



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Diseño de un protocolo de manejo para el control del bloom
fitoplanctónico y sólidos suspendidos en camaroneras

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

Ingeniero Acuícola

Presentado por:

Iveth Pamela Fuentes Castro

Hilton David Quiñonez Acosta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

College of Maritime Engineering and Sea Science

Design of a management protocol for the control of phytoplankton bloom
and solids suspended in shrimp farms

CAPSTONE COURSE

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

Aquaculture Engineer

By:

Iveth Pamela Fuentes Castro
Hilton David Quiñonez Acosta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto esta dedicado ante todo a Dios, y a todas las personas que nos han apoyado durante el camino para convertirnos en personas perseverantes, en especial a nuestros padres y hermanos que han sido pilar fundamental.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a la camaronera Balaomar por ser partícipe de este último logro nuestro antes de culminar la carrera universitaria.

Agradecemos también a nuestros amigos, colegas y profesores por haber aportado una gran enseñanza durante esta etapa. A nuestros amigos de convivencia; jamás olvidaremos las risas, consejos, muestras de afecto y reuniones subrepticias realizadas.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Iveth Pamela Fuentes Castro y Hilton David Quiñonez Acosta* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL 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”

Iveth Fuentes Castro

David Quiñonez Acosta

EVALUADORES

.....
Wilfrido Arguello, Ph.D

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Wilfrido Arguello, Ph.D

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Existen diversos factores ligados a la calidad de agua, de ello se resaltan dos relevantes que influyen en el desarrollo del sistema de producción de una camaronera; el fitoplancton y los sólidos en suspensión, son puntos críticos, puesto que adicionan biomasa y consumen recursos de importancia para la producción, lo que se traduce en sensibilidad a enfermedades, deficiente conversión alimenticia y finalmente mortalidades, las que a su vez, significan pérdidas económicas. El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un protocolo de manejo de control de bloom fitoplanctónico y reducción de sólidos suspendidos en camaroneras con el fin de aumentar la producción. Se estableció un área de estudio que abarcó alrededor de 512 Ha, donde se realizó previamente análisis de agua, SST y conteo de fitoplancton en 5 puntos claves que comprendieron todo el sistema de abastecimiento de agua; se seccionó en 8 sectores todo el reservorio de acuerdo a los resultados de los análisis trabajándose en los sectores C, E y G. Se planteó propuestas de carácter biológico (cultivo de ostras en los sectores E y G) e ingenieril (decantador en el sector C) en base a los recursos y nivel de tecnificación disponible de la camaronera; se ejecutó cálculos y diseños para la implementación de estructuras en las secciones C, E y G cada una con su respectivo protocolo de manejo. Ambas propuestas combinadas dentro de canal reservorio cumplen la función de reducir elevadas concentraciones a largo plazo con una inversión inicial aproximada de \$14.000 y una recuperación de \$7.000 con la venta de ostras.

Palabras Clave: Calidad de agua, Fitoplancton, Sólidos en suspensión, Protocolo, Camaronera.

ABSTRACT

There are several factors linked to water quality, two relevant ones that influence the development of the shrimp farms production system are highlighted; phytoplankton and suspended solids are critical points, since they add biomass and consume resources of importance for production, which translates into disease sensitivity, poor food conversion and finally mortalities, which in turn, mean economic losses. The purpose of this work is to design a protocol for the management of phytoplankton bloom control and reduction of suspended solids in shrimp farms in order to increase production. A study area covering around 512 ha was established, performing water analysis, SST and phytoplankton count at 5 key points that comprised the entire water supply system; The entire reservoir was divided into 8 sectors according to the results of the analyzes, working in sectors C, E and G. Biological (oyster cultivation in sectors E and G) and engineering proposals (decanting in sector C) were based on resources and level of available technification of the shrimp farm; calculations and designs were executed for the implementation of structures in sections C, E and G each with their respective management protocol. Both proposals combined within the reservoir channel fulfill the function of reducing high concentrations in the long term with an initial investment of approximately \$ 14,000 and a recovery of \$ 7,000 with oysters sales.

Keywords: *Water quality, Phytoplankton, Suspended solids, Protocol, Shrimp farm.*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	6
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	9
1. Introducción	9
1.1 Descripción del problema	9
1.2 Justificación del problema.....	10
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Objetivo General	11
1.3.2 Objetivos Específicos	11
1.4 Marco teórico	11
1.4.1 Calidad del agua	11
1.4.2 Concentración de Fitoplancton.....	12
1.4.3 Sólidos suspendidos totales.....	12
1.4.4 Temperatura.....	13
1.4.5 Fotosíntesis y respiración.....	13
1.4.6 Partículas disueltas	14
1.4.7 Oxígeno Disuelto y efectos en el camarón.....	15
1.4.8 Oxígeno Disuelto y Plancton	15
1.4.9 Alimentación.....	16

1.4.10 Fertilización	17
CAPÍTULO 2.....	19
2. Metodología	19
2.1 Biorremediación de cuerpos de agua por moluscos bivalvos	23
2.2 Floculación en estanques	24
2.3 Estanque decantador.....	27
2.4 Sistemas de recirculación en Acuicultura	29
2.5 Criterios de evaluación	30
CAPÍTULO 3.....	35
3. Resultados Y Análisis	35
3.1 Decantador - Reservorio.....	36
3.2 Biorremediación de cuerpos de agua por moluscos bivalvos	39
CAPÍTULO 4.....	46
4. Conclusiones Y Recomendaciones.....	46
Recomendaciones	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48
APÉNDICES	54

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
BPA	Buenas Prácticas de Acuicultura
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
RAS	Sistemas de Recirculación en Acuicultura
FCA	Factor de Conversión Alimenticia
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
OD	Oxígeno Disuelto
SST	Sólidos Suspendidos Totales
TAN	Nitrógeno Amoniacal Total
DON	Nitrógeno Orgánico Disuelto
PON	Nitrógeno Orgánico Particulado
TN	Nitrógeno Total
TDN	Nitrógeno Disuelto Total
UFC	Unidad Formadora de Colonia

SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
g	Gramo
km	Kilómetro
m	Metro
l	Litro
pH	Potencial de Hidrógeno
mm	Milímetro
°C	Grados Celsius
CO ₂	Dióxido de Carbono
S	Sur
O	Oeste
Ha	Hectárea
cel	Célula
NO ³⁻	Nitrato
NO ²⁻	Nitrito
ml	Mililitro
s	Segundo
min	Minuto
h	Hora
d	Día
a	Año
pl	Postlarva
UV	Ultravioleta

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Cadena alimenticia de un estanque. Fuente: (Boyd, 2001)	14
Figura 1.2 Variación de oxígeno disuelto según la profundidad y Bloom de fitoplancton.Fuente: (Ulloa, 2015)	16
Figura 2.1 Puntos de muestreo en la camaronera. Fuente: (Google Earth, 2019).....	20
Figura 2.2 Concentración de Sólidos Suspendidos Totales.....	21
Figura 2.3 Concentración promedio de fitoplancton.....	22
Figura 2.4 Porcentaje promedio de concentración de algas de acuerdo a la predominancia.	22
Figura 2.5 Descripción esquemática de las interacciones entre las partículas de células de algas y el floculante. Fuente: (G.P. 't Lam, 2015)	26
Figura 3.1 Vista en planta del área de la camaronera con secciones divididas del reservorio.	35
Figura 3.2 Vista en planta de la sección C. Fuente: (Google Earth, 2019)	37
Figura 3.3 Diseño del decantador en la sección C.....	37
Figura 3.4 Vista frontal del Sistema de estacas.	41
Figura 3.5 Secciones correspondientes para el cultivo de ostras.Fuente: (Google Earth, 2019).....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Parámetros de calidad del agua de la camaronera en los puntos de muestreo.	23
Tabla 2.2 Tiempo de decantación de partículas en función del tipo, diámetro, densidad y temperatura del agua. Fuente: (Richter,1987)	25
Tabla 2.3 Clases de sedimentación en función de sus características y concentración de solidos. Fuente: (Luis Perez, 2015)	28
Tabla 2.4 Ventajas y desventajas de los criterios biológicos analizados.	31
Tabla 2.5 Evaluación de la matriz de decisión para criterios biológicos.	32
Tabla 2.6 Ponderación de la matriz de decisión para criterios biológicos.....	32
Tabla 2.7 Ventajas y desventajas de criterios ingenieriles.....	33
Tabla 2.8 Evaluación de la matriz de decisión para criterios ingenieriles.	34
Tabla 2.9 Ponderación de la matriz de decisión para criterios biológicos.....	34
Tabla 3.1 Dimensiones de muros.	39
Tabla 3.2 Descripción de sistema de cultivo para las secciones E y G.	43
Tabla 3.3 Costos de implementación para el cultivo de ostras.	45
Tabla 0.1 Aplicación de fertilizantes en época seca.	58
Tabla 0.2 Aplicación de fertilizantes en época lluviosa.	58
Tabla 0.3 Consideraciones para la lectura del disco secchi.	59

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Dentro del ecosistema de una camaronera existen variables que influyen de una manera positiva o negativa en un ciclo de producción. Entre las variables más relevantes tenemos, los parámetros ambientales (temperatura, oxígeno disuelto, compuestos nitrogenados, etc.) la materia orgánica y los organismos vivos (fitoplancton y zooplacton). Todas estas variables, al perder su equilibrio dentro del ecosistema adicionan biomasa y consumen recursos de importancia para la producción, lo que se traduce en sensibilidad a enfermedades, deficiente conversión alimenticia y finalmente mortalidades, las que a su vez, significan pérdidas económicas importantes durante un ciclo de producción, especialmente para pequeños y medianos productores. Sin embargo, mantener la homeostasis de dichas variables es una tarea difícil. La variación no controlada de una de ellas conlleva una reacción en cadena que culmina con la caída de los ciclos de producción. Por ejemplo, un problema común en las granjas camaroneras es que las altas temperaturas pueden provocar un incremento en la concentración de fitoplancton y a su vez generar gran cantidad de materia orgánica en suspensión, reducción del oxígeno disuelto en el agua y alteración del ciclo normal de nitrógeno en el ambiente acuático.

Con estos antecedentes, en la camaronera de estudio se midieron diversas variables relacionadas con la calidad del agua que se estima han ocasionado diversos problemas en los índices de producción como bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua ($< 3,2 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), escaso crecimiento ($0,12 \text{ g día}^{-1}$) y mortalidades ($> 40 \%$) del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), especialmente en la época lluviosa de Ecuador (Diciembre a Mayo). Así mismo, se realizaron entrevistas al personal encargado de la administración de la camaronera y trabajadores.

1.2 Justificación del problema

La calidad del agua en los sistemas de cultivos acuícolas (con especial referencia al cultivo de camarón blanco) es uno de los factores más importantes para un desarrollo adecuado de los organismos; por lo que, mantener la homeostasis de los parámetros físicos, químicos y biológicos es de vital importancia y representa un reto para los productores, ya que juegan el papel más importante en la supervivencia de los camarones (Briones, Hernández, Leal, & Calvario, 2017). Según De Freitas Borges (2015), la calidad de agua puede ser controlada por medio de Buenas Prácticas de Acuicultura (BPA), que dependerán de cada zona de cultivo. Sin embargo, el conjunto de variables que engloba la dinámica del ciclo productivo de cada granja camaronera es compleja, y comprende desde la ubicación geográfica para la construcción de cada unidad productiva, hasta el mantenimiento y control periódico de todos los sectores que lo conforman, entre los que se pueden mencionar; estación de bombeo, canales, reservorios y de descargas, calidad y almacenamiento de alimento y piscinas de producción.

Debido a esto, es necesario implementar una estrategia que permita disminuir o controlar el desequilibrio de las variables que influyen en un ciclo de producción y los posibles riesgos que existen dentro de los sistemas de cultivo, con especial énfasis al control del bloom fitoplanctónico y la reducción de la concentración de los sólidos en suspensión en el agua de cultivo. Para ello, es pertinente el conocimiento del ciclo natural del medio de producción y los factores que lo afectan, los mismos que deben ser monitoreados constantemente. Cualquier anomalía o desequilibrio en estos factores puede desencadenar condiciones adversas como el excesivo crecimiento de fitoplancton o incremento en la concentración de sólidos, que conllevan a una reducción de la disponibilidad de oxígeno disuelto, y en consecuencia, verse afectada la salud y supervivencia de los camarones en cultivo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un protocolo de manejo para el control del bloom fitoplanctónico y la reducción de sólidos suspendidos en camaronera.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar los componentes del sistema de producción de una camaronera bajo su protocolo de manejo actual.
2. Evaluar diferentes variables de calidad de agua para la optimización del protocolo de manejo de la camaronera.
3. Establecer una estrategia de manejo que permita mejorar la calidad del agua del cultivo en términos de control del fitopláncton y concentración de sólidos en suspensión.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Calidad del agua

La camaronicultura está sujeta al uso del recurso más indispensable en su proceso de producción, “el agua”. La cual se enfrenta a un gran número de variaciones en los parámetros de calidad: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, sustancias y partículas disueltas, alcalinidad, turbidez, materia orgánica y nutrientes especialmente el fósforo y nitrógeno y sus derivados metabólicos (Boyd, 2001). La mala condición de la calidad del agua amenaza la bioseguridad, la nutrición y alimentación del animal en cultivo debido a la alteración de los principales factores causantes de estrés (Villareal, 2011). Así por ejemplo, las floraciones excesivas de fitoplancton, altas concentraciones de sólidos en suspensión, bajas concentraciones de oxígeno y niveles elevados de amonio total (TAN, por sus siglas en inglés), afectan al camarón y lo hacen susceptible a bioagresores que predisponen el desarrollo de enfermedades que inciden en la supervivencia y producción (Boyd, 2008).

1.4.2 Concentración de Fitoplancton

El florecimiento del fitoplancton, más conocido como “bloom fitoplanctónico”, es un fenómeno de sobreproducción algal que está influenciado por la concentración de nutrientes, luminosidad, temperatura, tiempo de residencia del fitoplancton, pH y especie de fitoplancton. De los factores mencionados, la causa común del bloom fitoplanctónico son los nutrientes disponibles a concentraciones que exceden la capacidad de asimilación por parte del fitoplancton. (Laws & Malecha, 1981). Según Olav Vadstein (1989) y Koefoed (1988) la sobreproducción de fitoplancton da paso a la secreción de exudados fitoplanctónicos (compuestos orgánicos tensoactivos generadores de espuma) y demás acumulados cuando el fitoplancton sobrepasa la fijación de carbono dando paso a la incorporación de materia orgánica y generando un nuevo material celular capaz de desarrollar un sustrato que propicia el crecimiento de bacterias heterótrofas y de zooplancton.

Generalmente, la mayor parte del cultivo de camarón es realizado en zonas costeras y estuarinas donde la dinámica y biodiversidad de microalgas marinas y de agua salobre incluyen a varios grupos: diatomeas, dinoflagelados, cianobacterias, chlorophytas y silicoflagelados (INOCAR, 1983; 2008). Dentro de este grupo, las más perjudiciales en un estanque camaronero son las cianobacterias, las cuales desarrollan floraciones muy visibles que afectan la biota y se acumulan en la superficie de la columna de agua. Además, son la base pobre de la cadena alimenticia, transmiten un sabor desagradable al organismo en cultivo, generan cianotoxinas y deterioran la calidad del agua (Paerl & Tucker, 1995).

1.4.3 Sólidos suspendidos totales

Son el conjunto de partículas coloidales muy pequeñas ($< 10 \mu\text{m}$) e insolubles que causan turbidez al agua; mayoritariamente se compone de fitoplancton, bacterias y partículas de limo fino. Su principal efecto es impedir la penetración de luz en la columna de agua, limitando la fotosíntesis y pudiendo provocar (por efecto indirecto) disminución en las concentraciones de fitoplancton y variaciones en las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua. La estabilidad de los coloides suspendidos en la columna de agua depende de la salinidad y el pH (Gad Ritvo, 2003).

Gaona, (2011) evaluaron la reducción de sólidos suspendidos totales (SST) a través de la clarificación del agua, sedimentando partículas por gravedad en un cultivo de *L. vannamei* con concentraciones de sólidos en suspensión de 500 mg SST L⁻¹. Aunque no se encontraron diferencias significativas en los parámetros físicos y químicos analizados (temperatura, salinidad, alcalinidad, amonio, nitrito, nitrato, fósforo) la clarificación evidenció una reducción de los valores de turbidez, sólidos suspendidos y clorofila a en un 27%, 24.5% y 27.8%, respectivamente. Además, la supervivencia y el factor de conversión alimenticia (FCA), mejoraron significativamente resultando el 80,70% y 1,47 respectivamente en el tratamiento de clarificación del agua, versus los valores del tratamiento sin clarificación del agua con 51,22% de supervivencia y FCA de 2,39.

1.4.4 Temperatura

La temperatura influye directamente en todos los procesos biológicos dentro de un ciclo de producción tales como: respiración, alimentación, aprovechamiento del alimento, crecimiento, reproducción celular y comportamiento de especies (León, 2002). Los procesos de crecimiento y respiración en el camarón se ven duplicados por cada aumento de 10°C lo que adjudica que el consumo de demás organismos y reacciones químicas en el cuerpo de agua es directamente proporcional a la temperatura. (Ponce-Palafox, A.Martinez-Palacios, & G.Ross, 1997).

1.4.5 Fotosíntesis y respiración

El fitoplancton, mediante la fotosíntesis, es la base de la producción de oxígeno en un cuerpo de agua. Pero así mismo, el fitoplancton consume oxígeno y produce CO₂ mediante la respiración en horas sin luz solar (Hargreaves & Brunson, 1996; Boyd, 2001)

La cadena trófica de consumo reflejada en el estanque (Fig. 1.1) debe presentar un equilibrio ecosistémico, evitando la estimulación excesiva de fitoplancton por parte del amonio, fósforo y demás nutrientes (Burforda & Williams, 2001; Boyd, 1995) generados principalmente por la excesiva tasa de alimentación de camarones, promoviendo así el deterioro y los efectos negativos en la calidad del agua, el sedimento y el desarrollo de blooms de fitoplancton (Motoche, 2003).

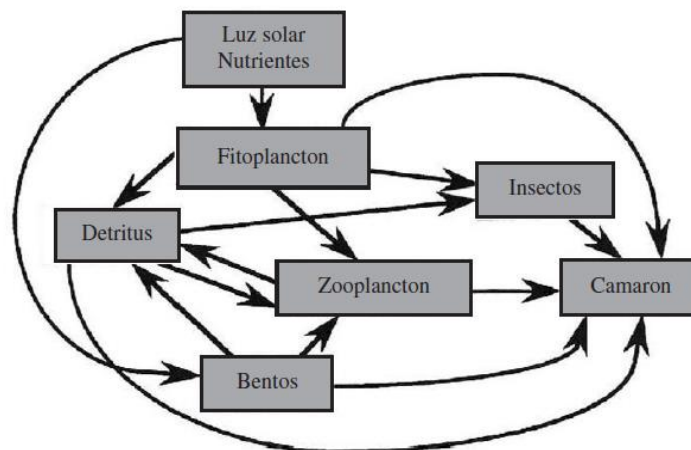


Figura 1.1 Cadena alimenticia de un estanque. Fuente: (Boyd, 2001)

1.4.6 Partículas disueltas

Una gran cantidad de elementos son requeridos para el crecimiento del fitoplancton (Boyd, 2001) principalmente el carbón, seguido del hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, sulfúro, fósforo, cloro, molibdeno, calcio, sodio, potasio, zinc, hierro, bromo, manganeso y silicio. Varios de estos elementos son productos de la fotosíntesis y respiración que son adicionados al medio mediante la fertilización, alimento balanceado y otros insumos usados para el cultivo de camarón, los cuales generan residuos particulados (5-10 μm) que tienden a acumularse a niveles excesivos deteriorando la calidad del agua. (McMillan, Wheaton, Hochheimer, & Soares, 2003). La acumulación de estas partículas disueltas y suspendidas afectan negativamente (dependiendo del grado de acumulación) la salud del camarón, lo que se traduce en lesiones en las branquias, tasas de crecimiento reducidas, incremento de la demanda biológica de oxígeno (DBO), producción de nitrógeno amoniacal total, entre otros (Chen, 1991).

La turbidez y el color del agua se producen por la presencia de partículas coloidales que permanecen en suspensión durante un periodo de tiempo dependiendo su tamaño y densidad. Para la eliminación de estas partículas existen diferentes procesos, uno de ellos es la floculación, la cual aglutina todo este material particulado creándose un floc que puede ser eliminado mediante decantación y filtración (Cárdenas, 2000).

1.4.7 Oxígeno Disuelto y efectos en el camarón

La disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) en los cultivos de camarón ha sido uno de los factores con mayor relevancia en los sistemas de producción, ya que dentro de los estanques de cultivo intervienen procesos que necesitan niveles altos de OD destinados principalmente a la respiración de los organismos, oxidación y circulación de la materia orgánica y el suelo (Boyd, 2001).

Niveles bajos de oxígeno disuelto en el agua, producidos por el exceso de partículas en suspensión y organismos vivos en la columna de agua causan reacciones negativas que provocan efectos subletales en el camarón como la disminución del consumo de alimento, crecimiento lento, enfermedades y mortalidades si las acciones a tomar no son inmediatas (Boyd & Tucker, 1998). Cuando los niveles de oxígeno durante la noche no disminuyen más del 30 a 40% de saturación inicial se logra un buen crecimiento (Ulloa, 2015). Al ser un factor limitante en la producción acuícola ha sido necesario la implementación de equipos que ayuden a mantener los requerimientos adecuados en los estanques para prevenir posibles problemas durante el cultivo.

1.4.8 Oxígeno Disuelto y Plancton

La disponibilidad de luz influye en las floraciones de fitoplancton en cultivos acuícolas conduciendo a un aumento en la turbidez del agua y disminución de la concentración de oxígeno en la capa inferior de los estanques debido a la respiración. Durante los días nublados se reduce la producción de fotosíntesis y el efecto de la respiración es menor. Sin embargo, estos organismos también pueden morir repentinamente y provocar agotamiento de OD, por ejemplo, las algas verde-azules, las cuales se descomponen rápidamente debido a una gran concentración de nitrógeno en sus tejidos (Ulloa, 2015).

La presencia de fitoplancton durante las fluctuaciones diarias de oxígeno disuelto (OD) permite su acumulación y disponibilidad para otros organismos. Así mismo, influye en la calidad de agua por medio de la remoción de nutrientes. El desarrollo de brotes fuertes de fitoplancton en estanques podría llegar a provocar un efecto perjudicial sobre la calidad del agua y sedimento, cuando las concentraciones de oxígeno disuelto disminuyen por la noche y son aún más bajas en la madrugada, estos niveles bajos de concentración de oxígeno no deben perdurar más de 1 o 2 horas (Fig.1.2.; Solano, 2003).

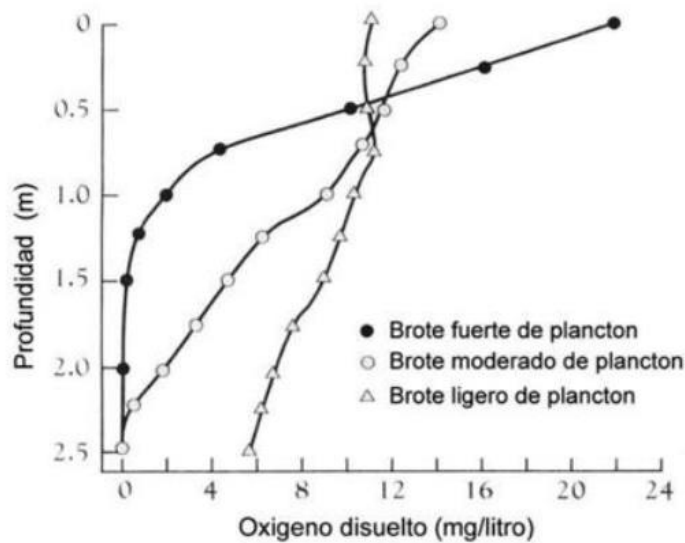


Figura 1.2 Variación de oxígeno disuelto según la profundidad y Bloom de fitoplancton. Fuente: (Ulloa, 2015)

1.4.9 Alimentación

La dosis y frecuencia de alimentación dependen de la variabilidad de los parámetros naturales de los estanques que generalmente son eutróficos y ricos en biomasa de fitoplancton. Aunque el camarón ingiere fitoplancton cuando estos se adhieren al detritus, su principal función es servir como alimento para el zooplancton y organismos benthicos que son consumidos por el camarón.

Debido a esto, es necesario ajustar la cantidad de alimento adicionado, ya que al no ser consumido se descompone y estimula la producción de nutrientes (Boyd, et al., 2014), lo que resulta en la proliferación de fitoplancton y aporte para la contaminación al agua por los desechos orgánicos e inorgánicos del metabolismo (Boyd & Tucker, 1998; Ulloa, 2015). Por ello, mantener un manejo diario adecuado de la adición de alimento balanceado influirá positivamente en la calidad de agua de los estanques.

1.4.10 Fertilización

La adición de fertilizantes en los estanques incide directamente en el crecimiento de microalgas que sirven como alimento e indicador de la calidad del agua. Es una práctica común utilizada según el grado de productividad en las piscinas camaroneras para realzar el crecimiento del camarón y mantener floraciones de fitoplancton equilibradas (Boyd, 2003).

La fertilización orgánica e inorgánica puede aumentar significativamente la producción de camarón (Boyd & Tucker, 1998). Los fertilizantes orgánicos actúan como abono químico al descomponerse gradualmente por acción microbiana aportando alimento directo al zooplancton y organismos bénticos, en este grupo se incluye al alimento balanceado ya que sirve indirectamente como fertilizante si este es excretado o no consumido. Mientras que los fertilizantes inorgánicos logran ser asimilados inmediatamente, aumentando la concentración de nutrientes en la columna de agua, permitiendo mayor crecimiento de organismos fitoplanctónicos y fibentónicos (Alonso-Rodriguez & Paez-Osuna, 2003).

Según Boyd (2003), la aplicación de fertilizantes en cultivos de camarón está relacionada con los sistemas de producción. Por ejemplo, en cultivos semi-intensivos e intensivos la adición de alimento balanceado incrementa a medida que la biomasa aumenta, lo que desencadena una excesiva productividad natural, por lo que proporcionar en exceso fertilizantes inorgánicos puede alterar la composición del agua dentro del sistema y ocasionar los problemas ya antes mencionados.

Nitrógeno y Fósforo

Para adicionar ciertos elementos en los sistemas de cultivo, hay que tener en cuenta que los canales de descarga o las zonas de captación de agua proveen al medio concentraciones de diferentes componentes que influyen en la fertilización de un estanque. Aunque los estanques asimilen la carga de residuos que reciben pueden generar una amenaza de contaminación y deterioro de estos (Boyd, et al., 2014).

Briggs & Funge-Smith, (1994), afirman que el principal ingreso de nitrógeno a los sistemas de cultivo se da por introducción de alimentos formulados. Sin embargo entre

el 60 y 80% de este se pierde, es decir, no es retenido como biomasa en los camarones, pudiendo contribuir con la fertilización del sistema.

El fósforo se presenta naturalmente en los estanques en forma de materia orgánica y fosfato inorgánico disuelto (Ulloa, 2015). Los camarones liberan el fósforo que consumen entre 60 y 80%. Cuando se incrementa la densidad de siembra la cantidad de asimilación de fósforo puede ser mayor en el suelo en forma de fosfato ya que la concentración por el alimento suministrado y fertilizantes es baja (Hernández, 2016).

Los niveles de los nutrientes Nitrógeno y Fósforo muestran amplias variaciones en los sistemas de cultivo por lo que requieren especial atención (Alonso-Rodriguez & Paez-Osuna, 2003).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El área de estudio se encuentra ubicado en la parroquia Balao, cantón Balao provincia del Guayas (latitud: 2°56'10.67"S y longitud: 79°49'26.26"O). Esta zona comprende un clima tropical donde la temperatura ambiental media anual es de 23 a 27°C y las precipitaciones más elvevadas se dan entre los meses de diciembre a mayo en un rango de 500 a 1.000 mm (Manzano & Naranjo, 2012).

La camaronera seleccionada cuenta con una estación de bombeo de toma directa cerca de un brazo de mar, y una estación de bombeo secundaria activa durante 20 horas, distribuyendo el agua a 512,01 Ha de producción correspondientes a 53 estanques entre pre crías y engorde. Además cuenta con un sector de 36,45 Ha destinado a la decantación previo a la distribución de agua hacia los estanques. La profundidad promedia de los estanques y decantador es de 0,9 m y 1,2 m, respectivamente.

El historial de medición de oxígeno disuelto del agua registra datos promedios de $5,22 \pm 0,8 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ en la estación de bombeo principal. Sin embargo, en el transcurso del recorrido en el canal reservorio estos valores disminuyen alrededor de $1,6 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$. La temperatura del agua en la camaronera se encuentra alrededor de 27°C durante la transición de estaciones del año (periodo en el que se realizaron los análisis) y la salinidad anual fluctúa entre 10 y 22 g L⁻¹. La camaronera es de tipo extensivo con densidad de siembra entre 8 y 9 animales m⁻². La información obtenida fue proporcionada por encargados administrativos de la camaronera mediante entrevistas y visitas *in situ*.

Para determinar las estrategias de manejo para la reducción del bloom fitoplanctónico y concentración de sólidos suspendidos, se midieron los principales parámetros de calidad de agua en la camaronera seleccionada tales como: nitrógeno amoniacal total (TAN), nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), sólidos suspendidos totales (SST), salinidad, concentración y predominancia de fitoplancton.

Para el análisis de las variables de calidad de agua, se tomaron muestras durante cuatro semanas en los siguientes puntos; sistema de bombeo principal, decantador, reservorio, y en estanques en diferentes etapas de cultivo (Fig. 2.1).

Las muestras de agua para fitoplancton fueron colectadas por medio de un tubo de plástico de 1,20 m con tapa. Se procedió a introducir el tubo en varios sitios de cada punto de muestreo hasta colectar 8L aproximadamente en un recipiente, para luego homogenizar y tomar 50 ml de la muestra total en tubos falcon 50 mL. Los tubos falcon fueron llevados al laboratorio de la camaronera inmediatamente para aplicar una solución de Lugol al 1% para preservar hasta el análisis de fitoplancton.



Figura 2.1 Puntos de muestreo en la camaronera. Fuente: (Google Earth, 2019)

Los puntos de muestreo ilustrados en el mapa corresponden a:

1. Sistema de bombeo principal
2. Decantador
3. Reservorio
4. Estanque 5
5. Estanque 13

Con los datos del análisis de las variables, se pudo observar que los valores más altos de TAN y NO_3^- , SST y concentración de fitoplancton correspondientes al punto de muestreo 1 (Tabla 2.1, Fig. 2.2, Fig. 2.3).

En los análisis cualitativos y cuantitativos de fitoplancton se encontraron tres grupos representativos; cianophytas, chlorophytas y bacillariophytas, los cuales mostraron una tendencia similar. Sin embargo, los dos primeros grupos mencionados presentaron altas floraciones dentro de un rango de variación de 40% a 46% y 43% a 49%, respectivamente, durante todas las semanas de muestreo (Fig. 2.4.). Las especies de algas dominantes en los grupos cianophyceas y chlorophyceas fueron *Oscillatoria* sp., y *Chlorella* sp.

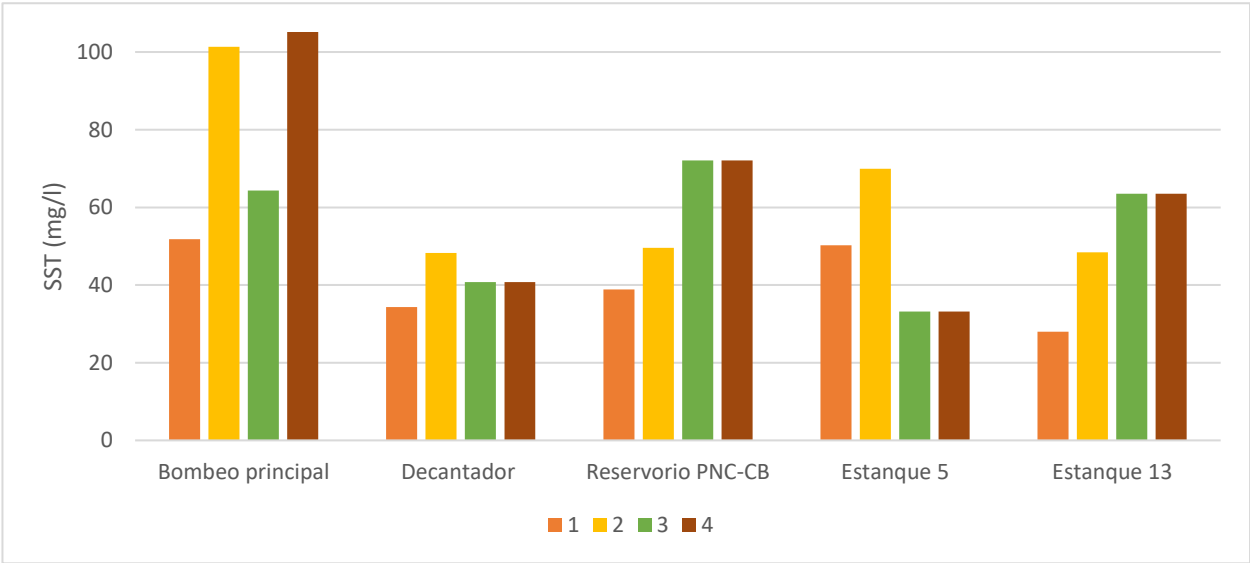


Figura 2.2 Concentración de Sólidos Suspendidos Totales.

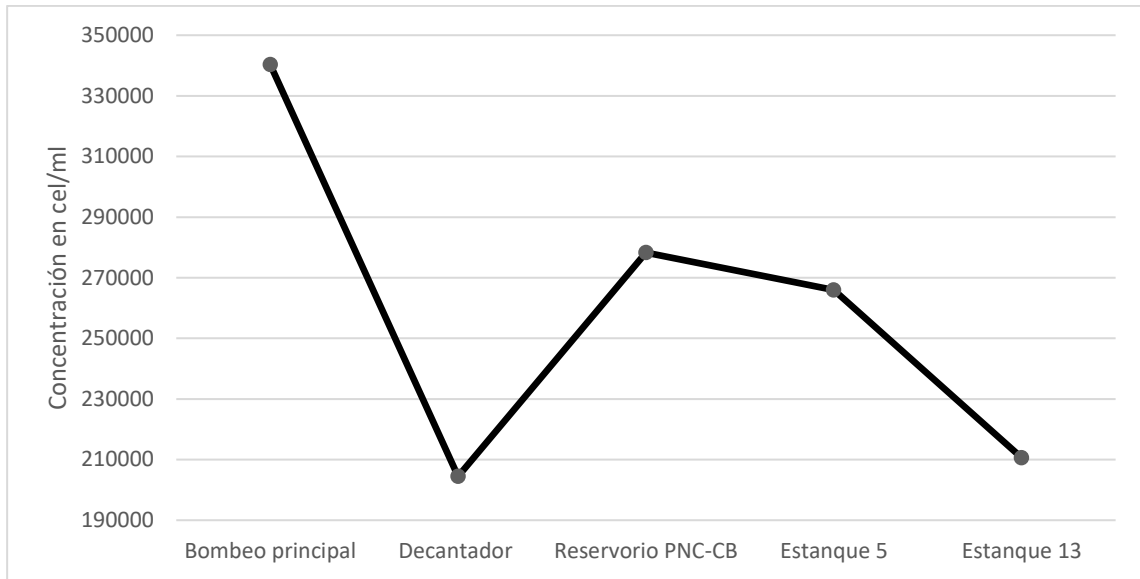


Figura 2.3 Concentración promedio de fitoplancton.

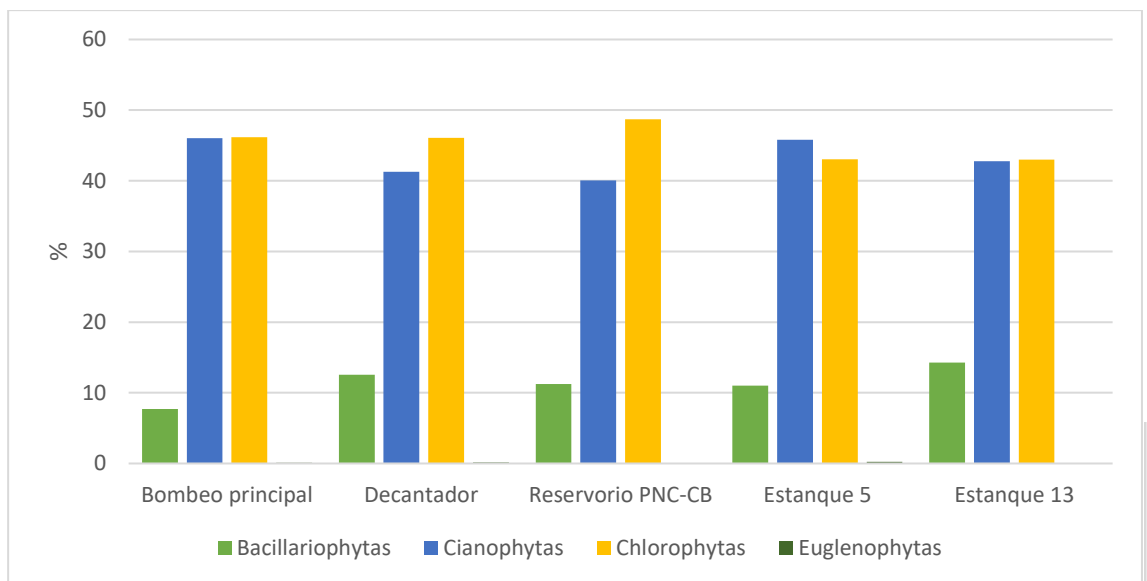


Figura 2.4 Porcentaje promedio de concentración de algas de acuerdo a la predominancia.

Tabla 2.1 Parámetros de calidad del agua de la camaronera en los puntos de muestreo.

Lugar de muestreo	TAN(mg/l)	Nitrito(mg/l)	Nitrato(mg/l)	Salinidad	pH
Bombeo Principal	0.20	0.01	0.18	19	8.26
Decantador	0.15	0.01	0.09	20	8.44
Reservorio	0.15	0.01	0.09	17	8.26
Estanque 5	0.10	0.01	0.17	21	8.69
Estanque 13	0.08	0.01	0.13	17	8.58

Con los valores obtenidos de los análisis de agua, la consolidación de la información de las entrevistas y visitas de campo, y la revisión de los protocolos de manejos actuales en la camaronera, se realizó una extensa revisión de literatura para analizar las posibles estrategias para el control del bloom fitoplanctónico y la reducción de los sólidos suspendidos. Las estrategias planteadas son descritas a continuación.

2.1 Biorremediación de cuerpos de agua por moluscos bivalvos

Los cultivos acuícolas, específicamente las granjas camaroneras de Ecuador, se encuentran geográficamente en sucesión, las mismas que dependiendo del manejo podrían ocasionar problemas ya sea por el exceso de nutrientes, material en suspensión y otros residuos que desequilibran la calidad de agua de los cuerpos receptores. Por ello, una de las estrategias a establecer es el uso de moluscos bivalvos como agentes biorremediadores. El objetivo principal de la biorremediación es acelerar la biodegradación natural de compuestos orgánicos mediante la modificación y optimización de las condiciones del sitio utilizando organismos vivos.

Los moluscos cuentan con un mecanismo de alimentación por filtración. Al ser filtradores no selectivos contribuyen a la remoción de partículas de la columna del agua, teniendo una estrecha relación con la calidad de agua en el sitio donde se desarrollan (Alvarado, 2006; Ramos, Martínez, Enríquez, Miranda, & López, 2014).

Algunos estudios han demostrado que introducir moluscos bivalvos en piscinas de sedimentación o en canales de descarga reducen notablemente niveles de turbidez dentro de la columna de agua reciclando productos de desperdicio (Niola, 2017; Ramos, Vinatea, & da Costa, 2008). Por ejemplo, se ha determinado que la ostra del Pacífico (*Crassostrea gigas*) posee eficiente capacidad de filtración con amplio rango de

tolerancia de parámetros como SST, temperatura y salinidad. Según Solar (2007), en un estudio realizado durante ocho semanas con agua de un efluente de camaronera, ejemplares adultos de *C. gigas* redujeron hasta 44% de SST al mismo tiempo que disminuyó la turbidez en un rango de 27 al 92%. Dado que esta especie posee una tasa de filtración entre 5 a 25 L hora⁻¹, dependerá considerablemente del tipo y tamaño de fitoplancton y demás partículas que ingiere para incrementar su crecimiento y por ende su capacidad de remoción.

Por otro lado, la concha prieta (*Anadara tuberculosa*) ha sido utilizada por su capacidad de filtración (0,4 L hora⁻¹), elimina 33,10 mg de nutrientes y añade 31,93 mg de bio-deposiciones. La cantidad de bio-deposiciones supone una preocupación ambiental dependiendo de la concentración de materia suspendida en el medio que usen los organismos. Esta especie tolera ambientes turbios y largos eventos anóxicos, por lo que la supervivencia en los cultivos en granjas camaroneras es alto y por ende puede aprovecharse de manera más eficiente en tratamientos de agua (Miranda-Baeza, Voltolina, & Cordero-Esquivel, 2006; Miranda, Voltolina, Izaguirre Fiero, Ozuna López, & Sandoval, 2009).

Ramos, Vinatea, & da Costa, (2008) indican que, el uso de la ostra de manglar (*C. Rhizophorae*) para el tratamiento de efluentes es efectiva, con 6 horas de tiempo de retención hidráulica (TRH), afirmando que se reduce notablemente los sólidos suspendidos totales y que a mayor tiempo de residencia en los tanques aumenta la efectividad. Sin embargo, esto ocasiona disminución del oxígeno disuelto en condiciones anaeróbicas provocada por la respiración de los microorganismos presentes en el agua, la cual es necesaria para el desarrollo normal del proceso de filtración y bio-deposiciones.

2.2 Floculación en estanques

Un cuerpo de agua esta compuesto de material particulado muy variado: detritos, algas, limo, virus, moléculas, etc., (Vargas, 2019) con un rango de tamaño, densidad y tiempo de caída variables (Tabla 2.2) los cuales pueden ser tratados por diferentes métodos de separación, uno de ellos es la floculación (Richter, 1987).

Tabla 2.2 Tiempo de decantación de partículas en función del tipo, diámetro, densidad y temperatura del agua. Fuente: (Richter,1987)

Tipo de partículas	Diámetro (mm)	Tiempo de caída	
		Densidad 2.65	Densidad 1.1
Grava	10	0.013 s	0.2 s
Arena gruesa	1.0	1.266 s	20.9 s
Arena fina	0.1	126.66 s	34.83 min
Lodo fino	0.01	3.52 h	58 h
Bacterias	0.001	14.65 d	249.1 d
Coloides	0.0001	4.12 a	66.59 d

Los flóculos son pequeñas partículas coloidales que se unen para formar conglomerados mayores en peso y tamaño que permite la sedimentación del material particulado a través de una mezcla lenta de los aglomerados mediante la creación de puentes entre partículas coloidales (Claros, 2014).

Para lograr una eficiencia máxima de floculación se debe considerar la cantidad del agente floculante, tiempo de exposición al agente, concentración y tipo fitoplancton (Fig.2.5; Papazi, Makridis, & Divanach, 2010).

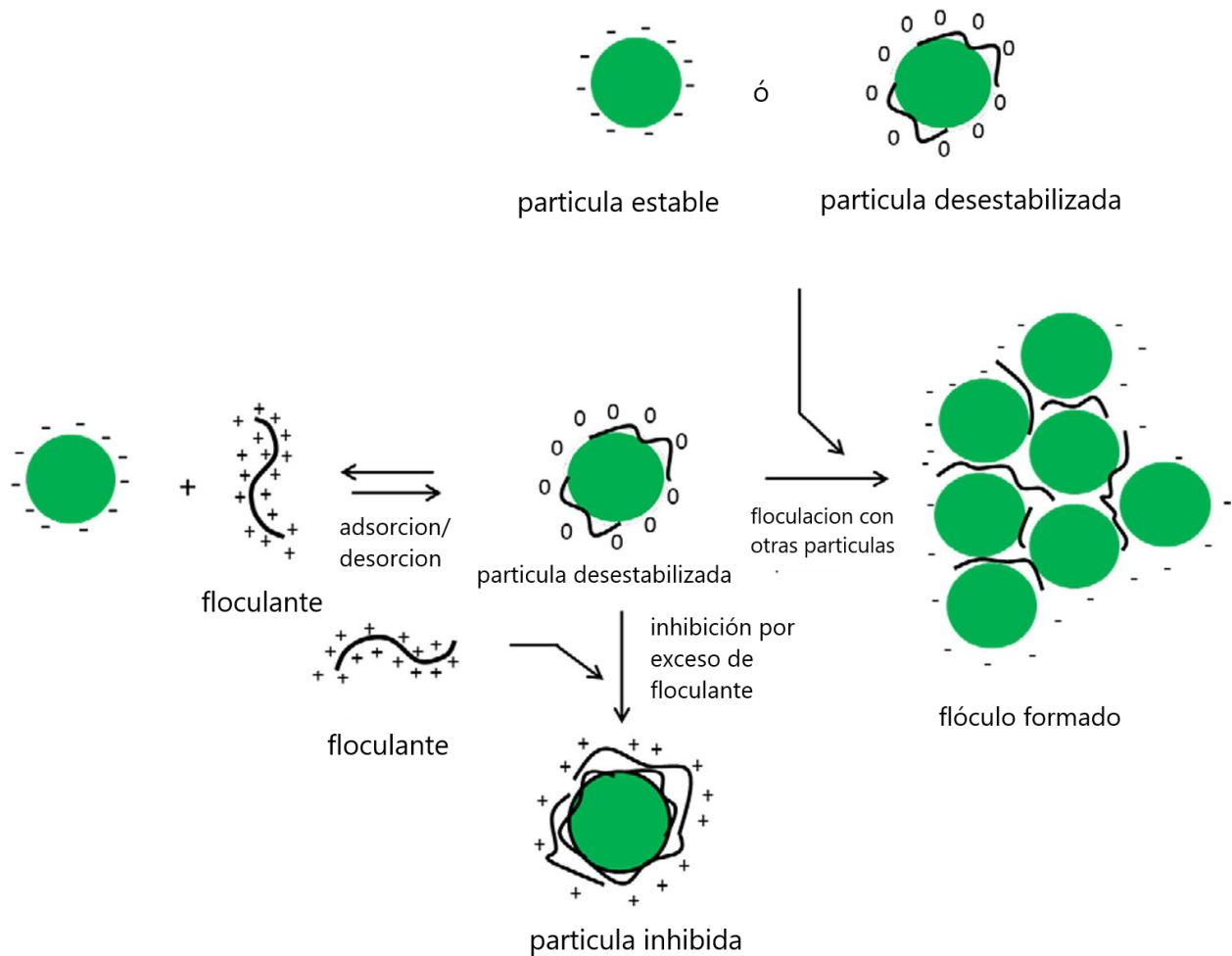


Figura 2.5 Descripción esquemática de las interacciones entre las partículas de células de algas y el floculante. Fuente: (G.P. 't Lam, 2015)

Papazi, Makridis, & Divanach, (2010), evaluaron la naturaleza de floculación mineral de 12 sales: cloruros y sulfatos de hierro, aluminio y zinc con el objetivo de sedimentar *Chlorella minutissima* obteniéndose concentraciones óptimas de 0.75 y 0.5 mg L⁻¹ para sales de sulfato y cloruro, respectivamente. De todas las sales, las de aluminio fueron las más eficientes pero provocaron lisis celular, seguido de las férricas y de zinc. Chatsungnoen & Chisti (2016) comprobaron que la dosis efectiva de floculación depende del tipo de floculante, especie de algas, concentración de biomasa en suspensión y la fuerza iónica del fluido. Utilizando sulfato de aluminio y cloruro férrico a una concentración de 20 mg L⁻¹ y temperatura 24 - 26°C obtuvieron una eficiencia de más del 95% siendo mejor el sulfato de aluminio seguido del cloruro férrico.

Tenney, Echelberger, Schuessler, & Pavoni, (1969), investigaron la viabilidad de eliminar algas mediante floculación química en cultivos mixtos de algas, la cual se produjo con la

adición del polielectrolítico catiónico, floculante de origen natural de síntesis, pero no con los polímeros aniónicos o no iónicos. El grado de floculación se dio en función directa de la extensión de la cobertura del polímero de los sitios activos en la superficie de la algas, por lo que se requiere que la carga superficial de algas disminuya a un nivel en que los polímeros puedan salvar la distancia mínima de separación impuesta por la repulsión electrostática.

G.P. 't Lam, (2015) desarrolló un modelo matemático para predecir el rendimiento de polímeros catiónicos a base de poliacrilamida para floculación de tres productos comerciales con amplia gama de concentración de biomasa ($0.49-137 \text{ g L}^{-1}$) y dosis ($0-150 \text{ mg L}^{-1}$) teniendo resultados de eficiencia superiores al 98% para los tres productos en condiciones óptimas.

2.3 Estanque decantador

La decantación es un fenómeno netamente físico y tiene como objetivo sedimentar partículas en suspensión mediante acción gravitacional e hidráulica (esta acción adquiere gran importancia en estanques al momento de sedimentar partículas) en partículas de diámetros menores a 0.2 mm y mayores a 0.05 mm.

Existen distintos elementos para el tratamiento de sedimentación ideal de una partícula, la tabla 2.3 relaciona distintas clases de sedimentación en función de sus características y concentración de sólidos empleados en plantas depuradoras, aguas residuales, desarenadores, decantadores primarios, decantadores secundarios o espesadores de fango (Jover, 2015).

Tabla 2.3 Clases de sedimentación en función de sus características y concentración de sólidos. Fuente: (Luis Perez, 2015)

Tipo sedimentación	Descripción	Concentración sólidos	Proceso
I. No floculenta (Discreta)	Partículas no floculadas (discretas). Las partículas son sostenidas hidráulicamente y sedimentan de manera independiente.	Muy baja	Desarenado
II. Floculenta	Las partículas floculan entre sí, formando partículas más grandes, sostenidas hidráulicamente, que sedimentan.	Baja	Decantación Primaria
III. Zonal (retardada)	Las partículas floculadas sedimentan conjuntamente por capas o zonas y están hidráulicamente sostenidas.	Alta	Decantación Secundaria
IV. Compresión	Las partículas incrementan el contacto entre ellas, las cuales son mecánicamente sostenidas por las situadas encima. Como las capas o zonas están comprimidas, el agua (clarificada) es expulsada hacia arriba	Muy Alta	Espesamiento de Fangos

Para la implementación de un estanque que actúe como decantador, se requieren varios criterios de diseño, entre los cuales resaltan:

- Caudal, en función del caudal medio y máximo diario.
- Calidad físico-química del agua, mediante la selección de procesos acorde al diámetro de la partícula en suspensión.
- Características del clima, que incluyen variaciones de temperatura y régimen de lluvias.
- Tiempo de retención del material particulado.

Consideraciones para el calculo del decantador:

- Caudal de diseño a 8 - 20 años.
- Periodo de operación al día.
- Relacion largo/ancho/profundidad.
- Tiempo de retención de solidos sedimentales.

Erler, Songsangjinda, Songsangjinda, Keawtawee, & Chaiyakam, (2007), evaluaron la efectividad de los estanques de asentamiento de agua de pequeñas granjas camaroneras para almacenar y remediar las descargas con el fin de reutilización de la misma. El estudio se dividió en dos componentes; 1) retención de agua de todas las descargas realizadas de los estanques y 2) determinación de las tasas de transformación de nitrógeno mediante núcleos de sedimentos y hojas de coco. Durante 9 semanas se llevaron a cabo monitoreos para determinar las tasas de transformacion de N en funcion de: nitrógeno orgánico disuelto (DON), nitrógeno (N), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), nitrógeno orgánico particulado (PON), nitrógeno amoniacal total (TAN), nitrógeno total (TN), nitrógeno disuelto total (TDN), sólidos suspendidos totales (TSS) y el fujo de oxígeno.

Al finalizar las nueve semanas, los estanques de asentamiento redujeron la concentracion TN en un 30%, PON en un 64%, TAN en un 50% y TSS en un 59% siendo evidente desde la quinta semana. Las hojas de coco incorporadas aumentaron el área disponible para la actividad microbiana en los estanques de asentamiento favoreciendo la remineralización y la absorción fotosintética del TAN, NO_2^- , NO_3^- y la nitrificación.

2.4 Sistemas de recirculación en Acuicultura

Los Sistemas de Recirculación en Acuicultura (RAS) ofrecen dos ventajas inmediatas: rentabilidad y reducción del impacto ambiental a diferencia de los cultivos tradicionales que generalmente dependen de condiciones externas como la temperatura, niveles de oxígeno o material particulado que se desplaza en el agua (Bovendeur, Eding, & Henken, 1987). Los RAS, permiten la eliminación y el manejo total o parcial de estos factores para el cultivo de organismos en altas densidades dentro de un ambiente controlado y saludable para las especies en cultivo.

(Suantika, y otros, 2017) implementaron un sistema de recirculación con el objetivo de optimizar la densidad de camarón blanco *L. vannamei* mediante un cultivo superintensivo evaluando el perfil de la comunidad microbiana a baja salinidad. Aclimataron post-larvas gradualmente hasta llegar a 5 g L⁻¹ de salinidad en 14 días probando diferentes densidades 500 pl m⁻³, 750 pl m⁻³ y 1000 pl m⁻³. Durante el periodo de cultivo no se observaron diferencias significativas en los análisis de calidad del agua pero si en el peso (14.87 ± 0.24 g, 13.09 ± 0.78 g, 11.32 ± 0.71 g), supervivencia (70 ± 1.42%, 53.67 ± 4.16%, 44 ± 1.35%), tasa de crecimiento (7.12% BW / día, 6.95% BW / día, 6.79% BW / día) y FCA (1.32 ± 0.09, 1.45 ± 0.16, 2.05 ± 0.24) para las densidades de 500 pl m⁻³, 750 pl m⁻³ y 1000 pl m⁻³, respectivamente. Además, con la implementación del RAS la estructura comunitaria de bacterias se mantuvo estable en todas las densidades de cultivo de camarón observándose una abundancia de 1.28×10³ a 5.28×10⁴ UFC mL⁻¹ y 9.49×10⁴ a 2.27×10⁶ UFC mL⁻¹ en camarones y agua de cultivo, respectivamente.

2.5 Criterios de evaluación

De acuerdo a las alternativas ya descritas en este capítulo se realizó una evaluación de diferentes alternativas para reducir o mantener en equilibrio positivo las concentraciones de fitoplancton y de sólidos en suspensión basándose netamente en el criterio personal de los autores del presente trabajo en función de las investigaciones realizadas previamente.

Matriz de decisión para criterios biológicos

Para la selección de los diferentes criterios biológicos se desarrolló una matriz de decisión que permitió analizar las diferentes opciones que puedan implementarse. Para ello se analizaron las ventajas y desventajas de las soluciones biológicas, como se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Ventajas y desventajas de los criterios biológicos analizados.

Biorremediación de agua por Moluscos Bivalvos	
Ventajas	Desventajas
Permanencia larga	Acción Paulatina
Costo de implementación bajo	Necesita mantenimiento
Eficaz en mayor tiempo	Uso de área física
Consumo de oxígeno bajo	Riesgo de reproducción
Floculación en estanques	
Ventajas	Desventajas
Acción Inmediata	Permanencia corta
No ocupa área física	Costo de implementación alto
	Eficaz para un corto tiempo
	Requiere de oxígeno alto para aplicación

Una vez evaluadas las ventajas y desventajas de las soluciones biológicas, se desarrolló una matriz de decisión de acuerdo con los siguientes criterios:

- **Acción:** Se refiere al tiempo que va a tomar alcanzar los resultados de disminución de sólidos en el agua y fitoplancton.
- **Prevalencia:** Se refiere al tiempo que va a durar la solución.
- **Costos de implementación:** Es el costo que tendrá la aplicación de cada solución.
- **Eficacia:** Es la capacidad para lograr disminuir sólidos en el agua y fitoplancton.
- **Consumo de Oxígeno:** La solución debe consumir el menor oxígeno posible.

Para la evaluación se les asignó un puntaje entre 1 a 5, siendo 1 el valor de menor factibilidad y 5 el de mayor factibilidad.

Tabla 2.5 Evaluación de la matriz de decisión para criterios biológicos.

Detalle	Biorremediación de agua por Moluscos Bivalvos	Floculación en estanques
Acción	4	5
Prevalencia	5	3
Costo de implementación	4	4
Eficacia	5	5
Consumo de Oxígeno	4	2
Total	22	19

Tabla 2.6 Ponderación de la matriz de decisión para criterios biológicos.

Detalle	Ponderación (%)	Biorremediación de agua por Moluscos Bivalvos	Floculación en estanques
Acción	5 %	4	5
Prevalencia	25 %	25	15
Costo de implementación	20 %	16	16
Eficacia	35 %	35	35
Consumo de Oxígeno	15 %	12	6
Total	100 %	92%	77%

Matriz de decisión para criterios ingenieriles

En la matriz de decisión que se elaboró para tomar la mejor opción a implementar de acuerdo con los criterios ingenieriles se consideraron las ventajas y desventajas de cada solución.

Tabla 2.7 Ventajas y desventajas de criterios ingenieriles.

Sistema de recirculación	
Ventajas	Desventajas
Reutilización del agua	Alto costo de implementación
Menor variación de parámetros	Infraestructura sofisticada
Biofiltración	Requiere mano de obra calificada
Mayor eficacia de acción	Reducción de hectáreas de producción
Reducción de uso de insumos	
Diseño de decantador y reservorio	
Ventajas	Desventajas
Medio costo de implementación	Menor eficacia de acción
Infraestructura sencilla	Reducción de hectáreas de producción
Biofiltración	Requiere mano de obra calificada

Una vez evaluadas las ventajas y desventajas de las soluciones ingenieriles, se desarrolló una matriz de decisión de acuerdo con los siguientes criterios:

- **Costo:** Se refiere al valor monetario que se invertiría para realizar cada solución.
- **Infraestructura:** Toma en cuenta la intervención de mano de obra calificada, y la implementación de otros tipos de componentes como: filtros, aireadores, lámparas UV, iluminación, calentadores/enfriadores.
- **Biofiltración:** Eliminación de compuestos contaminantes de la corriente de fluido.
- **Tipo de proceso:** Se refiere al número de mecanismos de acción que tendrían las soluciones como: filtración, sedimentación, desinfección.
- **Reducción de recursos:** Es la disminución del uso de insumos para tratamiento.

Para la evaluación se les otorgó un puntaje entre 1 a 5, siendo 1 el valor de menor factibilidad y 5 el de mayor factibilidad.

Tabla 2.8 Evaluación de la matriz de decisión para criterios ingenieriles.

Detalle	Sistema de recirculación	Diseño de decantador y reservorio
Costo	1	4
Infraestructura	4	3
Biofiltración	5	3
Tipo de proceso	5	2
Reducción de recursos	5	2
Total	20	14

Tabla 2.9 Ponderación de la matriz de decisión para criterios biológicos.

Detalle	Ponderacion (%)	Sistema de recirculación	Diseño de decantador y reservorio
Costo	25 %	5	20
Infraestructura	20 %	16	12
Biofiltración	30 %	30	18
Tipo de proceso	10 %	10	4
Reducción de recursos	15 %	15	6
Total	100 %	76%	60%

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El alcance del proyecto está determinado por el diseño de la camaronera, el cual comprende la totalidad del canal reservorio de aproximadamente 9.7 km dividiéndolo en secciones (Fig. 3.1.) para establecer las estrategias de manera eficiente y adecuar de mejor manera las soluciones a implementar en las secciones que presentan problemas dentro de la camaronera seleccionada.

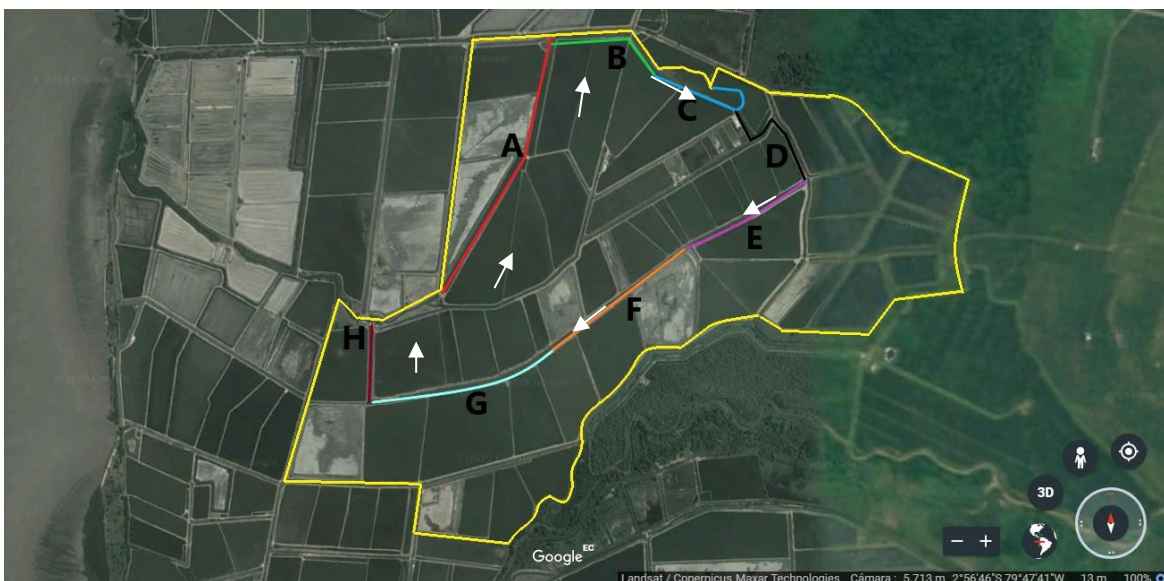


Figura 3.1 Vista en planta del área de la camaronera con secciones divididas del reservorio.

Fuente: (Google Earth, 2019)

De acuerdo con los puntos de muestreo descritos anteriormente, las concentraciones de SST y fitoplancton son elevadas justo antes de iniciar la sección A y en la sección D. Con estas premisas se asume que, debido a la longitud del reservorio y sus dimensiones actuales, el efecto del decantador para disminuir las partículas en suspensión y el exceso de organismos vivos decrece a medida que avanza el flujo de agua a lo largo del mismo.

La longitud total aproximada del canal reservorio es de 9,7 km. Sin embargo, se tomó la longitud del flujo principal (7,5 km aproximadamente) que se muestra en la división de secciones (Ilustración 3.1) debido a que este recorre la longitud más larga del reservorio. Por ello, las secciones que se escogieron son C, E y G. La sección C se modificó para

que funcione como decantador y en las secciones E y G se implementó un sistema para cultivo de moluscos. Con esto se espera que la filtración de los moluscos bivalvos y la precipitación de las partículas en suspensión sea efectiva para la longitud principal del reservorio hasta el ingreso a los estanques.

3.1 Decantador - Reservorio

La Figura 2.2 y 2.3 muestran los valores de las concentraciones en donde resaltan los puntos 1 y 3 correspondientes a la bomba principal y el reservorio, respectivamente, con cantidades $> 60 \text{ mg L}^{-1}$ para sólidos suspendidos totales y $> 280000 \text{ cel mL}^{-1}$ para fitoplancton. Estos sectores presentan valores más elevados en comparación con los demás puntos de muestreo, los mismos que actuaron como indicativos para análisis y elección de estrategias.

De acuerdo a la Figura 3.1, la sección A correspondiente al decantador redujo favorablemente las concentraciones de SST y fitoplancton del punto de muestreo 1, según el punto de muestreo 2, pero a su vez, el punto de muestreo 3 presenta incremento de SST y fitoplancton. Por lo que, en la sección C se trabajó en un diseño para mejorar las concentraciones de las variables mencionadas, contemplando un decantador acorde con las dimensiones de dicha sección. Se propuso lo siguiente:

- Longitud: 524.5 m
- Área: 41.5 m²
- Volúmen 74.7 m³

Consideraciones para la construcción de muros en la sección C:

- Distancia a trabajar: 500 m.
- División de la sección C en dos áreas para construcción de 4 muros.
- Corona de los muros 2 m.
- Relación de la pendiente interior y exterior 1:1.5.
- Compactación del 20% en relación a la altura del muro.
- Uso de suelo del sector para los muros.



Figura 3.2 Vista en planta de la sección C. Fuente: (Google Earth, 2019)

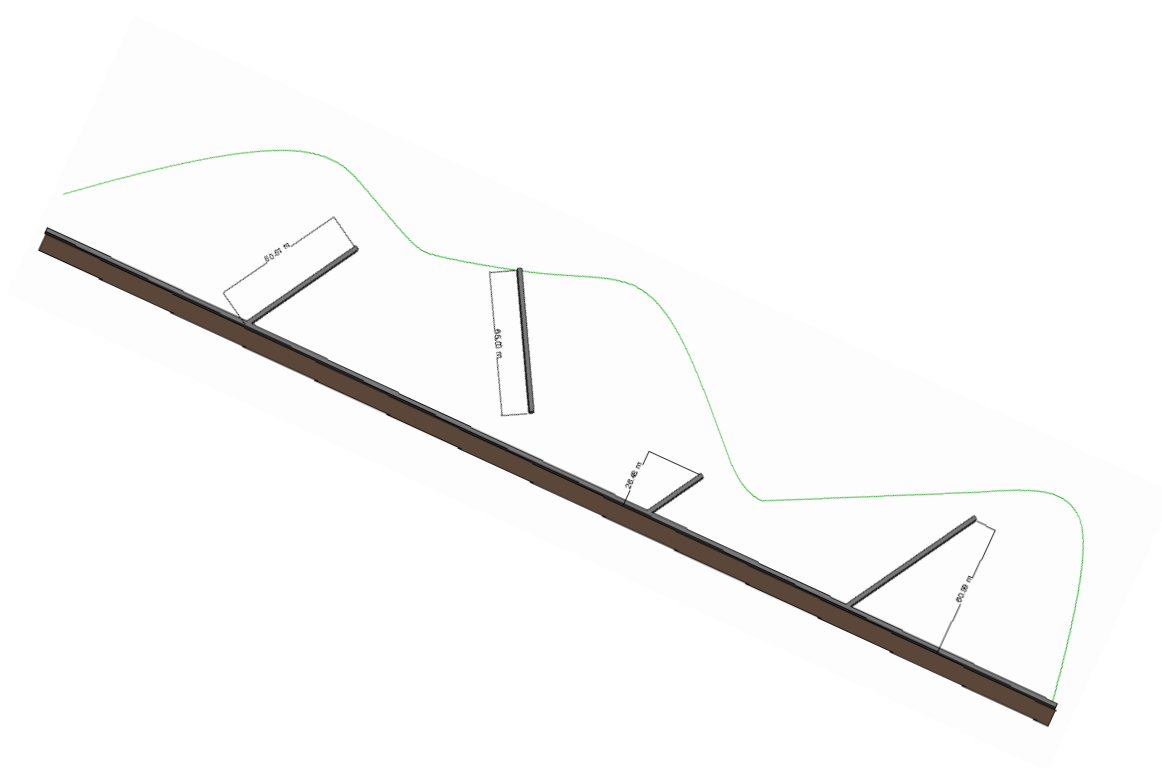
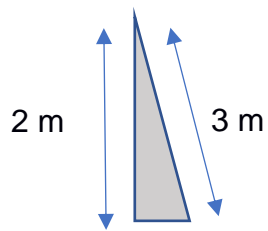
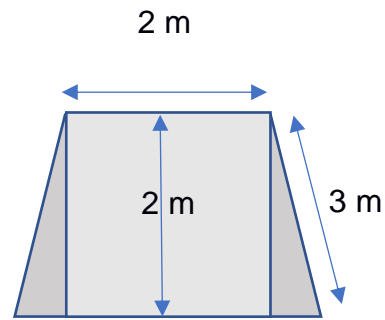


Figura 3.3 Diseño del decantador en la sección C.

Para la construcción de muros se contempló el alquiler de una retroexcavadora (\$75 por hora de uso) y 1 operario (\$25 por hora de manejo). Se estimó lo siguiente:

Cálculo de la base:

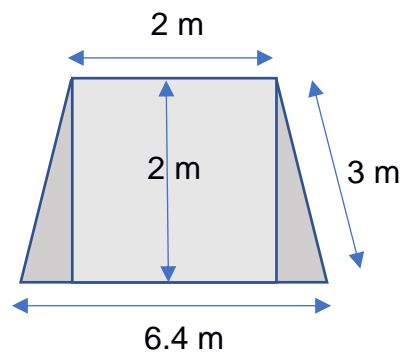


$$\sin \phi = \frac{\text{opuesto}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{2}{3} \right) = 41.2$$

$$\cos \phi = \frac{\text{adyacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{adyacente} = \text{hip} \cos 41.2 = 2.2$$



$$V = A * H$$

$$A = \frac{1}{2} (b_1 + b_2) * h = 8.4$$

Tabla 3.1 Dimensiones de muros.

Descripción	Largo	Área	Volúmen
Muro 1	61	8.4	512.4 m ³
Muro 2	65	8.4	546 m ³
Muro 3	26	8.4	218.4 m ³
Muro 4	61	8.4	512.4 m ³
Total			1807.2 m³

El avance operativo de la retroexcavadora es: 35 m³ h⁻¹ teniendo la obra terminada en un lapso de 7 días con un valor total de \$ 5600.

3.2 Biorremediación de cuerpos de agua por moluscos bivalvos

Para desarrollar la estrategia de biorremediación por moluscos bivalvos, se eligió la especie *Crassostrea gigas* por sus amplios rangos de tolerancia en cuanto a temperatura y salinidad. Además, presenta un rápido crecimiento en cultivos suspendidos tipo “linternas”, datos que han sido demostrados en estudios experimentales dentro de canales reservorios y drenajes en granjas camaroneras.

El sistema para el cultivo de *C. gigas* se implementó en dos secciones del canal reservorio, la selección de las mismas se realizó en función de los resultados de los análisis de agua mostrados en el capítulo 2. Los resultados indicaron que la concentración de SST y fitoplancton es mayor el punto de muestreo 1 donde se encuentra ubicada la estación de bombeo principal o ingreso del afluente hacia el reservorio. En el siguiente punto de muestreo (2), siguiendo la dirección del flujo de agua natural denominado como “decantador”, los valores de las variables mencionadas disminuyen, mientras que en el tercer punto de muestreo se presentan valores cercanos al primer punto. Asumiendo que, la implementación de estructuras o sistemas actúa eficientemente para una longitud determinada se implementó sistemas de cultivo para *C. gigas* en dos secciones (E y G) de la totalidad del canal reservorio, de manera que el sistema ubicado en la sección E actúa de positivamente hasta la sección F y del mismo modo para la sección G y H. La sección E mide aproximadamente 824 m de largo y

ancho promedio de 25 m, mientras que la sección G posee 1178 m de largo, ancho promedio 25 m y 2 m de profundidad para ambas secciones.

La longitud del reservorio que comprende las secciones E, F, G y H distribuye agua para 269,35 hectáreas. Previo al paso de agua hacia la sección E se encuentra la estación de bombeo secundaria, la longitud que comprende las cuatro secciones es relativamente lineal por lo que teóricamente el flujo de agua se mantendrá constante debido a que no posee curvas, condiciones que favorecen a la ubicación de los sistemas de cultivo de *C. gigas*. De esta manera se contrarresta la elevada carga de partículas en suspensión y fitoplancton a medida que avanza el flujo de agua e ingresa a los estanques.

Los pasos a seguir para la implementación del cultivo de ostras en el canal reservorio se describen a continuación:

Descripción del sistema

Se sugiere la implementación de un cultivo en sistemas de estacas, el cual consiste en estructuras fijas conformadas por 2 postes horizontales y tres verticales sujetadas con sogas de polietileno de 1 pulgada en las uniones e introducidos 0,6 m en el suelo para mayor estabilidad. Cada una de las varas horizontales se encuentran separadas por 2 m entre sí, en estas varas se posicionarán 8 linternas de 3 pisos con 0,5 m de diámetro y longitud de 0,9 m. Para la altura de las estructuras se tomó en consideración que la columna de agua en los niveles más bajos de bombeo es de 1,50 m y 1,80 m en los niveles más altos, para evitar que las linternas queden sin agua.

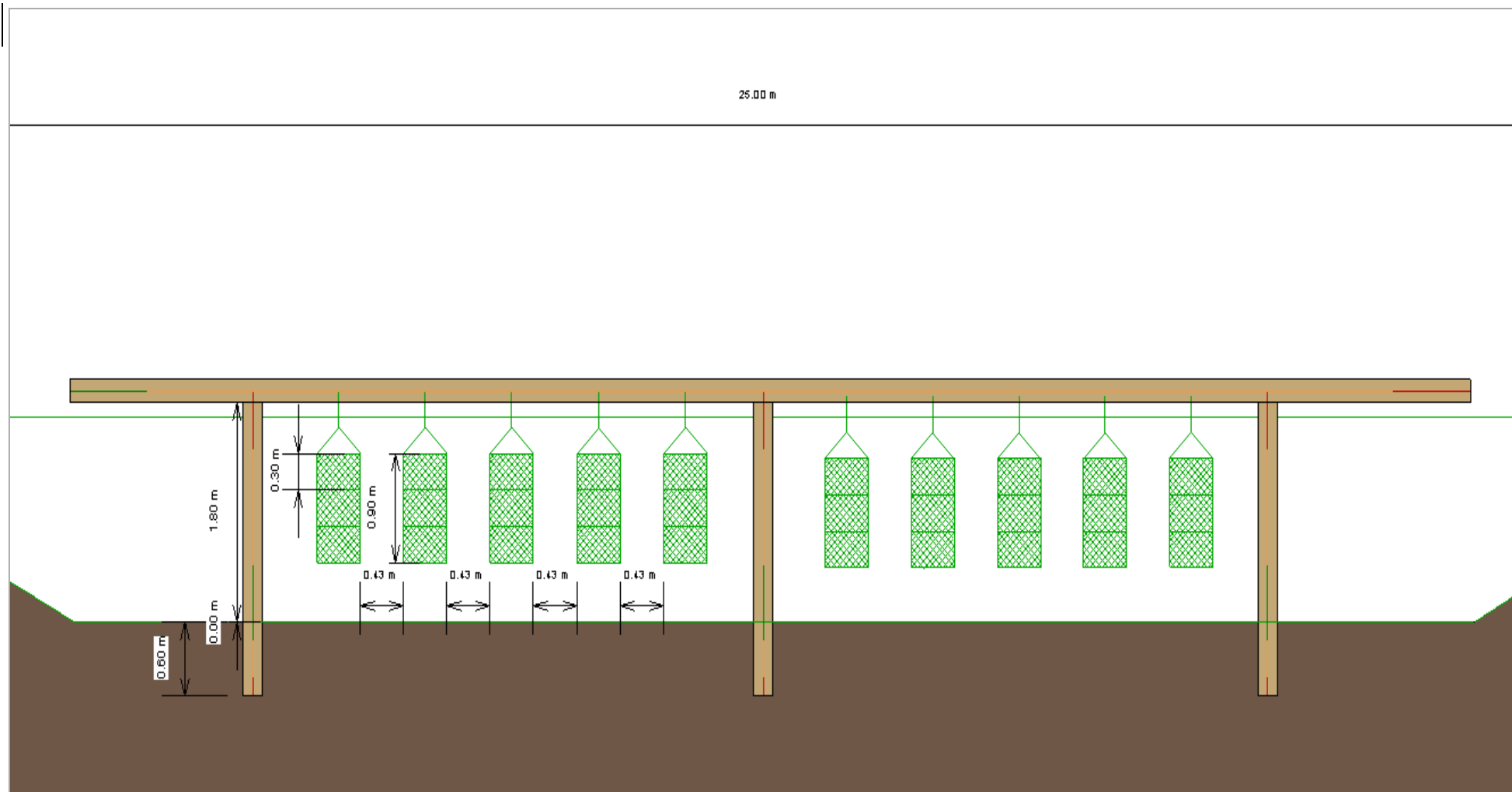


Figura 3.4 Vista frontal del Sistema de estacas.

El primer sistema de cultivo se ubicará desde la mitad de la sección E en una longitud de 412 m debido a que previo al ingreso de agua para esta sección se encuentra una estación de bombeo secundaria y se desea evitar que la remoción de sólidos actúe negativamente. Mientras que, el segundo sistema será ubicado al inicio de la sección G en una longitud de 589 m con el mismo diseño que la sección E ya que el ancho de ambas es de 25 m.



Figura 3.5 Secciones correspondientes para el cultivo de ostras. Fuente: (Google Earth, 2019)

Descripción del cultivo

La estimación de cálculos para iniciar el cultivo se realizó en base a un estudio experimental en reservorio durante 116 días, en el cual la concentración de fitoplancton se mantuvo en un rango de 70000 a 115000 cel mL⁻¹, con una densidad de siembra de 900 semillas de ostras por almohada, supervivencia de 84% y tamaño de coscha 44,5 mm.

Tabla 3.2 Descripción de sistema de cultivo para las secciones E y G.

Estructura inicial	1
Linternas iniciales	4
Densidad de siembra	12000 semillas (1cm)
Días de cultivo	150
Supervivencia	75%
Densidad final	18000 ostras
Tamaño	5 cm aprox.
Estructuras finales	19

Siembra

La planificación de la siembra debe ser realizada con anticipación dado que las semillas no pueden permanecer durante largo tiempo bajo el sol. Sin embargo es necesario exponerlas al ambiente durante 20 minutos para aumentar gradualmente la temperatura (si fuera necesario). Si la semilla enviada no es aclimatada y la diferencia de salinidad es mayor a 5 g L^{-1} , se reduce o incrementa a razón de 2 g L^{-1} por hora hasta llegar a la salinidad requerida.

La siembra inicial será de 1000 semillas de 1 cm por piso en linternas con malla de 3 mm en la cual serán mantenidas hasta que alcancen un tamaño de 4-5 cm, donde posteriormente se intercambiarán a linternas con malla de 5 mm hasta la cosecha.

Desdobles

Se realizarán dependiendo del número de semillas sembradas, tamizando o separando para ubicarlas en cada piso de acuerdo al tamaño. Al ingresar las ostras en cada piso se debe dejar libre el 25% del área total con el objetivo de disminuir la densidad dentro del sistema, proveer suficiente espacio para su desarrollo, evitar mortalidad y que su tasa de filtración sea la apropiada. Al inicio del cultivo, el crecimiento es acelerado mientras avanza el cultivo el crecimiento disminuye. La periodicidad de este proceso depende de las densidades de siembra y la limpieza.

Muestreo

Al inicio de la siembra, los monitoreos deben ser diarios para verificar que los organismos se adapten al nuevo medio de cultivo. Los monitoreos de crecimiento deben realizarse de preferencia en la mañana una vez a la semana para planificar los desdobles. El tamaño de las ostras es determinado por mediciones morfométricas de una muestra entre 15 y 20 animales por piso con la ayuda de un calibrador de Vernier. La supervivencia será estimada por cuantificación de ostras vivas “cerradas” por piso.

Mantenimiento

En las linternas se debe realizar limpieza periódica de organismos y materia orgánica adherida ya que la acumulación de estos impide el flujo de agua óptimo dentro de cada linterna, y por ende, la tasa de filtración de las ostras será reducida. Mientras la turbidez del agua sea mayor la limpieza de las linternas debe realizarse con mayor frecuencia. En cada actividad de limpieza se debe asegurar que las linternas no posean orificios provocados por otros organismos con el fin de evitar depredación. El éxito del cultivo se rige por la limpieza y su regularidad.

Cosecha

Los sistemas de cultivo de ostras tienen mayor crecimiento que en mar abierto por ello la cosecha se puede efectuar en menor tiempo. En aproximadamente 4 meses se puede empezar a cosechar las ostras más grandes dejando mayor espacio para las restantes.

Depuración

Se ubican las ostras dentro de tanques con un constante recambio de agua de mar durante 48 horas para eliminar bacterias u otros microorganismos dentro de las ostras.

Tabla 3.3 Costos de implementación para el cultivo de ostras.

Descripción		Cantidad	Costo unitario	Costo total
Materia prima				
Semillas de 10 mm		millar	\$ 10	\$ 240
Materiales				
Linternas de 3 pisos		304	\$ 21	\$ 6384
Caña guadua de 6 m		133	\$ 2,50	\$ 332,5
Soga de polietileno 1" rollo 220 m		3	\$ 30	\$ 90
Suministros	Guantes	5	\$ 2	\$ 10
	Cepillos	5	\$ 1,50	\$ 7,50
	Gavetas grandes	50	\$ 7	\$ 350
	Vernier plástico	4	\$ 2	\$ 8
Mano de obra				
Operarios		3	\$ 394	\$ 1182
Total				\$ 8604

El precio de comercialización para ostras con tamaño de 5 a 7 cm se encuentra alrededor de \$0,40, al final de la cosecha se espera tener 18000 ostras. Con estos valores la venta de las ostras recuperaría la mayor parte de la inversión inicial, obteniendo \$7200 por la totalidad de la cosecha.

Es necesario que la aplicación de estas alternativas para la reducción de las concentraciones de fitoplancton y sólidos en suspensión estén acompañadas de un manejo integral de los estanques de camarón de manera eficiente y adecuada según el sistema de producción utilizado. Para esto, se realizó la revisión de los protocolos de manejo actuales y se propone posibles cambios que permitan mejores índices de producción. En la sección de ANEXOS se presentan algunas recomendaciones para el manejo de la camaronera en relación a la preparación de los estanques y fertilización previo a la siembra, recomendaciones que han dado resultados positivos en estudios previos. Estos protocolos han sido ajustados especialmente para la camaronera con la que se trabajó el presente proyecto.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Integrar procesos para remoción de nutrientes y partículas dentro de sistemas de cultivo de camarón han dado resultados positivos en cuanto a equilibrar las concentraciones del ecosistema y el aumento de rentabilidad.

La acción combinada de un estanque decantador y cultivo de ostras dentro de canal reservorio cumplen la función de reducir elevadas concentraciones a largo plazo, además obtener más beneficios económicos con la integración de especies con valor comercial.

Se logró el diseño de un protocolo para la disminución de fitoplancton y sólidos suspendidos con respecto a la infraestructura y recursos de la camaronera seleccionada para su posible implementación.

Se describió el diseño de un decantador a menor escala y un sistema de cultivo para ostras dentro del reservorio de la camaronera, tomando en consideración los resultados de los muestreos previamente analizados y dimensiones de la granja.

El costo de implementación de los sistemas es de \$14204, de los cuales se logra recuperar \$7200 y se contribuye a mejorar la calidad de agua del sistema, por ende, el incremento de la producción y rentabilidad.

Se propone un protocolo para las actividades directamente relacionadas a la calidad de agua con varios criterios derivados a la preparación, fertilización de estanques y manejo de camaronera. Dichos criterios se muestran en el APENDICE A.

Recomendaciones

Analizar las condiciones ambientales y geográficas actuales de cada granja camaronera. Realizar análisis previos de agua y suelo para recomendar estrategias de solución a una problemática.

Tener en cuenta la tecnología y disponibilidad de la especie de moluscos para cultivos combinados y su facilidad de manejo.

Realizar pescas en el reservorio por lo menos una vez al año con el fin de disminuir la posible biomasa que pueda disminuir la concentración de oxígeno en el canal.

En sistemas con elevadas concentraciones de sólidos suspendidos es necesario realizar limpieza dentro del canal reservorio por medio de maquinarias para extraer lodos perjudiciales a largo plazo.

Determinar tipo, dosis y frecuencia de fertilizantes con respecto a la estacionalidad, análisis de agua y suelo, biomasa y productividad natural de cada estanque.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-Rodriguez, R., & Paez-Osuna, F. (2003). Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimps ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture* 219, 317-336.
- Alvarado, C. (2006). *Estudio de factibilidad para aumentar el valor agregado de la cadena de producción de la concha prieta en las localidades Bunche y Costa Rica*. Obtenido de <http://simce.ambiente.gob.ec/sites/default/files/documentos/geovanna/Estudio%20de%20factibilidad%20Concha%20Prieta%20Bunche%20y%20Costa%20Rica.pdf>
- Alvarez, R., Cobo, L., Sonnenholzner, S., & Stern, S. (24 de Agosto de 2008). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. *FAO Actas de Pesca y Acuicultura, No. 12*, 129-133.
- Annelies Beuckels, O. D. (2013). Influence of organic matter on flocculation of *Chlorella vulgaris* by calcium phosphate precipitation. *Biomass and bioenergy*, 107 -114.
- Bovendeur, J., Eding, E., & Henken, A. (1987). *Design and performance of a water recirculation system for high-density culture of the African catfish, Clarias gariepinus (Burchell 1822)*. *Aquaculture*, 63(1-4), pp.329-353.
- Boyd, C. E. (1995). Source water, soil and water quality impacts on sustainability in aquaculture. *Sustainable Aquaculture*, 95: 24-33.
- Boyd, C. E. (2001). Consideraciones sobre la calidad del agua y suelo en cultivos de camarón. En *Métodos para mejorar la Camaronicultura en Centroamérica* (págs. 24-25). Managua, Nicaragua: Editorial-Imprenta UCA.
- Boyd, C. E. (2001). Consideraciones sobre la calidad del agua y suelo en cultivos de camaron. Managua, Nicaragua: UCA.
- Boyd, C. E. (2003). Bottom Soil and Water Quality Management in Shrimp Ponds. *Journal of Applied Aquaculture*.
- Boyd, C. E. (2008). Bottom Soil and Water Quality Management in Shrimp Ponds. *Journal of Applied Aquaculture* , 13: 11-33.
- Boyd, C. E., & Gautier, D. (2000). Effluent composition and water quality standards. *Global Aquaculture Advocate*, 61-66.

- Boyd, C. E., & Pillai, V. K. (1984). Water Quality Management in Aquaculture. *Central Marine Fisheries Research Institute*.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. London: Kluwer Academic Publisher.
- Boyd, C. E., Lim, C., Queiroz, J., Salie, K., De Wet, L., & McNevin, A. (2014, Noviembre 5). Best Management Practices for Responsible Aquaculture. Auburn, EE.UU.
- Briggs, M., & Funge-Smith, S. (1994). A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand. *Aquaculture Fish Manage*, 789-811.
- Briones, E., Hernández, E., Leal, A., & Calvario, C. (26 de Octubre de 2017). La calidad del agua en diferentes unidades de producción acuícola de Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 40-48.
- Burforda, M. A., & Williams, K. C. (2001). The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. *Aquaculture*, 198:79-93.
- Cárdenas, Y. A. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Lima.
- Cárdenas, Y. A. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUA FLOCULACION Y COAGULACION*. Lima.
- Chatsungnoen, T., & Chisti, Y. (2016). Harvesting microalgae by flocculation-sedimentation. *Algal Research*, 13: 271-283.
- Cheng, Y.-S., Zheng, Y., Labavitch, J. M., & VanderGheynst, J. S. (2011). The impact of cell wall carbohydrate composition on the chitosan flocculation of *Chlorella*. *Process Biochemistry*, 46(10): 1927-1933.
- Claros, J. D. (11 de Diciembre de 2014). COAGULANTES-FLOCULANTES ORGANICOS E INORGANICOS ELABORADOS DE PLANTAS Y DE RECICLAJE DE LA CHATARRA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS. Tegucigalpa.
- De Freitas Borges, F. (Febrero de 2015). La calidad de agua y las buenas prácticas en acuicultura. *Divulgación Acuícola*, 19-21.
- Erchao, L., Chen, L., Zeng, C., Chen, X., Yu, N., Lai, Q., & Qin, J. G. (2007). Growth, body composition, respiration and ambient ammonia nitrogen tolerance of the juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities. *Aquaculture*, 265: 385-390.
- Erler, D. V., Songsangjinda, P., Songsangjinda, P., Keawtawee, T., & Chaiyakam, K. (2007). Nitrogen dynamics in the settlement ponds of a small-scale recirculating shrimp farm (*Penaeus monodon*) in rural Thailand. *Aquaculture International*, 15(1): 55-66.

- G.P. 't Lam, E. Z. (2015). Dosage effect of cationic polymers on the flocculation efficiency of the marine microalga. *Bioresource Technology*, 198: 797-802.
- Gad Ritvo, O. D. (2003). Salinity and pH effect on the colloidal properties of suspended particles in super intensive aquaculture systems. *Aquaculture*, 218: 379-386.
- Gaona, C. P. (2011). THE EFFECT OF SOLIDS REMOVAL ON WATER QUALITY, GROWTH AND SURVIVAL OF LITOPENAEUS VANNAMEI IN A BIOFLOC TECHNOLOGY CULTURE SYSTEM. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, 12: 54-73.
- Gilio, J., & Vigo, M. (28 de Enero de 2007). *AQUAHOY* . Obtenido de Portal de Información en Acuicultura. Biorremediación de los efluentes de la acuicultura: <https://www.aquahoy.com>
- Google Earth. (2019). Obtenido de <https://earth.google.com>
- Gurrola, J. H. (Marzo de 2016). Caracterización de la calidad de agua en un sistema intensivo de cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* , en condiciones de alta salinidad con recambio de agua limitado. La Paz, Baja California Sur.
- Hargreaves, J., & Brunson, M. (1996). Carbon dioxide in fish ponds. *Southern Regional Aquaculture Center N°468*.
- Hernández, J. (Marzo de 2016). Caracterización de la calidad de agua en un sistema intensivo de cultivo de camarón blanco en condiciones de alta salinidad con recambio de agua limitado. La paz, Baja California Sur, México.
- INOCAR. (1983). DIATOMEAS Y SILICOFLAGELADOS DEL FITOPLANCTON EN EL GOLFO DE GUAYAQUIL. *ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO*.
- INOCAR. (2008). COMPOSICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL FITOPLANCTON DURANTE LA PROSPECCIÓN SÍSMICA EN LA COSTA ECUATORIANA. *ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO*.
- Jover, M. (2015). *Rendimientos de las decantaciones con aguas residuales con diferentes concentraciones de contaminación*. Alicante.
- Koefoed, P. (1988). Phytoplankton exudation of organic matter: Why do healthy cells do it? *Limnology and Oceanography*, 33: 151-154.
- Laws, E. A., & Malecha, S. R. (1981). Application of a nutrient-saturated growth model to phytoplankton management in freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) ponds in Hawaii. *Aquaculture*, 24: 91-101.
- León, L. d. (2002). FLORACIONES DE CIANOBACTERIAS EN AGUAS CONTINENTALES DEL URUGUAY: CAUSAS Y CONSECUENCIAS. En *Perfil Ambiental del Uruguay* (págs. 28-37). Montevideo: Nordan-Comunidad.

- Madrigal, E., Pacheco, O., Zamora, E., Quesada, R., & Montoya, A. (1985). Tasa de filtración del ostión de manglar a diferentes salinidades y temperaturas. *Revista Biológica Tropical*, 1(33), 77-79.
- Manzano, R., & Naranjo, H. (Junio de 2012). Obtenido de CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA UNIDAD MACHALA: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1458>
- McMillan, J., Wheaton, F., Hochheimer, J., & Soares, J. (2003). Pumping effect on particle sizes in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*, 27: 53-59.
- Miranda, A., Voltolina, D., Izaguirre Fiero, G., Ozuna López, I., & Sandoval, I. (2009). Removal of suspended solid from the effluents of a shrimp farm by the Blood Ark *Anadara tuberculosa*. *Hidrobiológica*, 19(2), 173-176.
- Miranda-Baeza, A., Voltolina, D., & Cordero-Esquivel, B. (Septiembre de 2006). Filtration and clearance rates of *Anadara grandis* juveniles with different temperatures and suspended matter concentrations. *Revista Biológica tropical*, 54(3).
- Morales, J., Noüe, J. d., & Picard, G. (1985). Harvesting marine microalgae species by chitosan. *Aquacultural Engineering*, 4(4): 257-270.
- Motoche, W. S. (2003). Efecto del hidroxido de calcio sobre la calidad de agua y la producción de estanque de cultivo de *Litopenaeus vannamei* en aguas salobres. Ecuador.
- Niola, Á. (2017). Revisión de sistemas combinados de micro y macro organismos como alternativa tecnológica para el tratamiento de efluentes de granjas camaroneras. Machala, El Oro, Ecuador.
- Olav Vadstein, B. O. (1989). Cycling of organic carbon in the photic zone of a eutrophic lake with special reference to the heterotrophic bacteria. *Limnology and Oceanography*, 34: 840-855.
- Paerl, H. (1988). Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (Cyanobacteria).
- Paerl, H., & Tucker, C. S. (1995). Ecology of Blue-Green Algae in Aquaculture Ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 26(2): 109-131.
- Papazi, A., Makridis, P., & Divanach, P. (2010). Harvesting *Chlorella minutissima* using cell coagulants. *Journal of applied Phycology*, 22: 349-355.
- Ponce-Palafox, J., A.Martinez-Palacios, C., & G.Ross, L. (1997). The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. *Aquaculture*, 157: 107-115.

- Quirola, I., & Veintimilla, R. (2008). Diseño de un sistema de tratamiento de efluentes proveniente de raceways en camaronera basado en un sistema de filtros físicos-biológicos. Guayaquil.
- Ramos, K., Martínez, L., Enríquez, L., Miranda, A., & López, J. (2014). Bio-filtration capacity. oxygen consumption and ammonium excretion of *Dsinia Ponderosa* and *Chione gnidia* from areas impacted and non-impacted by shrimp aquaculture effluents. *Revista de Biología Tropical*, 969-976.
- Ramos, R., Vinatea, L., & da Costa, R. (2008). Tratamiento de efluentes del cultivo de *Litopenaeus vannamei* por sedimentación y filtración por la ostra *Crassostrea rhizophorae*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 2(36), 235-244. doi:10.3856/vol36-issue 2-fulltext-6
- Reynolds, C. S. (1984). The ecology of fresh-water phytoplankton. Cambridge University Press.
- Richter, C. A. (1987). Sistemas simplificados de floculación. *Compañía de Saneamiento de Paraná (SANEPAR)*.
- S Chen, D. S. (1991). Suspended solids control in recirculating aquaculture systems. 61-100.
- Solano, G. (2003). Efecto del hidróxido de calcio sobre la calidad de agua y producción de estanques de cultivo de *Litopenaeus vannamei* en aguas salobres.
- Solar, N. (2007). *Efecto de la turbidez sobre el crecimiento de tres especie de moluscos con perspectiva de utilizarlas en el tratamiento de efluentes camaroneros*. Guayaquil , Ecuador.
- Suantika, G., Situmorang, M. L., Nurfathurahmi, A., Aulia, R., Taufik, I., Aditiawati, P., & Yusuf, N. (2017). Application of Indoor Recirculation Aquaculture System for White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Growout Super-Intensive Culture at Low Salinity Condition. *Journal of Aquaculture Research and Development*.
- Tenney, M. W., Echelberger, W. F., Schuessler, R. G., & Pavoni, J. L. (1969). Algal flocculation with synthetic. *Applied microbiology*, 18(6): 965-971.
- Ulloa, R. (2015). *Efectos de dos porcentajes de recirculación de agua en el cultivo de camarón*.
- Vargas, L. d. (2019). *FLOCULACION*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>
- Villareal, H. (2011). Optimización del Cultivo Intensivo de Camaron en México. 1er. Seminario Centroamericano de Produccion de Camaron. Guatemala.

APÉNDICES

APÉNDICE A

RECOMENDACIONES PARA LA OPERACIÓN DE UNA GRANJA CAMARONERA

1. PREPARACION DE LOS ESTANQUES PREVIO A LA SIEMBRA.

Al terminar una cosecha se debe:

- Limpieza de compuertas/tubos (bromas, mejillones) de ingreso y salida de agua
- Sellar compuertas/tubos de ingreso de agua.
- Cambiar red nueva para la compuerta. Uso de marco con red con abertura de malla de 1 mm y 40 mm fondo en entrada y 10 mm y 40 mm fondo en salida de agua durante los primeros 30 días, luego cambiar malla 8 mm en entrada y 15 mm en salida hasta los 8 gr y finalmente cambiar a malla 10 mm en entrada y 20 mm en salida hasta cosecha.
- Dar mantenimiento a los filtros de ingreso de agua, o reparar si fuere necesario.
- Retirar y limpiar comederos/platos.
- Verificar la presencia de peces y de ser necesario aplicar cloro u otro producto para eliminar peces en zonas “muertas” (pozas).

Nota: Preferiblemente debe realizarse a primera hora en la mañana (crepúsculo) o al final de la tarde (ocaso), debido a que el cloro es volátil ante la energía solar.

- Sellar compuertas/tubos de salida de agua

Nota: Para el sellado de compuertas usar una mezcla de cebo + cal P24, verificando que no existan fugas de agua.

- Si el sedimento presenta un $\text{pH} < 7$ se deberá aplicar cal P24 para corregir la acidez presente
- Si el suelo presenta un elevado porcentaje de materia orgánica $> 4\%$, se alargará los días de secado para la correcta oxigenación del suelo hasta por 3 días.



Figura 0.1 Estanque cosechado en proceso de vaciado total para su posterior exposición al sol y pueda mineralizarse la materia orgánica producida del ciclo cultivo anterior.

- Uso a menudo de una bomba portátil para sacar el agua de lluvia (mayormente usado en estación lluviosa)



Figura 0.2 Secado y desinfección del fondo de un estanque, mediante la acción de los rayos solares y del viento.

- Si existen marcas como indicadores del nivel del agua, asegurarse que sean legibles y visibles a simple vista, caso contrario se debe dar mantenimiento.

Nota: Filtros en las compuertas de entrada y salida de los estanques deben ser limpiados, revisados y reparados frecuentemente para evitar la fuga de camarones o la entrada de predadores. Se recomienda incluir un plan de mantenimiento de filtros mensual.

- Ingresar agua al estanque

2. FERTILIZACIÓN

Una vez que el estanque se encuentre con su nivel de agua operativo para la siembra debe considerarse tres puntos clave antes de fertilizar:

1. Medición de la turbidez del agua con ayuda del disco secchi.
2. Cuantificación de fitoplancton inicial presente en la columna de agua.
3. Realizar análisis de nutrientes en agua, al menos contemplar el análisis de compuestos nitrogenados, sólidos disueltos y en suspensión, alcalinidad y dureza del agua.

Luego de revisar los puntos 1, 2 y 3 se estimará un punto de partida para proceder con la fertilización del estanque. Una relación en el agua de nitrógeno:fósforo establecida es de 5:1, según lo recomiendan la FAO (http://fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s06.htm). Además, se debe adicionar fuentes de sílice en relación sílice:fósforo establecida 2:1 según lo utilizado en estanques camaroneros del Ecuador.

Nota: La fertilización debe realizarse antes de la siembra de la estanque. Al menos 3 días previos a la siembra.

- Para la aplicación de fertilizante se recomienda realizarlo 3 veces consecutivas en 3 diferentes dosis según la época lluviosa o seca, preferible pasando un día cada aplicación antes de la siembra.

Nota: Posterior a la fertilización, el estanque debe permanecer estático sin ingreso o salida de agua, al menos 1 días. El estanque debe dejarse reposar luego de fertilizar, no debe ingresar o salir agua.

Tabla 0.1 Aplicación de fertilizantes en época seca.

Detalle	1era dosis	2da dosis	3ra dosis
Nitrato de sodio	50 kg/ha	25kg/ha	25Kg/ha aplicar si es necesario
DAP (fosfato di-amonio)	10 kg/ha	10 kg/ha	No aplicar
Melaza	10 lts/ha	10 lts/ha	No aplicar
Silicato		20kg/ha	

Tabla 0.2 Aplicación de fertilizantes en época lluviosa.

Detalle	1era dosis	2da dosis	3ra dosis
Nitrato de sodio	25 kg/ha	12kg/ha	12Kg/ha aplicar si es necesario
DAP (fosfato di-amonio)	5 kg/ha	5 kg/ha	No aplicar
Melaza	5 lts/ha	5 lts/ha	No aplicar
Silicato		10kg/ha	

- Se debe monitorear la turbidez del agua de forma periódica con la ayuda del disco secchi. Los resultados de las mediciones de turbidez deben manejarse considerando los enunciados de la tabla 3.

Nota: Cinco días después de la siembra se debe subir el nivel del agua de manera gradual hasta llegar a su nivel operativo normal.

Tabla 0.3 Consideraciones para la lectura del disco secchi.

Lectura del disco Secchi (cm)	Comentarios
Menos a 25 cm	Estanque demasiado turbio. Si es turbio por fitoplancton, habrá problemas de concentración baja de oxígeno disuelto. Cuando la turbidez resulta por partículas suspendidas de suelos, la productividad será baja.
25 – 30 cm	Turbidez llega a ser excesiva.
30 – 45 cm	Si la turbidez es por fitoplancton, el estanque está en buenas condiciones.
45 – 60 cm	Fitoplancton se vuelve escaso.
Mayor a 60 cm	El agua es demasiado clara. La productividad es inadecuada y pueden crecer plantas acuáticas.

- Si las lecturas de disco secchi son superiores a 45 cm se recomienda fertilizar de acuerdo con las tablas 1 y 2.
- Si las lecturas del disco secchi son menores a 30 cm se recomienda bajar nivel de agua y aplicar 2 sacos ha⁻¹ de cal.

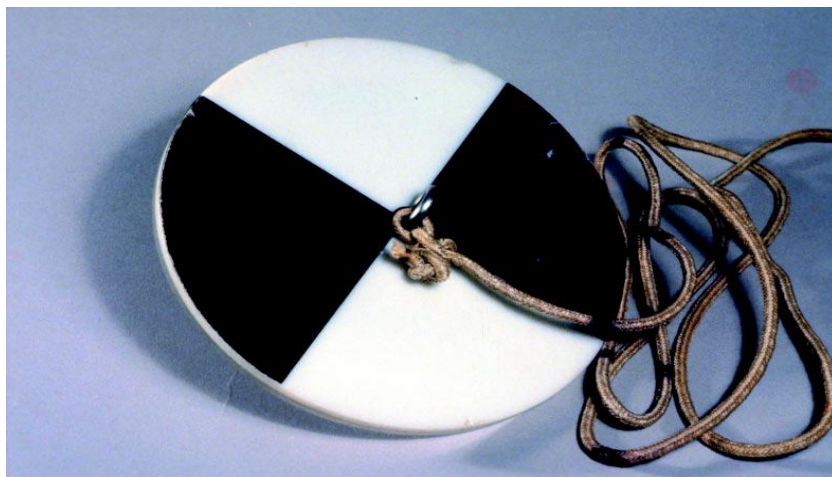


Figura 0.3 Disco secchi para medir la turbidez del agua