

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Diseño de un protocolo de remediación de efluentes en cultivos semi intensivos de camarón blanco *Penaeus vannamei*.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero/a Acuicola

Presentado por:

Katherine Esthela Concha Quispilema

Jorge Andrés Ladines Robinson

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019-2020



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

College of Maritime Engineering and Sea Science

Design of an effluent remediation protocol in semi-intensive culture of white shrimp *Penaeus vannamei*.

CAPSTONE COURSE

A project submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of:

Aquaculture Engineer

By:

Katherine Esthela Concha Quispilema

Jorge Andrés Ladines Robinson

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019-2020

DEDICATORIA

El presente proyecto esta dedicado ante todo a Dios, por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creido en mi siempre dándome ejemplo de superación, humildad, sacrificio y sobre todo enseñándome a valorar todo lo que tengo. A todos y cada uno de ellos les dedico este presente trabajo porque han formado en mi el deseo de superación y de triunfo en la vida, lo que ha contribuido a la consecuencia de este logro. Espero contar siempre con ese mismo apoyo familiar para seguir cumpliendo nuevas metas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece de manera muy cordial a la camaronera de la Estación Experimental CENAIM por formar parte de nuestro ultimo logro académico.

Gracias a la Espol por habernos formado como profesionales de alto nivel académico y a todas las personas que fueron participe de este proceso ya sea de manera directa o indirecta a lo largo del tiempo y que hoy se ve reflejado en la culminación de nuestro paso por la universidad.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Katherine Esthela Concha Quispilema* y *Jorge Andrés Ladines Robinson* damos nuestro consentimiento para que la ESPOC realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Katherine Concha

Jorge Ladines

EVALUADORES

Ph.D.(c). Adrián Márquez

Ph.D. Wilfrido Arguello

PROFESOR DE LA MATERIA

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Ecuador produjo en el año 2018 más de 500 mil toneladas de camarón, generando cerca de \$ 3 mil millones de dólares para el país. Durante el proceso de producción de camarón en cautiverio se utilizan varios insumos para el óptimo desarrollo del camarón que muchas veces generan eutrofización en los cuerpos de agua naturales al momento de descargarlos. El objetivo de este proyecto fue diseñar un protocolo de remediación para los efluentes de la estación experimental de CENAIM. Como primer paso, se analizaron las concentraciones promedio históricas de compuestos Nitrogenados, Fósforo, Sólidos Suspendidos Totales y Materia orgánica en los efluentes y posteriormente, se procedió a una revisión bibliográfica para encontrar soluciones al tratamiento de efluentes. Se seleccionó un diseño de sedimentador de 2,5 Ha con una profundidad promedio de 3.5 m, provisto de sistemas de cultivo de ostras y macroalgas. Se concluyó que el establecimiento de un protocolo de remediación de efluentes de camaronerías permite la reducción de sólidos suspendidos en un 60% debido a la capacidad filtradora de las ostras, y la reducción de los compuestos nitrogenados en un 40% por las macroalgas, con un precio estimado de construcción de \$11 625 para un área de 2.5 hectáreas.

Palabras Clave: Calidad del agua, macroalgas, materia orgánica, ostras, remediación de efluentes, sólidos en suspensión.

ABSTRACT

Ecuador produced in 2018 more than 500 thousand tons of shrimp, generating about \$ 3 million dollars in the country. During the process of producing shrimp in captivity, several inputs are used for the optimal development of shrimp that often generate eutrophication in natural water bodies at the time of discharge. The objective of this project was to design a remediation protocol for effluents from the CENAIM experimental station. As a first step, the historical average concentrations of nitrogen compounds, phosphorus, total suspended solids and organic matter in the effluents were analyzed and, subsequently, a review of the literature was carried out to find solutions to the treatment of effluents. A 2.5 Ha design of settlers with an average depth of 3.5 m was selected, provided with oyster and macroalgae cultivation systems. It was concluded that the establishment of a remediation protocol for shrimp effluents allows the reduction of suspended solids by 60% due to oyster filtration capacity, and the reduction of nitrogen compounds by 40% by macroalgae, with a price estimated construction of \$ 11,625 for an area of 2.5 hectares.

Keywords: *Water quality, macroalgae, organic matter, oysters, effluent remediation, suspended solids.*

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

EVALUADORES	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS	X
SIMBOLOGÍA.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIV
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico	4
CAPÍTULO 2	9
2. Metodología.....	9
2.1 Remediación de efluentes utilizando biofloc en los sistemas de cultivo.....	12
2.2 Remediación de efluentes utilizando microalgas marinas (<i>Picochlorum maculatum</i>) inmovilizada.....	15

.	15
2.3	Remediación de efluentes utilizando un sedimentador basado en filtración por la ostra <i>Crassostrea rhizophorae</i> y absorción por alga clorofícea <i>Ulva fasciata</i> 16
CAPÍTULO 322
3.	Resultados Y Análisis.....22
3.1	Sedimentador para efluentes 23
3.2	Remediación biológica de efluentes 27
	Descripción del sistema 28
	Costos estimados de la implantación de un sedimentador 31
CAPÍTULO 432
4.	Conclusiones y recomendaciones32
5.	Referencias34
ANEXOS37
PROTOCOLO PARA LA REMEDIACION DE EFLUENTES37
PLANOS39

ABREVIATURAS

BPM	Buenas prácticas de Manejo
CENAIM	Centro Nacional de Acuicultura en Investigaciones Marinas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
mg/L	Miligramo por Litro
NH ₃	Amonio No ionizado
NT	Nitrógeno Total
pH	Potencial de Hidrógeno
Ppt	Partes por mil por sus siglas en inglés
SST	Sólidos Suspendidos Totales
TAN	Nitrógeno Amoniacal Total
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
VC	Velocidad Crítica
VS	Velocidad de Sedimentación

SIMBOLOGÍA

cm	Centímetro
gr	Gramo
Ha	Hectáreas
Kg	Kilogramo
L	Litro
m	Metro
m ²	Metro Cuadrado
m ³	Metro Cúbico
mg	Miligramo
min	Minuto
mm	Milímetro
N	Nitrógeno
OD	Oxígeno Disuelto
R ²	Radio al cuadrado
°C	Grados centígrados
%	Por ciento
°	Grados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Sector A, Sector B y Sector C de la Estación Experimental CENAIM.	9
Figura 2.2 Plan de drenaje del Sector B de la estación experimental CENAIM, donde las flechas indican el recorrido de los efluentes desde los estanques hasta el canal de drenaje.	11
Figura 2.3 Esqueme general para la implementación de un sistema de biofloc en piscinas camaroneras	13
Figura 2.4 Esquema general para la implementación de un sistema con microalgas marinas inmovilizadas <i>Picochlorum maculatum</i>	15
Figura 2.5 Esquema general para la implementación de un sedimentador basado en filtración por <i>Crassostrea rizophorae</i> y absorción por <i>Ulva fasciata</i>	17
Figura 2.6 Diseño experimental de los estanques en los procesos de sedimentación.	19
Figura 3.1 Ubicación del sedimentador para el diseño en la Estación Experimental.	23
Figura 3.2 Vista lateral del tubo de llenado del sedimentador.....	24
Figura 3.3 Diseño del sedimentador en base al área y profundidad	25
Figura 3.4 Vista lateral y aérea de la compuerta de salida del sedimentador	26
Figura 3.5 Zonas de criterios establecidos para la colocación de organismos vivos.	28
Figura 3.6 Vista frontal, superior y tridimensional del Sistema por estacas para el cultivo de ostras (FAO, 2006 Informe técnico producción artificial de semilla y cultivo de engorde de moluscos bivalvos)	29
Figura 3.7 Vista tridimensional del Sistema flotante de macroalgas.	30
Figura 3.8 Vista superior del Sistema flotante de macroalgas.	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Concentración de efluentes de cultivos semi-intensivos en aguas estuarinas en contraste con las aguas naturales, adaptado de Boyd 2000.....	8
Tabla 2.1. Concentraciones promedio de algunos parámetros de calidad de agua tomados en los efluentes del sector B.....	11
Tabla 2.2. Resultados del uso de biofloc con diversas plantas acuáticas en diferentes estudios.....	14
Tabla 2.3 Resultados de los parámetros físico-químicos del agua durante el proceso de sedimentación, filtración y absorción (Santos,2010).....	20
Tabla 2.4. Alternativas para el tratamiento de efluentes de la Estación Experimental CENAIM.....	21
Tabla 2.5 Cuadro de criterios de selección para la solución del diseño en la Estación Experimental CENAIM.	21
Tabla 3.1 Análisis de absorción y filtración con ambos organismos.	31
Tabla 3.2 Costo estimado de la implementación del sistema de tratamiento de efluentes en la estación experimental CENAIM.	32

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1. Vista aérea del sedimentador con el sistema de ostras y macroalgas	39
Plano 2. Vista lateral de la compueta del tubo de abastecimiento de agua y compueta de salida. Vista aérea y lateral del sistema de macroalgas y ostras	40

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura en el Ecuador, está basada en el cultivo del camarón blanco *Penaeus vannamei*. Según los reportes de la Cámara Nacional de Acuicultura del Ecuador (CNA, 2019), en el año 2018 se produjo un total de 506 mil toneladas de camarón, generando divisas y beneficios socioeconómicos por 3.234,8 millones de dólares al país a lo largo de su cadena de producción (CNA, 2019).

En Ecuador, la camaronicultura se realiza en un total de 213.032 Ha, las cuales están establecidas en concesiones de playa-bahía, y en tierras altas sin vocación agrícola, existiendo predominancia de cultivos extensivos, semiintensivos, y en menor proporción, cultivos intensivos. Los cultivos extensivos se caracterizan por tener una densidad de siembra entre 5 y 10 camarones.m⁻², con recambio de agua del 5% y fertilización inicial. Los cultivos semiintensivos, utilizan una densidad de 10 a 50 camarones.m⁻², usan alimento balanceado en mayor cantidad, recambio de agua del 30%, fertilización y en ocasiones aeración. Los cultivos intensivos, son realizados a una densidad mayor a 50 camarones.m⁻², utilizan exclusivamente alimento balanceado, aeración y biorremediación (Marcillo & Álvarez, 2018).

Los sistemas de cultivo en Ecuador se abastecen de agua de los esteros, de mar, de río o pozos profundos. Sin embargo, estos cuerpos de agua, una vez que son utilizados en el cultivo, deben ser eliminados por medio de efluentes. Los fertilizantes, el alimento balanceado, las excretas y mortalidad de los camarones, aportan nutrientes al estanque, y necesitan ser muchas veces eliminados por medios de recambios de agua, pudiendo afectar a los cuerpos de agua que los recibe, y a su vez, alterar las condiciones físicas y químicas como: pH, oxígeno disuelto, temperatura, nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos totales (SST), y demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Se ha reportado que, en estanques de camarón con un sistema de cultivo intensivo o semi-intensivo, la carga de nutrientes alcanza concentraciones de 29,8±4 mg.L⁻¹ SST; nitrito 0,005 mg.L⁻¹; nitrato 0,005 – 0,012 mg.L⁻¹ y amonio 0,147 mg.L⁻¹, nitrógeno total en sedimento 1,24 mg.L⁻¹, materia orgánica 4,5 mg.L⁻¹ sólidos inorgánicos totales 25,3 mg.L⁻¹ y fosfato 0,186

mg.L⁻¹; concentraciones que pueden generar problemas en el medio. (Sánchez Ortiz, 2013)

Según Morocho (2007), a más de los nutrientes arriba mencionados, los efluentes de las camaroneras pueden contener antibióticos y químicos, que en conjunto, generan una disminución de la calidad del agua, dispersando enfermedades que afectan a la producción de camarón y al ser humano. Por consiguiente, la alteración de estas variables más allá de afectar a las especies endémicas y cuerpos de agua, afecta también a las empresas camaroneras que hacen re-uso de dichos cuerpos de agua (Boyd, 2014).

Ante esta problemática, se han desarrollado diferentes tipos de tecnologías para reducir el impacto negativo de los efluentes, entre los que se mencionan; sistemas biofloc, sistemas de sedimentación y recirculación de agua (Astorga, 2015).

Los sistemas biofloc están compuestos de partículas de alimento balanceado no consumido, heces, detritus y microorganismos como bacterias, algas y zooplancton; y se caracterizan por ser ambientalmente sustentables debido al uso limitado del agua. Además, reducen las descargas de contaminantes potenciales y evita la transmisión de enfermedades oportunistas y la interacción entre poblaciones del medio natural y en cultivo (Ray, Browdy, & Venero, 2010). Los sistemas de sedimentación, ayudan a la remoción de los materiales suspendidos en la columna de agua, siendo eficientes en un 60%. Los sistemas de recirculación, van acompañados de filtros mecánicos, biológicos y procesos de desinfección, que permiten que el agua sea reutilizada en varios ciclos de cultivo o en piscinas cercanas (Morocho, 2007).

1.1 Descripción del problema

La Estación Experimental del Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas “Edgar Arellano” de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (CENAIM-ESPOL) ubicada en la comuna de Palmar, Provincia de Santa Elena, produce camarón *Penaeus vannamei* bajo un sistema semi-intensivo cuyo manejo incluye, densidades de siembra desde 10 a 12 camarones.m⁻², uso de alimento balanceado con 35% de proteína, y aditivos funcionales para pruebas experimentales como; probióticos, aceites esenciales, y fibras que son incluidos en el alimento balanceado o aplicados directamente al agua. El ciclo de producción dura entre 90 y 120 días en la fase de engorde. En cada cultivo,

se hace un recambio de agua de hasta 50%, cada 3 días. Al hacer estos recambios de agua, y cuando se realiza el drenaje al momento de la cosecha, las concentraciones de nutrientes en los efluentes pueden variar. Estos efluentes no son tratados previamente al desagüe, de manera que puede haber concentraciones superiores o inferiores a lo reportado como ideal para aguas naturales. Estos valores incluyen nitrógeno amoniacal total (TAN, siglas en inglés) entre 0.01 y 2.00 mg.L⁻¹, SST entre 10 y 50 mg.L⁻¹ y DBO entre 1 y 4 mg.L⁻¹ (Roldán, 2005). Así mismo, cuando ha existido un evento por mortalidad, ha sido necesario vaciar la piscinas generando un efluente sin tratamiento que puede afectar el canal de descarga y contaminarlo con agentes patógenos.

1.2 Justificación del problema

La descarga de efluentes de piscinas camaroneras sin tratamiento previo, representa un riesgo para los cuerpos de agua naturales de la zona de Palmar dedicadas a la producción de camarón, porque pueden contener nutrientes que alteren las concentraciones normales, generando eutrofización, aumento de salinidad y materia orgánica, y altas concentraciones de alcalinidad, aumento de la acidez en los suelos a causa del pH, produciendo condiciones no favorables para re-usar el agua para el cultivo de camarón.

La descarga de efluentes contaminados para las camaroneras vecinas reduce la calidad de agua e incrementa una posible dispersión de enfermedades. Estos factores comprometen la supervivencia de los animales en cultivo y podrían generar una pérdida total de la producción (Tobey, James, 1998). Por tal motivo, es necesario establecer planes de reducción de carga orgánica, mitigación de efectos adversos o remediación, que ayuden a reducir el efecto negativo de los efluentes para evitar posibles impactos al ambiente y pérdidas económicas a las empresas dedicadas a la producción de camarón.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un protocolo de remediación que reduzca las concentraciones de nutrientes y la carga orgánica en los efluentes de las piscinas de investigación de camarón de la Estación Experimental CENAIM antes de ser vertidos hacia los cuerpos de agua naturales, reduciendo el impacto ambiental en la zona de Palmar.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar los posibles efectos negativos sobre los cuerpos de agua de la zona de Palmar a causa de los efluentes de la Estación Experimental CENAIM.
2. Diseñar un protocolo de remediación aplicable al sistema de producción de la Estación Experimental CENAIM.
3. Implementar un protocolo que reduzca la concentración de nutrientes en los efluentes de la Estación Experimental CENAIM.

1.4 Marco teórico

Los estuarios son zonas de convergencia de ríos con el mar, que se caracterizan por tener agua salobre hasta 20 ppt y son el hábitat natural más beneficioso para la acuicultura de camarón. Debido a su alto grado de productividad, son considerados como excelentes criaderos para una variedad de peces y camarones (Castro & Chang, 2015). Sin embargo, las actividades para la producción por acuicultura son realizadas (en la mayoría de los casos) en zonas circundantes a estos cuerpos de agua. Por lo tanto, su composición puede verse alterada por la presencia de diferentes componentes provenientes de los efluentes de los estanques de producción acuícola (Venkateswara,

Chari, & Muralikrshna, 2019). La eutrofización en los estuarios, es la acumulación de nutrientes, materia orgánica y sólidos en suspensión en la columna de agua, que provoca efectos como la descomposición del agua por la proliferación de algas, nocividad y remineralización de los cuerpos de agua del medio (Tenelema-Chango, 2016). Resulta imperativo el remover estas sustancias de las aguas de los efluentes para mantener la calidad de agua en el ambiente.

La calidad de los cuerpos de agua es un factor fundamental para el éxito del cultivo y la producción de especies acuáticas, ya que está directamente relacionada con los nutrientes que la enriquecen. Si el agua no posee una buena calidad, esta afectará inmediatamente la abundancia, composición y diversificación de los organismos que la habitan dejando de esta manera aguas pobres para utilizarla dentro de los cultivos acuáticos.

Los parámetros que se presentan a continuación cuando no se encuentran en equilibrio o en los extremos de los rangos óptimos causan efectos adversos tanto en la producción de camarón como en el cultivo de diferentes especies acuáticas.

1.4.1. Amonio total

El amonio no ionizado (NH_3) en el agua representa el 0.1% del amonio total, la toxicidad del amonio se vuelve crítica cuando el pH y temperatura alcanzan valores mayores a 9.5 y 30°C , respectivamente, provocando crecimientos lentos en las especies acuáticas y cambios histológicos como lesiones en las branquias u otros órganos. Para evitar riesgos dentro de la producción de camarón *Penaeus Vannamei* es recomendable mantener los parámetros de pH entre 7 y 8.5 y temperatura entre 25 y 32°C (Boyd C. E., 1995).

El amonio es producido principalmente por la excreción de los camarones así como por la descomposición de la materia orgánica y el crecimiento de algas (Aguilar Añazco, 2014).

1.4.2. Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Suspendidos Totales.

La salinidad del agua está compuesta por siete iones que forman la concentración total de los iones disueltos, se encuentran en un rango promedio en agua de mar de; Sodio, $10,500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; Magnesio, $1,450 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; Calcio, $400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; Potasio, $370 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; Cloruro,

19,000 mg.L⁻¹; Sulfato, 2,700 mg.L⁻¹; Bicarbonato, 142 mg/L⁻¹ (Sanchez, 2002). Los sólidos suspendidos totales existen dentro de los cultivos acuáticos por la acumulación del balanceado no digerido, heces de animales y algas, causando demandas de oxígeno o proporcionando excesivas cantidades de nutrientes al agua, afectando la salud de las especies acuáticas principalmente en el sistema branquial (Quirola Calderon, 2008) y de esta manera exponiéndolos ante agentes patógenos (Boyd, 2015).

Los SST son partículas insolubles que enturbian el agua ya que permanecen suspendidas absorbiendo luz solar y están formados por arcillas, detritus, bacterias, protozoarios y parásitos provenientes de desechos en el suelo los cuales consumen oxígeno disuelto (OD) y obstaculizan la fotosíntesis. Los SST causan afectación en la visibilidad de las especies acuáticas y esto a su vez conduce a una afectación en su alimentación.

1.4.3. Materia Orgánica

La materia orgánica causa problemas en la calidad del agua de los estanques acuícolas al momento de su descomposición, ya que crea una demanda de oxígeno y libera amoníaco que es tóxico dentro del agua. Para que exista materia orgánica en el estanque y no cause problemas durante la producción y al momento de la evacuación de los efluentes se requiere un rango óptimo entre el parámetro de pH y altas concentraciones de oxígeno disuelto (Boyd, 2017).

1.4.4. Biorremediación en cuerpos de agua.

La biorremediación es el proceso que degrada los desechos orgánicos del agua de manera biológica y en condiciones controladas a formas menos tóxicas, mediante la utilización de microorganismos vivos y/o plantas. El resultado biorremediador se lo determina mediante el mejoramiento de la calidad del agua, causando una menor acumulación de materia orgánica en el fondo de los estanques y a su vez, un ambiente favorable para la producción del camarón (Arias, 2017).

1.4.5. Problemas asociados a los efluentes provenientes de la actividad acuícola.

El cultivo de camarón puede presentar diversos factores de riesgo para los cuerpos de aguas naturales como consecuencia de sus efluentes desde el punto de vista ambiental, sin importar si es un cultivo intensivo o semi-intensivo. Entre los principales problemas asociados a los efluentes de las actividades de producción de camarón se encuentran:

- Variación en la calidad del agua
- Altas concentraciones de carga orgánica e inorgánica
- Dispersión de enfermedades
- Reducción de la diversidad biológica

Desde hace varias décadas, los impactos causados por los cultivos intensivos y semi-intensivos de camarón han afectado el equilibrio de los ecosistemas. Básicamente, los desechos biológicos producidos en el cultivo y los sedimentos, son la fuente de contaminación para los cuerpos de agua naturales, acompañados de la degradación de los insumos acuícolas que son adicionados durante los ciclos de producción (Xianli, Shengmin, Yao, & Xiulin, 2016). Además, si no existe una buena ubicación geográfica de la camaronera, construcción de los estanques, planificación de la producción y una buena práctica de manejo (BPM), se pueden generar efectos desfavorables en los volúmenes de agua y una vez descargados pueden provocar una contaminación en los cuerpos de agua que reciben los efluentes.

Varios reportes sostienen que las camaroneras pueden producir contaminación en los estuarios, ríos e incluso en el mar, mediante los siguientes procesos de evacuación de los efluentes; presencia de heces de camarón, desechos del alimento no consumido, excretas, exuvias, mortalidad normal de los camarones sometidos a un cultivo, entre otras. Estos procesos, favorecen al enriquecimiento del agua con nutrientes, producen eutrofización, e incrementan la carga de SST en las aguas receptoras, que suelen ser re-utilizadas por otras granjas camaroneras para el llenado de sus estanques (Morocho, 2007).

El monitoreo de los parámetros de calidad en los efluentes de los cultivos de camarón es un factor sumamente importante para identificar y prevenir efectos adversos en los ecosistemas al momento de evacuar el agua (Ramos, Vinatea, & Da Costa , 2008). De la misma manera que se considera la calidad de agua en los cultivos, debe considerarse

la calidad de agua en los efluentes, porque estos van a ir a cuerpos de agua naturales afectando al desarrollo de organismos acuáticos en el medio natural y en cultivos. En eso radica la importancia por la liberación de efluentes de las camaroneras de una manera responsable, haciendo tratamientos previos a su eliminación al medio, evitando la contaminación del cuerpo de agua, y reduciendo el impacto ambiental que va a permitir mantener el ecosistema en óptimas condiciones y a facilitar la expansión de la actividad camaronícola (Mohanty , Ambast, Panigrahi, & Thakur, 2018).

Para alcanzar una buena regulación de la industria, la caracterización de los efluentes de las camaroneras en términos de parámetros de calidad de agua, debe ser considerada primordial para proteger el ambiente. Sin embargo, se ha determinado que los efluentes en camaroneras de agua salobre tienen un impacto transitorio no perenne en los cuerpos de agua (Venkateswara, Chari, & Muralikrshna, 2019).

En el estudio realizado por Saldías Dinamarca (2001), en cultivos intensivos de agua salobre, a una densidad entre 80 y 120 camarones.m⁻², en estanques de tierra de 2.1 Hay con una profundidad de 1.5 m, con recambio diario del 5%, durante 120 días de cultivo, se obtuvo en los efluentes un promedio de 7 mg.L⁻¹ de Nitrógeno; >1 mg.L⁻¹ de Fósforo; 300 mg.L⁻¹ SST; y clorofila a 300 microgramos.L⁻¹. No se reportaron problemas relacionados con estos valores de nutrientes en los efluentes y cultivos posteriores o contaminación del medio natural. Sin embargo, los valores alcanzados son superiores a lo recomendado por Boyd (2000; tabla 1.1.)

Tabla 1.1 Concentración de efluentes de cultivos semi-intensivos en aguas estuarinas en contraste con las aguas naturales, adaptado de Boyd 2000

		Estuario	
		Media densidad	Aguas Naturales
Efluentes	Nitrógeno total	6.2	0.01-2.00
	Fósforo	0.19	0.01-0.50
	TSS	121.46	25-50

	Clorofila a (microgramo/L)	75.99	10-50
	DBO 5	12.9	1-5

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

La Estación Experimental CENAIM-ESPOL (EEC), está ubicada en la comuna Palmar (Provincia de Santa Elena). En esta zona se han registrado oscilaciones de temperaturas ambientales anuales entre 24.5°C y 39.4°C.

La estación experimental de CENAIM tiene un total de 17.25 Ha dividida en tres sectores A (49 piscinas), sector B (34 piscinas) y sector C (2 piscinas) (Figura .2.1).



Figura 2.1. Sector A, Sector B y Sector C de la Estación Experimental CENAIM.

El abastecimiento de agua para el llenado de las piscinas se consigue a través de un canal de aducción que se alimenta por medio de marea alta con una bomba de 120 Hp con capacidad de 9000 galones por minuto. El agua pasa del canal de aducción al

reservorio a través de una compuerta. Una segunda bomba de 11 Hp (en la parte norte del reservorio) alimenta un sistema de tuberías que transporta el agua hacia las piscinas.

Las características para la implementación del diseño propuesto fueron consideradas para el sector B (figura 2.1) de la Estación Experimental CENAIM, compuesto de 34 piscinas de diferentes dimensiones que van desde 0.05 Ha a 0.25 Ha. Cuenta con un reservorio de 1 Ha y 3 m de profundidad para suplir la demanda de agua de la estación experimental. La altura promedio de los muros es de 1.50 m y columna de agua de 1 m y una pendiente que varía entre 0.04° y 0.14° .

El sector B tiene un canal de descarga con un área de 3.40 Ha con un volumen descargable máximo de 51000 m^3 y un volumen descargable mínimo de 13600 m^3 . Las piscinas de la estación tienen un tiempo de drenaje de 45 min para piscinas de 0.05 Ha y 2245 min para las de 0.25 Ha. El sistema de drenaje es de un ducto cerrado con una pendiente de 45° , ubicado en la base del muro compartido con el canal de abastecimiento de agua de las piscinas, los ductos de drenaje desembocan en el canal de descarga, como se muestra en la (figura 2.2).

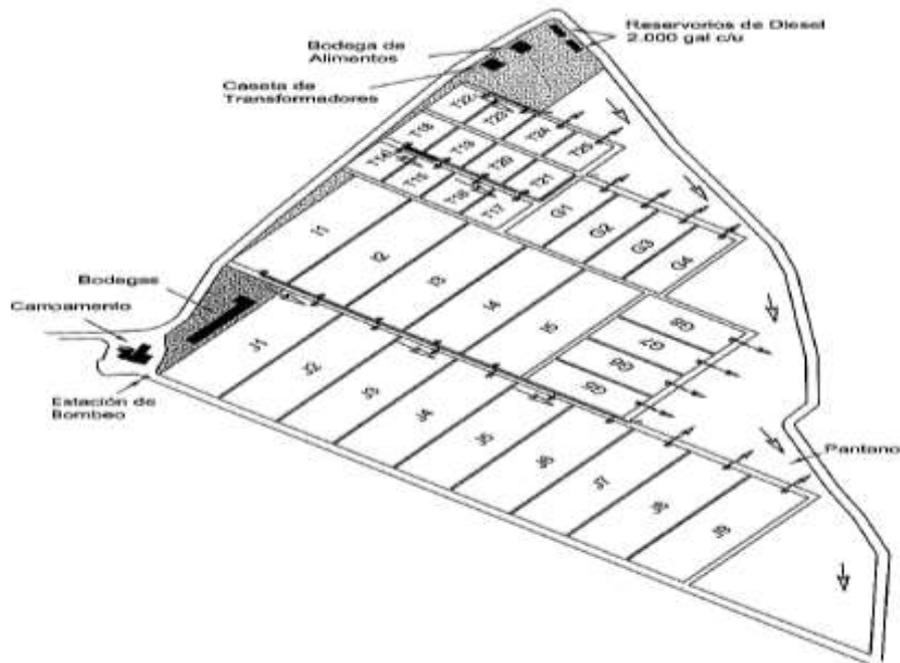


Figura 2.2 Plan de drenaje del Sector B de la estación experimental CENAIM, donde las flechas indican el recorrido de los efluentes desde los estanques hasta el canal de drenaje.

Los efluentes de todas las piscinas experimentales del sector B en la estación experimental de CENAIM terminan en el canal de drenaje. A continuación, se muestra una tabla de datos de los parámetros de calidad de agua en los efluentes del sector B en los últimos 4 años.

Tabla 2.1. Concentraciones promedio de algunos parámetros de calidad de agua tomados en los efluentes del sector B.

Promedio Anual	TAN	NT	pH	Alcalinidad	OD	Salinidad
2015	0,07	1,72	8,40	217,52	5,84	45
2016	0,02	2,13	8,49	181,43	5,55	44
2017	0,05	1,91	8,42	193,15	5,43	41
2018	0.06	1,97	8,55	220,7	5.80	43

En octubre del año 2015, se registró un nivel promedio de TAN de 0.4 mg.L⁻¹. En enero del mismo año se evidenció uno de los rangos de salinidad más elevados dentro de los 4

años con cantidades de 56 ppt lo que es perjudicial como efluente para zonas aledañas que toman de estas aguas ya que, aunque no causa mortalidad, el animal crece de manera muy lenta y a su vez generan pérdidas dentro de la producción acuícola.

En base a los parámetros históricos analizados, las encuestas realizadas y a la información bibliográfica revisada, se han propuesto varias soluciones para remediar las aguas de los efluentes del sector B de la estación Estación Experimental de CENAIM con la finalidad de mejorar la calidad de agua sus efluentes.

2.1 Remediación de efluentes utilizando biofloc en los sistemas de cultivo.

La (figura 2. 3) muestra un esquema general necesario para la implementación de un sistema biofloc en piscinas camaroneras, donde se contempla desde los cálculos para determinar el volumen operable a remediar y las cantidades necesarias de sustrato para la activación de los bioflocs.

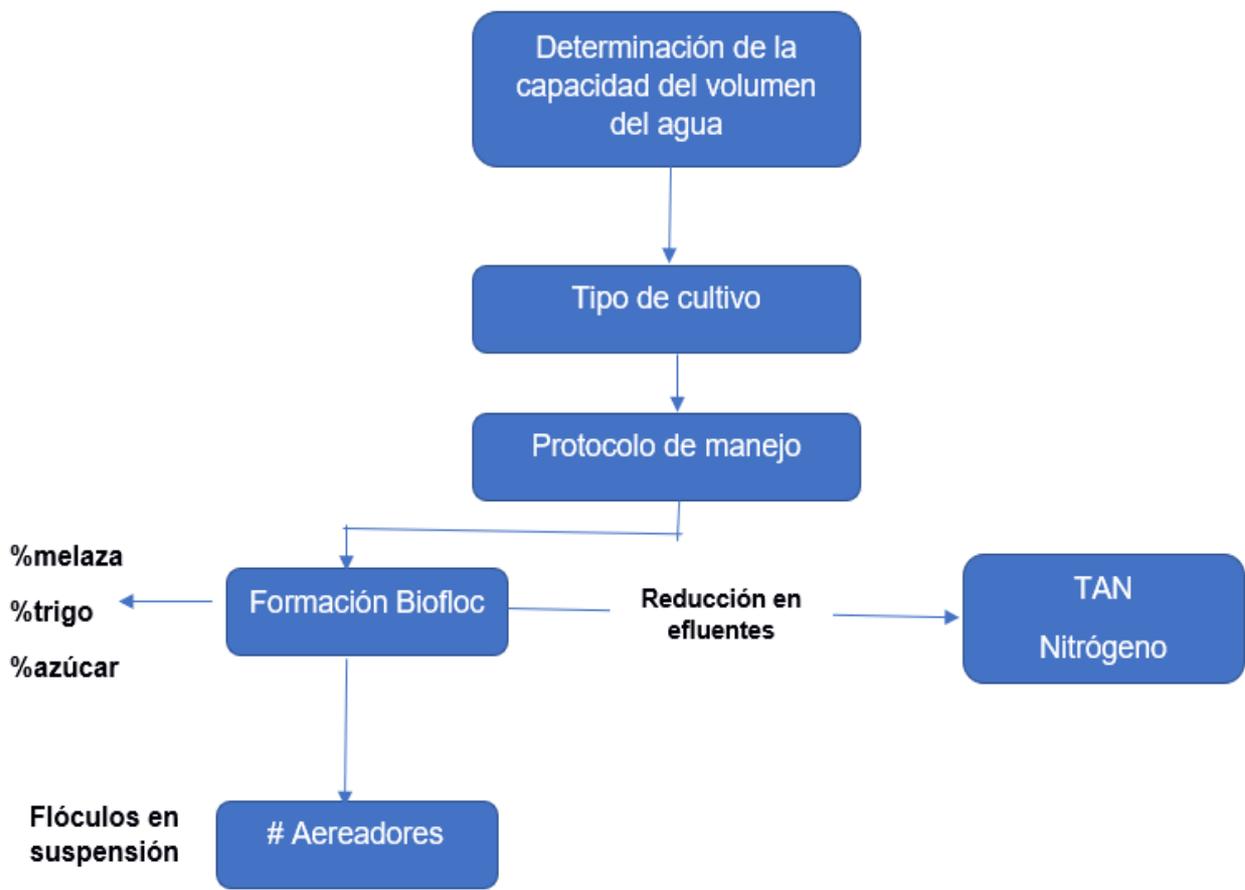


Figura 2.3 Esquema general para la implementación de un sistema de biofloc en piscinas camaroneras

Por ejemplo, en un estudio realizado en la Finca Sea Farms en India, en un periodo de 120 días (Agosto a Noviembre del año 2015), se usaron 4 tanques de polietileno con un área de 0.12 Ha. Un tratamiento de aplicación de 3500 kg de fuente de Carbono (melaza, azúcar y trigo). Se añadió biofloc de un ciclo de cultivo anterior como inóculo y se replicó durante 10 días, luego se adicionó 11.5 kg de urea y 3500 kg de fuente de carbono entre melaza, azúcar y trigo en la producción 8:1:1, respectivamente, para mantener la relación C/N de 15:1. Aeradores de 14 Hp fueron ubicados en las esquinas para mantener los flóculos en suspensión. Los volúmenes de biofloc se estimaban tomando una muestra de 1 litro de agua en cono Imhoff y dejando reposar durante 15 - 20 minutos para que las partículas se asienten y se pueda tomar lectura en mL.L⁻¹. Postlarvas de 15 días de edad de *P. vannamei*, fueron sembradas a una densidad de 60 larvas.m⁻² en cada piscina. Las larvas de los camarones fueron alimentadas con dietas peletizadas con el 35% de proteína, a una tasa del 3 al 5% de la biomasa en 4 raciones por día. El

10% del total de los camarones fueron pesados y medidos individualmente cada semana, para estimación de la biomasa y ajustar la tasa de alimentación. Las muestras de agua fueron recolectadas a intervalos de 10 días de las 2 ubicaciones en cada estanque y estas muestras se agruparon para hacer los análisis físico-químicos y microbiológicos respectivos.

Tabla 2.2. Resultados del uso de biofloc con diversas plantas acuáticas en diferentes estudios

Especies	Fase	C:N	Supervivencia del cultivo	Calidad del agua	Composición de biofloc	Fuente
Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Alevines	10:1	95% de supervivencia en comparación con el control 61.11%.	Reducción del NT y fosfato.	microorganismos tales como bacterias, protozoarios, rotíferos y otros.	(Zapata Lovera, 2017)
Camarón blanco <i>Penaeus Vannamei</i>	Post larva	15:1	93% de supervivencia en comparación con el control 91.2%.	Mejora el oxígeno disuelto.	Algas con trozos de esponjas de color marrón intenso las cuales contenían diatomeas en mayor parte de su composición.	(Lara, Silvio Javier, 2018)
Tilapia roja <i>Oreochromis sp.</i>	Juveniles	10:1	98.6% de supervivencia en comparación con el control 95.6%.	Mejora: Turbidez, NT.	Partículas orgánicas e inorgánicas, bacterias y hongos, algas y microorganismos.	(Quinteros, Silvia, 2013)

2.2 Remediación de efluentes utilizando microalgas marinas (*Picochlorum maculatum*) inmovilizada.

La (figura 2. 4) muestra un esquema general para la implementación de microalgas marina inmovilizada en los efluentes de las piscinas de camarón, donde se puede observar desde los cálculos para determinar el volumen operable a remediar y las cantidades necesarias de sustrato que se deben utilizar.

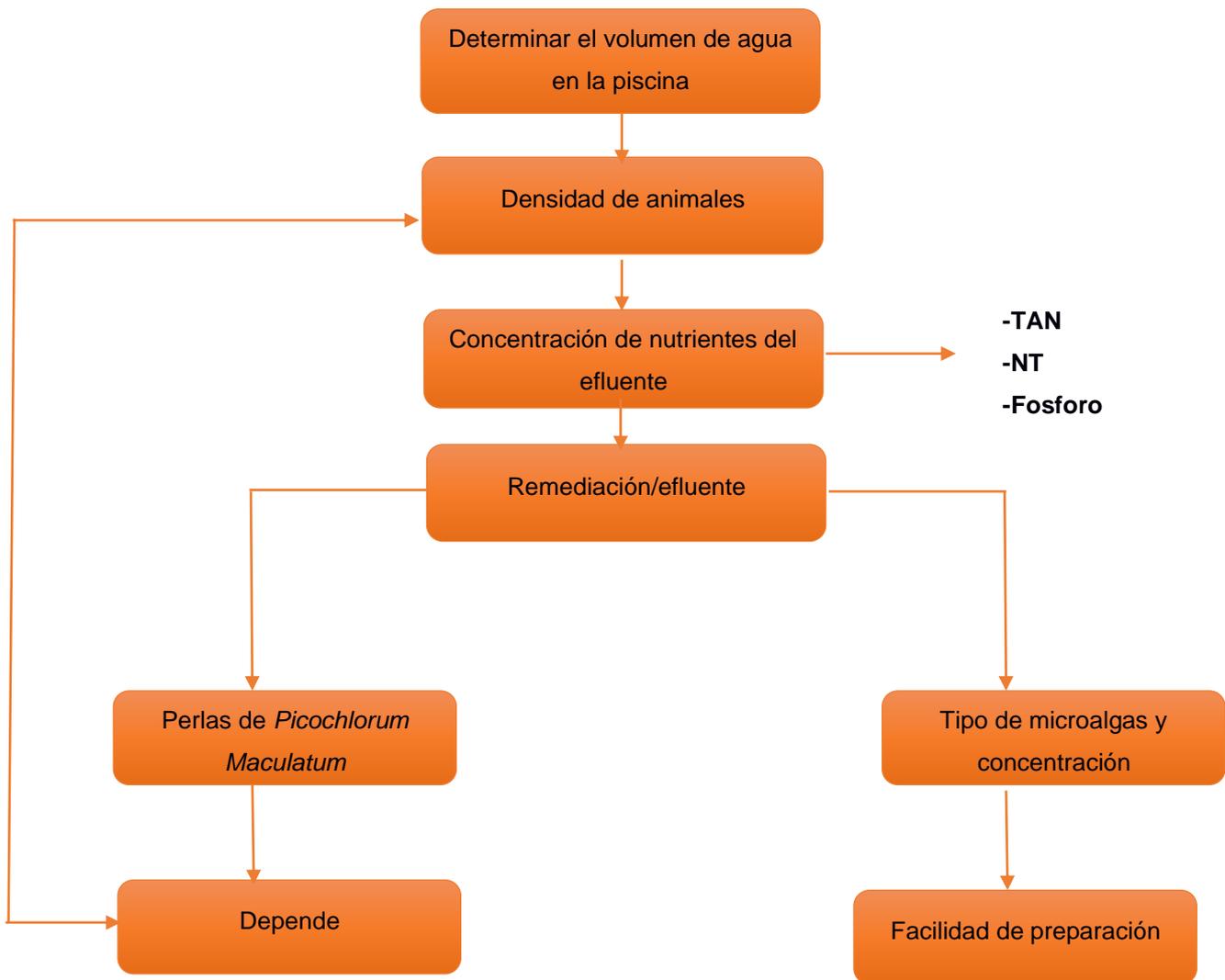


Figura 2.4 Esquema general para la implementación de un sistema con microalgas marinas inmovilizadas *Picochlorum maculatum*

Según el estudio de Kumar (2017), se tomó agua de los efluentes de estanques de camarones *P. vannamei*. El experimento se realizó en un matraz cónico de 1000 mL del efluente del cultivo de camarón, en el cual se agregaron microalgas inmovilizadas y se monitoreó el agua cada 4h para el respectivo análisis de microalgas. Culminado el experimento, se extrajeron las microalgas del matraz a través de un papel filtro y se midieron las cantidades de los nutrientes por espectrofotometría utilizando un espectrofotómetro Shimadzu Modelo-2450.

Se tomaron las microalgas en la fase exponencial con un sistema de filtrado Millipore y se las inmovilizaron de acuerdo a procedimientos estándares. Para inmovilizar la microalga se utilizaron concentraciones de alginato y solución de cationes con un volumen total de 100 mL (70 mL de alginato y 30 mL de mezcla de NaCl). Una vez que la perla ya se formó en su totalidad, se las mantuvo en solución catiónica durante 45 min para el endurecimiento completo del alginato todo esto fue realizado mediante un agitador magnético, luego se enjuagó con agua de mar filtrada a 0.45 micras para eliminar los restos de solución catiónica. Se procedió a analizar el efecto que tienen las perlas dentro del efluente del cultivo de camarón mediante diferentes densidades 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 y 400 y de esta manera conocer que densidad es la que obtiene mayor eliminación de los nutrientes (fosfato, nitrato, nitrito y amoniac).

2.3 Remediación de efluentes utilizando un sedimentador basado en filtración por la ostra *Crassostrea rhizophorae* y absorción por alga clorofícea *Ulva fasciata*.

La (Figura 2.5) muestra un esquema general para la implementación de un sedimentador basado en filtración por *Crassostrea rhizophorae* y absorción por clorofícea *Ulva fasciata*, donde se puede observar desde los cálculos para determinar el volumen operable a remediar y las cantidades necesarias de organismos que se deben utilizar.

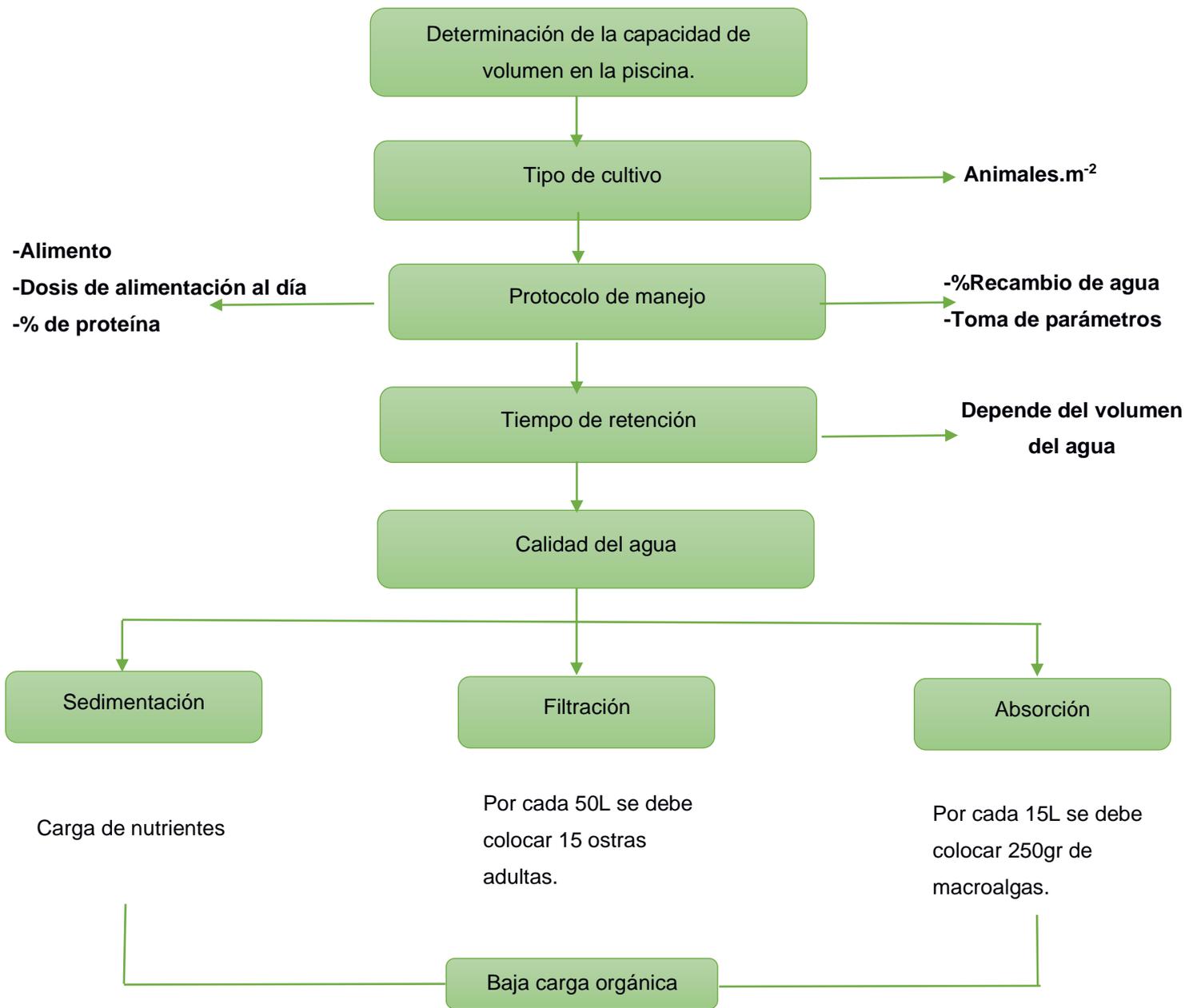


Figura 2.5 Esquema general para la implementación de un sedimentador basado en filtración por *Crassostrea rizophorae* y absorción por *Ulva fasciata*

Una de las estrategias para mitigar los impactos ambientales negativos de los efluentes de camarónicas es la utilización de un estanque sedimentador conteniendo en su interior combinaciones de organismos como moluscos y/o macroalgas.

Santos (2010), diseñó un experimento en el cual colectó 300 L de agua contaminada de estanques de reproductores y los llevó a recipientes plásticos de 60 L, antes de colocar el agua del efluente bruto de los reproductores. Se tomaron muestras de 500 mL y se procedió a analizar los parámetros físicos y químicos. Dentro del experimento se llevaron a cabo, los siguientes procesos; sedimentación, filtración y absorción: en los cuales se utilizaron tiempos de retención hidráulica (TRH) de seis horas por cada uno (total 18 horas). Para realizar el experimento se utilizaron camarones a una densidad de 37 individuos.m⁻², con mezcla de melaza y salvado de trigo a cantidades de 50% cada uno, para mantener una adecuada cantidad de "flóculos microbiológicos" como probióticos. Además, se adicionó diariamente una ración de alimento comercial que contenía 40% de proteína bruta. Los procesos a realizarse dentro del experimento fueron (Figura 2.6)

Sedimentación: se colocaron 3 estanques cilindro-cónicos negros de 100 L en los cuales solo se llenaron 90 L de agua del efluente, permaneciendo en reposo y sin aeración.

Filtración: En tanques de fibras de vidrio de 50 L se colocaron los sobrenadantes del efluente del sistema de sedimentación, cada unidad experimental contó con una línea individual de aire, para mantener los niveles de oxígeno disuelto de acuerdo a las necesidades de la especie. En cada unidad se colocaron 15 ostras adultas de *Crassostrea rhizophorae* con un peso promedio de 80 g y una biomasa de 1.200 g ostra por tanque. Para cada uno de los procesos se colocaron estanques control de las mismas características los cuales fueron llenados con 20L del efluente sobrenadante del proceso de sedimentación.

Absorción: Este proceso se lo realizó en tanques de 20L el cual fue llenado con 15 L del sobrenadante de filtración. Se colocó en cada tanque experimental 250 g de macroalgas por cada 15 L clorofícea *Ulva fasciata* las cuales fueron previamente seleccionadas de su medio natural y posteriormente limpiadas y acondicionadas en un tiempo de 24h.

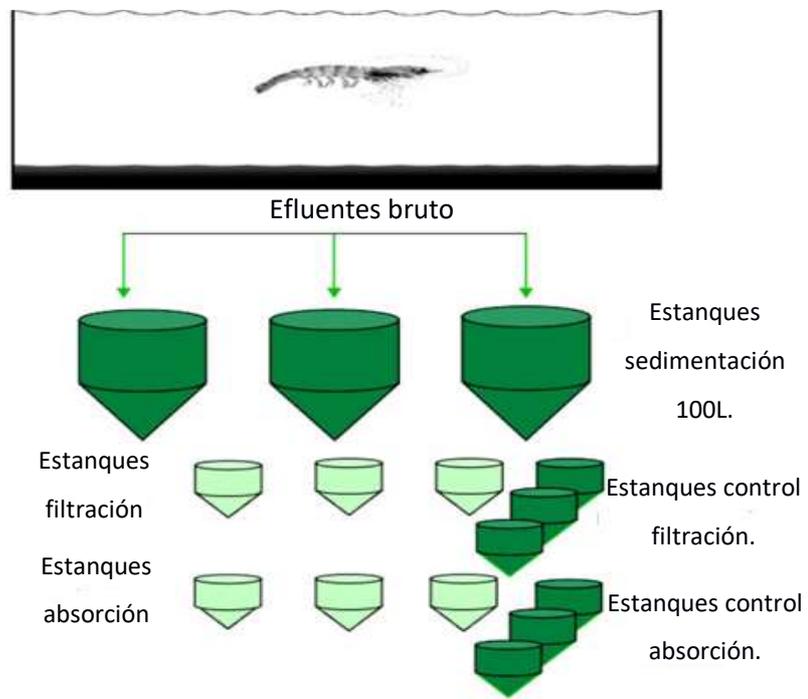


Figura 2.6 Diseño experimental de los estanques en los procesos de sedimentación.

La integración de estos 3 procesos mejora enormemente la calidad de agua de los efluentes de las camarónicas, ya que se tendría un sistema en equilibrio con beneficios mutuos de cada uno de los organismos que participan en el experimento (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Resultados de los parámetros físico-químicos del agua durante el proceso de sedimentación, filtración y absorción (Santos,2010)

Tratamientos	Temperatura °C	Salinidad	pH	OD(mg.L ⁻¹)
Efluente bruto	25,3	35,7	7,4	5,6
Sedimentación	16,3	35,7	7,4	5,6
Estanque control <i>C. rhizophorae</i>	16,7	36	7,7	7,5
Estanque ostra <i>C. rhizophorae</i>	16,6	35,7	7,5	7,3
Estanque control <i>U. fasciata</i>	17,4	36	7,7	7,1
Estanque algas <i>U. fasciata</i>	17,5	35,6	7,6	6,8

2.4 Criterios para la evaluación de soluciones para la Estación Experimental CENAIM.

Para elegir la mejor solución dentro de la EEC, se realizó un cuadro de valores con los diferentes prototipos de las posibles soluciones (tabla 2.4) en base a la bibliografía revisada, experiencia laboral, académica y encuestas realizadas a personas que ejercen la actividad acuícola. Los valores fueron considerados de acuerdo a cada criterio establecido. (Tabla 2.5)

Tabla 2.4. Alternativas para el tratamiento de efluentes de la Estación Experimental CENAIM

Alternativa 1:	Remediación de efluentes por medio de biofloc en los sistemas de cultivo.
Alternativa 2:	Remediación de efluentes por medio de microalga marina inmovilizada <i>Picochlorum maculatum sp.</i>
Alternativa 3:	Remediación de efluentes por medio de un sedimentador basado en filtración por <i>Crassostrea rhizophorae</i> y absorción por clorofícea <i>Ulva fasciata</i> .

Tabla 2.5 Cuadro de criterios de selección para la solución del diseño en la Estación Experimental CENAIM.

Criterio		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costos	Alto =1	1		
	Medio=2			
	Bajo=3		3	3
Tiempo de construcción	Largo=3			
	Mediano=2	2		2
	Corto=1			
Eficiencia	Alta=3			
	Media=2		2	2
	Baja=1	1		
Reducción de TSD	Alta=3			3
	Media=2	2	2	
	Baja=1			
Mantenimiento	Elevado=0	0		

	Bajo=1		1	1
Total		6	8	11

Luego de analizar las soluciones en base a los criterios establecidos en la tabla 6, se determinó que la mejor solución para el diseño a implementarse en la estación experimental CENAIM es la Alternativa 3. Se van a reemplazar las ostras y macroalgas por especies presentes en Ecuador como son: *C. gigas* y *Kappaphycus Alvarezii* puesto que el experimento resultaría sencillo al encontrar especie adaptables al ambiente costero del país.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

El primer objetivo fue una revisión de los resultados históricos de los efluentes de cenaim, y se encontró que los niveles no sobrepasan los recomendados para los cultivos de camarón. Sin embargo, los aceites esenciales, probióticos, alimento balanceado y fertilizantes, usados comúnmente en las experimentaciones del CENAIM pudieron afectar a los cuerpos de agua de la zona de Palmar, generando eutrofización, aumento de materia orgánica, concentración de sólidos, afectando los cultivos de camarón cercanas al sector al momento de tomar sus aguas para las operaciones.

El diseño del sedimentador para el tratamiento de efluentes se realizó en la piscina C2 de la Estación Experimental de Cenaim (Figura 3.1). Esta piscina de producción fue rediseñada como un sedimentador con filtros biológicos para hacer el tratamiento de efluentes. El agua del canal de drenaje fue bloqueado por un volumen de tierra impidiendo su cauce normal, y por medio de una tubería subterránea (flecha azul en Figura. 3.1) pase directamente al sedimentador.



Figura 3.1 Ubicación del sedimentador para el diseño en la Estación Experimental.

3.1 Sedimentador para efluentes

El llenado del sedimentador se diseñó por medio de un tubo subterráneo de PVC de 0.25 m de diámetro y 88.72 metros de longitud que comprende desde el canal de descarga hasta el sedimentador, figura 3.2. En base al diámetro del tubo de acuerdo a la literatura, se determinó que este iba a tener una velocidad de 5040 metros.h⁻¹. Además, se hicieron los cálculos para determinar el área y posteriormente calcular el caudal del tubo de entrada.

$$\text{Area del Tubo entrada} = \pi * r^2 = (3.14)(0.127^2) = 0.050\text{m}^2$$

$$\text{Caudal del tubo de entrada} = \text{Área del tubo de entrada} * \text{velocidad} =$$

$$\text{Caudal del tubo de entrada} = 0.050\text{m}^2 * 5040 \frac{\text{m}}{\text{hora}} = 252 \text{ m}^3/\text{hora}$$

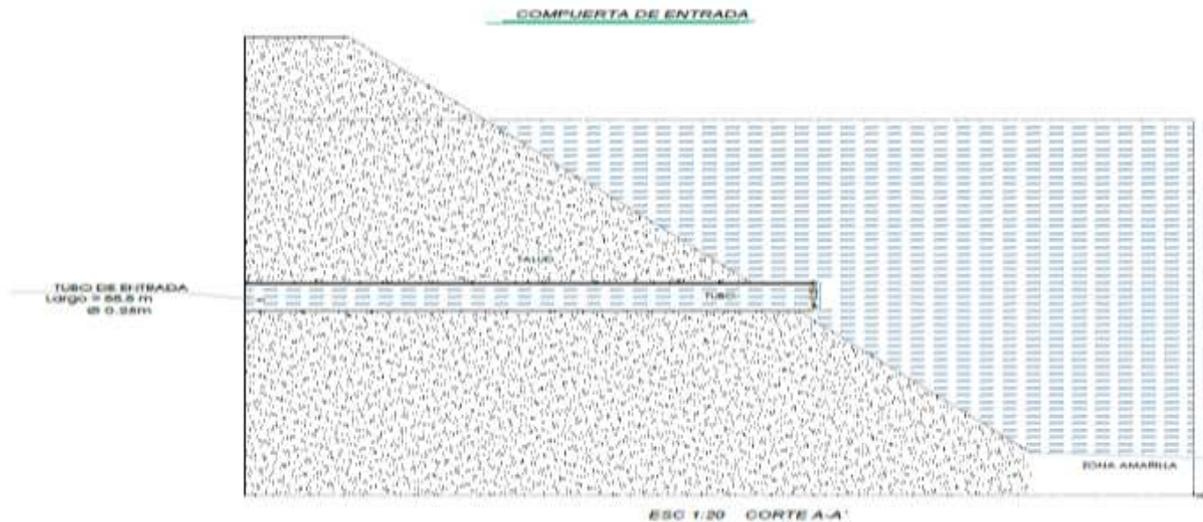


Figura 3.2 Vista lateral del tubo de llenado del sedimentador

Una vez habilitado el tubo de entrada se esquematizó un aumento en la profundidad del sedimentador, para lo cual se debe remover tierra del fondo. Para esto, se determinó mantener una profundidad de 3.5 metros que es la ideal para un sedimentador sea eficiente y beneficioso para el tratamiento de los efluentes. (Pérez, 2017). Se removió un total de 40.649 m³ para tener un sedimentador con las siguientes características, donde la zona de los cultivos de ostras y macroalgas que tiene una profundidad de 3 metros y un área de 28.532 m² con una profundidad de 4 metros, será una zona donde se seguirán acumulando los sólidos el cual va a salir al medio natural por medio de rebose en la compuerta de salida que está en óptimas condiciones. (Figura. 3.3 y 3.4).

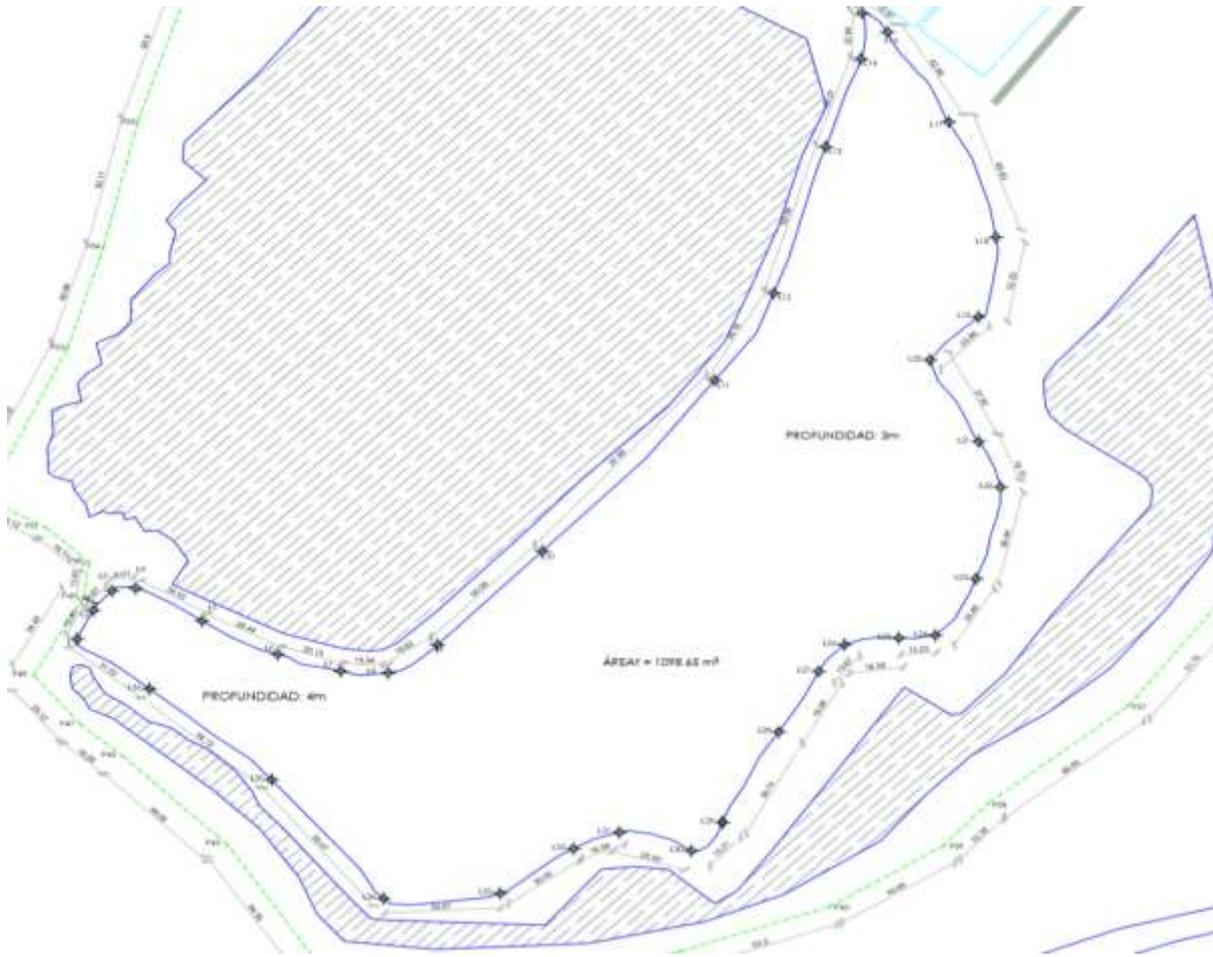


Figura 3.3 Diseño del sedimentador en base al área y profundidad

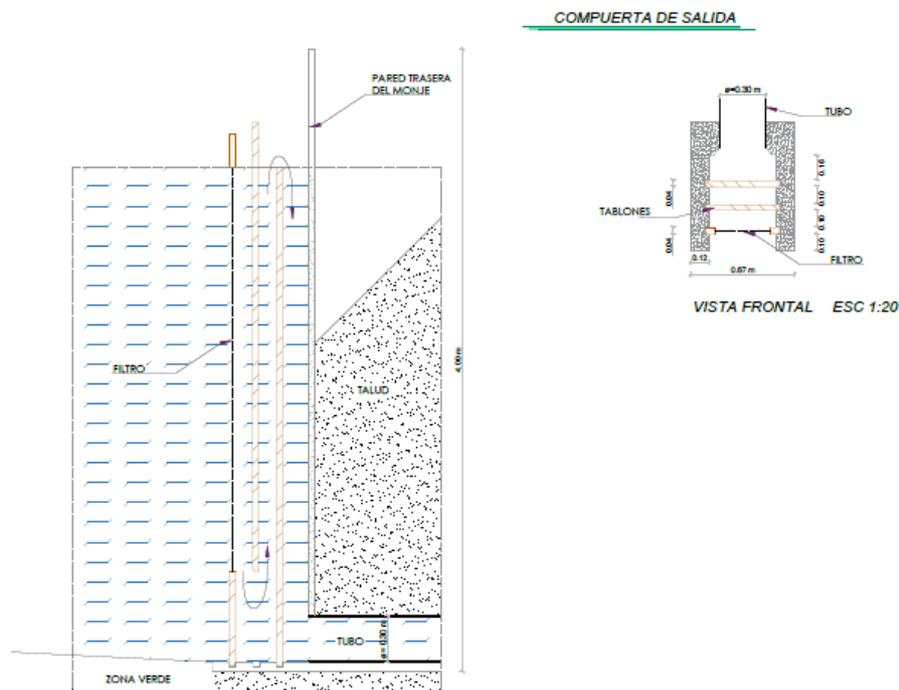


Figura 3.4 Vista lateral y aérea de la compuerta de salida del sedimentador

Una vez operativo el sedimentador, en base al caudal del tubo de llenado el flujo del agua ingresará a razón de $252 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, hasta completar un volumen total de 50.000 m^3 de agua.

En cuanto a la sedimentación, los cálculos que se describen a continuación fueron basados en el estudio de (Boyd, Handbook for Aquaculture Water Quality, 2014) considerando la Ley de Stocke; y la velocidad crítica (VC):

ρ_p = densidad de la partícula (Kg/m^3)

ρ_f = densidad del líquido (Kg/m^3)

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

d = diámetro de la partícula

V_s = volumen de la partícula (m^3)

$\mu = 0.000815$

$$V_s = \frac{gd^2(\rho_p - \rho_f)}{18\mu}$$

$$s = \frac{(9.8)(0.002)^2(1400 - 1027)}{18(0.000815)}$$

$$Vs = 0.99 \text{ m/Seg}$$

$$Vc = \frac{Q}{A} = \frac{253 \text{ m}^3/\text{Hora}}{25000 \text{ m}^2} = \frac{0.010 \text{ m}}{\text{Hora}} = 1.9 \times 10^{-5}$$

Para que una partícula tenga una óptima sedimentación, es recomendable que la velocidad de sedimentación (VS) sea mayor o igual que la velocidad crítica (VC). Para nuestro estudio se determinó que la partícula si tendrá una correcta sedimentación ya que cumple con las propiedades para una óptima sedimentación, lo que demuestra que el efluente saldrá con una tasa casi nula de sedimentos hacia los cuerpos de agua naturales.

3.2 Remediación biológica de efluentes

Para la remediación biológica de efluentes se consideraron dos especies importantes como son la Ostra del pacífico o japonesa *Crassostrea gigas* y la Macroalga *Kappaphycus alvarezii* (Figura.3.5). Se consideró este tipo de ostra porque los bivalvos van a filtrar las algas y van a reducir entre un 40 y 65 % la cantidad de sólidos en suspensión y la macroalgas pueden remover entre el 55 al 66% los sólidos suspendidos, del 37 al 54% DBO, del 64 al 66% Amonio y del 83 al 94% Nitritos, en los efluentes del cultivo de camarón (Pardo, Suárez, & Soriano , 2006).

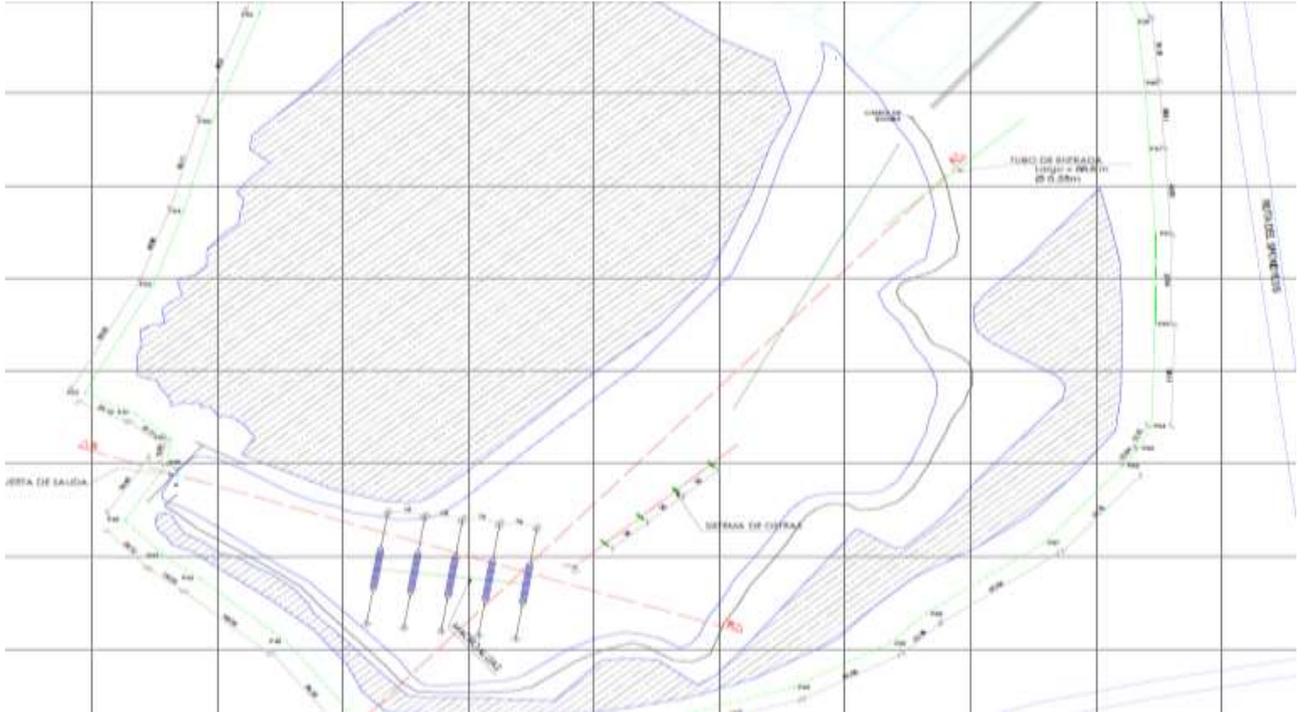


Figura 3.5 Zonas de criterios establecidos para la colocación de organismos vivos.

Descripción del sistema

Para el sistema de filtración con ostras del género *Crassostrea gigas* colocadas en el sedimentador, se propone usar un sistema de cultivo por estacas que consiste en colocar a una profundidad de 3m cada uno de los sistemas. El sistema de filtración consiste en la colocación de 4 líneas de cultivos en la que cada 1 consta de 4 linternas, de las cuales 3 serán para el cultivo con ostras y una para el desdoble. Las linternas se deben diseñar de 3 pisos, debido a que su cultivo será en tierra, además tendrán un diámetro de 0.50 m, separados a una distancia de 0.50 m una de las otras, con ojos de malla de luz de 15 mm. La distancia que existe de una línea de cultivo a otra es de 0.60 m. Las linternas serán sembradas a una densidad de 300 ostras con un tamaño de 6cm por animal, por plato se va a dejar el 25% de espacio libre para el desarrollo de la especie; con un total de 900 ostras por linterna obteniendo en todo el sistema de estaca un total de 2.700 ostras. Se colocará un total de 4 sistemas de estacas de 5 metros de ancho a una separación de 15 m cada uno. El total de organismos dentro del sistema de filtración

será de 10.800 ostras, las cuales serán sembradas a un tamaño de 6 cm, hasta los 10 cm. (Figura 3.6).

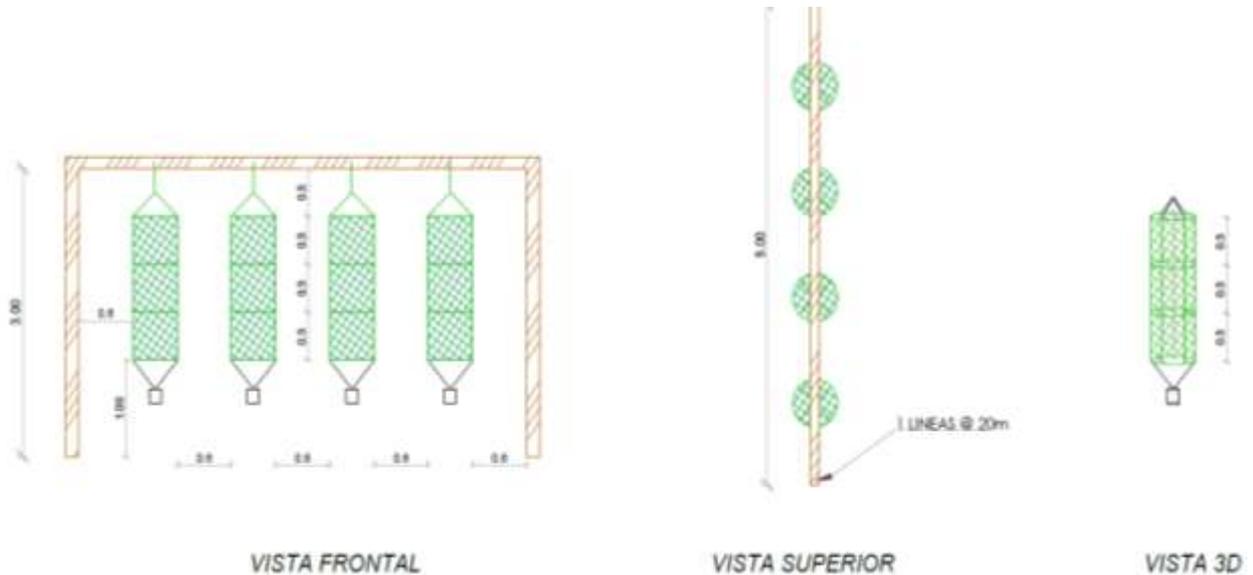


Figura 3.6 Vista frontal, superior y tridimensional del Sistema por estacas para el cultivo de ostras (FAO, 2006 Informe técnico producción artificial de semilla y cultivo de engorde de moluscos bivalvos)

Para el sistema de absorción se propone usar macroalgas del género *Kappaphycus alvarezii*, éstas se van a colocar en un sistema de cuerdas flotantes utilizando cuerdas de nylon de 20 m de longitud y 4 mm de diámetro, separadas a una distancia de 0.50 m para no enredarse. Se van dividir por tubos 5 de PVC de 5 cm de diámetro cada 5 m de longitud, formando celdas que tendrán un total de 25 ejemplares con un total de 100 organismos dentro del sistema (Figura 3.7 y 3.8). Los ejemplares de macroalgas se van a sembrar con un peso promedio de 100 gr cada uno a una distancia de 1 m, puesto que en 45 días estos organismos son capaces de alcanzar hasta 700 gr.

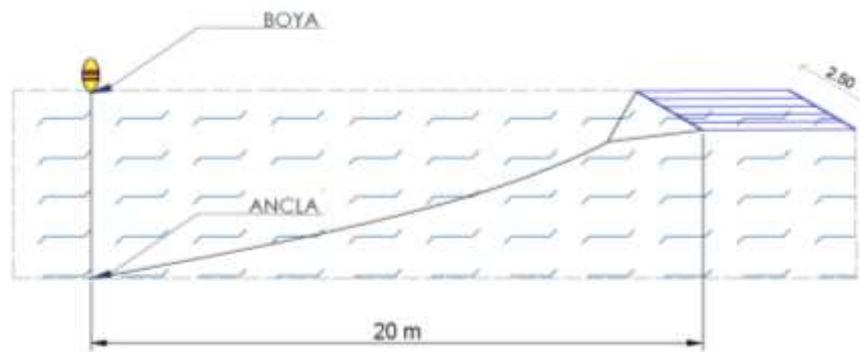


Figura 3.7 Vista tridimensional del Sistema flotante de macroalgas.

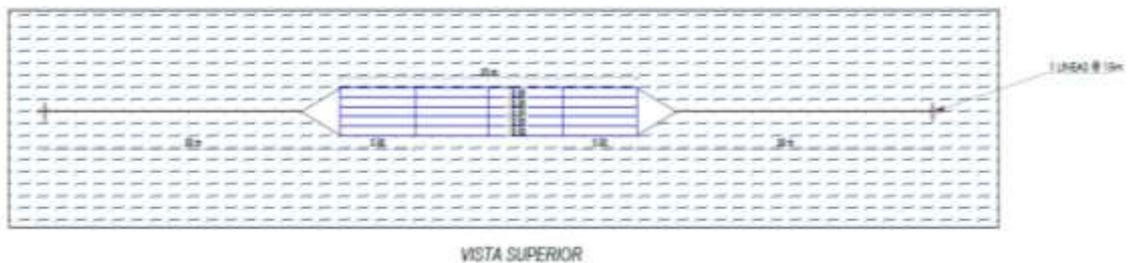


Figura 3.8 Vista superior del Sistema flotante de macroalgas.

En la tabla 3.1 se detalla el experimento realizado en el laboratorio de CENAIM, el mismo que consistió en evaluar la variabilidad y disminución de los sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total durante 48h para determinar la función que cumplen los organismos vivos dentro de los efluentes con carga de nutrientes.

Tabla 3.1 Análisis de absorción y filtración con ambos organismos.

Fecha	Muestra	NT mg/L	PT mg/L	SST mg/L
15/01/2020	Agua del reservorio	3.11	0.25	71.9
16/01/2020	Tanque ostras 1	8.48	0.11	59.3
	Tanque macroalga 1	5.42	0.17	42.0
	Tanque control 1	3.27	0.11	64.0
	Tanque ostras 2	6.45	0.11	56.0
	Tanque macroalga 2	5.75	0.40	55.3
	Tanque control 2	3.11	0.24	50.0
	Tanque ostras 3	3.35	0.17	48.7
	Tanque macroalga 3	7.50	0.21	69.3
	Tanque control 3	3.05	0.21	70.7
17/01/2020	Tanque ostras 1	4.16	0.17	52.7
	Tanque macroalga 1	5.84	0.20	40.7
	Tanque control 1	2.81	0.28	154.7
	Tanque ostras 2	7.59	0.86	47.3
	Tanque macroalga 2	7.59	0.86	47.3
	Tanque control 2	3.14	0.26	42.7
	Tanque ostras 3	7.37	0.90	47.1
	Tanque macroalga 3	10.89	0.82	132.0
	Tanque control 3	3.27	0.31	65.3

Costos estimados de la implantación de un sedimentador

Para realizar la implementación del sistema de tratamiento de efluentes por medio de filtración, absorción y sedimentación, es necesario hacer un análisis de costo. Para el caso de la construcción del sedimentador, se realizó una cotización para el alquiler de maquinaria en la Península de Santa Elena y con un valor promedio de \$50 la hora del uso de la volqueta (balde de 12 m³ de capacidad) y \$35 por hora para la retroexcavadora (cuchara de 1 m³). Además, en base a cotizaciones se estima un costo para la implementación de ostras y macroalgas como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Costo estimado de la implementación del sistema de tratamiento de efluentes en la estación experimental CENAIM.

Descripción	Cantidad	Unidad	Hora de trabajo		Costo/hora	Costo total
Movimiento de tierra						
Volqueta			80h		\$50	\$4.000
Retroexcavadora			40h		\$35	\$1.400
Sistema de ostras						
Costo de instalación						\$1.500
Costo de montaje de líneas						\$2.825
Materia prima	300	animales			\$0.40	\$120
Sistema de macroalgas						
Costo de instalación						\$1.700
Materia prima	100	g			\$0.50	\$80
						\$11.625

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación de un sedimentador de 2.5 ha permite la decantación de 500mg.L⁻¹ de sedimento en un tiempo de 8h.

El uso de organismos vivos como ostras y macroalgas permiten una reducción entre un 40 y 65 % la cantidad de sólidos en suspensión mientras que las macroalgas remueven entre el 55 al 66% los sólidos suspendidos, del 37 al 54% DBO, del 64 al 66% Amonio en los efluentes del cultivo de camarón.

Recomendaciones

Se recomienda establecer buenas prácticas de manejo para el cultivo de las ostras y así evitar la acumulación de sedimentos que impidan una buena filtración y por ende su eficiencia en el sedimentador.

Identificar si la cantidad de organismos propuestos para el diseño del sedimentador van a ser suficientes para remediar los efluentes de las camaroneras.

Un sedimentador, debe estar acompañado de un sistema integrado multitrófico con especies acuáticas que tengan la capacidad de remediar los efluentes que van al medio natural.

5. REFERENCIAS

- Astorga, K. (2015). *Desarrollo de camarón Litopenaeus vannamei en un sistema de cultivo intensivo*.
- Boyd, C. E. (1995). Water Quality Management in Pond Fish Culture. 32.
- Boyd, C. E. (2014). Handbook for Aquaculture Water Quality.
- Boyd., C. E. (2017). Cómo la descomposición de la materia orgánica impacta los estanques acuícolas. *Global Aquaculture*. Obtenido de file:///C:/Users/KATTY/Downloads/como-la-descomposicion-de-la-materia-organica-impacta-los-estanques-acuicolas.pdf
- Cabanillas Ramos, J. (2005). Buenas practicas de manejo para el cultivo de camaron. 51.
- CENAIM-ESPOL. (2001). *Descripcion de las variaciones ocurridas durante el ciclo de muda del camaron*.
- Durán Cobo, G. M. (2016). Evaluación patológica de Litopenaeus vannamei cultivados en en granjas de chone. *AquaTic*.
- Erler, D. (2004). Treatment of shrimp farm effluent with omnivorous finfish and artificial substrates.
- FAO. (2004). Manejo sanitario y mantenimiento de la bioseguridad de los laboratorios de postlarvas de camaron blanco. *Documento tecnico de pesca*, 79.
- FAO. (2004). Penaeus vannamei in Cultured aquatic species fact sheets.
- FAO. (s.f.). *Informe tècnico producció n artificial de semilla y cultivo de engorde de moluscos bivalvos*.
- Garcia, F. (Febrero de 2015). La calidad del agua y las buenas prácticas en acuicultura.
- Imués Figueroa, M. A. (2015). Supervivencia de poslarvas de Litopenaeus vannamei sometidas a las pruebas de estres osmotico. *Biología Marina y Oceanografía*.
- Kumar, D. (2017). Optimal Conditions for the Treatment of Shrimp Culture Effluent Using Immobilized Marine Microalga Picochlorum maculatu.
- Kumar, V. S. (2018). Biofloc improves water, effluent quality and growth parameters of Penaeus vannamei in an intensive culture system. *ELSEVIER*.
- Lara, Silvio Javier. (2018). Comparación del crecimiento de post-larvas de camarón blanco del Pacífico Litopenaeus vannamei sometidas a dos condiciones experimentales. pág. 80.

- Lara-Espinoza, C. L. (2015). Desarrollo de camarón *Litopenaeus vannamei* en un sistema de cultivo intensivo con biofloc y nulo recambio de agua. *AquaTic*. Nicovita. (Marzo de 2004). Obtenido de https://www.nicovita.com.pe/extranet/Boletines/ene_mar_2004.pdf
- Pardo, S., Suárez, H., & Soriano, E. (2006). *TRATAMIENTO DE EFLUENTES: UNA VÍA PARA LA ACUICULTURA RESPONSABLE*. Còrdoba.
- Penaeus vannamei* in Cultured aquatic species fact sheets. (2004). FAO.
- Pérez, J. A. (s.f.). *Sedimentaciòn*.
- Piedrahita Falquez, Y. L. (2016). Manual de buenas practicas para el cultivo de camaron en estanques .
- Quinteros, Silvia. (22 de Julio de 2013). Tecnología del biofloc en un cultivo de mojarra roja. Obtenido de <file:///C:/Users/KATTY/Downloads/3845-Texto%20del%20art%C3%ADculo-6387-1-10-20181103.pdf>
- Quirola Calderon, I. (2008). *Tratamiento de efluentes provenientes de raceways en camaronera*. Guayaquil.
- Reyes Pezo, C. (2014). *Efectos de la fuente de Selenio y Cobre, sobre la respuesta inmune del camaron*. La Libertad.
- Sanchez, D. (2002). Sales disuelta en aguas de cultivo de camaron en tierras continentales. *Global Aquaculture Advocate*, 4.
- Santos, J. (2010). Tratamiento de efluentes del cultivo de *Litopenaeus vannamei* mediante procesos de sedimentación, filtración y absorción. *SciELO*. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-560X2010000200003&script=sci_arttext&tlng=en
- Segarra Puga, I. A. (2017). ESTRATEGIAS PARA OBTENER POBLACIONES HOMOGENIAS DE POST-LARVAS EN EL CULTIVO DE CAMARÓN BLANCO. 25.
- Talavera, Victor. (3 de Marzo de 1998). *Boletin Nicovita*.
- Tedde, S. (2017). Biofloc production in activated sludge system treating shrimp farming effluen.
- Tobey, James. (1998). Impactos Económicos, Ambientales y sociales del cultivo de camarón en latinoamerica. pág. 68.
- Vieira Herrera, G. R. (2003). Anomalias ocurridas en larvas de *P. Vannamei* cultivadas en laboratorios. 71.

Zapata Lovera, K. P. (2017). CULTIVO DE ALEVINES DE TILAPIA EN SISTEMA BIOFLOC BAJO DIFERENTES RELACIONES CARBONO/NITRÓGENO. 9.

ANEXOS

PROTOCOLO PARA LA REMEDIACION DE EFLUENTES

1. Determinar la capacidad del volumen del efluente a tratarse.

En base a los datos de área y batimetría de las piscinas se debe calcular el volumen de agua por cada piscina para conocer el volumen de agua total de la sección que se va a remediar.

2. Estimar la cantidad de nutrientes que se desea reducir mediante la utilización del sedimentador.

Tener una base de datos de los efluentes de la camaronera, donde se desea implementar el tratamiento, tomando en cuenta las normativas vigentes si los datos están dentro del rango permisible y no puedan afectar estos al medio ambiente.

3. Definir el diseño del sedimentador en base a la cantidad del volumen del efluente a tratar.

Se debe definir el diseño del sedimentador basado en criterios ingenieriles para la construcción de sedimentadores como son los tipos de flujo, la pendiente de inclinación de acuerdo al área y longitud del sedimentador, el diseño de la compuerta, la implementación de sedimentadores, tipo de suelo y también la adaptación de sistemas de filtración y absorción.

4. Seleccionar las especies que sean óptimas para reducir la carga en los efluentes

Se debe seleccionar la especie de acuerdo al tipo de nutrientes que se desea remediar, puesto que no todos pueden reducir la concentración de nutrientes que puede existir en los efluentes. Se pueden considerar las siguientes especies: Diferentes tipos de ostras (*C. gigas*, *Striostrea prismatica*, *C. subrugosa*)

macroalgas (*Kappaphycus Alvarezii*, *Gracilaria lemaneiformi*, *Rodhophyta*, *Ulva fasciata*) peces (tilapia y chame) de preferencia que sean especies nativas.

5. Establecer prácticas de manejo para las especies seleccionadas como biorremediadoras.

Se debe realizar prácticas de manejo de los cultivos de las especies seleccionadas mediante: una correcta selección del sitio para ubicar los cultivos, utilizar materiales de calidad para la construcción, considerar el personal necesario para que puedan operar las instalaciones, además establecer medidas de bioseguridad para garantizar la inocuidad de los cultivos.

PLANOS

Plano 1. Vista aérea del sedimentador con el sistema de ostras y macroalgas

