
0,02	0	0	0	0	8,5	21,7	92,7
0,03	0	0	0	24,9	59,0	98,0	100,0
0,04	0	0	0	34,4	64,0	100,0	100,0
0,05	0	0	0	37,6	68,0	100,0	100,0
0,06	0	0	0	45,0	72,0	100,0	100,0
0,07	0	0	Indicios	100,0	100,0	100,0	100,0
0,08	0	0	5	100,0	100,0	100,0	100,0

**Fuente:** Muñoz, Lehmann y Martínez, 1996

Se ha deducido, que la mayor velocidad de caída de la materia orgánica es de 3 a 4 cm/seg. Por consiguiente, si se fija la velocidad ascendente de un desarenador de tipo vertical en 6 cm/seg se puede asegurar que no habrá deposito de materia orgánica mientras que los granos de arena de 0,25 a 0,5 mm quedaran retenidos en su mayor parte.

La cantidad de arena recogida en los desarenadores varia de forma muy importante en función del sistema de alcantarillado(unitario o separativo), tipo de sumideros, grado de pavimentación de la zona, características de los terrenos y de la urbanización, etc.

### **2.2.2 DESENGRASADO**

Son importantes los volúmenes de grasas que se vierten en los colectores procedentes de las mecánicas, de los hogares y calefacciones, de lavaderos, mataderos, y de la escorrentía superficial en colectores unitarios.

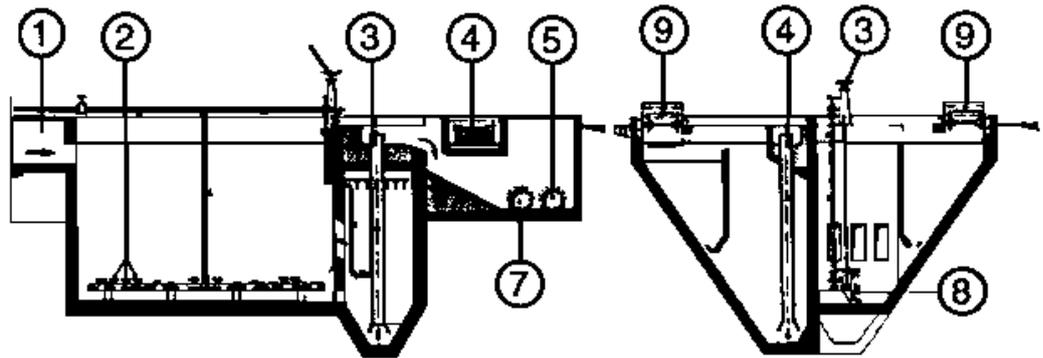
Las grasas han creado muchos problemas en la técnica de la depuración de aguas residuales, especialmente en los elementos y procesos siguientes:

- En rejillas finas causan obstrucciones que aumentan los gastos de conservación.
- En los decantadores forman una capa superficial que dificulta la sedimentación al atraer hacia la superficie pequeñas partículas de materia orgánica.
- En la depuración por el sistema de fangos activados dificultan la correcta aireación disminuyendo el coeficiente de transferencia al 55-70% al subir las grasas de 0 a 70 mg/l y participan en la producción del fenómeno de bulking.
- Perturban el proceso de digestión de lodos.
- La DQO se incrementa en un 20 a 30 %, por las grasas contenidas en los vertidos.

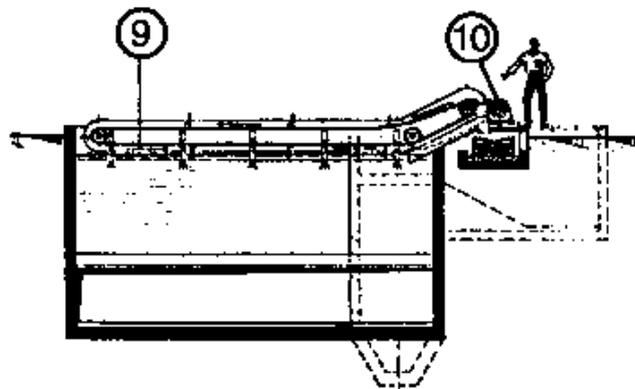
Las cantidades de grasas incorporadas en las aguas residuales son muy variables, pero, para aguas urbanas, pueden considerarse unas cifras de 24 g por habitante y día, o bien el 28% de los sólidos en suspensión.

Figura No. 4.- Desarenador - Desengrasador. Sección Transversal.

a)



b)



Fuente: Manual de Depuración URALITA. (1996)

## **2.2.3 DEPURACION FÍSICA. DECANTACIÓN**

### **2.2.3.1 FUNDAMENTO Y ALCANCE**

El objetivo fundamental de la decantación primaria es la eliminación de los sólidos sedimentables. La mayor parte de las sustancias en suspensión en las aguas residuales no pueden retenerse, por razón de su finura o densidad, en las rejillas, desarenadores y cámaras de grasa, ni tampoco pueden separarse mediante flotación por ser mas pesadas que el agua.

La reducción de la velocidad de corriente por debajo de un determinado valor, (función de la eficiencia deseada en la decantación), es el fundamento de la eliminación de un 50 a 60 por 100 de las materias en suspensión del afluente. Al depositarse estas partículas de fango, arrastran en su caída una cierta cantidad de bacterias, con lo que se alcanza también, en este tipo de tratamiento, una reducción de la DBO y una cierta depuración biológica.

Sirven como decantadores todos los depósitos que sean atravesados con velocidad suficientemente lenta y de forma adecuada por el agua a depurar. La exigencia, sin embargo, de separar fácil y rápidamente las partículas sedimentadas de las aguas clarificadas han conducido a ciertas formas especiales.

Los elementos fundamentales de todo decantador son:

- a) Entrada del afluente: Deben proyectarse en forma tal que la corriente de alimentación se difunda homogéneamente por todo el tanque desde el primer momento.
- b) Deflectores: Suelen colocarse a la entrada y salida de la balsa sirviendo, el primero, para conseguir una buena repartición del caudal afluente, y el segundo para retención de las sustancias flotantes, grasas y espumas.
- c) Vertedero de salida: Su nivelación es muy importante para el funcionamiento correcto de la clarificación. Por otro lado, para no provocar levantamiento de los fangos sedimentados, la relación del caudal afluente a la longitud total de vertido debe ser menor de 10-12 m<sup>3</sup>/h/m.
- d) Características geométricas: Las relaciones entre ellas deben ser las adecuadas para la sedimentación de los tipos de partículas previstas. Su forma puede ser rectangular, cuadrada o circular.

La sedimentación puede ser:

- De flujo horizontal
- De flujo vertical

Para el dimensionamiento, basta en principio seleccionar una carga hidráulica y un tiempo de retención adecuados para obtener el rendimiento que se desee.

Carga hidráulica,

$$C_H = \frac{Q}{A}$$

Tiempo de retención,

$$t_r = \frac{V}{Q}$$

Siendo:

$C_h$  = Carga hidráulica ( $m^3/m^2 \cdot h$ )

$Q$  = Caudal circulante a depurar ( $m^3/h$ )

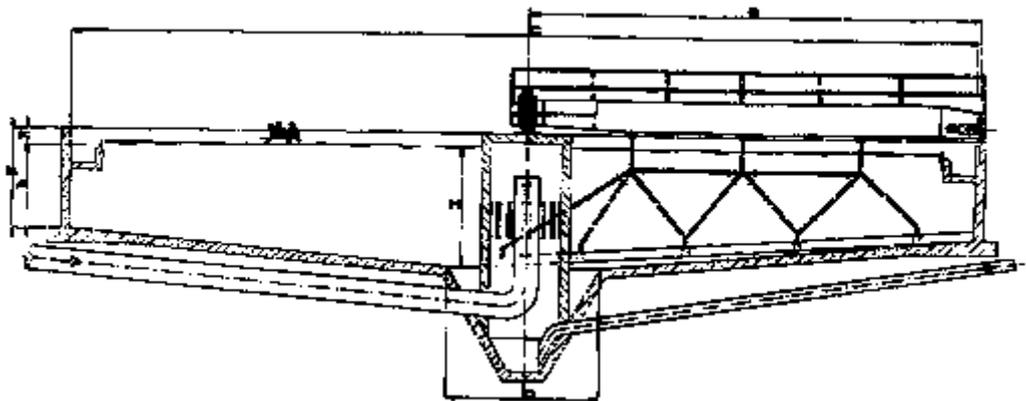
$A$  = Superficie horizontal ( $m^2$ )

$t_r$  = Tiempo de retención (h)

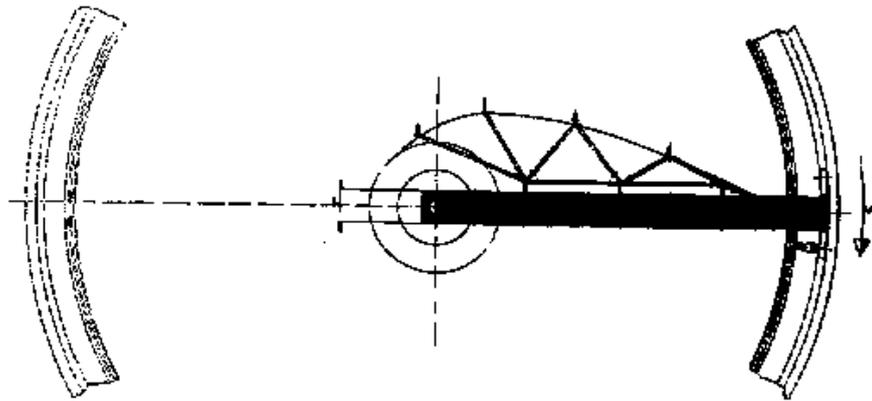
$V$  = Volumen del tanque de decantación ( $m^3$ )

**Figura No. 5.- Esquema Decantador Circular Flujo Horizontal.**

a)



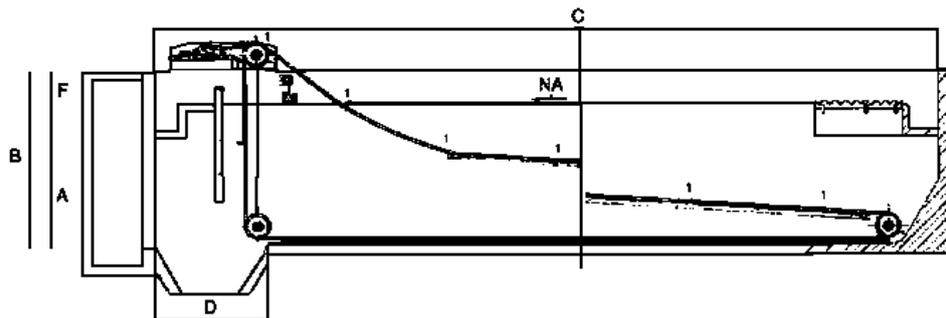
b)



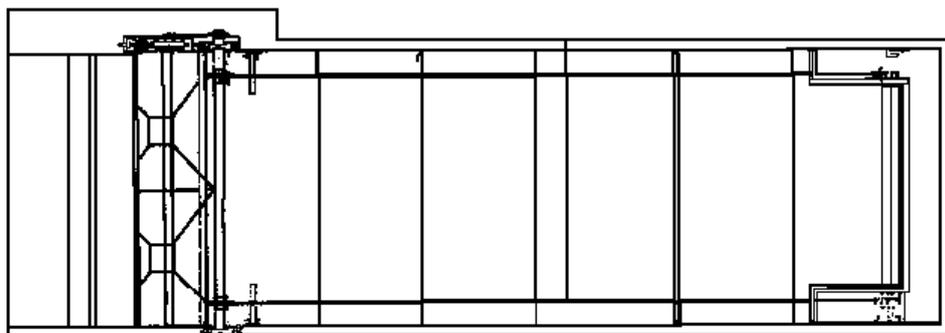
Fuente: Manual de Depuración URALITA. (1996)

Figura No. 6.- Esquema Decantador Rectangular Flujo Horizontal.

a)



b)



Fuente: Manual de Depuración URALITA. (1996)

**Tabla III. - Características Decantador Circular Flujo Horizontal**

Especificación		Ref	Dimension	Dimensiones y características constructivas																			
Dimensiones Decantador	Diámetro	C	M	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	35	40
	Profundidad	B	M	2,00 / 3,50																			
	Lámina de agua en vertedero	A	M	1,50 / 3,00																			
	Altura protección	F	M	0,5																			
	Pendiente fondo	p%	-	8%																			
	Sección de fango	D	M	2,50				3,00				3,60											
	Lámina de agua en zona reparto	H	M	A + 0,04 (C - D)																			
Dimensiones Barredera	Radio	R	M	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,15	8,65	9,15	9,65	10,15	11,15	12,15	13,15	14,15	15,15	17,65	20,15
	Ancho puente	L	M	0,75																			
Velocidad giro barredera		V	m/min.	0,5 – 1,5 (velocidad recomendada 1,2 m/min)																			
Potencias		-	C.V.	0,25				0,33				0,50				0,75/1,00							

Fuente: Manual de Depuración URALITA. (1996)

**Tabla IV. - Características Decantador Rectangular Flujo Horizontal**

Especificaciones		Ref	Dimension	Dimensiones y características constructivas						
Dimensiones Deposito	Largo	C	m	10 / 35						
	Ancho	J	m	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
	Tolva	D	m	Según proyecto						
	Profundidad	B	m	2,50 / 4,80						
	Pendiente fondo	p%	-	2%						
	Altura protección	F	m	0,50 / 0,80						
	Lámina de agua	A	m	2 / 4						
Potencia		-	C.V.	0,33 / 1,0						

**Fuente:** Manual de Depuración URALITA. (1996)

Siempre que un líquido que contenga sólidos en suspensión se encuentre en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tienen tendencia a depositarse, y los de menor peso específico tienden a ascender.

Estos principios básicos se emplean para el proyecto de los tanques de decantación para el tratamiento de las aguas residuales. La finalidad del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y del material flotante y, por lo tanto, reducir el contenido de sólidos en suspensión del agua.

Los tanques de sedimentación primaria pueden proporcionar el principal grado de tratamiento del agua residual, o se pueden emplear como paso previo al tratamiento posterior. Cuando se utilizan como único medio de tratamiento, estos tanques sirven para la eliminación de: (1) sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de

fango en las aguas receptoras; (2) aceite libre, grasas, y otras materias flotantes, y (3) parte de la carga orgánica vertida a las aguas receptoras. Cuando los tanques de sedimentación primaria se emplean como paso previo de tratamientos biológicos, su función es la reducción de la carga afluente a las unidades de tratamiento biológico. Los tanques de sedimentación primaria bien dimensionados y explotados con eficiencia eliminan entre el 50 y el 70 por 100 de los sólidos suspendidos y entre el 25 y el 40 por 100 de la  $DBO_5$  (Metcalf & Hedi, Inc 1996).

Los tanques de sedimentación primaria que precedan a los procesos de tratamiento biológico, pueden ser diseñados de forma que sus tiempos de detención sean menores y tengan una carga de superficie más alta que los que se utilizan como único medio de tratamiento, excepto cuando el fango activado en exceso se envíe a los tanques de sedimentación primaria para su mezcla con el fango primario.

Una buena practica de separación de los sólidos o de las partículas coaguladas del medio en el cual están suspendidas es dejar sedimentar el agua o filtrándola o ejecutando ambos procesos consecutivamente que es lo más común.

La sedimentación y la filtración, por tanto deben considerarse como procesos complementarios. La sedimentación realiza la separación de los sólidos mas densos que el agua y que tienen una velocidad de caída tal que pueden llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable. La filtración, en cambio, separa aquellos sólidos que tienen una densidad muy cercana a la del agua,

que han sido suspendidos por cualquier causa en el flujo, y que por tanto no quedan removidos en el proceso anterior.

Hasta que el límite de turbiedad debe remover la sedimentación y que turbiedad debe entrar al filtro, es asunto de debate. Todo depende del trabajo que se quiera dar a cada proceso. Según el tipo de filtros que se use, puede ser más económico remover la mayor cantidad de sólidos en la sedimentación y solo una mínima parte en la filtración, o remover en cambio un porcentaje de sólidos relativamente bajo en la sedimentación (disminuyendo el tamaño de los tanques) y dejando el resto del trabajo a la filtración.

Los tanques de sedimentación también se han empleado como tanques de tormentas, caso en el que se proyectan para proporcionar un tiempo de detención corto a los caudales en exceso aliviados de redes de alcantarillado unitario (10 a 30 minutos). Su finalidad es eliminar una parte sustancial de los sólidos orgánicos que, de otro modo, se evacuarían directamente al agua receptora y podrían formar depósitos de fango perjudiciales. Tales tanques se han empleado, asimismo, para procurar periodos de tiempo suficientes para la cloración efectiva de los caudales aliviados.

### **Bases de proyecto**

Si todos los sólidos del agua residual fueran partículas discretas de tamaño, densidad, peso específico y forma relativamente uniformes, la eficiencia de eliminación de dichos sólidos dependería del área superficial del tanque y del tiempo de detención.

En esta situación, suponiendo que las velocidades de circulación horizontales se mantengan por debajo de las de arrastre, la profundidad del tanque no tendría importancia. Sin embargo, los sólidos de la mayoría de las aguas residuales no se ajustan a estas características regulares, sino que son de naturaleza heterogénea, y las condiciones en las que se hallan presentes varían desde la dispersión total hasta la floculación completa. La mayoría de los sólidos finamente divididos que llegan a los tanques de sedimentación primaria están sólo parcialmente floculados, aunque son susceptibles de flocular.

La floculación se ve favorecida por el movimiento turbulento del fluido en el interior de los tanques, y prosigue a través de la coalescencia de las partículas finas, a una velocidad que es función de su concentración y de la aptitud natural de las partículas para agregarse en la colisión. Por lo tanto, y como regla general, la coalescencia de una suspensión de sólidos se torna más completa á medida que transcurre el tiempo. Por esta razón, el tiempo de detención también se deberá tener en cuenta en el proyecto de los tanques de sedimentación. Sin embargo, el mecanismo de la floculación es tal que, al aumentar el tiempo de sedimentación, la coalescencia de las partículas restantes tendrá lugar cada vez en menor grado.

### **Tiempo de detención.**

Normalmente, los tanques de decantación primaria se proyectan para proporcionar un tiempo de detención entre 1,5 y 2,5 horas para el caudal medio del agua residual. Los tanques que proporcionan tiempos de detención menores (0,5 a 1 h), con menor

eliminación de sólidos suspendidos, se usan en ocasiones como tratamiento primario previo a las unidades de tratamiento biológico.

En el proyecto de los tanques de sedimentación primaria, los efectos de la temperatura no suelen requerir atención especial. Sin embargo, en zonas de climas fríos, los incrementos de la viscosidad del agua producidos por las bajas temperaturas retardan la sedimentación de las partículas en los decantadores y reducen los rendimientos de las instalaciones para temperaturas inferiores a los 20°C. En la figura 7 se presenta una curva que muestra el incremento del tiempo de detención necesario para igualar el tiempo de detención correspondiente a 20° C. Por ejemplo, para un agua residual a 10°C, el tiempo de detención necesario para igualar el rendimiento que se obtendría con el agua a 20°C sería 1,38 veces superior. Por lo tanto, para conseguir rendimientos adecuados, en los casos en los que se espera que el agua residual entre a bajas temperaturas es necesario adoptar ciertos factores de seguridad en el proyecto de los decantadores (Metcalf & Hedi, Inc 1996).

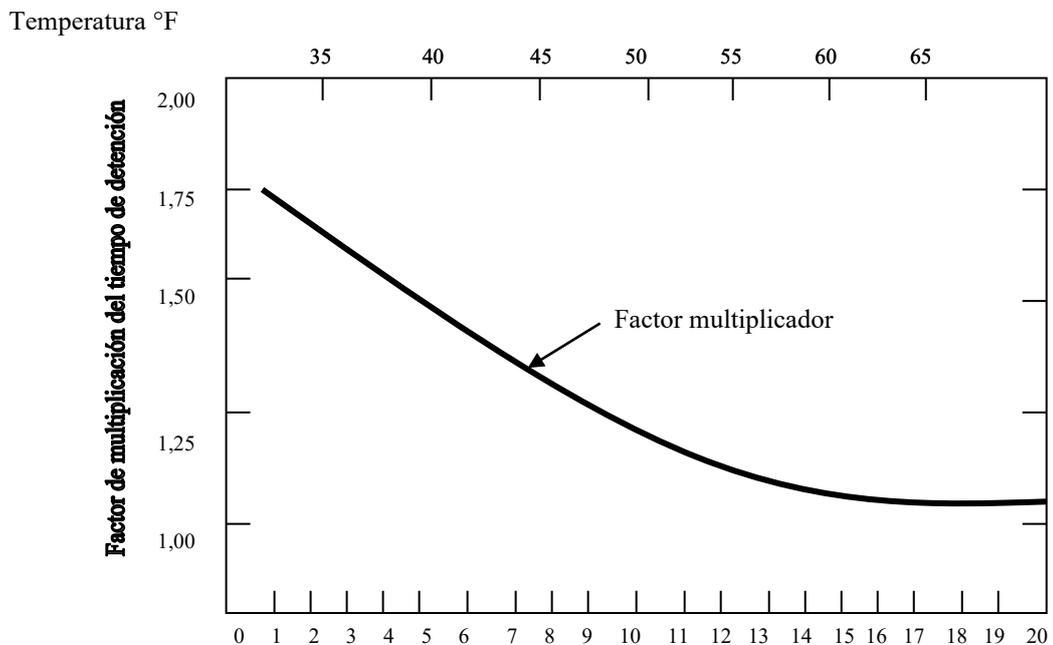
### **Cargas de superficie.**

Los tanques de sedimentación se suelen dimensionar en función de la carga de superficie, expresada en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día. La adopción de una carga de superficie adecuada depende del tipo de suspensión que hay que decantar. En la Tabla V se presentan valores típicos para varios tipos de suspensiones. Los proyectos para plantas de tratamiento municipales también deben contar con la aprobación de las agencias

reguladores, muchas de las cuales disponen de parámetros propios que es necesario respetar.

El efecto de la carga superficial y del tiempo de detención sobre la eliminación de sólidos suspendidos varía ampliamente en función de las características del agua residual, de la proporción de sólidos sedimentables, concentración de sólidos, así como de otros factores. Es conveniente poner especial atención en el hecho de que las cargas de superficie deben ser lo suficientemente reducidas como para asegurar el rendimiento de las instalaciones en condiciones de caudal punta, que puede variar entre tres veces el caudal medio para plantas pequeñas y el doble del caudal medio para plantas de grandes dimensiones.

**Figura 7. - Variación del tiempo de decantación respecto a la temperatura en decantadores primarios**



**Fuente:** Ingeniería De Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido Y Reutilización. (1996)

**Tabla V. - Información típica para el proyecto de tanques de decantación primaria**

Características	Valor	
	Intervalo	Típico
Decantación primaria seguida de tratamiento secundario:		
Tiempo de detención, h	1,5-2,5	2,0
Carga de superficie, m <sup>3</sup> /m * d		
A caudal medio	800-1.200	
A caudal punta	2.000-3.000	2.500
Carga sobre vertedero, m <sup>3</sup> /m * d	10.000-40.000	20.000
Sedimentación primaria con adición del fango activado en exceso:		
Tiempo de detención, h	1,5-2,5	2,0
Carga de superficie, m <sup>3</sup> /m * d		
A caudal medio	600-800	
A caudal punta	1.200-1.700	1.500
Carga sobre vertedero, m <sup>3</sup> /m * d	10.000-40.000	20.000

**Fuente:** Ingeniería De Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido Y Reutilización. (1996)

Una vez se ha establecido la superficie del tanque, el tiempo de detención viene gobernado por la profundidad del agua en el interior del tanque. Las cargas de superficie que se usan en la actualidad proporcionan, en base a los caudales medios, tiempos de detención nominales entre 2 y 2,5 horas. No obstante, como los caudales que se adoptan en proyecto suelen tener en cuenta las previsiones futuras, en los primeros años de explotación los tiempos de detención reales pueden resultar algo mayores.

### **Cargas sobre vertedero.**

En general, las cargas sobre vertedero tienen escasa repercusión sobre el rendimiento de los tanques de sedimentación primaria, y no es preciso tenerlas en cuenta a la hora de analizar la conveniencia del proyecto de un tanque de sedimentación. Son más importantes la ubicación de los vertederos y el diseño de los tanques. En la Tabla V se incluyen valores de las cargas sobre vertedero típicas, aunque sólo se deben tener en cuenta como información general complementaria.

### **Velocidad de arrastre.**

La velocidad de arrastre es importante en las operaciones de sedimentación. Las fuerzas actuales sobre las partículas sedimentadas son causadas por la fricción del agua que fluye sobre las mismas. En las redes de alcantarillado, es necesario mantener las velocidades suficientemente elevadas para que las partículas no puedan sedimentar. En los tanques de sedimentación, las velocidades horizontales se deben mantener a niveles bajos, de modo que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque. La velocidad crítica viene dada por la ecuación siguiente desarrollada por Camp a partir de estudios realizados por Shields:

$$V_H = \left[ \frac{8k(s-1)gd}{f} \right]^{1/2}$$

Donde  $V_H$  = velocidad horizontal mínima a la que se inicia el fenómeno de arrastre.

$k$  = constante que depende del tipo de material arrastrado.

$s$  = peso específico de las partículas.

$g$  = aceleración de la gravedad.

$d$  = diámetro de las partículas.

$f$  = factor de fricción de Darcy-Weisbach.

Los valores típicos de  $k$  son 0,04 para arena unigranular, y 0,06 para materia más agregada. El término  $f$  (factor de fricción de Darcy Weisbach) depende de las características de la superficie sobre la que tiene lugar el flujo y del número de Reynolds. Los valores típicos de  $f$  están entre 0,02 y 0,03. Tanto  $k$  como  $f$  son constantes adimensionales (Metcalf & Hedi, Inc 1996).

### **Tipo, tamaño y forma de los tanques**

Actualmente, casi la totalidad de las plantas de tratamiento, independientemente del tamaño excepto las que incorporan tanques Imhoff, utilizan tanques de decantación de diseño normalizado, rectangulares o circulares, con dispositivos mecánicos de recogida de fangos. La elección del tipo de tanque para una determinada aplicación depende del tamaño de la instalación, de las disposiciones y reglamentos de los organismos locales de control, de las condiciones locales del terreno, de la experiencia y juicio del proyectista, y de la estimación de los costes. Se debe disponer dos o más tanques con objeto de que el proceso no se interrumpa mientras uno de ellos esté fuera de servicio por razones de reparación o de mantenimiento. En las plantas grandes, el número de tanques viene determinado principalmente por las

limitaciones de tamaño. En la Tabla VI se presentan las dimensiones y otros datos típicos para tanques de sedimentación rectangulares y circulares.

**Tanques rectangulares.** Los tanques de sedimentación rectangulares pueden incorporar sistemas de raspado de fangos con rascadores accionados por cadenas o con puentes de traslación. Son varios los fabricantes que suministran equipos de recogida de fangos para decantadores de este tipo, y suelen consistir en una doble cadena cerrada que puede ser de aleación de acero, metálica, o termoplástica.

**Tabla VI. - Información típica para el proyecto de los tanques de decantación rectangulares y circulares utilizados para el tratamiento primario del agua residual**

Tipo de tanque	Valor	
	Intervalo	Típico
Rectangular:		
Profundidad, m	3-4,5	3,6
Longitud, m	15-90	25-40
Anchura, m <sup>a</sup>	3-25	5-10
Velocidad de los rascadores, m/min	0,6-1,2	0,9
Circular:		
Profundidad, m	3-4,5	3,6
Diámetro, m	3-60	12-45
Pendiente de la solera, mm/m	6,25-16	8
Velocidad de los rascadores, r/min	0,02-0,05	0,03

<sup>a</sup> Si las anchuras de los tanques rectangulares de limpieza mecánica son mayores de 6 m, pueden utilizarse compartimentos múltiples con equipos de raspado individuales, permitiendo, por tanto, anchuras de tanques hasta 24 m o mayores.

**Fuente:** Ingeniería De Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido Y Reutilización. (1996)

Sujetos a las cadenas a intervalos regulares de aproximadamente 3 m, se colocan tablonces de madera o de fibra de vidrio, que se extienden por toda la anchura del tanque. En el caso de plantas pequeñas, los sólidos que sedimentan en el tanque se arrastran a unos cuencos de recogida del fango, mientras que en las plantas grandes, se arrastran a unos canales de fondo transversales. Estos canales transversales están equipados con sistemas de recolección (colectores transversales), de cadena y rascadores o de tornillo, que conducen el fango a uno o más cuencos de fango. En unidades de gran longitud (por encima de los 50 m), se pueden conducir los fangos a puntos cercanos al centro del tanque mediante los mecanismos de raspado.

En los tanques rectangulares, la extracción del fango también se puede llevar a cabo empleando mecanismos tipo puente de traslación que se desplazan longitudinalmente, alternando el sentido del movimiento, mediante ruedas de goma o sobre raíles dispuestos en los muros laterales, y de los que cuelgan una o más rasquetas de fango. Algunos de los puentes están diseñados de tal manera que es posible elevar las rasquetas por encima del nivel del fango en el recorrido de vuelta a la posición inicial.

En los casos en los que no existen colectores transversales, es necesario instalar múltiples cuencos de recogida de fangos. Estos cuencos presentan problemas de funcionamiento, principalmente debidos a la acumulación de fango en las paredes y en las esquinas e incluso los producidos por la formación de bóvedas por encima de las tuberías de evacuación de los fangos. También se puede producir la salida de agua residual por los cuencos de fangos, pasando parte de los fangos acumulados,

pasando a funcionar como un sumidero. Es preferible instalar colectores transversales, posiblemente con excepción de las plantas pequeñas, puesto que permiten extraer un fango más concentrado y uniforme, además de eliminarse los problemas que se producen en los cuencos de recogida.

Los canales de entrada del agua a tratar se deben situar transversalmente a los tanques en las zonas de entrada, de forma similar a los canales de recogida del efluente en la zona de salida. También conviene situar las instalaciones de bombeo del fango cerca de los cuencos de recogida ubicados en los extremos de los tanques. Una instalación de bombeo puede servir, fácilmente, para dar servicio a dos o más tanques.

En los tanques rectangulares, la distribución del flujo a la entrada del tanque es un factor crítico. Las posibilidades de diseño de la entrada de agua al tanque incluyen: (1) canales que ocupan toda la anchura del tanque, con vertederos de entrada; (2) canales de entrada con orificios de entrada sumergidos, o (3) canales de entrada con compuertas grandes y deflectores. Los vertederos de entrada, a pesar de que son efectivos en cuanto a la distribución del flujo en toda la anchura del canal, introducen una componente vertical de la velocidad en los cuencos de recogida de fangos que puede resuspender las partículas de fango. Los orificios de entrada pueden conseguir una buena distribución del flujo en el ancho del tanque si se mantienen las velocidades dentro del intervalo entre 3 y 9 m/min. Los deflectores de entrada son eficaces en la reducción de las altas velocidades iniciales, y distribuyen el flujo a lo largo de la mayor sección transversal posible. En los casos en los que se emplean

deflectores que cubren toda la anchura del canal, deberán extenderse desde 150 mm por debajo de la superficie hasta 300 mm por debajo de la abertura de entrada.

En las instalaciones que tienen varios de tanques rectangulares, se puede construir una galería integrada en los tanques a lo largo del extremo de entrada del agua, con objeto de instalar en ella las bombas de fango y las tuberías asociadas. Esta galería se puede conectar a la galería de servicios de la planta para facilitar el acceso a otras unidades.

Las espumas se suelen recoger en el extremo de salida de los tanques rectangulares por medio de los rascadores que hacen su camino de retorno por la superficie del líquido. La espuma se arrastra mediante los rascadores hasta un punto en el que se retiene por medio de unos deflectores para su extracción. La espuma también se puede arrastrar mediante el rociado con agua a presión, y la extracción de la espuma se puede realizar arrastrándola manualmente hasta una rampa inclinada o por medio de dispositivos mecánicos o hidráulicos, de los que existen diversos sistemas en el mercado. Para instalaciones pequeñas, el sistema de recogida de espumas más común consiste en una tubería horizontal dotada de ranuras que se puede hacer rotar mediante una manivela o un tornillo. Excepto en el momento de recogida de las espumas, las aberturas se hallan por encima del nivel normal del agua en el tanque. En el momento de extraer las espumas, se gira la tubería de modo que se sumerjan las aberturas justo por debajo del nivel del agua, permitiendo que las espumas

acumuladas fluyan al interior de la tubería. El uso de esta clase de equipos da como resultado un volumen relativamente grande de líquido con las espumas.

Otro método de extracción de espumas por medios mecánicos consiste en un barredor helicoidal transversal acoplado a un eje. Este equipo permite arrastrar la espuma de la superficie del agua por encima de una corta rampa inclinada para su descarga a un colector de espumas transversal. A continuación, la espuma se hace circular por medio de un chorro de agua a un eyector de espumas o a una cámara dotada de una bomba de espumas. Otro sistema consiste en un colector del tipo de cadenas con rascadores que recoge la espuma en un lado del tanque y la arrastra a través de un pequeño plano inclinado hasta unas tolvas, desde las que se puede bombear a las unidades de evacuación. La espuma también se puede recoger con rasquetas superficiales en los tanques rectangulares dotados con equipos de puente de traslación. En las instalaciones en las que se recoge una apreciable cantidad de espuma, las cámaras de recogida de espumas suelen estar equipadas con equipos de mezclado que generen una mezcla homogénea antes del bombeo. Las espumas se suelen eliminar junto con los fangos producidos en la planta; no obstante, en muchas plantas, las espumas se eliminan por separado.

Los tanques rectangulares múltiples exigen menos espacio que los circulares, razón por la cual se emplean en zonas en las que la disponibilidad de terreno constituye una traba. Los tanques rectangulares se prestan a ser construidos adyacentes a los tanques de pre aireación y de aireación en las plantas de fangos activados, permitiendo el

aprovechamiento de paredes comunes y reduciendo los costes de construcción. También se adopta esta solución, de forma generalizada, en los casos en los que es necesario cubrir o cerrar los tanques. En emplazamientos en los que el espacio está limitado, también se pueden construir tanques rectangulares de dos pisos.

**Tanques circulares.** En los tanques circulares, el sistema de flujo es radial (a diferencia del flujo horizontal que se daba en los tanques rectangulares). Para conseguir este sistema de flujo radial, el agua residual a decantar se introduce por el centro o bien por la periferia del tanque. Ambas configuraciones de flujo han proporcionado, por lo general, resultados satisfactorios, a pesar de que el sistema más comúnmente empleado es el de introducir el agua por el centro. En las unidades de alimentación periférico, se han producido algunos problemas con la distribución del flujo y la eliminación de espumas.

En el diseño de alimentación central, el agua residual se transporta hacia el centro del tanque mediante una tubería suspendida del puente o embebida en hormigón por debajo de la solera. En la zona central, el agua residual pasa por una campana circular diseñada para distribuir el flujo uniformemente en todas direcciones. La campana central tiene un diámetro que suele variar entre el 15 y el 20 por 100 del diámetro total del tanque, con una profundidad que varía entre 1 y 2,5 m. El puente rascador gira lentamente y puede tener dos o cuatro brazos equipados con rascadores de fondo. Los puentes también incluyen unos rascadores superficiales para la eliminación de espumas.

En el diseño de alimentación perimetral, existe un deflector circular suspendido a corta distancia del muro del tanque, formando un espacio anular en el que se descarga el agua residual en dirección tangencial. El agua residual circula en espiral alrededor del tanque y por debajo del deflector, mientras el líquido decantado se recoge por medio de unos vertederos colocados a ambos lados de un canal situado en la parte central. La grasa y la espuma quedan retenidas en la superficie del espacio anular.

En los tanques circulares de 3,6 a 9 m de diámetro, el equipo de extracción de fango está soportado por medio de vigas apoyadas en las paredes laterales. Los tanques de diámetro superior a 10,5 m utilizan un pilar central que soporta el puente rascador y que es accesible por medio de una pasarela. La solera del tanque tiene forma de cono invertido, con una pendiente aproximada de 1/12, y el fango se arrastra a un cuenco relativamente pequeño situado junto a la zona central del tanque.

Cuando la instalación consta de varias unidades, se acostumbra a disponer los tanques en grupos de dos o cuatro unidades. El caudal se divide entre los diferentes tanques mediante una arqueta de reparto situada entre ellos. El fango se suele extraer mediante bombeo para su descarga a las unidades de evacuación de fangos.

### **Producción de fango**

Se debe conocer o estimar el volumen de fango producido en los tanques de decantación primaria, de modo que el proyecto y dimensionamiento de los tanques, junto con las instalaciones de tratamiento y eliminación del fango, se puedan llevar a

cabo correctamente. El volumen de fango producido dependerá de: (1) las características del agua residual cruda, incluidas la edad y concentración de la misma; (2) el tiempo de detención y el grado de tratamiento a llevar a cabo en los tanques; (3) el estado de los sólidos sedimentados, incluyendo el peso específico, el contenido de agua, y los cambios de volumen experimentados bajo la influencia de los dispositivos mecánicos de eliminación de fangos o de la profundidad del tanque, y (4) el lapso de tiempo transcurrido entre las operaciones de extracción de fangos. En la Tabla VII se proporcionan datos sobre el peso específico y el contenido en humedad del fango extraído de los tanques de sedimentación primaria.

**Tabla VII. - Información típica sobre el peso específico y la concentración del fango procedente de los tanques de decantación primaria**

Tipo de fango	Peso específico	Concentración de sólidos % <sup>a</sup>	
		Intervalo	Típico
Únicamente fangos primarios:			
Agua residual de concentración media	1,03	4-12	6,0
Agua residual procedente de redes de alcantarillado unitarias	1,05	4-12	6,5
Primarios y fangos activados en exceso	1,03	2-6	3,0
Primarios y humus de filtros perforadores	1,03	4-10	5,0

<sup>a</sup> Porcentaje de sólidos secos

**Fuente:** Ingeniería De Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido Y Reutilización. (1996)

En los tanques de decantación primaria empleados en los procesos de fangos activados, es necesario tener en cuenta el exceso de fango activado que se pueda añadir al agua a tratar para su sedimentación y espesado junto con el fango primario.

En las plantas de tratamiento en las que se recircula a la decantación primaria el fango activado en exceso, se deberán tomar las medidas oportunas para poder tratar fangos ligeros y flocculentos con contenidos de humedad del 98 al 99,5% y concentraciones de 1.500 a 10.000 mg/l en el líquido mezcla afluente al tanque.

#### **2.2.4 SEDIMENTACION DE PARTICULAS FLOCULADAS – PROCESO QUÍMICO.**

Algunas veces se utiliza un tratamiento físico – químico, empleando coagulantes y coadyuvantes, para lograr la sedimentación, mediante la formación de floculos. La decantación física consiste en la reducción de sólidos producida por sedimentación física de productos decantables. Mientras que el proceso físico – químico logra floculos decantables al incorporar coagulantes.

ECKENFELDER señala como limite máximo de eliminación un 85% debido, en aguas residuales urbanas, a materias en suspensión y coloidales. Para Europa IMHOFF establecía los limites en: 33% de materia en suspensión decantable, 33% de materia en suspensión no decantable y partículas coloidales, y 33% de partículas en solución. En este caso le limite del proceso de floculación-decantación se encontraría en un 66% de los sólidos totales. Es difícil superar una reducción de DBO<sub>5</sub> superior al 55%.

El consumo de reactivos oscila entre 90 y 250 mg/l, cuyo coste, unido al del control permanente de la dosificación por técnicos especialistas, obliga a descartar el sistema, salvo excepciones.

Si bien el coste del mantenimiento y explotación de la depuración química no tiene parangón económico con los costes de los procesos biológicos, el tratamiento químico tiene su aplicación en:

- a) Depuradoras para zonas turísticas con vertidos reducidos a ciertas épocas del año. Puede justificarse en estos casos una inversión inferior compensando los mayores gastos de mantenimiento y explotación. Puede ser útil igualmente para cubrir puntas estacionales.
- b) Depuradoras para zonas industriales o mixtas, donde los vertidos arrastran iones metálicos, tóxicos, etc., que pueden destruir la actividad biológica. En caso contrario siempre es aconsejable como solución más económica el tratamiento de las aguas industriales y urbanas conjuntas. Una solución adecuada suele ser pretratar las aguas industriales y posteriormente tratar biológicamente las aguas urbanas e industriales de forma conjunta.
- c) Como tratamiento terciario, bien para obtener una eliminación más completa de los contaminantes, bien para la eliminación de compuestos orgánicos y nutrientes, como el fósforo tras un tratamiento biológico. En este caso los consumos de reactivos se elevan por término medio a 40-150 mg/l.

La utilización de este sistema es plausible solo cuando los nutrientes en exceso pueden dar origen a problemas de eutrofización, como es el caso de los vertidos a lagos con desarrollo excesivo de algas.

### Parámetros de diseño en Depuración Química

Se da como velocidad de una suspensión  $V_s$ , en función de la velocidad de caída de una partícula  $V_p$ .

$$V_s = V_p (1 - f \phi^{2/3})$$

Siendo  $f$  un factor dependiendo del coagulante.

$f = 2,78$  para floculos de hierro y aluminio.

$\phi$  = es el % de volumen de floculos dentro de una zona frenada del decantador.

$$0,06 < \phi < 0,1$$

$V_p$  = el valor de caída de la partícula floculada, dada por la tabla VIII

**Tabla VIII. - Velocidad de Sedimentación**

<b>Velocidad de caída de partículas floculadas</b>	
<b>Tipo de Floculo</b>	<b>Rango de velocidades (<math>V_p</math>) de un floculo, a 15° C (mm/s)</b>
Floculo frágil, eliminación de color con sulfato de alúmina	0,61 – 1,22
Floculo medio, eliminación de algas con sulfato de alúmina	1,02 – 1,52
Floculo fuerte, eliminación de turbidez con sulfato de alúmina	1,22 – 1,78

**Fuente:** Manual de Depuración de Uralita, 1996.

## **2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS METODOS FISICOS.**

### **Ventajas.**

- Mayor simplicidad de operación de la planta.
- Homogeneidad en la calidad del fango.
- Remoción del fango en un solo punto.
- Eliminación de malos olores al entrar el agua directamente al tanque de aireación, si las aguas llegan en condiciones sépticas.
- Mejoría de la sedimentabilidad del fango activado.
- Aumento de la capacidad de absorción de puntas de carga, debido al mayor contenido de fangos en el tanque de activación.
- Mejora los sistemas con largos periodos de aireación, con digestión aerobia principalmente, en climas templados y cálidos.

### **Desventajas.**

- Mayor consumo energético en el proceso biológico por fangos activos.
- Menos producción de gas en la planta.
- Peligro de formación de sedimentaciones en el depósito de aireación, si no hay una instalación de desarenado bien dimensionada, de formación de fangos flotantes en el decantador secundario, si no hay una buena eliminación de grasas a la entrada de la planta y, quizás, una capacidad de espesamiento más reducida del fango mezcla en algunos casos.

- Se elimina un elemento de regulación hidráulica y de carga de depuradora, frente a caudales punta y caudales de lluvia en los sistemas unitarios.
- Se puede reducir la capacidad de espesado de los lodos que se llevan posteriormente a la digestión.

## **CAPITULO III.- ELECCIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA SEDIMENTADOR**

### **3.1 REDISEÑO DE LA CAMARONERA**

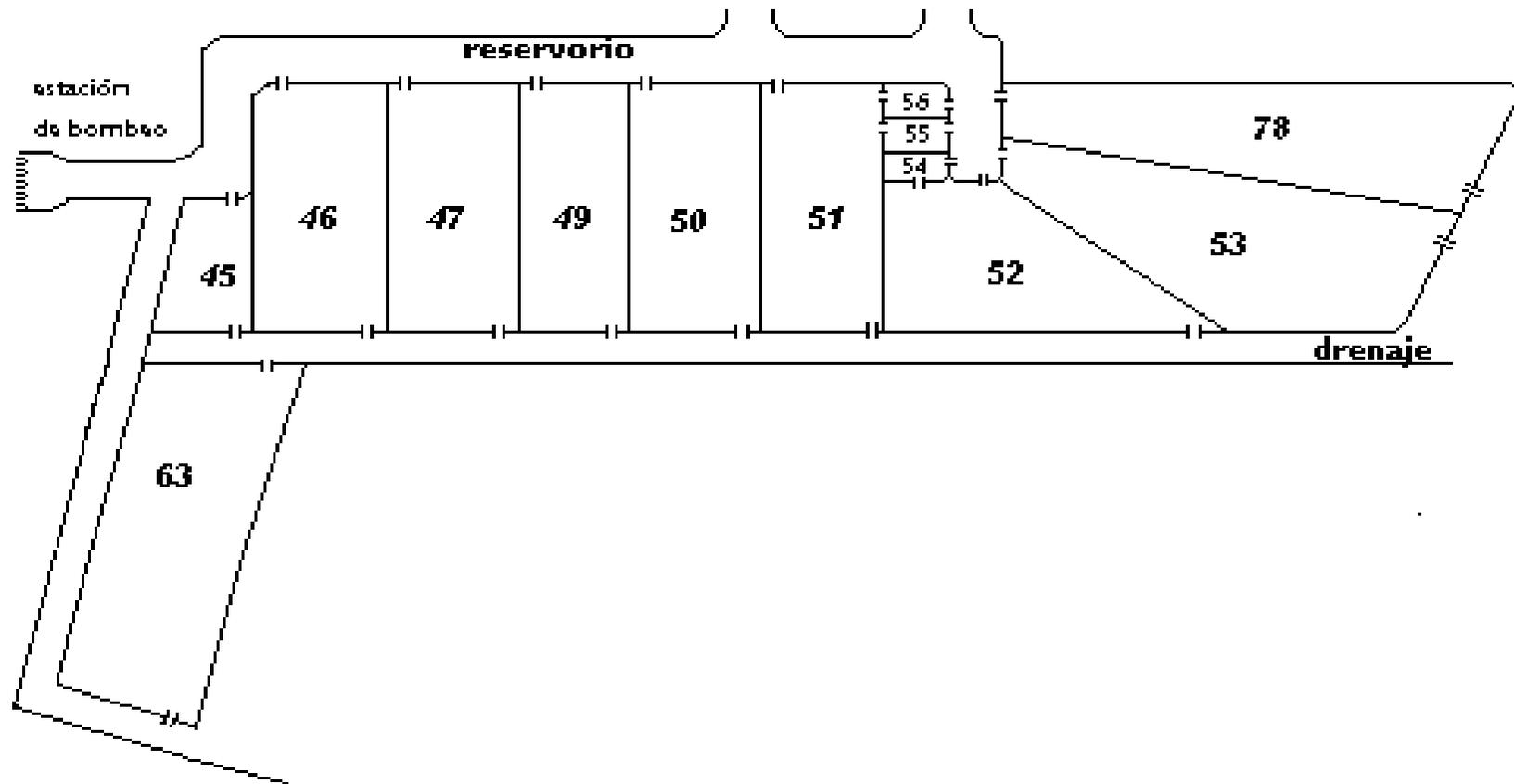
Debido al frecuente ingreso de aguas con alta carga de material particulado tanto de origen orgánico como inorgánico, la calidad química y biológica del agua para la producción de camarón se vio afectada evidentemente, además se originó un alto nivel de sedimentación por lo que, el área útil para almacenar agua se redujo drásticamente, es por ello que el Departamento Técnico de la camaronera se vio en la necesidad de implementar un sistema de sedimentación con el objetivo principal de tratar el afluente de agua, el cual consiste en la eliminación de sólidos fácilmente sedimentables y del material flotante, y por lo tanto reducir el contenido de sólidos en suspensión.

El dimensionamiento de las piscinas de sedimentación fue predispuesto teóricamente tomando como base el tiempo de retención hidrolítica de una partícula, el cual está en función de la distancia que tiene que recorrer la partícula y de la velocidad de la misma; es decir, si la distancia disminuye el tiempo de retención decrece, caso contrario ocurre cuando la velocidad del fluido aumenta, el tiempo de retención se

incrementa. En el caso particular de los sedimentadores el tiempo de retención es de 6 horas por bombeo.

El diseño del sistema de sedimentación se lo realizó tomando como base la distribución inicial de la camaronera, y la cantidad de agua requerida llegando a la conclusión que se necesitaba 2 sistemas de sedimentación para lo cual se tuvo que sacrificar 13 piscinas de producción (ver fig. 8), que fueron distribuidas como se muestra en la tabla IX.

Figura No. 8. - Diseño Original del Sector Destinado al Sedimentador.





**Tabla IX. - Distribución de los sedimentadores**

**Sedimentador A:**

<i>Cantidad de piscinas</i>	<i>N° de Piscina</i>	<i>Hectareaaje</i>
<i>1</i>	<i>45</i>	<i>1,49</i>
<i>2</i>	<i>46</i>	<i>5,22</i>
<i>3</i>	<i>47</i>	<i>5,11</i>
<i>4</i>	<i>49</i>	<i>4,85</i>
<i>5</i>	<i>50</i>	<i>5,18</i>
<i>6</i>	<i>51</i>	<i>7,20</i>
<i>7</i>	<i>52</i>	<i>6,27</i>
<i>8</i>	<i>53</i>	<i>8,17</i>
<i>9</i>	<i>54</i>	<i>0,65</i>
<i>10</i>	<i>55</i>	<i>0,89</i>
<i>11</i>	<i>56</i>	<i>0,78</i>
<i>12</i>	<i>78</i>	<i>7,34</i>
<b><i>TOTAL</i></b>		<b><i>53,19</i></b>

**Sedimentador B:**

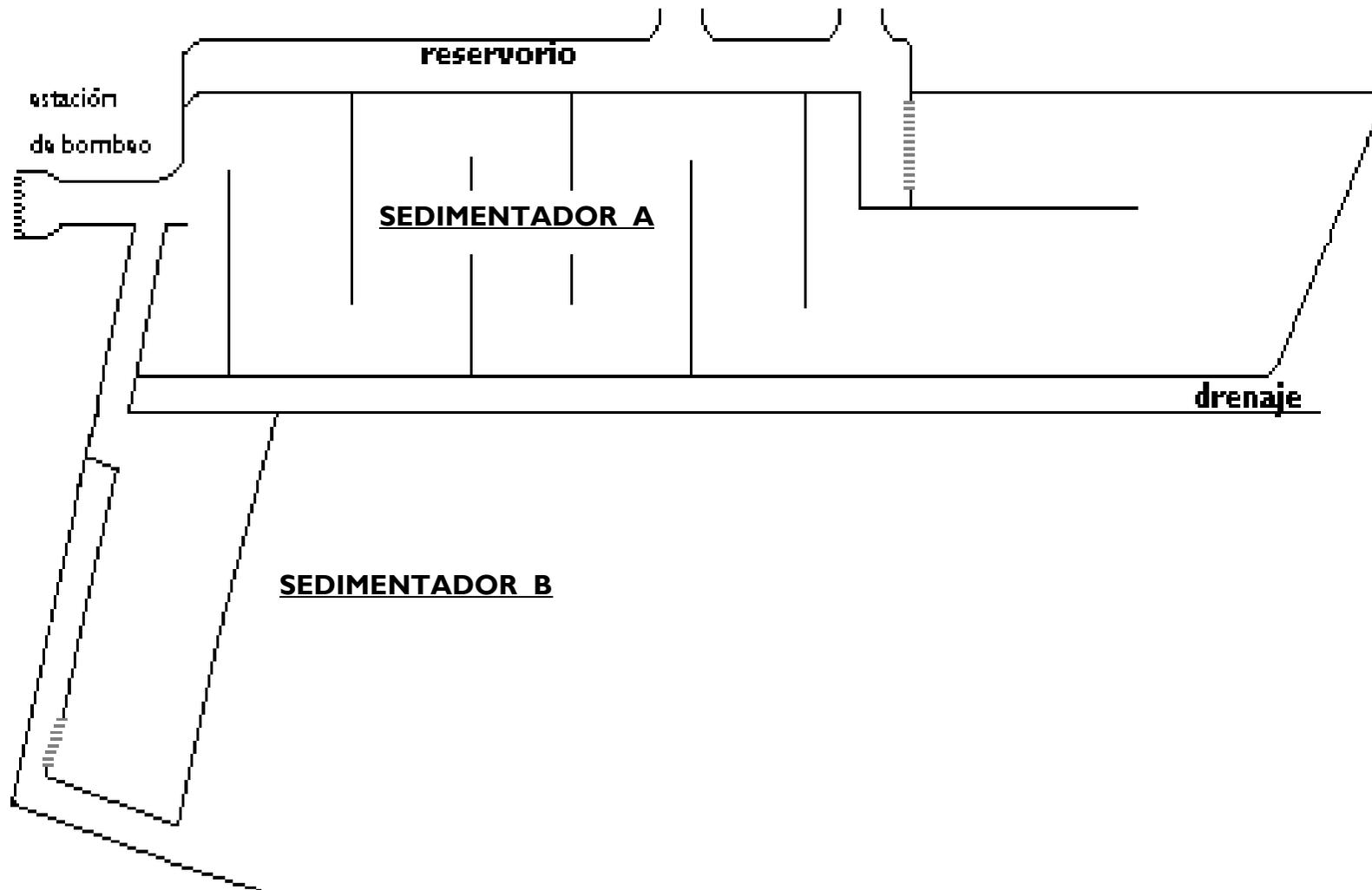
<i>Cantidad de piscinas</i>	<i>N° de Piscina</i>	<i>Hectareaaje</i>
<i>1</i>	<i>63</i>	<i>11,56</i>
<b><i>TOTAL</i></b>		<b><i>11,56</i></b>

**SUMA TOTAL DE LOS 2 SEDIMENTADORES 64,75 HAS.**

Las modificaciones realizadas en las piscinas sacrificadas consistieron en:

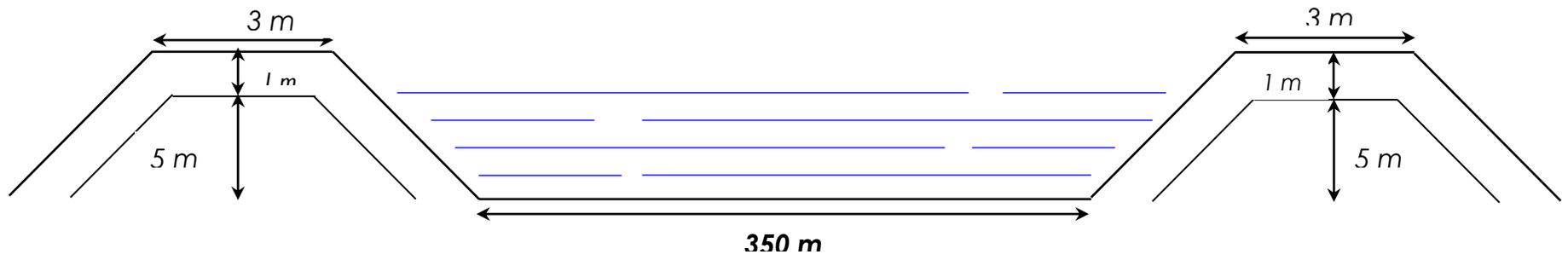
- Reducción de la altura (2 m) de los muros de las piscinas 45, 46, 47, 49, 50, y 51 que corresponden a la parte interna del sedimentador (ver fig. 9).
- Los muros de las piscinas 45, 46, 47, 49, 50, y 51 con una longitud total de 350 m cada uno, se les realizó un corte de aproximadamente 50 m de largo, para formar un serpentín de manera que el agua tenga un mayor recorrido y disminuya su velocidad.
- Los muros de las piscinas 52, y 53 (280 y 580 m respectivamente), fueron eliminados en su totalidad.
- Los muros de los pre criaderos 54, 55 y 56 (77.3 m cada uno), fueron eliminados en su totalidad.
- Construcción de la compuerta de salida del sedimentador A (33.8 m de largo por 2.3 m de alto); donde originalmente eran las compuertas de entrada de las piscinas 53 y 78.
- Construcción de la compuerta de salida del sedimentador B (15.6 m de largo por 2.3 m de alto); donde originalmente era la compuerta de entrada de la piscina 63.
- Para poner en funcionamiento el sedimentador B se corto aproximadamente 20 m del muro de la piscina 63 limitante con el reservorio.
- El volumen de tierra desalojado fue utilizado para elevar 1 m los muros perimetrales de los sedimentadores (6.564 m de longitud), (ver fig. 10).
- Adicionalmente se extrajo tierra cercana al sedimentador para completar la elevación de los muros.

Figura No. 9. - Diseño actual del Sedimentador.





**Figura No. 10. - Corte Transversal del Sedimentador.**



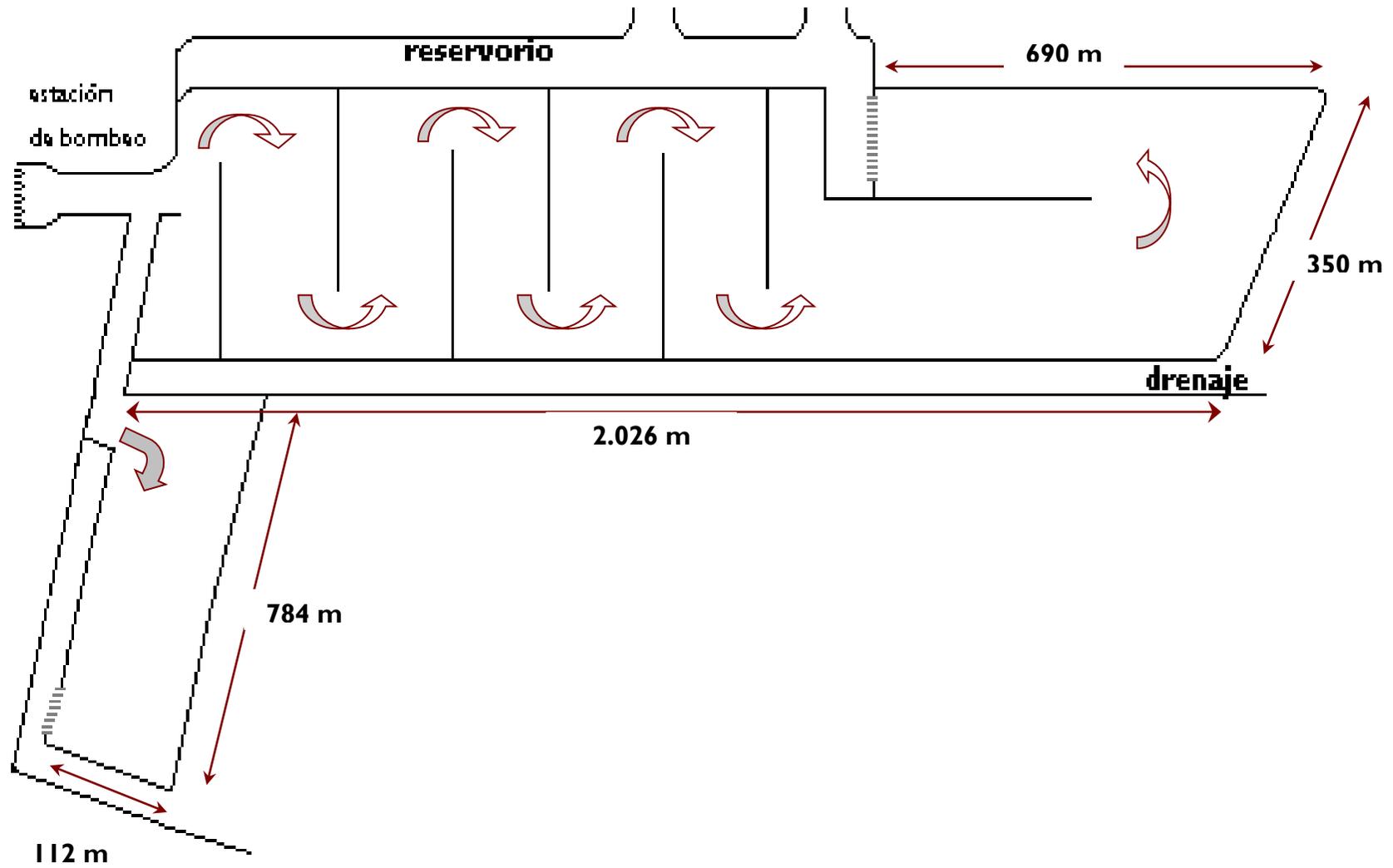
### 3.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS PISCINAS DE SEDIMENTACIÓN

Luego de haber rediseñado la camaronera, el sistema de sedimentación quedó conformado como se detalla en la tabla X (ver fig.11):

**Tabla X. - Dimensiones de los Sedimentadores.**

		<i>Sedimentador A</i>	<i>Sedimentador B</i>
<i>Muros perimetrales</i>	Largo (m)	4.736	1.987
	Corona (m)	3	3
	Altura (m)	6	6
	Base (m)	21	21
	Pendiente	1:1,5	1:1,5
<i>Muros internos</i>	Largo (m)	2.150	-----
	Corona (m)	3	-----
	Altura (m)	3	-----
	Base (m)	12	-----
	Pendiente	1:1,5	-----

Figura No. 11.- Dimensiones y Circulación de Agua del Sedimentador.



### 3.3 ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO

#### 3.3.1 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

El rediseño de la camaronera involucra costos los cuales para una mayor comprensión se los ha desglosado de la siguiente manera:

##### 3.3.1.1 MOVIMIENTO DE TIERRA

Para el movimiento de tierra se utilizó los siguientes equipos:

**Tabla XI. - Maquinaria Utilizada en la Construcción.**

<i>Equipos</i>			<i>Costos unitarios</i>
			<i>(\$/hora)</i>
<i>Tractores</i>	4	D4 (CAT)	\$ 20
	4	D6 (CAT)	\$ 30
	2	D8 (CAT)	\$ 36
<i>Retro</i>	2	CAT L320	\$ 24
<i>Excavadoras</i>	1	Mitsubishi	\$ 24
<i>Volquetas</i>	6	Ford	\$ 3 (cargada y viaje)
<i>Carretones</i>	4	CAT	\$ 30

La cantidad aproximada de tierra removida proveniente del corte de los muros divisorios de las piscinas mencionadas anteriormente en las tablas IX y X es la siguiente:

**Tabla XII. - Costos de Movimientos de Tierra.**

<i>Volumen removido</i>	<i>Tiempo utilizado</i>	<i>Costo total</i>
<i>130.717,5 m<sup>3</sup></i>	26 días	\$ 125.320

El volumen de tierra requerido para elevar los muros perimetrales y muro interno fue de **158.308 m<sup>3</sup>**. Cabe señalar que la diferencia con la cantidad de tierra removida (**27.590 m<sup>3</sup>**) se la extrajo de un terreno anexo a las piscinas 53 y 78.

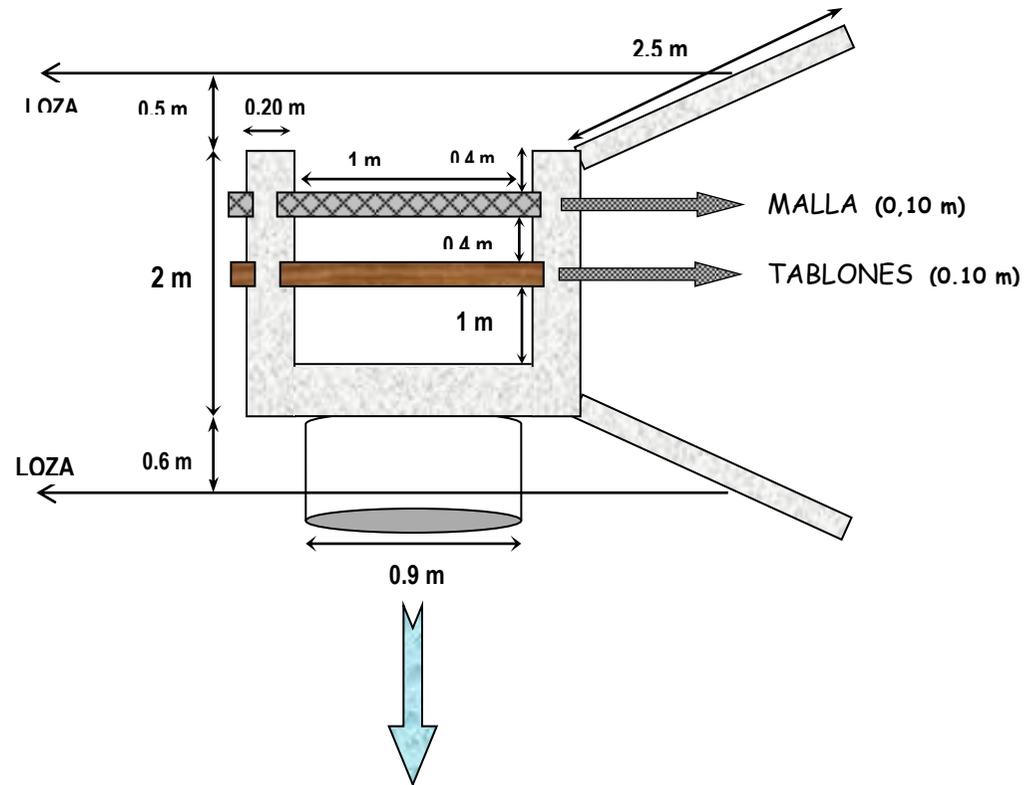
### **3.3.1.2 CONSTRUCCION DE COMPUERTAS**

Las piscinas sedimentadoras cuentan en su diseño con compuertas de salida, las cuales fueron construidas de 2,3 m de altura por 1,4 m de ancho y 3,1 m de longitud para ambos sedimentadores.

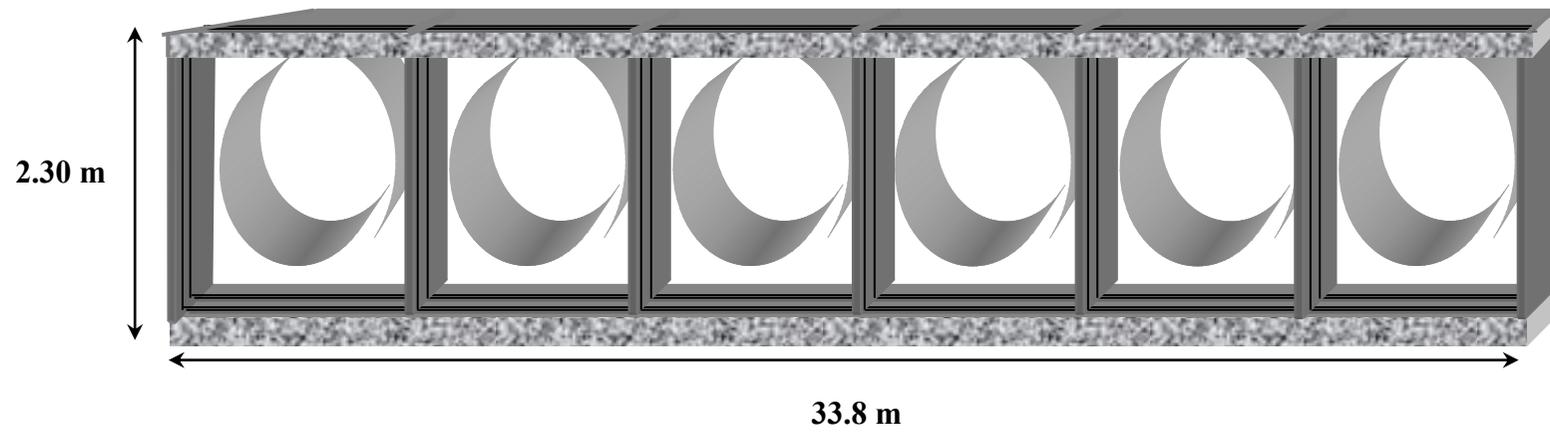
El sedimentador 1 presenta una batería de 26 compuertas de salida (33,8 m de largo) y 12 compuertas para el sedimentador 2 (15,6 m de largo). En la parte postero - inferior de las mismas se adaptaron tubos de PVC de 35 pulgadas de diámetro en los cuales se instaló filtros de forma cónica con ojo de malla de 280 micras. La parte anterior interna presenta una malla para retener sólidos mayores a 5 mm y a continuación de la malla se ubican tablones para sellar y tener un control sobre la cantidad de agua que sale del sedimentador hacia el reservorio (ver fig. 12 y fig. 13).

La construcción de ambas compuertas tuvieron un costo de **\$ 30.000**.

**Figura No. 12. - Vista Aérea de la Compuerta de Salida del Sedimentador.**



**Figura No. 13. - Corte Transversal de la Compuerta de Salida del Sedimentador.**



### 3.3.1.3 COSTOS TOTALES

**Tabla XIII. - Costos Totales**

<i>Movimiento De Tierra</i>	\$ 125.320
<i>Compuertas</i>	\$ 30.000
<b><i>TOTAL</i></b>	<b>\$ 155.320</b>

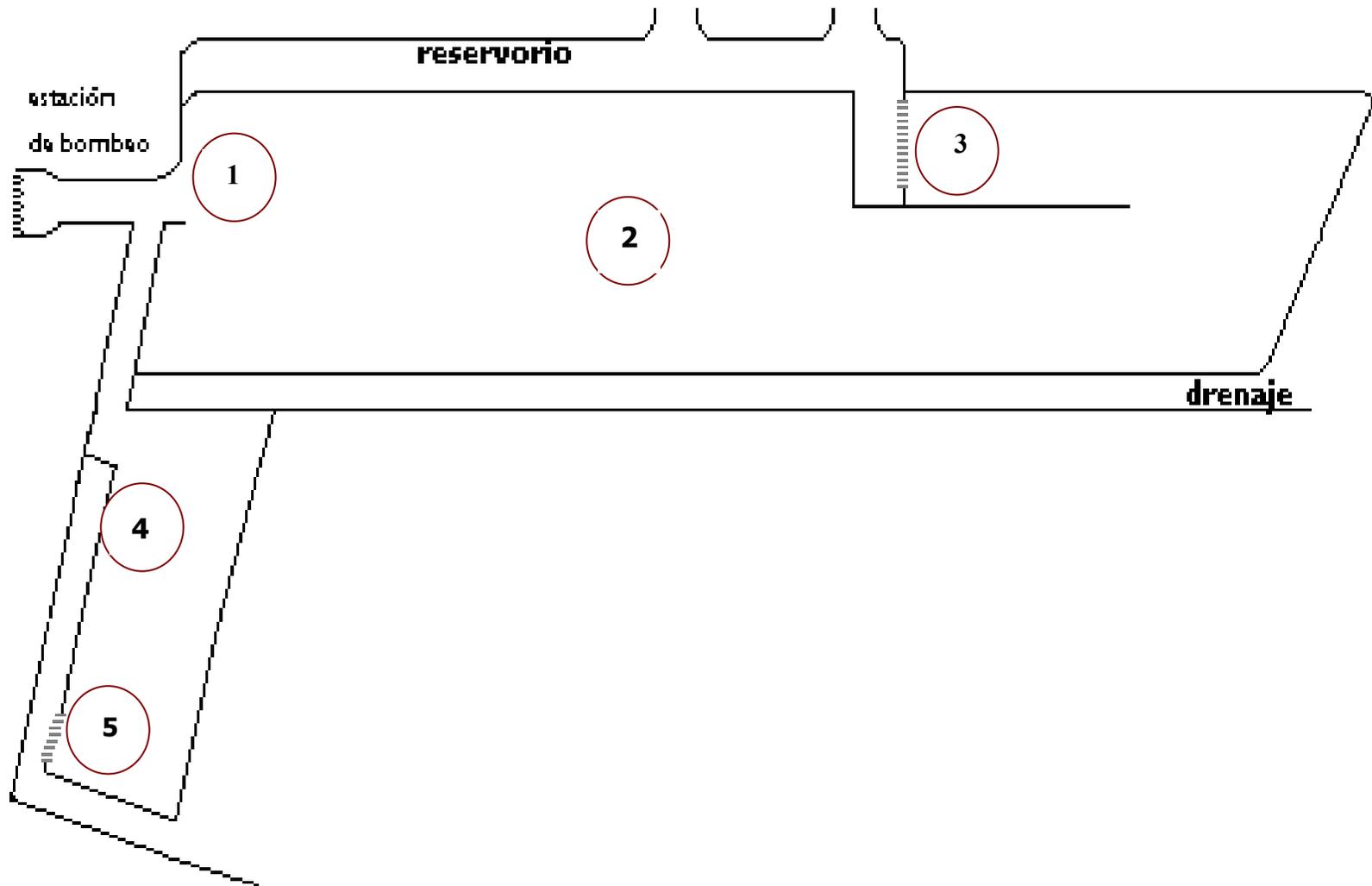
## **CAPITULO IV.- EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN.**

### **4.1 SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO.**

Para evaluar la eficiencia del sistema de sedimentación es de muchísima importancia el saber ubicar las estaciones o puntos de muestreo en lugares donde las muestras obtenidas proporcionen una información veraz sobre las características del agua que ingresa al sedimentador así como la que sale del mismo.

En el presente trabajo, luego de haberse rediseñado la camaronera y dimensionado las piscinas de sedimentación, se colectaron muestras de agua a nivel superficial (0.30 m) en 5 estaciones, estableciéndose las más representativas de cada sitio. Los muestreos se llevaron a cabo los días de aguaje y quiebra entre el 12 de febrero y el 19 de marzo del 2000 (ver fig. 14).

Figura No. 14. - Ubicación de los Sitios de Muestreo.



- *Estación # 1:* ubicada aproximadamente a 50 metros a la salida de la estación de bombeo, la cual es el punto de partida en base a la cual se comprobará la eficiencia del sistema.
- *Estación # 2:* ubicada en el centro del sedimentador 1, el cual sirve como ayuda en el análisis de la eficiencia.
- *Estación # 3:* ubicada al final del sedimentador 1, es de mucha importancia ya que los datos obtenidos en esta estación nos indican que tan efectivo resultó el sedimentador.
- *Estación # 4:* ubicada en la mitad del sedimentador 2, cumple exactamente la misma función que la estación # 2.
- *Estación # 5:* ubicada a la salida del sedimentador 2, al igual que la estación # 3 nos sirve para evaluar la eficiencia del sistema.

## **4.2 ANALISIS A REALIZAR**

Una fuente de buena calidad de agua es esencial para cualquier operación de Acuicultura ya que determina su éxito o fracaso.

El criterio de buena calidad de agua varia con la clase de organismos que se cultivan; pero para seleccionar un recurso de agua óptimo se deben considerar sus características tanto físicas, como químicas.

Los camarones de la especie *Litopenaeus vannamei* necesitan rangos aceptables o tolerables físicos, químicos y biológicos para su normal crecimiento y supervivencia.

El momento de implementar piscinas sedimentadoras para mejorar la calidad de agua de unidades de producción acuícola, se está considerando intrínsecamente la reducción de valores de varios de los parámetros necesarios para el cultivo de camarones en zonas de alta sedimentación y materia orgánica.

El presente trabajo fue hecho con la finalidad de comprobar si las piscinas sedimentadoras cumplen con el objetivo de reducir los siguientes parámetros:

1. Materias oxidables biológicamente.
2. Sólidos y Microorganismos.
3. Oxígeno disuelto (OD).
4. Ciclo del Nitrógeno.
5. Fósforo Total.
6. PH.
7. Sulfuros.
8. Salinidad.
9. Temperatura.
10. Alcalinidad.
11. Materia orgánica.
12. Turbidez.
13. Color del agua.

#### **4.2.1 Materias oxidables biológicamente.**

Estas materias de tipo orgánico absorben de forma natural hasta su mineralización una cierta cantidad de oxígeno, debido a los procesos químicos o biológicos de oxidación que se producen en el seno del agua. El índice para medir este fenómeno puede efectuarse mediante el análisis de parámetros tales como:

##### **4.2.1.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La demanda bioquímica de oxígeno es una prueba de gran valor en el análisis de los efluentes de aguas. En los procesos naturales de purificación de los ríos y corrientes, las aguas negras y otras sustancias orgánicas se oxidan debido a la acción bacteriana, utilizando el oxígeno disuelto del agua. En esta forma, las aguas negras que penetran en una corriente eliminan el oxígeno disuelto que, cuando la contaminación es excesiva, dará como resultado la destrucción de la vida vegetal y animal. La DBO es la única prueba que indica directamente la cantidad de oxígeno que consumirán los procesos naturales para estabilizar la materia orgánica.

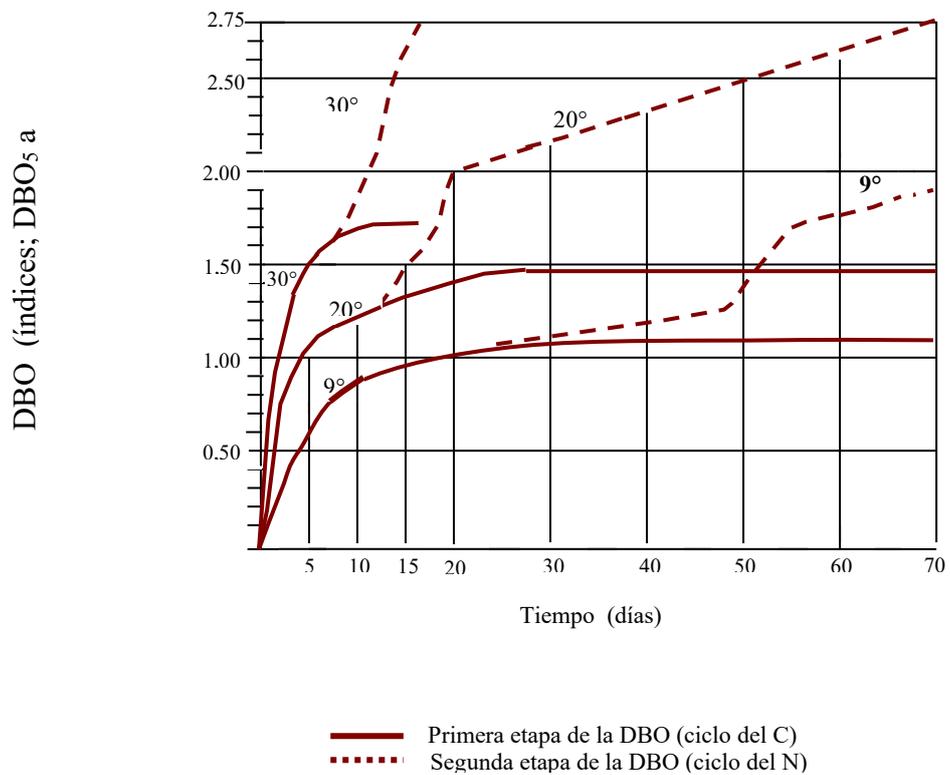
La DBO se define como cantidad de oxígeno disuelto consumida por un agua residual durante la oxidación «por vía biológica» de la materia orgánica biodegradable presente, bajo determinadas condiciones: 20° C, presión atmosférica, oscuridad y muestra diluida con agua pura, condiciones aeróbicas y tiempo determinado.

Refleja la materia orgánica presente en el agua, indicando el oxígeno necesario para alimentar a los microorganismos y las reacciones químicas.

En la determinación de la DBO influye la presión, pero su variación no es muy importante.

En la siguiente curva se ilustra la incidencia de la temperatura en relación con la evolución del consumo diario de oxígeno.

**Figura 15. - Evolución de la DBO en función del Tiempo y Temperatura**



**Fuente:** Manual de Depuración URALITA. (1996)

No existe relación entre valores de DBO<sub>5</sub> y DQO, pero se pueden hacer correlaciones para determinadas aguas. Sin embargo la relación entre DBO<sub>5</sub> y DQO se observa en la tabla:

**Tabla XIV. - DBO<sub>5</sub>/DQO**

<b>DBO<sub>5</sub>/DQO</b>	<b>Biodegradabilidad del agua residual</b>
< 0,2	Poco biodegradable
0,2 – 0,4	Biodegradable
> 0,4	Muy Biodegradable

**Toma de muestra:** En botellas de vidrio con tapa esmerilada apropiadas para la determinación del DBO. Enjuague la botella 2 veces con la muestra y luego llénela, de tal manera que se minimice el burbujeo, la turbulencia y la agitación de la muestra. Tápela inmediatamente, dejando caer la tapa esmerilada sobre la boca de la botella.

**Cantidad:** 250 – 300 ml

**Preservación:** A las botellas se las forraba con papel aluminio y se las dejaba al ambiente hasta llevarlas a ser analizadas en el laboratorio.

**Método:** HACH DBO

- Usando un cilindro graduado vaciar el volumen de la muestra de la botella de DBO. La muestra debe tener 20° C con variación  $\pm 1^\circ$  C.
- Se agita cada botella usando el agitador magnético.

- Para un crecimiento óptimo de la bacteria añadida el contenido de la almohadilla DBO Nutrient Buffer a cada una de las muestras.
- Usando un embudo vaciar el contenido de hidróxido de litio en cada recipiente.
- Ubicar la botella dentro de la base del instrumento HACH y hacer la lectura.
- Volver ha hacer la lectura a la misma hora por 5 días consecutivos (DBO<sub>5</sub>)

#### **4.2.2 Sólidos y Microorganismos.**

Sólidos: Contenido total de materia sólida en el agua. Su valor queda definido por toda la materia que permanece como residuo de evaporación a 105°C.

- Sólidos disueltos (SD) que no sedimentan encontrándose en el agua en estado iónico o molecular.
- Sólidos en Suspensión (SS), que pueden ser:
  - Sedimentables (SSs), que por su peso pueden sedimentar fácilmente en un determinado periodo de tiempo (2 horas en cono Imhoff)
  - No sedimentables (SSn), que no sedimentan tan fácilmente por su peso específico próximo al del liquido o por encontrarse en estado coloidal.

Cada clasificación puede constituirse de material orgánico e inorgánico, o sea aquel que puede volatilizarse a 500 °C, pudiendo existir entonces para cada uno la parte fija o volátil.

Materia viva como microorganismos: Virus, algas, protozoos, bacterias, hongos, insectos, rotíferos, etc. Los microorganismos pueden clasificarse en:

- **Parásitos:** Viven a expensas de otros organismos. Benignos o patógenos
- **Saprophytos:** Viven de la materia orgánica muerta. Actividad metabólica genera nueva materia viva, productos de desechos y formación de flóculos.

Basado en la posibilidad de captación de oxígeno:

- **Aerobios.-** Constituyen el 60-65% de los organismos de aguas residuales
- **Anaerobios.-** 10-25%
- **Facultativos.-** 10-30%

**Toma de muestra:** En botellas de vidrio o plástico tomar la muestra de agua. Enjuague la botella al menos 2 veces con la muestra y luego llénela, cerrar herméticamente el frasco para evitar la evaporación.

**Cantidad:** 500 - 1000 ml

**Preservación:** A las botellas se las refrigera a 4° C hasta llevarlas a ser analizadas en el laboratorio.

**Método:**

1. Sólidos Disueltos:

- Filtrar la muestra con ayuda de una bomba de succión.
- Secar una cápsula de porcelana a 102° C y pesarla.
- Colocar la cantidad de agua filtrada y evaporarla hasta que seque completamente, enfriar nuevamente la cápsula en el desecador y pesarla.

- Sustraer el peso final menos el peso inicial. (Resultado en mg/l).

## 2. Sólidos Totales:

- Secar una cápsula de porcelana a 102° C y pesarla en la balanza; luego medir 50 ml. de muestra en la probeta graduada.
- Calentar la muestra en una cocineta y evaporarla por una hora.
- Una vez evaporado dejar enfriar en el desecador.
- Pesar nuevamente y el peso final menos el peso inicial será la cantidad de sólidos totales.

## 3. Sólidos Sedimentables:

- Resultan de la diferencia de los sólidos totales menos sólidos disueltos.
- Otro método de realizarlo es por medio del cono Imhoff; en los que se introduce un litro de muestra y al cabo de 2 horas los sólidos separados son los sedimentables.

### **4.2.3 Oxígeno disuelto (OD)**

Siendo la fuente energética de seres vivos el oxígeno, este se convierte en índice fundamental para la definición y control de las aguas residuales y por lo tanto en un elemento esencial para la vida de los organismos acuáticos. En agua pura, a la temperatura ambiente, el oxígeno se disuelve a una concentración aproximadamente de 8.5 mg/l. La solubilidad disminuye conforme aumenta tanto la cantidad de sólidos disueltos como la temperatura, pero se incrementa al aumentar la presión.

La cantidad de oxígeno en el agua puede ser incrementada por:

- Captación del oxígeno a través de la superficie de interfase aire – agua.
- Acción fotosintética, debida principalmente a las algas verdes.
- Descenso de temperatura.

El oxígeno disminuye por la respiración de los microorganismos, algas, elevación de la temperatura, exceso de materia orgánica, etc. siendo un problema muy grande en el manejo de agua.

La concentración de OD es expresada en mg/l. o en ppm. Dependiendo de la especie cultivada la concentración de oxígeno varía, así para *P. monodon* y *P. vannamei* los rangos óptimos están entre 3 – 5,5 ppm (Yew - Hu Chien, 1992).

**Toma de muestra:** En botellas de vidrio con tapa esmerilada apropiadas para la determinación del OD. Enjuague la botella 2 veces con la muestra y luego llénela, de tal manera que se minimice el burbujeo, la turbulencia y la agitación de la muestra. Tápela inmediatamente, dejando caer la tapa esmerilada sobre la boca de la botella.

**Cantidad:** 250 – 300 ml

**Preservación:** Agregar a la muestra los reactivos 1(Cloruro de manganeso) y 2 (Iodato de Potasio + Hidróxido de Potasio), 1 ml de cada uno (inmediatamente después de colectada). Ponga la tapa, agite por 2 minutos invirtiendo la botella varias veces. Deje reposar hasta que se sedimente el precipitado y vuelva a agitar otros 2 minutos. Realizar el análisis entre ½ hora a 5 horas luego de dejar que repose,

manteniéndola fuera de la luz del sol y a la temperatura ambiente. Posteriormente añadir 1 ml del reactivo 3 (*ácido sulfúrico*) y finalmente el reactivo 4 (*thiosulfato de aluminio*) hasta que titule (color transparente).

**Método:** Iodométrico. Método de Winkler modificado por Carpenter (1965); además se lo se valoró utilizando un oxigenómetro.

#### **4.2.4 Ciclo del Nitrógeno**

Es una variedad amoniacal, nitritos y nitratos señalan la proximidad o distancia al punto de vertido de aguas residuales.

##### **4.2.4.1 Concentración del ION-AMONIO.**

Es una primera etapa del ciclo del nitrógeno por transformación de la urea. El ion-amonio procede también de la disolución de amoniaco de alguna de sus sales o compuestos nitrogenados en fase de descomposición de los vertidos.

El agua con un contenido reducido de amoniaco no es perjudicial para usos agrícolas, pues se transforman en nitratos (abonos), pero si es perjudicial para la vida acuícola, el amoniaco puede también ser derivado del metabolismo microbiano de compuestos nitrogenados bajo condiciones de bajo oxígeno. Este compuesto existe en el agua en forma ionizada ( $\text{NH}_4^+$  amonio) y no ionizada ( $\text{NH}_3$  amoniaco). El amonio no ionizado es considerado la forma más tóxica debido a la habilidad de difundirse rápidamente por la membrana celular (Fromm & Gillette 1968; Emerson et al. 1975).

La fracción de  $\text{NH}_3$  depende del pH, de la temperatura y la salinidad. Si la temperatura aumenta, el pH aumenta y por lo tanto el  $\text{NH}_3$  se incrementa relativamente a  $\text{NH}_4$  y la toxicidad del amoníaco en los animales se incrementa (Bower y Bidwell, 1978).

#### **4.2.4.2 Concentración de NITRITOS y NITRATOS.**

Los nitritos y nitratos constituyen una segunda y tercera etapa del ciclo en mención respectivamente, a los que se llega por la acción de bacteria aerobias, los nitrosomas y los nitrobacter.

El nitrito puede también estar presente como un producto intermedio de nitrificación y reducción de los nitratos (Tusneem & Patrick, 1968). El nitrito es altamente tóxico para los peces y menos tóxicos para peneidos. Esto se debe a que en los peces el nitrito oxida la hemoglobina a meta hemoglobina la cual es incapaz de transportar Oxígeno (Smith & Russo, 1975). En cambio en peneidos el pigmento respiratorio es hemocianina, la cual puede todavía captar el oxígeno con la presencia de agentes oxidantes como el nitrito. (Needham, 1961). La presencia de nitritos en el agua se le considera como un indicio de la contaminación. Su presencia significa que algún material orgánico nitrogenado, proveniente de desechos animales, está sujeto a una oxidación o nitrificación activa, y que el proceso aún no ha concluido.

Los nitratos en cambio, están presentes en casi todas las aguas naturales en pequeñas cantidades, generalmente su concentración varía de 0 a 70 mg/l. siendo muy raros

dichos extremos. Por lo común, provienen de la materia orgánica nitrogenada de origen animal, sin embargo, la descomposición de material vegetal en el suelo libera muy pocos nitratos.

**Toma de muestras:** Las muestras de agua para amonio, amoniacó, nitritos y nitratos fueron tomadas todos los días del ensayo en cada uno de las estaciones de muestreo, en frascos de plástico y posteriormente llevadas al laboratorio.

**Cantidad:** 200 ml.

**Equipo:** Espectrofotómetro HACH DR 2000.

### **AMONIO.**

Método: 385. Llevar a una longitud de onda de 655 nm.

- Tomar 25 ml de muestra y 25 ml de agua desionizada (blanco) y colocarlas en las celdas de vidrio.
- Añadir el contenido de un sobre de Amonio Salicilato a cada celda y esperar reacción por 3 minutos.
- Luego añadir el contenido de un sobre de Amonio Cyanurato a cada celda y esperar un tiempo de reacción de 15 minutos para la lectura.
- Una vez realizada la lectura se multiplica por 1.22 y se obtiene el resultado final en mg/l. de amonio.

## **AMONIACO.**

Método: 385. Llevar a una longitud de onda de 655 nm.

- Tomar 25 ml de muestra y 25 ml de agua desionizada (blanco) y colocarlas en las celdas de vidrio.
- Añadir el contenido de un sobre de Amonio Salicilato a cada celda y esperar reacción por 3 minutos.
- Luego añadir el contenido de un sobre de Amonio Cyanurato a cada celda y esperar un tiempo de reacción de 15 minutos para la lectura.
- Una vez realizada la lectura se multiplica por 1.29 y se obtiene el resultado final en mg/l. de amoniaco.

## **NITRITO.**

Método: 371. Llevar a una longitud de onda de 507 nm.

- Tomar 25 ml de muestra y colocarla en una celda de vidrio.
- Luego añadir el contenido de un sobre de NITRIVER 3 y esperar un tiempo de reacción de 20 minutos.
- Preparar una celda con 25 ml de agua de la misma muestra (blanco) y realizar la lectura. El resultado está expresado en mg/l. de nitrito (NO<sub>2</sub>).

## **NITRATO.**

Método: 353. Llevar a una longitud de onda de 400 nm.

- Tomar 25 ml de agua de muestra y 25 ml de agua desionizada (blanco) y colocarlas en dos celdas de vidrio.

- Luego añadir el contenido de un sobre de NITRIVER 5 a cada celda, agitar por 1 minuto y esperar un tiempo de reacción de 5 minutos.
- Realizar la lectura. El resultado está expresado en mg/l. de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )

#### **4.2.5 FÓSFORO TOTAL.**

El fósforo es un elemento imprescindible para el desarrollo de los microorganismos de las aguas y en consecuencia para el proceso de depuración biológica.

El contenido de fósforo en las aguas se debe de los vertidos urbanos (detergentes, fosas sépticas, etc.) y por otra parte a los vertidos de la industria agroalimentaria (abonos, piensos compuestos, etc.). El fósforo en las aguas puede encontrarse disuelto o en suspensión.

**Toma de muestras:** Las muestras de agua para fosfatos fueron tomadas todos los días del ensayo en cada uno de las estaciones de muestreo, en frascos de plástico y posteriormente llevadas al laboratorio.

**Cantidad:** 200 ml

**Equipo:** Espectrofotómetro HACH DR 2000.

#### **FOSFATOS.**

Método: 490. Llevar a una longitud de onda de 890 nm.

- Tomar 25 ml de agua de muestra y colocarla en una celda de vidrio.

- Luego añadir el contenido de un sobre de PHOSVER 3 y esperar un tiempo de reacción de 2 minutos.
- Preparar una segunda celda con 25 ml de agua de la misma muestra (blanco) y realizar la lectura. El resultado está expresado en mg/l. de fosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ).

#### 4.2.6 pH

El pH del agua es una medida de la actividad de sus iones hidrógeno. En la naturaleza, así como en los vertidos urbanos e industriales, se hallan ácidos y bases que modifican ampliamente el pH de las aguas. Las aguas urbanas tienen un pH 7, es decir, son neutras y por lo tanto, adecuadas para la vida de microorganismos.

La cantidad de iones  $\text{H}^+$  en el agua determina si es ácido o básico. La escala para medir el grado de acidez es el pH con rangos entre 1 - 14. Valores bajo 7 son considerados ácido y sobre 7 son básicos. Para peces el rango normal de pH está entre 6.5 – 9 y para peneidos el rango óptimo está entre 6.5 – 8.5.

El pH para descomponer la materia orgánica en el suelo es de 7.5 – 8.5, estos valores varían mucho entre una piscina ya sea por el tipo de suelo en donde se las construye o por el manejo de las mismas (Wedemeyer & Yosutake, 1978).

**Toma de muestras:** Las muestras de agua para pH fueron tomadas todos los días del ensayo en cada uno de las estaciones de muestreo, en frascos de plástico y posteriormente llevadas al laboratorio.

**Cantidad:** 200 ml

**Equipo:** pH-metro ORION

**Metodología:**

- Tomar 100 ml de agua de muestra y colocarla en un vaso de precipitación.
- Introducir el electrodo en la muestra y realizar la lectura.

#### **4.2.7 SULFURO.**

El sulfuro se encuentra en el agua en forma de iones sulfato. Los iones sulfato son relativamente abundantes en aguas naturales sobre todo en las duras. Estos iones son importantes sobre todo cuando los procesos de evaporación introducen problemas potenciales de formación de depósitos y en donde el control de los sólidos totales disueltos es un problema de gran importancia.

Ciertas bacterias heterotróficas pueden usar el sulfato u otros compuestos oxidados de azufre y mediante metabolismo excretar sulfuro. En sedimentos, el potencial REDOX (oxidación-reducción) es un factor controlador en la reducción de sulfatos a sulfuros. (Connell & Patrick 1968). En el agua, el sulfuro de hidrógeno existe en dos formas no ionizada ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y ionizada ( $\text{HS}^-$  y  $\text{S}^{2-}$ ). Sólo la forma no ionizada es considerada tóxica para organismos acuáticos. La concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  es dependiente del pH, la temperatura y la salinidad.

Cuando el pH se incrementa el  $\text{H}_2\text{S}$  desciende. El  $\text{H}_2\text{S}$  es altamente tóxico en peces, pero en peneidos los efectos críticos son limitados.

**Toma de muestras:** Las muestras de agua para el análisis de sulfatos fueron tomadas todos los días del ensayo en cada uno de las estaciones de muestreo, en frascos de plástico y posteriormente llevadas al laboratorio.

**Cantidad:** 200 ml

**Equipo:** Espectrofotómetro HACH DR 2000.

**Metodología:**

Método: 690. Llevar a una longitud de onda de 665 nm.

- Tomar 25 ml de muestra y 25 ml de agua desionizada (blanco) y colocarlas en las celdas de vidrio.
- Añadir 1 ml del reactivo SULFIDE 1 a cada celda y agitar.
- Añadir 1 ml del reactivo SULFIDE 2 a cada celda y agitar.
- Esperar un tiempo de reacción de 5 minutos previos a la lectura.
- El resultado final está expresado en mg/l. de sulfato ( $S_2^-$ ).

#### **4.2.8 SALINIDAD**

Gran parte de los cultivos de camarón son eurihalinos y adaptados fácilmente a fluctuaciones de la salinidad debido a factores climatológicos e hidrológicos. *P. monodon* es una de las especies más eficientes en cuando a osmoregulación se refiere dentro de los camarones de su género (Cheng and Liao, 1986). Las larvas de los *P. monodon* pueden permanecer en rangos de salinidad entre 0 - 60 ppt (Motoh 1981). Los juveniles son más eurihalinos y fuertes osmoreguladores que los adultos. La osmoregulación es más eficiente entre 3 - 50 ppt para juveniles y entre 15 - 50 ppt para adultos. También pueden tolerar rangos de agua dulce por un mes (Boyd 1989).

Por lo expuesto anteriormente, podemos darnos cuenta que la salinidad es un parámetro esencial para la vida de los organismos, ya que, de la salinidad dependen muchas funciones fisiológicas y metabólicas de los camarones, además que ésta, influye directamente en las reacciones químicas de los demás iones presentes en el agua.

**Toma de muestra:** Las muestras de agua para el análisis de la salinidad fueron tomadas todos los días del ensayo en cada uno de las estaciones de muestreo, en frascos de plástico y posteriormente llevadas al laboratorio.

**Cantidad:** 200 ml de muestra.

**Equipo:** Salinómetro portátil.

**Metodología:**

- Tomar una gota de la muestra de agua y colocarla en el salinómetro.
- Realizar la lectura. El resultado está expresado en ppt.

#### **4.2.9 TEMPERATURA**

La temperatura del agua es un factor determinante para que se realicen o no reacciones químicas de cierto tipo, por lo tanto, es un parámetro que hay que tomar en consideración de manera inevitable. De la misma manera, de la temperatura dependen todos los microorganismos del agua, teniendo un óptimo crecimiento en rangos de temperatura que oscilan entre los 25° a 35°C, temperaturas características de las zonas tropicales en donde se encuentran ubicadas el 96% de las camaroneras del mundo, resultando de esta manera la elevación o la disminución de la temperatura

de suma importancia en la vida microbiana y en la descomposición de la materia orgánica del sedimento.

**Toma de la muestra:** Las muestras de agua para la medición de la temperatura fueron tomadas todos los días del ensayo en cada uno de las estaciones de muestreo, en frascos de plástico y posteriormente llevadas al laboratorio.

**Cantidad:** 200 ml

**Metodología:**

- Tomar 100 ml de agua de muestra y colocarla en un vaso de precipitación.
- Introducir el electrodo en la muestra y realizar la lectura.

#### **4.2.10 ALCALINIDAD**

Se entiende por alcalinidad total, la concentración de bases en una agua, expresada como carbonato de calcio equivalente ( $\text{CaCO}_3$ ).

Las bases totales como bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ), silicatos, amonio, fosfatos y bases orgánicas pueden reaccionar para neutralizar el ión hidrógeno contribuyendo a la alcalinidad del agua.

En acuicultura se asume que la alcalinidad total está dada por los carbonatos y/o bicarbonatos.

La alcalinidad total de aguas naturales varía en un amplio rango de menos de 5 mg/l. a más de 500 mg/l. Aguas con más de 40 mg/l. de alcalinidad total como carbonato

de calcio equivalente son considerables como aguas duras para propósitos biológicos.

Aguas con menos concentración son consideradas como aguas blandas.

Las aguas duras son menos productivas que las blandas. El agua de mar tiene una alcalinidad total media de 116 mg/l. La cantidad de CO<sub>2</sub> disponible para fotosíntesis es una función del pH, temperatura y alcalinidad total.

En aguas con alcalinidad moderada o alta, el pH es mayor en las mañanas que en aguas de baja alcalinidad.

**Toma de la muestra:** Las muestras de agua para la medición de la alcalinidad fueron tomadas todos los días del ensayo en cada uno de las estaciones de muestreo, en frascos de plástico y posteriormente llevadas al laboratorio.

**Cantidad:** 200 ml

**Equipo:** Titulador digital HACH.

**Metodología:**

- Seleccionar el volumen de muestra y el cartucho de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) correspondientes a la concentración de alcalinidad esperada en mg/l. de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) de la tabla:

**Tabla XV. - Concentración de Alcalinidad en el Agua**

<b>Rango mg/l de CaCO<sub>3</sub></b>	<b>Volumen de muestra</b>	<b>Cartucho de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<b>Dígito multiplicador</b>
10 - 40	100	0.1600	0.1
40 - 160	25	0.1600	0.4
100 - 400	100	1.600	1.0
200 - 800	50	1.600	2.0
500 - 2000	20	1.600	5.0
1000 - 4000	10	1.600	10.0

**Fuente:** Technical Bulletin; Chen and Lin, 1991.

- Transfiera el volumen de muestra seleccionado a un erlenmeyer de 250 ml y llevar a 100 ml con agua desmineralizada si es necesario.
- Añada el contenido de un sobre de Indicador de Fenolftaleína y agite la mezcla.
- Si la solución se torna de un color rosáceo, titule con ácido sulfúrico mientras agita constantemente. Considere el número de dígitos requeridos.
- Calcule: Dígitos requeridos \* Dígito multiplicador = mg/l. CaCO<sub>3</sub>
- Añada el contenido de un sobre de Indicador Verde Metil Rojo Bromocresol a la solución mientras agita constantemente.
- Continúe la titulación con ácido sulfúrico hasta que la solución se torne de un color azul grisáceo (pH 5.1), violeta grisáceo (pH 4.8) o rosado (pH 4.5).
- Calcule: Total de dígitos requeridos \* Dígito multiplicador = mg/l de CaCO<sub>3</sub> total.

#### **4.2.11 MATERIA ORGANICA**

Uno de los parámetros más importantes a considerar en el análisis del sedimento dentro de las piscinas destinadas al cultivo de camarón es la determinación de la materia orgánica. Niveles aceptables en piscinas de producción se estiman en porcentajes menores al 5%.

La materia orgánica fue determinada en muestras de suelo del fondo del sedimentador en cada una de las estaciones de muestreo diariamente. Las muestras fueron recolectadas y transportadas en fundas plásticas, posteriormente fueron llevadas al laboratorio para su posterior análisis.

**Toma de muestra:** Para hacer el análisis de materia orgánica se tomó muestras de lodo con una botella plástica de cada una de las estaciones seleccionadas para el proyecto.

**Cantidad:** 50 gr.

**Equipo:** Espectrofotómetro HACH DR 2000.

#### **Metodología:**

- Colocar la muestra en dos cajas petri previamente rotuladas con la ayuda de una espátula.
- Una vez en las cajas, se las pasa a una estufa con la finalidad de deshidratar la muestra completamente.
- Luego con la ayuda de un mortero y un pilón, moler y triturar el sedimento seco y pulverizarlo en un blender.

- Pesar 1 gr. de muestra seca y colocarla en una fiola de 220ml.
- Adicionar 10 ml de Dicromato de Potasio y 20 ml de Ácido Sulfúrico 96%.
- Dejar reaccionar por 10 minutos.
- Adicionar 100 ml de agua desionizada y filtrar.
- Colocar el líquido filtrado en celdas de 25 ml y realizar la lectura en el equipo HACH DR2000 programa 420 a una longitud de onda de 610 nm. La lectura esta expresada en un porcentaje de materia orgánica.

#### **4.2.12 TURBIDEZ**

La turbidez es una característica de casi todas las aguas superficiales pues, debido a la erosión de la superficie terrestre, contienen partículas de materia en suspensión. La turbidez también puede encontrarse en el agua tratada si ésta fue indebidamente estabilizada o filtrada.

La turbidez del agua se debe a la presencia de sólidos suspendidos que están dispersos en ella, provocando una reducción en su transparencia. Por lo tanto, la medición de la turbidez indica el grado de opacidad o dispersión de la luz a causa de los sólidos suspendidos y se reporta en unidades arbitrarias.

Para la determinación de la turbidez se empleó dos métodos: uno de campo mediante el uso del disco Secchi y otro en el laboratorio empleando el espectrofotómetro.

**Toma de muestras:** Las muestras de agua para la determinación de la turbidez fueron tomadas todos los días del ensayo en cada uno de las estaciones de muestreo, en frascos de plástico y posteriormente llevadas al laboratorio.

**Cantidad:** 200 ml

**Equipo:** Espectrofotómetro HACH DR 2000.

**Metodología:**

Método 750. Llevar a una longitud de onda de 860 nm.

- Prepare un blanco con 25 ml de agua desionizada con el propósito de encerrar el equipo.
- Tomar 25 ml de agua de muestra y colocarla en una celda.
- Realizar la lectura. Los resultados están expresados en Formazin Attenuation Units (FAU).

#### **4.2.13 COLOR DEL AGUA**

El color es un constituyente común de muchas aguas naturales. Por lo general es el resultado de la presencia de iones metálicos naturales y de ligninas, ácidos húmicos y otros productos de vegetación que se considera existen en suspensiones coloidales.

El color del agua fue observado *in situ* en cada una de las estaciones de muestreos diariamente y fue reportado.

### **4.3 RESULTADOS Y EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS**

Los datos analizados durante la corrida fueron, oxígeno, Secchi, pH, turbidez, amoníaco, amonio, nitrito, nitrato, sulfuro, sulfato, alcalinidad y materia orgánica, estos fueron comparados entre las 5 estaciones durante 5 semanas en periodos de 3 días. Una muestra de DBO fue analizado para cada estación para verificar la tendencia espacial.

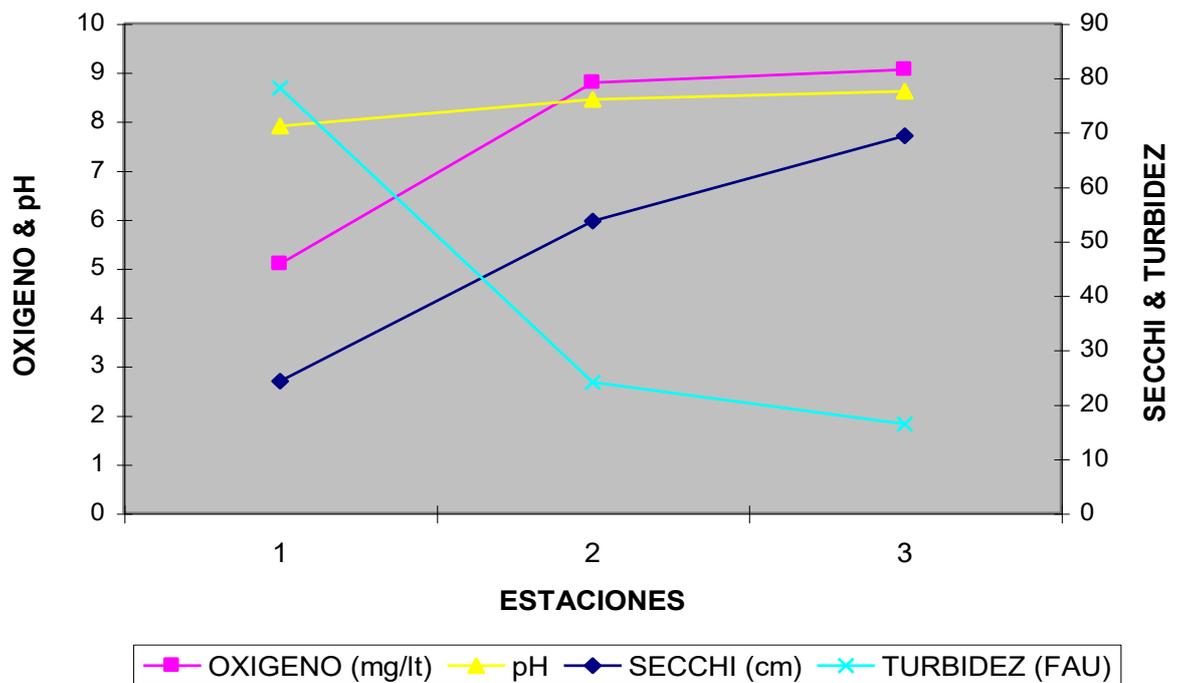
Los datos físico-químicos de las 5 estaciones fueron comparados usando un test-T de variables dependientes o agrupadas, previamente se verifico la normalidad (Will-Shapiro) y la homogeneidad de la varianza (Brown-Forsythe), para evitar violar los postulados, para las variable donde no se presentaba normalidad un log de base 10 fue aplicado.

Para todas las variables se comparó las estaciones extremas o sea 1-3 y 1-5, siendo la estación 1 la condición inicial y 3 y 5 los extremos del sedimentador A y B. La longitud 1-3 era de 3066 metros y la 1-5 tenía 959 metros (ver fig. 11), los resultados arrojaron una mejor disposición en el sedimentador A.

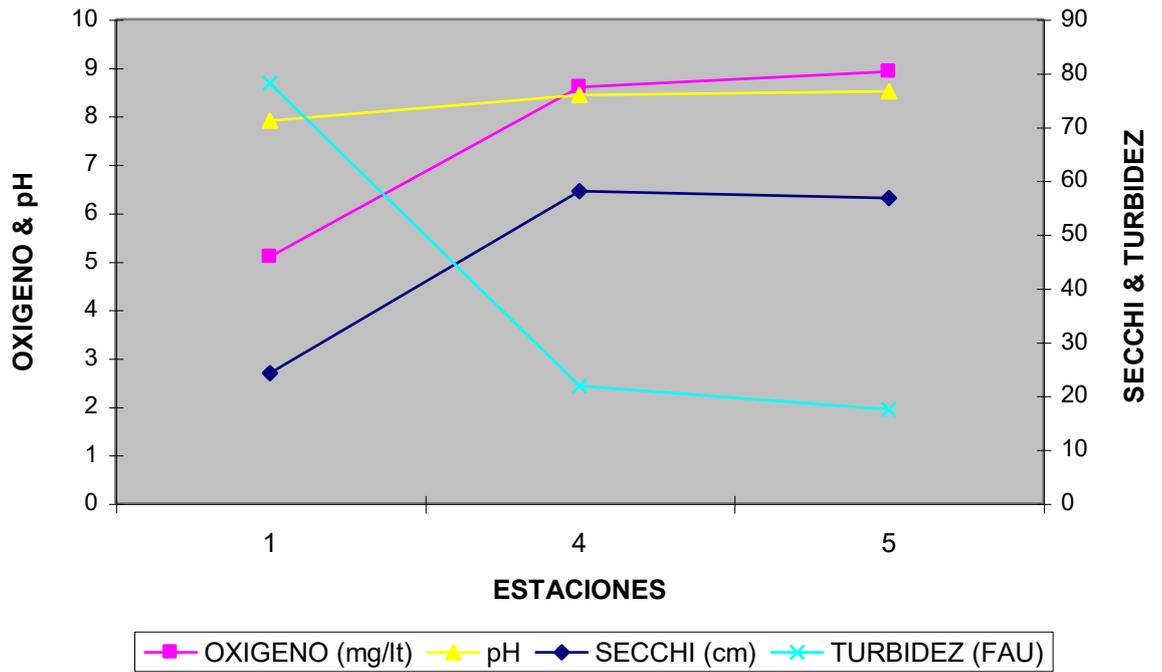
### 4.3.1 Evaluación espacial y temporal del sedimentador.

Las variables que marcaron la diferencia con un significativo mejoramiento, fueron el oxígeno (oxigenómetro) y transparencia evaluada por Secchi y turbidez (ver fig. 16 y fig. 17).

**Figura No. 16.- Variación del Oxígeno, pH, Secchi y Turbidez en las estaciones 1, 2 y 3.**

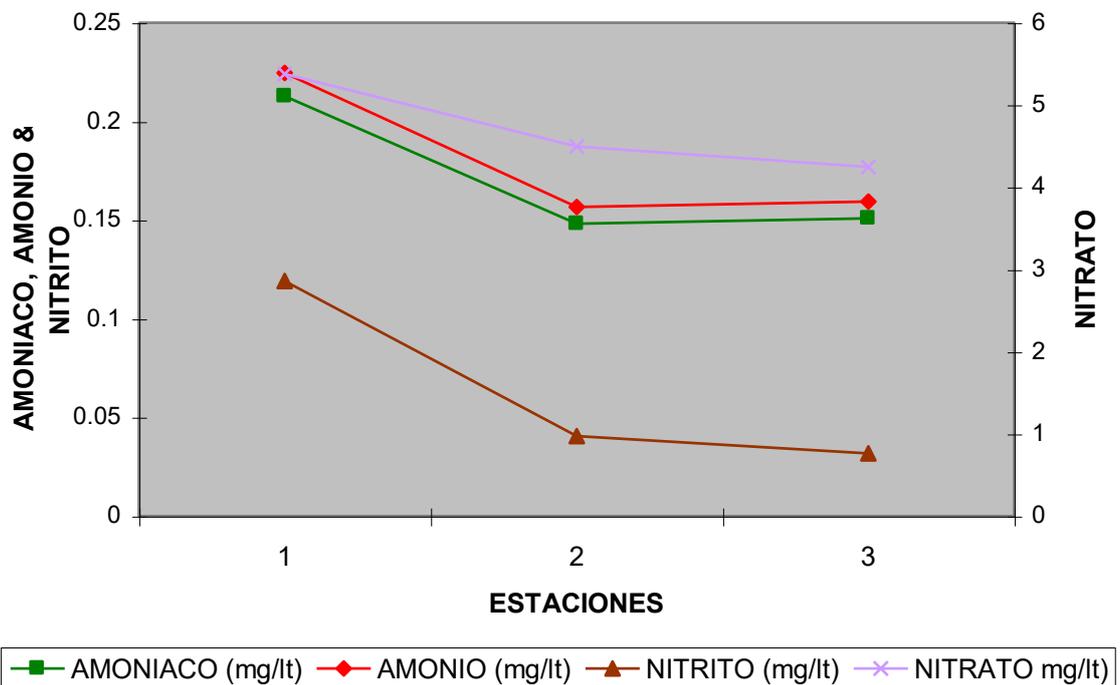


**Figura No. 17.- Variación del Oxígeno, pH, Secchi y Turbidez en las estaciones 1, 4 y 5.**

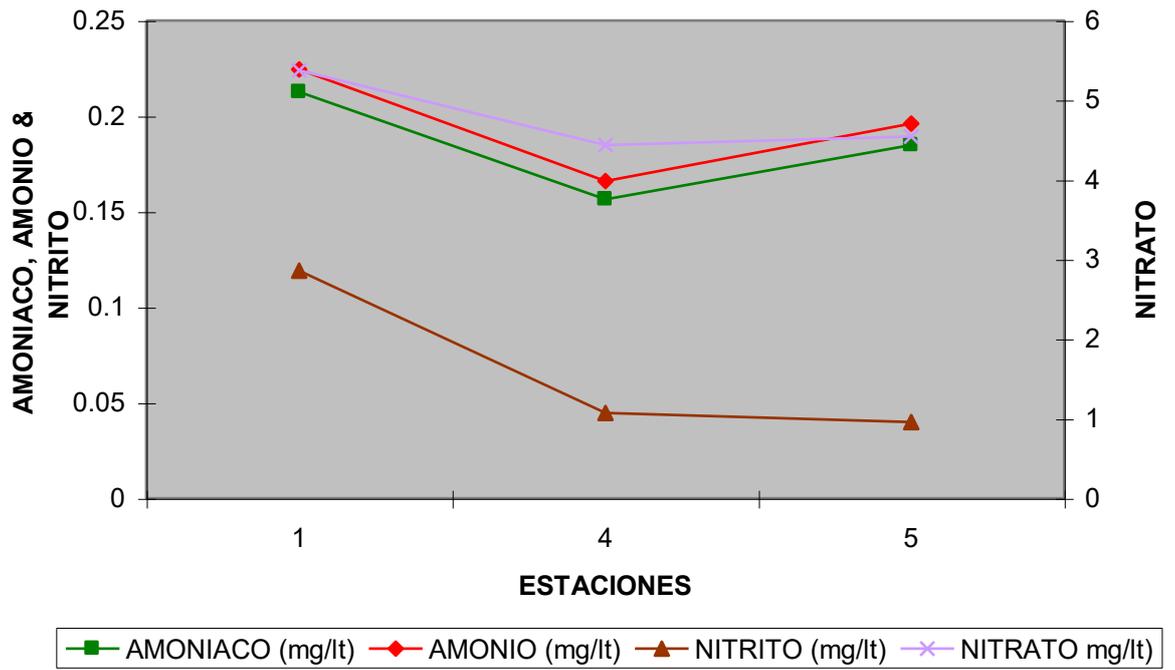


Para la mayoría de las variables analizadas a excepción de  $\text{NH}_3$  y  $\text{NH}_4$ , los extremos (estaciones 3 y 5) fueron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) a las condiciones iniciales (estación 1, ver fig. 18 y fig. 19). Las variables  $\text{NH}_3$  y  $\text{NH}_4$  tuvieron un ligero aumento entre la estación 1 y la estación 5 (ver fig. 18 y fig. 19), pero no fueron significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

**Figura No. 18.- Variación del Amoniaco, Amonio, Nitrito y Nitrato en las estaciones 1, 2 y 3.**



**Figura No. 19.- Variación del Amoniaco, Amonio, Nitrito y Nitrato en las estaciones 1, 4 y 5.**



La materia orgánica del suelo y la alcalinidad del agua presentaron una significativa diferencia entre las dos estaciones de ambos sedimentadores (ver fig. 20 y fig. 21), resultado de la marcada sedimentación que se observaba.

**Figura No. 20.- Variación del Sulfuro, Fosfato, Materia Orgánica y Alcalinidad en las estaciones 1, 2 y 3.**

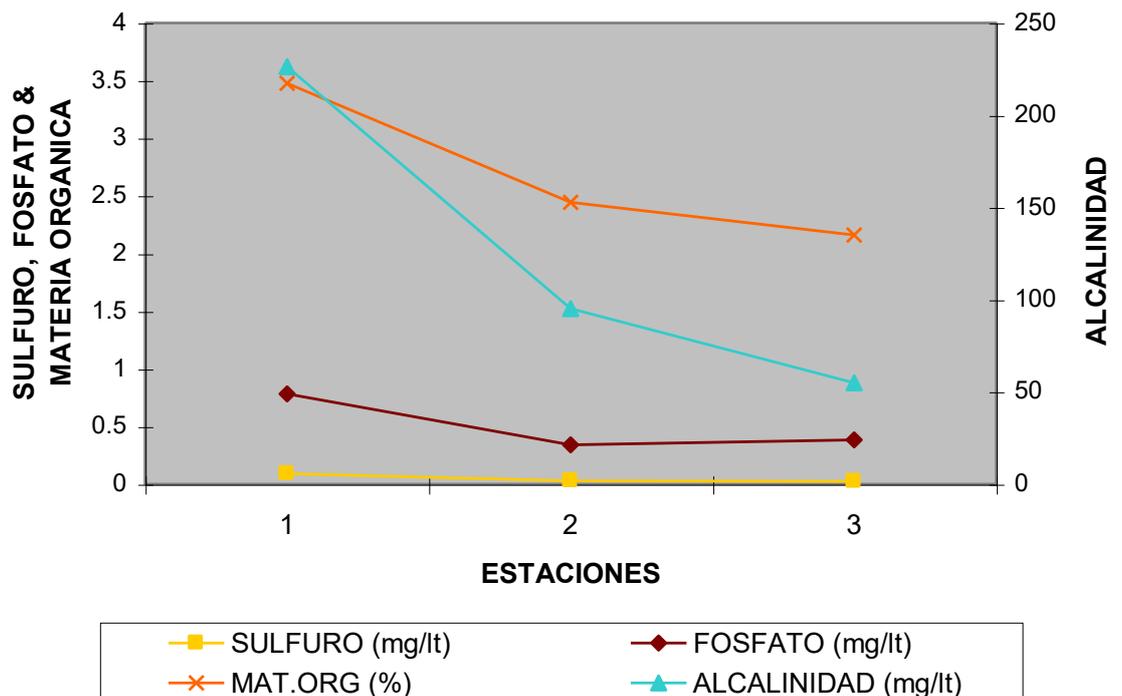
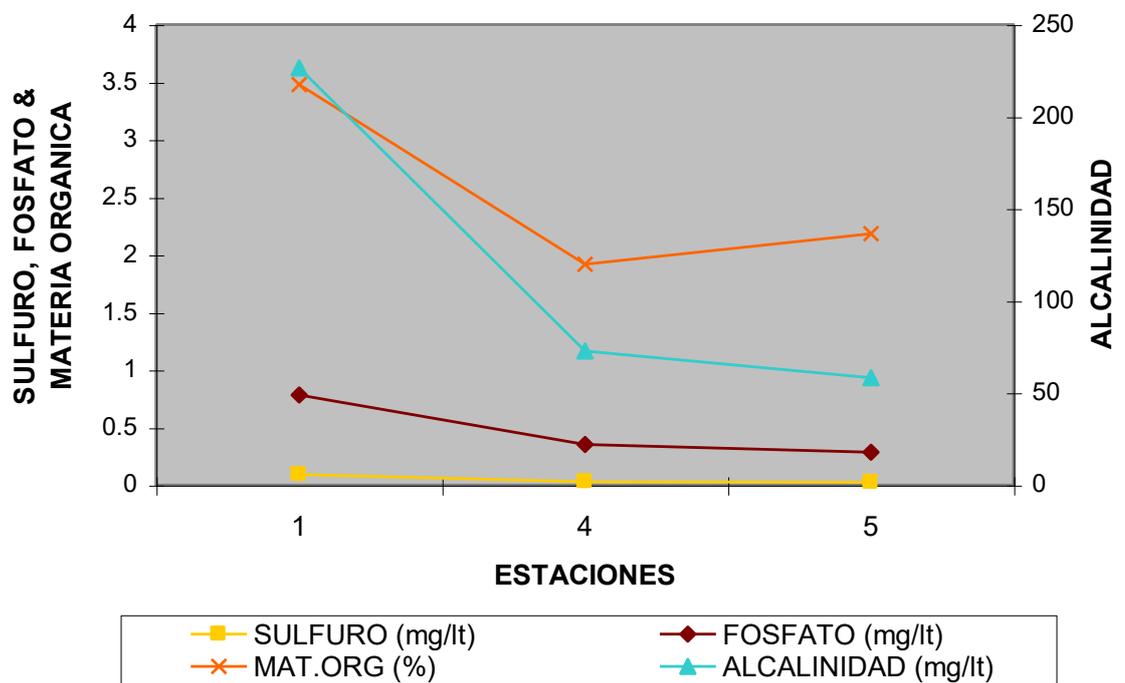


Figura No. 21.- Variación del Sulfuro, Fosfato, Materia Orgánica y Alcalinidad en las estaciones 1, 4 y 5.



Así mismo se marcó una tendencia de reducción de la DBO tomada en la última semana, bajando de 275 mg/l de la estación 1 a 269 y 220 en las estaciones 3 y 5 respectivamente, siendo más eficiente el sedimentador A en la reducción de esta variable.

**Tabla XVI.- Demanda Bioquímica de Oxígeno obtenida  
en cada estación a los 5 días.**

<i>ESTACIONES</i>	<i>DBO<sub>5</sub></i>
<i>1</i>	275
<i>3</i>	269
<i>5</i>	220

**Nota:** Los datos obtenidos en los muestreos para la medición de la DBO<sub>5</sub>, no son estadísticamente representativos ya que no hubieron las suficientes réplicas para ser evaluados.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Tomando en cuenta el volumen de agua a tratar, en éste proyecto no es viable diseñar sistemas que comúnmente se usan en plantas de tratamiento de aguas para uso sanitario, ya que estos volúmenes son relativamente pequeños.
2. El sistema diseñado mostró ser eficiente en el mejoramiento de todas las variables medidas.
3. Los resultados obtenidos de la mayoría de los parámetros analizados como son pH, nitrito, nitrato, sulfuro y fosfato tuvieron un significativo decrecimiento ( $p < 0.05$ ) entre la estación 1 y las estaciones 3 y 5.
4. Tanto el amonio como el amoniaco en el sedimentador B se comportaron de manera diferente al resto de parámetros ya que sufrieron un incremento en sus valores aunque no fueron significativos ( $p > 0.05$ ), lo cual lleva a la conclusión de que la longitud de este sedimentador no es la adecuada para disminuir estos parámetros tal como sucede en el sedimentador A.

5. Los parámetros concluyentes para demostrar la eficiencia del sistema son el oxígeno y la transparencia, debido a que experimentaron un incremento significativo en las estaciones 3 y 5 con relación a la estación 1, lo cual demuestra que se produce un mejoramiento en la calidad del agua apropiado para el cultivo de camarón.
6. La eficiencia del sistema en función de materia orgánica y de alcalinidad es la adecuada, esto se refleja en la evidente disminución de los valores en las estaciones 3 y 5 en relación con la estación 1; sin embargo se hace notoria una significativa diferencia entre el sedimentador A y el sedimentador B debido a que en el primero existe una mayor precipitación de los sólidos suspendidos, y una menor alcalinidad que en el segundo.
7. En base a las conclusiones expuestas anteriormente se puede decir que el sedimentador A presenta las mejores condiciones de longitud y requerimientos de velocidad del agua que el sedimentador B para así lograr mejorar la calidad del agua del afluente de la camaronera estudio.
8. El análisis económico del proyecto indica que se incurre en un gasto de \$ 150.000 dólares lo cual pone en evidencia que la implementación de un sistema de piscinas de sedimentación representa una inversión demasiado onerosa, por lo tanto aproximadamente un 90% de las empresas camaroneras ecuatorianas no están en condiciones de asumirla. Este costo puede ser justificado en el corto

plazo por el mejoramiento de la calidad de agua en las piscinas y en el mediano plazo por reducción de la sedimentación en las mismas.

9. La ventaja de éste diseño estriba en el mejoramiento del agua en un volumen tal que las piscinas sedimentadoras están en capacidad de permitir un recambio de agua apta para el cultivo que fluctúa entre 7 - 10% del volumen operativo total.
10. La desventaja de éste sistema esta dada por el mantenimiento (dragado) que hay que realizar debido a la acumulación de sedimentos en el fondo de las piscinas sedimentadoras, este mantenimiento se lo debe realizar cada 7 años.
11. Se recomienda que se realicen futuros trabajos en los cuales se haga una comparación de producciones entre camaroneras que tienen sistemas de sedimentación con las que no los disponen.
12. En trabajos futuros sería conveniente que se introduzcan parámetros biológicos y microbiológicos en el análisis de sistemas de sedimentación para evaluar posibles vectores de ingreso de agentes patógenos perjudiciales para la producción acuícola.

## **ANEXOS**

**ANEXO A.**

**FOTOGRAFIAS**

**Fotografía 1.- Estación de bombas de la Camaronera**



**Fotografía 2.- Vista aérea del sedimentador**



**Fotografía 3.- Vista frontal del sedimentador**



**Fotografía 4.- Compuerta de salida del sedimentador A**



**Fotografía 5.- Compuerta de salida del sedimentador B (Vista Interna)**



**Fotografía 6.- Compuerta de salida del sedimentador B (Vista desde el Reservorio)**



**ANEXO B.**

**TABLAS DE DATOS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS**

		1		2		3	
Parámetro	Unidad	Promedio	DS	Promedio	DS	Promedio	DS
<b>OXIGENO</b>	(mg/l)	5.0892	1.1192	8.7946	2.1381	9.0530	2.1398
<b>SECCHI</b>	(cm)	24.2300	6.9779	53.6920	9.9363	69.3070	18.0987
<b>Ph</b>		7.9000	0.2987	8.4500	0.2377	8.6142	0.2213
<b>TURBIDEZ</b>	(FAU)	78.0760	46.8267	24.0000	15.0055	16.3840	9.2694

		1		4		5	
Parámetro	Unidad	Promedio	DS	Promedio	DS	Promedio	DS
<b>OXIGENO</b>	(mg/l)	5.0892	1.1192	8.6000	1.5733	8.9191	1.7461
<b>SECCHI</b>	(cm)	24.2300	6.9779	58.0000	9.9635	56.7500	17.3369
<b>Ph</b>		7.9000	0.2987	8.4307	0.3038	8.5166	0.2855
<b>TURBIDEZ</b>	(FAU)	78.0760	46.8267	21.8330	12.1493	17.4166	10.5525

		1		2		3	
Parámetro	Unidad	Promedio	DS	Promedio	DS	Promedio	DS
<b>AMONIACO</b>	(mg/l)	0.2126	0.0699	0.1480	0.0437	0.1509	0.0403
<b>AMONIO</b>	(mg/l)	0.2245	0.0740	0.1566	0.0457	0.1594	0.0420
<b>NITRITO</b>	(mg/l)	0.1190	0.0694	0.0404	0.0245	0.0317	0.0162
<b>NITRATO</b>	(mg/l)	5.3742	1.4039	4.4942	0.8127	4.2428	0.7241

		1		4		5	
Parámetro	Unidad	Promedio	DS	Promedio	DS	Promedio	DS
<b>AMONIACO</b>	(mg/l)	0.2126	0.0699	0.1565	0.0378	0.1848	0.0801
<b>AMONIO</b>	(mg/l)	0.2245	0.0740	0.1660	0.0398	0.1959	0.0849
<b>NITRITO</b>	(mg/l)	0.1190	0.0694	0.0446	0.0153	0.0399	0.0224
<b>NITRATO</b>	(mg/l)	5.3742	1.4039	4.4338	0.6590	4.5466	0.7346

Parámetro	Unidad	1		2		3	
		Promedio	DS	Promedio	DS	Promedio	DS
<b>SULFURO</b>	(mg/l)	0.0902	0.0560	0.0291	0.0179	0.0231	0.0111
<b>FOSFATO</b>	(mg/l)	0.7835	0.3517	0.3412	0.1611	0.3834	0.2732
<b>ALCALINIDAD</b>	(mg/l)	226.4285	64.2838	95.0000	82.4621	54.7857	43.7548
<b>M. ORGANICA</b>	(mg/l)	3.4768	1.1512	2.4438	0.5756	2.1622	0.8088

Parámetro	Unidad	1		4		5	
		Promedio	DS	Promedio	DS	Promedio	DS
<b>SULFURO</b>	(mg/l)	0.0902	0.0560	0.0293	0.0120	0.0240	0.0105
<b>FOSFATO</b>	(mg/l)	0.7835	0.3517	0.3511	0.2610	0.2854	0.1631
<b>ALCALINIDAD</b>	(mg/l)	226.4285	64.2838	72.7692	62.9327	58.2500	50.3210
<b>M. ORGANICA</b>	(mg/l)	3.4768	1.1512	1.9175	0.6235	2.1830	0.7081

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ARBOLEDA, V.J.** (2000): Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Volumen I, 3ra edición, McGraw – Hill, pp. 199 - 331

**BAÑOS, G.** (1994): Construcción de Estanques para el Cultivo de Especies Bioacuáticas. Universidad de Guayaquil, Guayaquil. 156 págs

**BOYD, C.** (1992): Shrimp Pond Bottom Soil and Sediment Management, Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama. Technical Bulletin, pp. 43 – 58

**CAMARA NACIONAL DE ACUACULTURA** (2000): Revista Especializada Acuicultura del Ecuador, Edición 38, pp. 12 –15, 34 – 45

**MATAMOROS, D. E.** (1997): Diplomado “Manejo de Efluentes de Procesos Productivos”, Módulo: Tratamiento de Aguas Residuales. ESPOL, Guayaquil. 23 págs

**METCALF & EDDY, INC** (1996 a): Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen I, 3ra edición, McGraw – Hill, pp. 251 - 276

**METCALF & EDDY, INC** (1996 b): Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen II, 3ra edición, McGraw – Hill, pp. 538 – 554

**MUÑOZ, A. H., LEHMANN, A. H. Y MARTINEZ, P. G.** (1996): Manual de Depuración URALITA. 1ra edición. Editorial Paraninfo S.A., 429 págs.

**PERALTA, F. S., YUNGAN, J. I., RAMÍREZ, W. L., y ERNESTO, V** (1999): Tesis Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Escuela Superior Politécnica del Litoral, pp. 34 – 57

**YEW – HU CHIEN** (1992): Water Quality Requirements and Management for Marine Shrimp Culture, Department of Aquaculture, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan. Technical Bulletin, pp. 30 – 42