



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias de la Vida

**“EL USO DE HUMEDALES ARTIFICIALES COMO ALTERNATIVA
BIOTECNOLÓGICA PARA DESCONTAMINACIÓN DE EFLUENTES
DE CAMARONERAS”**

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

BIOLOGA

KATHERINE LORENA COELLO BAQUERIZO

JOANS CHRISTIE VÁSCONEZ GONZÁLEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestro Tutor Milton Barcos por su predisposición desde el primer día que acudimos a él, por sus consejos y apoyo incondicional, a nuestro Co tutor Javier Oviedo por su contribución y paciencia, de igual manera a Bernardo Gálvez por su colaboración en el diseño, a nuestro Director de la Materia Integradora César Bedoya por motivarnos a ir más allá de nuestra rama y nunca conformarnos, a Belén Castillo, Dudley Coello, Eduardo Cervantes y a todas las personas que aportaron de alguna u otra manera al desarrollo de este proyecto.

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, en especial a mi madre Nora González porque a pesar de los altos y bajos en todas las etapas de mi vida, es la persona que jamás ha dejado de creer en mí, y me ha apoyado por encima de las limitaciones, junto a mis padres, mis primas Silvana y Cindy , mis hermanas fuera de casa y mis rocas en los momentos difíciles, a mis amigos, Katherine, Belén, Juan Carlos, Lisbeth y Johnny quienes me abrieron las puertas de sus hogares incontables veces y me han servido de apoyo siempre que lo he necesitado, por último y no menos importante a mí compañera de proyecto Katherine C. , que ha sido un ángel desde el día en que la conocí.

Joans Christie Vásquez González

Quiero dedicar este trabajo a mi querido Abuelo Sebastián Baquerizo De Lucca quien, a pesar de ya no estar conmigo, siempre tuvo fe en mí y tuvo la plena seguridad que llegaría a cumplir mis metas, a mi tía Aurora Baquerizo por ser un pilar fundamental en mi vida, siempre estar pendiente de mí y de mis estudios. A mi Madre Rosa Baquerizo por su apoyo y a mis hermanas de otras madres, mis amigas Kiara y Kaylee, gracias por todos estos años de amistad sincera y por su apoyo incondicional, este triunfo también es de ustedes chicas.

Katherine Lorena Coello Baquerizo

EVALUADOR DEL PROYECTO

.....
Milton Barcos Arias PhD.

Tutor Proyecto Integrador

.....
César Bedoya Piloso MSc.

Profesor Materia Integradora

.....
Javier Oviedo Anchundia Mg.

Cotutor Proyecto Integrador

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me (nos) corresponde exclusivamente; y doy (damos) mi (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"

.....
Katherine Lorena Coello Baquerizo

.....
Joans Christie Vásquez González

RESUMEN

En el presente trabajo abordaremos las problemáticas del sector acuícola específicamente los contaminantes presentes en los efluentes de las camaroneras, en Ecuador, no se han realizado estimaciones acerca del porcentaje o cantidad de contaminantes que son aportados directamente a los cuerpos de aguas producto de la actividad camaronera, a pesar de que cada empresa conoce el estado de calidad de agua de sus piscinas, por lo que es de vital importancia remediar esta situación no sólo para el cumplimiento de la norma sino también para lograr que esta actividad siga creciendo de manera sustentable. Es por esto que nuestra propuesta se basa en la implementación de un humedal artificial, los cuales se han convertido en una excelente alternativa para la reducción de contaminantes presentes en efluentes industriales, tanto por su eficiencia como por sus costos.

En Ecuador, la industria camaronera representa el tercer ingreso económico más importante después del petróleo y del banano, por lo que es necesario la implementación de nuevas prácticas en el manejo del recurso camarón.

En nuestro sistema, al emplear *Eichhornia crassipes* logramos una reducción que se encuentra por debajo de los límites permisibles de descarga de afluentes para cuerpos de agua receptores, en este caso estuarios, tomando como referencia normas nacionales e internacionales como la FAO y TULSMA.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA	III
EVALUADOR DEL PROYECTO	V
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
CAPÍTULO 1	8
INFORMACIÓN GENERAL.....	8
1. CALIDAD DE AGUA DE LOS EFLUENTES.....	8
1.1 Parámetros significativos en los efluentes residuales de las camaroneras.	8
1.1.1 Nitritos y Nitrato	8
1.1.2 Fósforo	9
1.1.3 Total de sólidos suspendidos (SST).....	9
1.1.4 DBO y DQO	9
CAPÍTULO 2	10
MATERIALES Y MÉTODOS	10
2. Planta de tratamiento: Generalidades	10
2.1 Piscina de retención.....	10
2.2 Tratamiento primario Tanque IMHOFF.....	10
2.2.1 Manejo de sólidos	11
2.2.2 Datos piscina camaronera.....	11
2.2.3 Caudal de diseño	11
2.2.4 Diseño de sedimentador.....	11
2.2.5 Cálculo de alturas: Cámara sedimentación	12
2.2.6 Diseño del digestor	13
2.3 Laguna de Fitorremediación	15
CAPÍTULO 3	16
ANÁLISIS DE RESULTADOS ESPERADOS O PRELIMINARES.....	16
3. PARÁMETROS.....	16
3.1 Parámetros Piscina camaronera-Piscina retención	16
3.2 Parámetros IMHOFF	16

3.3	Parámetros Laguna Fitorremediación	17
3.4	Parámetros Norma ecuatoriana.....	17
3.5	Parámetros Norma Ambiental sobre Calidad del Agua y Control de Descargas	18
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		19
BIBLIOGRAFÍA		20
ANEXOS		23

ABREVIATURA

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

SST: Sólidos totales en suspensión

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de piscina camaronera, modelo ajustado para el diseño.....	11
Tabla 2. Valores de contaminantes de efluente.....	16
Tabla 3. Valores de salida de IMHOFF	16
Tabla 4. Parámetros y valores de salida de la Laguna.....	17
Tabla 5. Límite permisible de descarga a estuarios según la Normativa ecuatoriana.....	17
Tabla 6. Límite permisible de descarga para mangles y zonas de estuarios	18

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de los distintos tipos de biorremediación.	23
Anexo 2. Valores de Factor de Capacidad Relativa.	23
Anexo 3. Análisis de costos para instalación de sistema de Fitorremediación	24
Anexo 4. Morfología de <i>E. crassipes</i>	24
Anexo 5. Medidas de arista y grados de inclinación para el sedimentador	25
Anexo 6. Imagen de Tanque IMHOFF	25
Anexo 7. Diseño de Sistema de Fitorremediación.....	26

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar una solución basada en Humedales Artificiales para reducir las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo, DBO y SST presentes en los efluentes de camaroneras.

Objetivos Específicos

- Determinar que plantas son las más apropiadas para retener las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo, DBO Y SST presentes en los efluentes de camaroneras.
- Establecer los requerimientos biológicos y físico-químicos del efluente a tratar.
- Evaluar la eficiencia del sistema basado en la calidad de agua y el estado de las plantas.

INTRODUCCIÓN

La industria camaronera en el Ecuador desde sus inicios en 1968 se ha convertido en una de las principales actividades generadoras de divisas para el país, otorgando de manera directa e indirecta alrededor de 180,000 plazas de empleo. Actualmente el camarón sigue siendo el principal producto de exportación alcanzando ingresos por más de \$14000 millones de dólares anuales, convirtiéndolo en uno de los negocios más rentables^[1]

En el sector camaronero se han clasificado tres tipos de cultivo: el Intensivo, semi-intensivo y extensivo, en el Ecuador se trabaja con el cultivo semi-intensivo de la especie *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* conocido como camarón blanco, este tipo de cultivo requiere recambios diarios que van del 5 al 10% del agua existente en las piscinas, siendo la razón principal el tipo de balanceado empleado para este cultivo, ya que se necesita suministrar a los camarones dos veces más proteína la cual se obtiene de alimentos formulados a base de harinas y aceites de pescados, por lo que genera mayor turbidez y carga orgánica^{[2] .[3]} .

Durante el proceso de producción de esta especie se adicionan al agua fertilizantes que permiten mantener las condiciones ideales de cultivo y antibióticos para prevenir las enfermedades provocadas por patógenos^{[4],[5]}. Sumado a esto el agua posee nutrientes como el Nitrógeno (N), Fósforo (P), provenientes de la excreción y mineralización de los

detritus orgánicos, así como también el Amonio (NH_4) el cual se ha reportado su aporte en altas cantidades durante el período post-larval de *P. vannamei* [6]

Como resultado de esta actividad se obtienen efluentes con alta carga de nutrientes y sedimentos generados por el balanceado suministrado, los cuales al ser descargados a los cuerpos de agua receptores (mar, estuarios, etc) sin un tratamiento previo pueden desencadenar en la aceleración de la eutrofización natural, puesto que la presencia de estos compuestos contribuye al deterioro de la calidad de agua y genera un incremento en la densidad de las poblaciones fitoplanctónicas, las cuales al morir y ser descompuestas reducen el oxígeno disuelto en el agua. [7] [8] [9]

En la zona costera del golfo de Guacanayabo, Cuba se logró constatar los efectos negativos de esta práctica en los canales de abasto y de descarga de una camaronera, encontrándose niveles de NH_4 y P total de 185.1 $\mu\text{g/L}$ y 268.0 $\mu\text{g/L}$ respectivamente, los cuales sobrepasan los niveles permisibles designados en la normativa cubana para sistemas lagunares. [10] En el Golfo de California, México las descargas de aguas no tratadas provenientes de cultivos semi-intensivos llegan a tener hasta 32 Kg P/ha/año, mientras que en Brasil el aporte de N de este tipo de cultivos es de 1,9 t $\text{Km}^2/\text{año}$ [11],[12].

En Ecuador, según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), en el Anexo 1 indica que "...Todas las descargas a cuerpos de agua estuarinos, sin excepción, deberán ser interceptadas para tratamiento y descarga de conformidad con las disposiciones de esta norma..." [13]. A pesar de esto para el sector camaronero es una práctica común el descargar estos efluentes sin tratamiento previo, debido al arraigado convencimiento de que el mar y los ecosistemas costeros poseen gran capacidad de amortiguar y diluir contaminantes [2].

En la actualidad existen distintos tipos de estrategias para el manejo de estos efluentes como lo son los sistemas de recirculación, estanques de sedimentación e inclusive la creación de humedales artificiales para el manejo de los contaminantes. Estos humedales suelen ser una solución preferida debido a la relación entre eficacia de remoción de contaminantes versus los precios, los cuales son considerados rentables, debido a que permiten el aprovechamiento de especies vegetales, en su mayoría consideradas plagas. [2]

Dentro de los humedales artificiales, las plantas interactúan con los nutrientes, metales pesados y demás contaminantes presentes en esas aguas, proceso que es conocido como fitorremediación. La fitorremediación es un conjunto de tecnologías

capaces de retener, eliminar o disminuir los contaminantes de manera *ex situ* e *in situ* a partir de procesos biológicos generados por plantas y sus microorganismos asociados^{[14][15]}, los cuales actúan a manera de trampas o filtros biológicos estabilizándolos y convirtiéndolos en compuestos más estables y de fácil remoción^[16].

La fitorremediación se ha clasificado en diversos tipos (ver anexos 1), en donde dependiendo del enfoque y proceso que ocurre dentro de la planta se puede dar una visión más clara de las especies a emplear en sistemas de tratamiento.

Existen reportes acerca de plantas que crecen en estanques contaminados sin sufrir graves daños, por lo que debería ser posible el uso de plantas para desintoxicar contaminantes^[17], entre estas se encuentra la *Lemna minor* conocida como lenteja de agua, esta especie es de amplia distribución y de rápido crecimiento, puede soportar amplios rangos de pH y temperaturas siendo el óptimo entre 4,5 y 7,5, 15° y 18°C respectivamente. ^{[18]. [19]}. Se sugiere además un uso posterior a la fitorremediación, ya que la lenteja de agua puede ser usada para la producción de piensos de animales por su alto contenido de proteínas, ácidos grasos y almidones siempre y cuando sea cultivada en aguas contaminadas por componentes no tóxicos^{[20]. [21]}

L. minor tiene el potencial de absorber nutrientes como N, P y sales, así como también es útil al tratar aguas con alto contenido de antibióticos como diclofenaco, triclosán, ibuprofeno y naproxeno. En cuanto a metales pesados esta especie fue sometida a pruebas de tolerancia y remoción de Cu^{+2} encontrando que en un periodo de 24 horas *L. minor* fue capaz de remover un 75,5% del contaminante en las aguas de tratamiento.^{[22]. [23]}

Otra macrófita con capacidad de biorremediación es la *Eichhornia crassipes* (ver anexo 4) conocida como Jacinto de agua o lechuguín, esta especie crece en una amplia variedad de humedales que contengan nutrientes enriquecidos y puede tolerar variaciones de temperatura y pH, siendo su óptimo entre 25°C y 27°C y de 6 a 8 respectivamente, se ha reportado además su capacidad de remoción en Cadmio (III), Mercurio (II) y Platino. ^{[24]. [25]}. Estudios realizados en el municipio de Rionegro en Antioquia comprobaron la eficiencia de remoción de la *E. crassipes* frente a metales pesados y sólidos en suspensión, encontrando que en metales pesados remueve hasta un 97%, mientras que los sólidos en suspensión en un total de 98%.^[18]

La *E. crassipes* mediante sus raíces incorporan los nutrientes a la planta (filtración) gracias a la acción conjunta de los microorganismos facultativos asociados a ellas, permitiendo a su vez la adsorción de los SST.^[26]

El presente documento consta de 3 capítulos que están organizados de la siguiente manera: El primero detalla la problemática de los contaminantes encontrados en las aguas de las camaroneras así como también el origen de los mismos, el segundo capítulo comprende la metodología empleada para el desarrollo de la solución que se propone en este trabajo, las fórmulas y cálculos empleados para la implementación de la solución a escala real y el cumplimiento de los objetivos, el tercer capítulo, los resultados esperados en cuanto a niveles de reducción de contaminación que exige la norma ecuatoriana y finalmente las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 1

INFORMACIÓN GENERAL

1. CALIDAD DE AGUA DE LOS AFLUENTES

Los efluentes generan cantidades substanciales de nutrientes como nitrógeno y fosforo incluida la materia orgánica que dispone la demanda bioquímica de oxígeno contribuyendo así el deterioro de la calidad del agua receptora de los efluentes vertidos en la misma ^[27], siendo un 78%, 51% y 40% del nitrógeno, fosforo y carbono total, factores que junto a la fertilización disminuyen la calidad de agua durante el cultivo, de estos valores solo un 25% a 45% del nitrógeno, 20% a 30% de fósforo y 10% a 15% de carbón es el asimilado por el camarón el resto de la carga no consumida es fijada en el sedimento, adsorbida por el fitoplancton y descargada en los efluentes ^[28], ^[29]. Una de las principales causas sobre el impacto de los efluentes de piscinas de camarón, son las zonas de manglar donde se desarrollan estas actividades, ya que los parámetros físicos – químicos son los adecuados para la producción primaria que se necesita para desarrollar la cría de camarón con las mejores condiciones ^[29]

1.1 Parámetros significativos en los efluentes residuales de las camaroneras.

1.1.1 Nitritos y Nitrato

Son compuestos inorgánicos concentrados en los fertilizantes, no incrementan el amonio en el agua, los rangos para nitritos deben estar por debajo de 0,1 ppm, y de nitratos entre 1,70 y 3,10 ppm ^[28]

En un recambio de agua entre la volatilización, desnitrificación y descarga, el porcentaje de nitrógeno en el efluente de un recambio es del 22% del total ingresado de los diferentes medios, manteniéndose en solución a diferencia del fósforo, se considera que el nitrógeno es uno de los elementos considerables para el aumento de abundancia de microalgas al igual que el fósforo ^[30]

1.1.2 Fósforo

Es el nutriente limitante en agua salobre, con concentraciones recomendadas de 0,15ppm. El porcentaje resultante de la fertilización, alimento sobrante y factores que forman parte del proceso de producción es de 7% dentro de la descarga del efluente.

Las proporciones de nitrógeno en los efluentes equivalen a 135 – 149 kg/ha/ciclo por piscina o valores de 157 kg/ha/ciclo en el efluente. En cuanto a P pueden ser entre 15 – 17 y 25 kg/ha/ciclo, la cantidad de P es menor en el agua ya que este tiende a sedimentarse de mejor forma que el nitrógeno ^{[28], [30]}

1.1.3 Total de sólidos suspendidos (SST)

El total de nutrientes arrojados en los efluentes, una vez depositados en el cuerpo de agua pueden producir eutrofización, al acelerar el crecimiento de organismos, consumiendo el suministro de oxígeno disuelto, encontrado como DBO y DQO, que son los índices que permiten la medición de contaminación por desechos orgánicos. ^[31]

1.1.4 DBO y DQO

La demanda Bioquímica de oxígeno (DBO) es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica bioquímicamente degradable presente en una muestra de agua, esta se define como la cantidad de oxígeno requerida para que los microorganismos aerobios presentes en la muestra, oxiden la materia orgánica a una forma inorgánica estable. La presencia de sustancias tóxicas en una muestra puede afectar la actividad microbiana que conduce a una reducción de DBO, las condiciones varían dependiendo del tamaño del receptor de agua, por lo que la interpretación de datos de DBO es algo que debe realizarse con cuidado. ^[32]

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2. Planta de tratamiento: Generalidades

La planta de tratamiento constará de 3 fases (Ver Anexo 7), en la primera fase se contará con una piscina de retención la cual facilitará el paso del agua de recambio para el pre tratamiento en el tanque IMHOFF, el cual lo hemos situado en la segunda fase denominada “Tratamiento primario”, el tubo de descarga de la piscina de retención estará conectado al tanque, el cual permite la decantación de sólidos provenientes de los sedimentos de la piscina. El agua que se encuentra en el tanque sale del mismo por acción de la gravedad hacia la tercera fase conocida como “Tratamiento secundario” donde se encontrará la laguna de fitorremediación con *E. crassipes* que permitirá la reducción del N, P y DBO, así como de los antibióticos presentes en el agua y reducir aún más la cantidad de SST presentes en el agua.

2.1 Piscina de retención

La piscina de retención (PR) estará conectada directamente con la piscina camaronera por medio de una tubería de 0,6 D., la PR tendrá una capacidad para 700 m³ de agua, con una profundidad de 0,9 m. Para efecto de vaciado de la piscina tendrá una inclinación de 30° con respecto al suelo y contará con un medidor de caudal, conectado a su vez con una bomba temporizada, las cuales permitirán el paso de agua hacia el tanque IMHOFF cada dos horas.

2.2 Tratamiento primario “Tanque IMHOFF ”

El tanque IMHOFF se construirá siguiendo los lineamientos de la “Guía para el diseño de Tanques Sépticos. Tanques IMHOFF y Lagunas de Estabilización” de la Organización Panamericana de la Salud, (OPS) ^[33]. El tanque tratará un caudal de 450m³/d con un tiempo de retención de 2 horas.

2.2.1 Manejo de sólidos

Para el manejo de sólidos el Tanque IMHOFF contará con una bomba la cual conecta una tubería hacia la cámara de digestión de lodos, la bomba al ser accionada permitirá el paso de dichos lodos hacia la piscina de secado, y una vez en la piscina, se puede proceder a la formación de compost.

2.2.2 Datos piscina camaronesa

Caracterización Piscina camaronesa		
Parámetro	Muestra	Unidad
Volumen	9000	m ³
Profundidad	0,9	m ²
Área	10000	m ²
Tasa de recambio	5	%
Volumen de recambio	450	m ³
Población total	80000	camarones
Población recambio	4500	camarones

Tabla 1. Datos de piscina camaronesa, modelo ajustado para el diseño

2.2.3 Caudal de diseño

$$Qd = 450\text{m}^3/\text{día}$$

$$Qd = 18,75\text{m}^3/\text{h}$$

Nuestro sistema trabaja con el agua proveniente de la tasa de recambio del 5% por lo que trabajamos en base a 450 m³ al día, al tratarse de camarones hemos ajustado la fórmula para nuestro diseño.

2.2.4 Diseño de sedimentador

AS= Área del sedimentador (m²)

CS= Carga superficial (1m³/(m²xh))

$$AS = \frac{QD}{CS}$$

$$AS = 18,75\text{m}^2$$

El periodo de Retención Hidráulico varía entre 1,5 a 2,5 horas, siendo 2 horas el tiempo recomendado para este tipo de tanques^[33]

Volumen sedimentador:

$$VS = QD \times R$$

$$VS = 37,5 \text{ m}^3$$

El tanque tendrá forma de V en el fondo y la pendiente de los lados con respecto a la horizontal tendrá 60°. (Ver anexos 6)

La relación de Ancho y largo del sedimentador es igual a 4 por lo que

$$a/b = 4 \rightarrow a = 4b$$

$$\text{Área} = a \times b = 4b \times b = 4b^2$$

$$b = \left(\frac{\text{Área}}{4} \right)^{1/2}$$

$$b = 2,34 \text{ m}$$

$$a = 9,38 \text{ m}$$

La arista central deberá tener un espacio para el paso de los sólidos removidos hacia el digestor, esta abertura será de 0,15m. Uno de los lados deberá prolongarse de 15 a 20 cm para impedir el paso de los sólidos desprendidos del digestor hacia el sedimentador, de suceder provocaría la reducción de la capacidad de remoción de sólidos en suspensión de esta unidad. (Ver anexo 5)

2.2.5 Cálculo de alturas: Cámara sedimentación

Datos:

$$Vs = 37,5 \text{ m}^3$$

$$a = 9,38 \text{ m}$$

$$b = 2,34 \text{ m}$$

Para hallar h1:

$$\text{tg}60 = \frac{\sqrt{3}}{1} = \frac{h1}{b/2}$$

$$h1 = \sqrt{3} \times b/2$$

$$h1 = 2,03 \text{ m}$$

Para hallar V1:

$$V1 = V1 + V2$$

$$V1 = h1 \times a \times b/2$$

$$v1 = 22,30$$

Para hallar h2:

$$V2 = h2 \times a \times b$$

$$h2 = \frac{V - V1}{a \times b}$$

$$h2 = 0,69 \text{ m}$$

2.2.6 Diseño del digestor

Volumen de almacenamiento y digestión V_d m³

Para el diseño del compartimiento de digestión de lodos se debe tomar en cuenta la temperatura dependiendo de la zona geográfica en la cual se realizará el diseño (Ver anexo 2)

$$V_d = \frac{70 \times P \times fcr}{1000}$$

Donde:

P: población en función de la conversión camarones:personas

P: 4500 camarones que equivalen a 900 personas. (carga orgánica de la piscina)

Fcr: factor de capacidad relativa

Entonces:

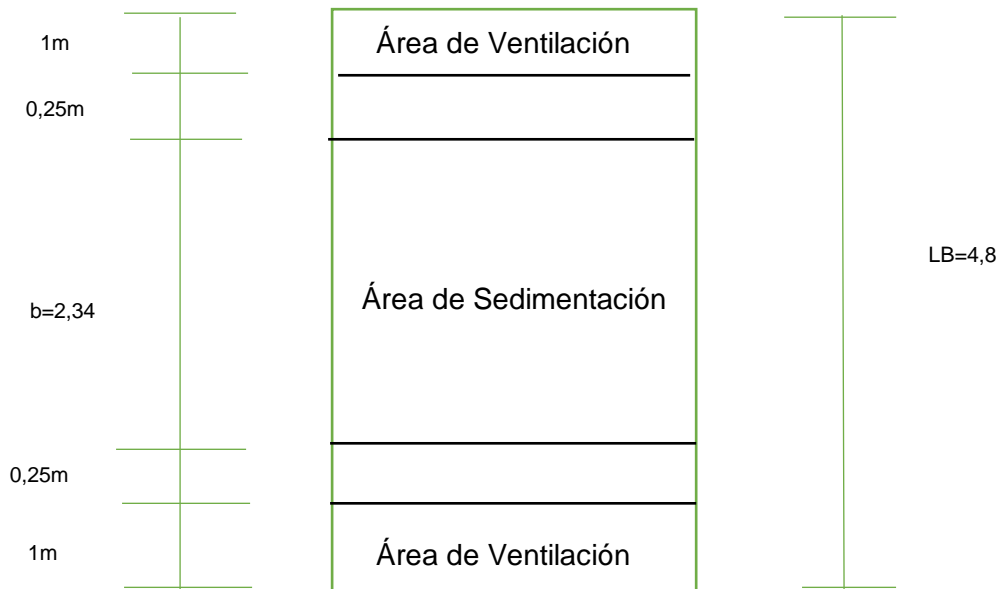
$$V_d = \frac{70 \times 900 \times 0,5}{1000}$$

$$V_d = 31,5 \text{ m}^3$$

Área de ventilación y cámara de natas:

Para el diseño de la superficie entre las paredes del digestor y el sedimentador se tendrá en cuenta que:

- El espaciamiento libre será de 1,0 m (mínimo)
- La superficie libre total tendrá que ser al menos el 30% de la superficie total del tanque
- El borde libre tendrá como mínimo 0,30 cm



Las paredes laterales de la cámara de digestión de lodos tendrán una inclinación de 30° con respecto a la horizontal. La altura máxima de los lodos deberá estar 0,50 m por debajo del fondo del sedimentador

Área superficial: $a \times LB$

Área superficial: $45,41 \text{ m}^2$

Área de Ventilación: $a \times 2$

Área de Ventilación: $18,75 \text{ m}^2$

Verificación (+30% del área total del tanque)

$$\% = \frac{AV}{A \text{ superficial}} * 100$$

$$\% = 41,29\% \text{ Si cumple}$$

Cálculo de alturas con respecto al digestor de lodos

Datos:

$$V_s = 37,5 \text{ m}^3$$

$$a = 9,38 \text{ m}$$

$$b = LB = 4,8 \text{ m}$$

Para hallar h_1 :

$$\text{tg}60 = \frac{\sqrt{3}}{1} = \frac{h_1}{b/2}$$

Para hallar V_1 :

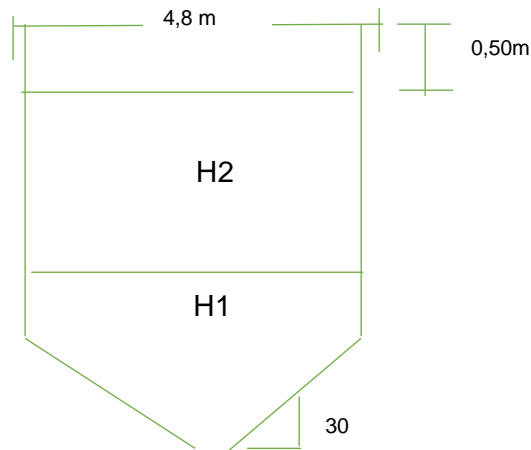
$$V_1 = V_1 + V_2$$

Para hallar h_2 :

$$V_2 = h_2 \times a \times b$$

$$h1 = \sqrt{3} \times b/2 \qquad V1 = h1 \times a \times b/2 \qquad h2 = \frac{V-V1}{a \times b}$$

$$h1 = 0,68 \text{ m} \qquad v1 = 10,24 \qquad h2 = 0,47 \text{ m}$$



2.3 Laguna de Fitorremediación

El sistema constará con una laguna de dimensiones 30 x 100 m con 1,2 m de profundidad, para una capacidad de 3600 m³, contará con un tiempo de retención de 8 días ^{[34],[35]} en cuya parte superior se colocará un 30% de *E. crassipes* con respecto al volumen contenido en la laguna ^[36]. La cosecha de *E. crassipes* se realizará cada 21 días ^[37] mediante la recolección de un cuadrante de PVC 18,75 x 30 ubicado en la mitad de la laguna.

Para calcular el área que representará el 30% de *E. crassipes* en la laguna se hace la relación:

Área laguna fitorremediación: 3000 m²

Si 3000m² representan el 100%, el 30% será 900 m², el cual será el área que se destinará para colocar las plantas de *E. crassipes*

Se construirá un cuadrante de PVC de (18,75 x 30m) para colocar en el centro de la piscina las plantas el cual en sus esquinas contará con pesos para realizar una especie de anclaje y evitar de esta forma que flote por toda la laguna.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS ESPERADOS O PRELIMINARES

3. PARÁMETROS

3.1 Parámetros Piscina camaronera-Piscina retención

Efluente camaronera		
Parámetro	Muestra	Unidad
pH	6,9	-
DBO	241,2	g/m ³
N-total	82,5	g/m ³
P-PO4	50,3	g/m ³
SST	128,5	g/m ³

Tabla 2. Valores de contaminantes de efluente[37]

Los valores corresponden a los parámetros iniciales los cuales serán tratados en nuestro sistema de fitorremediación. La piscina de retención estará conectada a la piscina camaronera por lo que estos parámetros se mantienen hasta antes de ingresar al Tanque IMHOFF.

3.2 Parámetros IMHOFF

IMHOFF		
Parámetro	Muestra	Unidad
pH	6,9	
DBO	156,78	g/m ³
N-total	82,5	g/m ³
P-PO4	50,3	g/m ³
SST	64,25	g/m ³

Tabla 3. Valores de salida de IMHOFF

Los valores que se muestran en la tabla 3 corresponden a los valores de salida del tanque. El tanque IMHOFF, al ser un sedimentador reducirá sólo los valores de DBO y de Sólidos Totales en Suspensión, mientras que los valores de N y P pasarán a ser reducidos a la laguna de Fitorremediación.

3.3 Parámetros Laguna Fitorremediación

Laguna Fitorremediación		
Parámetro	Muestra	Unidad
pH	6,9	
DBO	62,71	g/m ³
N-total	33	g/m ³
P-PO4	21,13	g/m ³
SST	34,7	g/m ³

Tabla 4. Parámetros y valores de salida de la Laguna

Los valores que muestra la tabla 3 corresponden a los de salida, luego de los 8 días de tratamiento con *E. crassipes*

3.4 Parámetros Norma ecuatoriana

NORMA-TULSMA		
Parámetro	Muestra	Unidad
DBO	-	mg/L
No3	200	mg/L
SST	No aplica	mg/L

Tabla 5. Límite permisible de descarga a estuarios según la Normativa ecuatoriana-TULSMA^[13]

Según la norma ecuatoriana, los valores de DBO, SST y Fósforo total no han sido evaluados debido que, al descargar el efluente, éste debe contener los valores al mismo nivel del estado natural.

3.5 Parámetros Norma Ambiental sobre Calidad del Agua y Control de Descargas

NORMA-FAO

Parámetro	Muestra	Unidad
DBO	60	mg/L
N-total	40	mg/L

Tabla 6. Límite permisible de descarga para mangles y zonas de estuarios, FAO^[38]

En esta tabla solo se reflejan los valores de DBO y N total debido a que los SST y Fósforo deben estar en condiciones naturales y depende de cada entidad ambiental perteneciente al estado el medir dichos valores.

Para la construcción de nuestro sistema se ha tomado en cuenta valores actuales de los materiales a utilizar (Ver anexo 3), en cuanto al mantenimiento del mismo hemos tomado en consideración de que la empresa va a distribuir las actividades con sus empleados que mantienen un contrato vigente, por lo que el costo de mantenimiento no se verá reflejado como costo adicional. Nuestro sistema está evaluado para 25 años (tiempo de vigencia del Tanque IMHOFF) puesto que las piscinas no se verán afectadas si se les otorga un correcto mantenimiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El Jacinto de agua, para nuestro sistema, (de las plantas analizadas) es la macrófita que permite en mayor grado la reducción de los contaminantes propuestos.
2. Determinamos mediante bibliografía que el P, N, DBO y SST serían los contaminantes a tratar debido al impacto que ocasionan al medio ambiente luego de ser descargados a los cuerpos de agua receptores.
3. El sistema en general, muestra una eficiencia, en términos de costos, reducción de parámetros establecidos, implementación y mantenimiento del mismo.

Recomendaciones

1. Es recomendable que las empresas camaroneras tomen en cuenta este diseño, para la reducción de sus contaminantes.
2. Los resultados esperados fueron logrados en base a condiciones ideales y teóricas del sistema en general, sumados a las propiedades de la macrófita seleccionada para el presente proyecto, recomendamos que el sistema sea analizado de forma experimental para confirmar la eficacia y valores específicos de cada uno de los parámetros a resolver.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] FAO, “El estado mundial de la pesca y la acuicultura,” 2009.
- [2] S. Sánchez-Carrillo and J. Álvarez-Yépez, “Viabilidad de los manglares artificiales como sistemas de tratamiento de los efluentes camaronícolas en Latinoamérica,” *Rev. Latinoam. Recur. Nat.*, vol. 4, no. 1, pp. 17–30, 2008.
- [3] H. C. Clifford, *Semi-intensive shrimp farming*. Texas, 1985.
- [4] G. A. Wicky, “Producción del Langostino de Agua Dulce o Camarón Gigante de Malasia (*Macrobrachium rosenbergii*),” *Aquatic*, vol. 3, República de Argentina, May-1998.
- [5] N. R. Salgado, “Neoliberalismo e industria camaronera en Ecuador,” *Let. Verdes. Rev. Latinoam. Estud. Socioambientales*, vol. 0, no. 15, pp. 55–78, 2014.
- [6] G. Gómez, S.; Urias, A.; Vázquez, F.; Hernández, “Ammonia efflux rates and free amino acid levels in *Litopenaeus vannamei* postlarvae during sudden salinity changes,” *Aquaculture*, vol. 233, pp. 573–581, 2004.
- [7] C. Boyd, C. ; Tucker, “Water quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture.,” *Alabama Agric. Exp. Stn.*, p. 183, 1992.
- [8] M. E. Espósito *et al.*, “Natural pollution (As, F) and eutrofication (N, P) in the basin of El Divisorio stream, Argentina,” *Phyton (B. Aires)*, vol. 85, no. 2016, pp. 51–62, 2016.
- [9] J. P. Abella and M. J. Martínez, “Contribución De Un Afluente Tributario a La Eutrofización Del Lago De Tota (Boyacá, Colombia) Contribution of a Tributary Stream To Eutrophication of Lake Tota (Boyacá, Colombia) Contribuição De Afluentes À Eutrofização Do Lago Tota,” *Rev. Colomb. Química*, vol. 41, no. 2014, pp. 1–14, 2016.
- [10] M. I. Molleda, G. A. Carballo, and N. C. Piñar, “Impacto Ambiental de la Granja Camaronera CALISUR sobre los ecosistemas de la zona costera del golfo de Guacanayabo , Cuba Introducción El cultivo de camarón en Cuba surgió como actividad industrial en 1986 , el primer plan se llevó,” 2006.
- [11] F. Páez-Osuna, S. R. Guerrero-Galván, and A. C. Ruiz-Fernández, “Discharge of Nutrients from Shrimp Farming to Coastal Waters of the Gulf of California,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 38, no. 7, pp. 585–592, 1999.
- [12] L. D. De Lacerda, A. G. Vaisman, L. P. Maia, C. A. Ramos E Silva, and E. M. Soares Cunha, “Relative importance of nitrogen and phosphorus emissions from shrimp farming and other anthropogenic sources for six estuaries along the NE Brazilian coast,” *Aquaculture*, vol. 253, no. 1–4, pp. 433–446, 2006.
- [13] Ministerio del Ambiente, *Anexo 1 Del Libro VI Del Texto Unificado De Legislacion Secundaria Del Ministerio Del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental Y De*

- Descarga De Efluentes Al Recurso Agua*. 2014, pp. 1–37.
- [14] O. Delgadillo-lópez, A. ; González-Ramírez, C. ; Prieto-García, F. ; Villagómez-Ibarra, J. ; Acevedo-Sandoval, “FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN,” 2011.
- [15] M. P. Carpena, R.O.; Bernal, “Fitorremediación de suelos contaminados Claves de la fitorremediación : fitotecnologías para la recuperación de suelos,” *Ecosistemas*, vol. 16, no. 2, pp. 1–3, 2007.
- [16] S. Arias Martínez, F. ; Betancur Toro, and M. Gómez Rojas, Gonzalo;, Salazar Giraldo, Juan; Hernández Ángel, “Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas,” *Inf. Técnico*, vol. 74, pp. 12–22, 2010.
- [17] J. Schwitzguébel, “Potential of Phytoremediation, an emerging green technology. In: Ecosystem Service and Sustainable Watershed Management in North China.,” 2000.
- [18] G. Roldán, *Fundamentos de limnología tropical*. Medellín. Medellín: Universidad de Antioquia, 1992.
- [19] M. del P. (Escuela de I. de A. M.-C. Arroyave, “LA LENTEJA DE AGUA (Lemna minor L.): UNA PLANTA ACUÁTICA PROMISORIA,” *Rev. EIA*. ISSN 1794-1237, vol. I, no. 1, pp. 33–38, 2004.
- [20] S. Soda, T. Ohchi, J. Piradee, Y. Takai, and M. Ike, “Duckweed biomass as a renewable biorefinery feedstock: Ethanol and succinate production from *Wolffia globosa*,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 81, pp. 364–368, 2015.
- [21] E. Olguín, E.; Hernández, “Use of aquatic plants for recovery of nutrients and heavy metals from wastewater.,” 1998. [Online]. Available: <https://www.idrc.ca/>.
- [22] I. Panfili, M. L. Bartucca, E. Ballerini, and D. Del Buono, “Combination of aquatic species and safeners improves the remediation of copper polluted water,” *Sci. Total Environ.*, vol. 601–602, pp. 1263–1270, 2017.
- [23] C. Liu, Z. Dai, and H. Sun, “Potential of duckweed (*Lemna minor*) for removal of nitrogen and phosphorus from water under salt stress,” *J. Environ. Manage.*, vol. 187, pp. 497–503, 2017.
- [24] V. Raúl, P. Llantoy, and A. C. V. Negrón, “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE CADMIO (II) Y MERCURIO (II) CON LA ESPECIE *Eichhornia crassipes* (JACINTO DE AGUA) STUDY OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS FOR CADMIUM (II) AND MERCURY (II) PHYTOREMEDIATION USING T,” *Rev. Soc. Química Perú*, vol. 80, no. li, pp. 164–173, 2014.
- [25] M. Ghosh and S. P. Singh, “A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts,” *Appl. Ecol. Environ. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–18, 2005.
- [26] J. Martelo and J. A. Lara Borrero, “Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas

- residuales: una revisión del estado de arte,” *Ing. y Ciencia. ing. cienc. ISSN 1794-9165*, vol. 8 (15), pp. 221–243, 2012.
- [27] J. P.-M. O. Garcia, “Ex-situ bioremediation of shrimp culture effluent using constructed microbial mats,” *Aquac. Eng.*, vol. 28, pp. 131–139, 2003.
- [28] C.E. Boyd, “Water Quality for Pond Aquaculture,” *Water Qual. Pond Aquac.*, p. 482, 1990.
- [29] M. R. Briggs y S. Funge - Smith, “A nutriente budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand,” *Aquaculture Res.*, vol. 25, no. 8, pp. 789–811, 1994.
- [30] S. V. Smith, *Limnology and Oceanography*. 1984.
- [31] L. B. Ho, “Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición,” 2002. .
- [32] S. A. C. O. UNITED NATIONS EDUCATIONAL, *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*, Second. Great Britain: E&FN Spon, 1996.
- [33] Organización Panamericana de Salud, “Guía Para el Desempeño de Tanques Séptico, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización,” 2005.
- [34] M. Cruz *et al.*, “Tratamiento De Las Aguas De La Laguna ‘Mansión’ Mediante La Especie *Eichhornia crassipes*, Para El Riego De Áreas Verdes En La Universidad Peruana Unión,” *IOSR J. Agric. Vet. Sci.*, vol. 9, no. 8, pp. 53–65, 2016.
- [35] EPA, *Design manual: Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment*. 1988.
- [36] Avila José; Castillo David; Zárate Walter, “Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), alternativa para el tratamiento de agua dulce en producción acuícola.” 2000.
- [37] E. Behling, N. Rincón, A. Díaz, and J. Marín, “Tratamiento Biológico De Aguas Residuales Industriales: Efluente Camaronero En Reactores,” *Historia Santiago.*, vol. 42, no. 2, pp. 291–298, 2008.
- [38] FAO, *Norma Ambiental sobre Calidad del Agua y Control de Descargas*. 2017.
- [39] M. Vidali, “Bioremediation - An overview,” *Pure Appl. Chem.*, vol. 73, no. 7, pp. 1163–1172, 2001.

ANEXOS

Técnica	Mecanismo de la planta	Medio de superficie
Fitoextracción	Absorción y concentración de metales a través de la captación directa en el tejido vegetal con posterior eliminación de las plantas.	Sólidos
Fitotransformación	Captación de plantas y degradación de compuestos orgánicos.	Aguas superficiales, aguas subterráneas
Fitoestabilización	Los exudados de la raíz hacen que el metal se precipite y esté menos disponible.	Suelos, aguas subterráneas, "relaves de minas"
Fitodegradación	Mejora la degradación microbiana en la rizósfera.	Suelos, aguas subterráneas dentro de la rizósfera
Rizofiltración	Absorción de metales en las raíces de las plantas.	Aguas superficiales y agua bombeada
Fitovolatilización	Plantas evapotranspiran selenio, mercurio e hidrocarburos volátiles.	Suelos y agua subterránea

Anexo 1. Clasificación de los distintos tipos de biorremediación.

Fuente: [39]

TEMPERATURA °C	FCR
5	2
10	1,4
15	1
20	0,7
>25	0,5

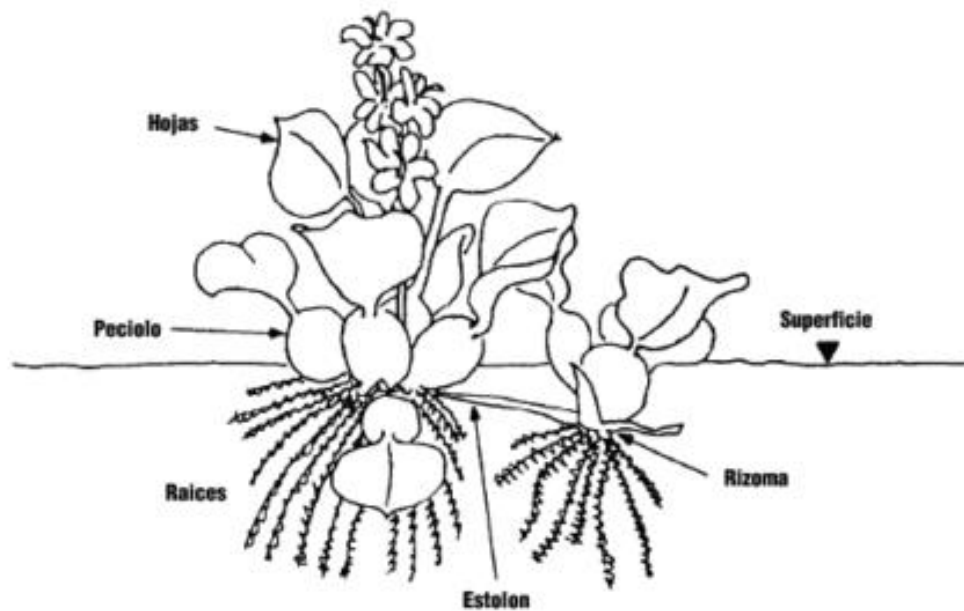
Anexo 2. Valores de Factor de Capacidad Relativa.

Fuente: [33]

CONSTRUCCIÓN

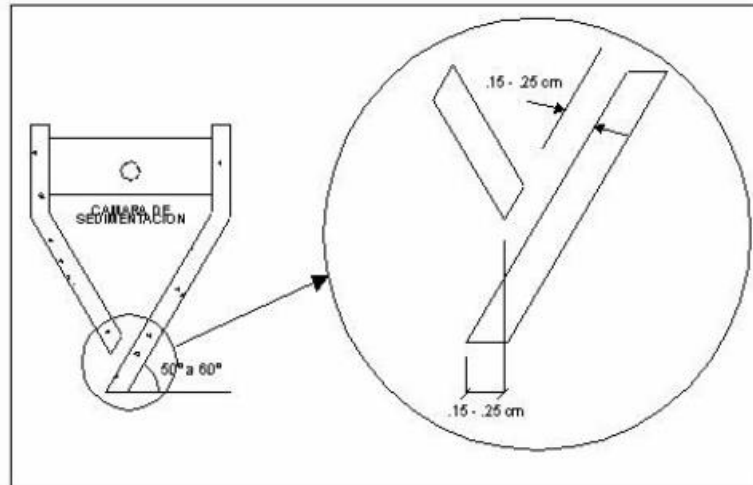
IMHOFF	Unidad	Precio Final
Cemento	7,68	115,2
Arena	0,92	18,4
Retroescavadora	70	350
Tubería lodos	12,53	37,59
Tubería	27,76	27,76
Bomba caudal	1574	1574
LAGUNA RETENCIÓN		
Retroescavadora	70	280
Tubería	27,76	27,76
LAGUNA FITORREMEDIACIÓN		
Retroescavadora	70	560
Tubería	27,76	55,52
	TOTAL	3046,23

Anexo 3. Análisis de costos para instalación de sistema de Fitorremediación



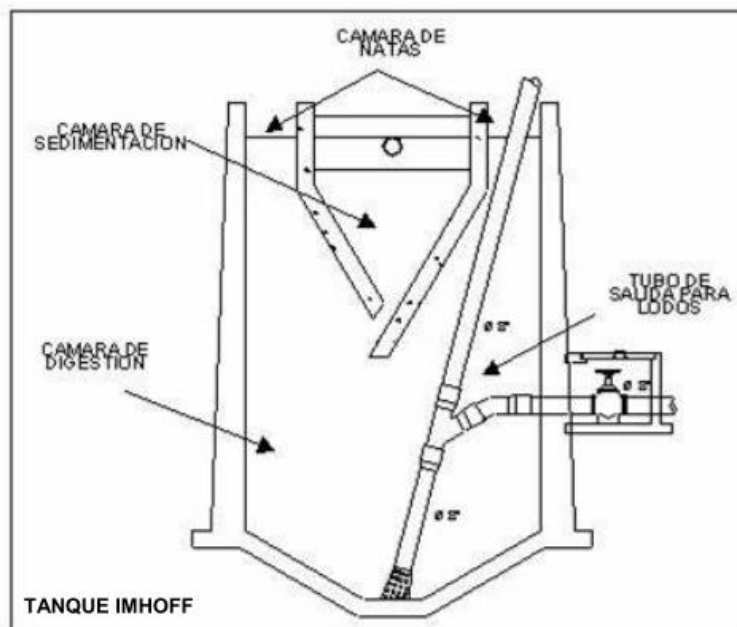
Anexo 4. Morfología de *E. crassipes*

Fuente: [26]



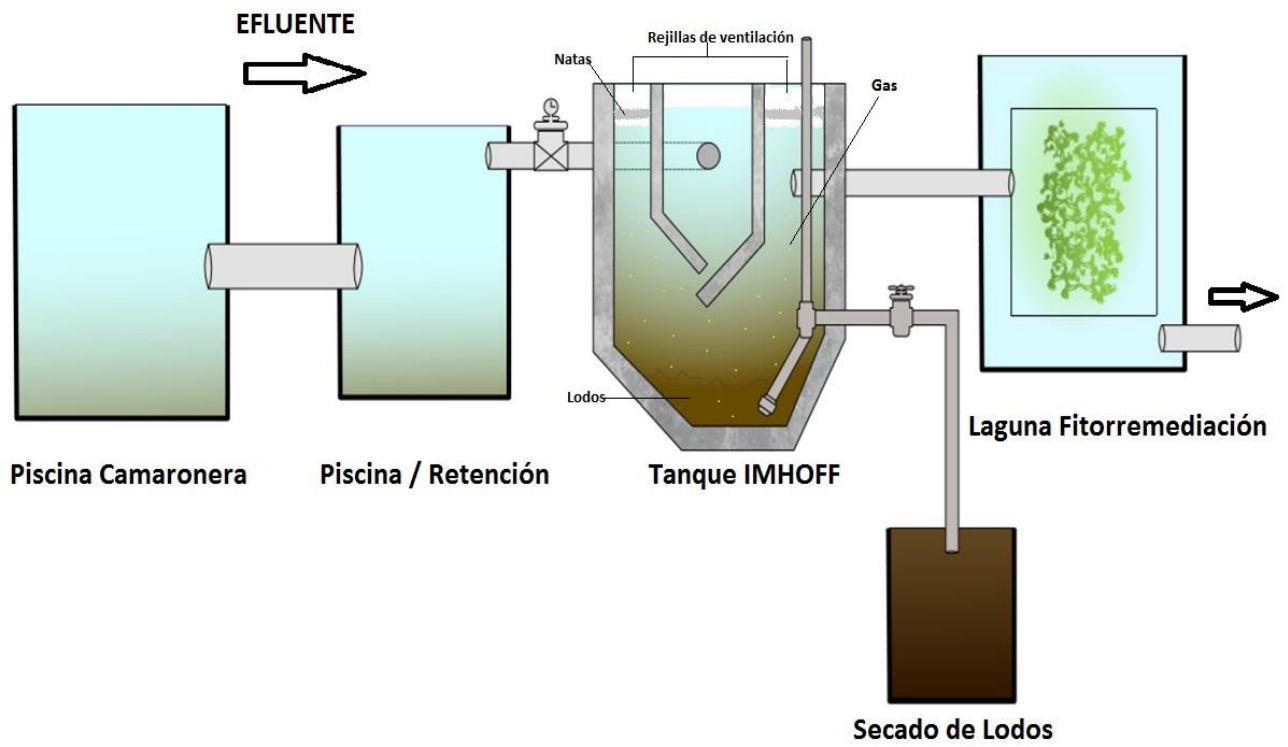
Anexo 5. Medidas de arista y grados de inclinación para el sedimentador

Fuente: [33]



Anexo 6. Imagen de Tanque IMHOFF

Fuente: [33]



Anexo 7. Diseño de Sistema de Fitorremediación.
Fuente: Autores