



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias de Mar

Criterios para el dimensionamiento de la aeración en la producción de un cultivo de camarón blanco (*Penaeus vannamei*).

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Acuícola

Presentado por:

Darwin Baltazar Chuya Zhangallimbay

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

College of Maritime Engineering and Sea Science

Criteria for the sizing of aeration in the production, of a white shrimp culture
(*Penaeus vannamei*).

CAPSTONE COURSE

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

Aquaculture Engineer

By:

Darwin Baltazar Chuya Zhangallimbay

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a mi familia que sin su apoyo no hubiera sido esto posible, a mis padres y hermanos sé que ellos están felices al ver que su ayuda y consejos dieron resultados. Ahora entiendo que no importa de dónde vengas, si no a dónde vas y que uno es único que puede dar sentido a la vida a través de cosas que hacemos o dejamos de hacer.

De igual manera dedico este logro a mis grandes amigos Cesar Valle, María Núñez, Wilson Rivadeneira, Bryan García, Ronald Aponte, Cristhian Ochoa y Daniel Mejía por las vivencias y momento que compartimos juntos; son y seguirán siendo piezas fundamentales en mi vida personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios por permitirme formarme como profesional. También agradezco a mi tutor el M.Sc. Jerry Landívar por su apoyo y sugerencias para el desarrollo de este proyecto integrador como también al Ph.D. Wilfrido Arguello profesor de la materia integradora que siempre estuvo ahí para sugerir mejoras en mis presentaciones.

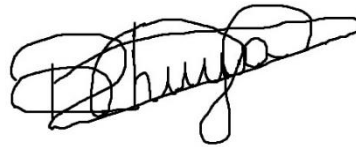
De igual manera agradezco a todos los profesores de carrera acuicultura, CENAIM y al Ph.D. Franklin Ormasa por sus enseñanzas y compartir sus conocimientos, espero algún momento devolver todo lo que he recibido de ustedes.

Finalmente, agradezco a mi padres, hermanos y amigos por su apoyo único e indispensable que fueron clave para esta etapa de mi vida. Y a todos los compañeros, amigos y conocidos de otras facultades que hice en ESPOL.

GRACIAS TOTALES

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Darwin Baltazar Chuya Zhangallimbay* y doy mi 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”



Darwin Chuya Zhangallimbay

AUTOR

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**WILFRIDO ERNESTO
ARGUELLO GUEVARA**

Wilfrido Argüello, Ph.D.

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
**JOSE JERRY
LANDIVAR
ZAMBRANO**

Jerry Landívar, M.Sc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación es el de establecer criterios que ayuden al dimensionamiento de la aeración con la producción mediante criterios e información técnica. La metodología que se empleó para el presente proyecto tuvo un diseño de investigación mixta, la cual permitió por medio de la investigación cualitativa establecer criterios que ayuden al dimensionamiento de la aeración. Para ello se realizó una encuesta donde a partir de la muestra correspondiente al número de empresas acuícolas (24) se procedió a la tabulación de los resultados en una hoja de cálculo de excel. Entre los criterios más empleados para el dimensionamiento de la aeración se determinó que la densidad de cultivo, hectárea de la piscina, eficiencia y el número de equipos son los más utilizados para dimensionar un sistema de aeración. Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que el 87.5% de los encuestados consideran que los cuatro criterios anteriormente nombrados son los más principales para el dimensionamiento de la aeración al momento de dimensionar con el fin de mejorar las producciones y las condiciones de los camarones para así optimizar los sistemas de aireación.

Palabras Clave: *dimensionamiento de la aeración, camarón blanco, producción, sistema de aeración.*

ABSTRACT

The objective of this research work is to establish criteria that will help the sizing of the aeration with the production by means of criteria and technical information. The methodology used for the present project was a mixed research design, which allowed, through qualitative research to establish criteria to help in the sizing of the aeration. For this purpose, a survey was carried out using a sample corresponding to the number of aquaculture companies (24), the results were tabulated in an excel spreadsheet. Among the most commonly used criteria for the sizing of the aeration system, it was determined that the culture density, hectare of the pool, efficiency and the number of equipment are the most used to size an aeration system. Finally, according to the results obtained, it was concluded that 87.5% of the respondents consider the four criteria mentioned above to be the most important for sizing an aeration system at the time of sizing in order to improve the production shrimp and conditions to optimize the aeration systems.

Key words: *aeration sizing, white shrimp, production, aeration system.*

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| RESUMEN..... | i |
| <i>ABSTRACT</i> | ii |
| ÍNDICE GENERAL..... | iii |
| ABREVIATURAS..... | v |
| SIMBOLOGÍA..... | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | viii |
| CAPÍTULO 1..... | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Descripción del problema..... | 2 |
| 1.2 Justificación del problema..... | 2 |
| 1.3 Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 3 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 3 |
| 1.4 Marco teórico..... | 4 |
| 1.4.1 Importancia de la aeración..... | 4 |
| 1.4.2 Sistemas de aeración..... | 5 |
| 1.4.3 Equipos de aeración..... | 5 |
| 1.4.3.1 Blower..... | 5 |
| 1.4.3.2 Alredor de paletas..... | 6 |
| 1.4.3.3 Venturi..... | 7 |
| 1.4.4 La aeración y su relación con la producción acuícola..... | 8 |
| 1.4.5 Importancia de los criterios para la implementación de la areación..... | 8 |
| CAPÍTULO 2..... | 11 |
| 2. METODOLOGÍA..... | 11 |
| 2.1 Temperatura..... | 11 |
| 2.2 Salinidad..... | 12 |
| 2.3 Oxígeno..... | 13 |
| 2.4 Ph..... | 14 |
| 2.5 Supervivencia..... | 15 |

| | |
|--|----|
| 2.6 Factor de conversión alimenticia | 16 |
| 2.7 Densidad del cultivo | 17 |
| 2.8 Hp/ha..... | 18 |
| 2.9 Peso de siembra | 19 |
| 2.10 Peso de la cosecha | 19 |
| 2.11 Días del cultivo | 20 |
| 2.12 Criterios utilizados por la industria para el dimensionamiento de la aeración. | 20 |
| CAPÍTULO 3..... | 30 |
| 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS..... | 30 |
| 3.1 Criterios para el dimensionamiento | 30 |
| 3.1.1 Eficiencia..... | 30 |
| 3.1.2 Parámetros ambientales | 31 |
| 3.1.3 Cultivo del camarón blanco | 32 |
| 3.1.4 Condiciones del estanque | 33 |
| 3.1.5 Densidad..... | 33 |
| 3.2 Análisis e interpretación de encuesta..... | 34 |
| 3.3 Ejemplo práctico del uso de la aeración | 37 |
| CAPITULO 4..... | 39 |
| 4. Conclusiones y recomendaciones | 39 |
| 4.1 Conclusiones..... | 39 |
| 4.2 Recomendaciones..... | 42 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 43 |
| APÉNDICE | 47 |

ABREVIATURAS

| | |
|------|--|
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| NACE | National Association of Corrosion Engineer |
| SSC | Electrodo de Plata Cloruro de Plata |
| CSE | Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre |
| HWL | High Water Level |
| LWL | Low Water Level |
| CIS | Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido |
| MPY | Milésimas de pulgadas por año |
| FCA | Factor de conversión alimenticia |
| SORT | Tasa patrón de transferencia de oxígeno |
| SAE | Eficiencia patrón del aireador. |

SIMBOLOGÍA

| | |
|-----|------------------------|
| mil | Milésima |
| mg | Miligramo |
| pH | Potencial de Hidrógeno |
| m | Metro |
| mV | Milivoltio |
| Cu | Cobre |
| Ni | Níquel |
| C | Carbono |
| Mn | Manganeso |
| P | Fósforo |
| MO | Materia orgánica |
| Hp | Horse power |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. 1: Clasificación de sistemas de aireación según su modelo operativo | 5 |
| Figura 1. 2: Tipo de Blowers (Perez, 2016) | 6 |
| Figura 1. 3: Areador de paletas | 7 |
| Figura 1. 4: Venturi (González, 2020)..... | 7 |
| Figura 3. 1: Criterios para considerar el dimensionamiento..... | 34 |
| Figura 3. 2: Consideraciones para la implementación de la aeración. | 35 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2. 1: Control de la temperatura según su condición en el estanque. | 12 |
| Tabla 2. 2: Valores óptimos y tolerantes de la salinidad para el camarón blanco. | 13 |
| Tabla 2. 3: Efectos del oxígenos según sus valores que se pueden encontrar en un cultivo. | 14 |
| Tabla 2. 4: Valores optimo del ph para el cultivo del camarón. | 15 |
| Tabla 2. 5: Porcentajes de supervivencia esperado de acuerdo al sistema de producción | 16 |
| Tabla 2. 6: Factor de conversión alimenticia según el peso del animal. | 17 |
| Tabla 2. 7: Densidad del cultivo de acuerdo al sistema de producción. | 18 |
| Tabla 3. 1: Formulas y unidades usadas para el cálculo del SOTR y SAE (Piñeros Roldan, Gutierrez Espinosa, Coelho, & Lapa, 2020). | 31 |
| Tabla 3. 2: Solubilidad del oxígeno de acuerdo con la salinidad y temperatura a una atmosfera de presión (760 mmHg). | 32 |
| Tabla 3. 3: Número de hp / ha para producir las libras objetivas. | 36 |
| Tabla 3. 4: Análisis de dos estanques con diferentes números de aireadores y hp/ha | 37 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) en estanques continentales abastecidos con agua de baja salinidad es una práctica creciente en todo el mundo. El principal desafío al que se enfrenta este método de producción de camarón es la variación en el crecimiento, la supervivencia y el rendimiento entre los estanques (Flores, 2020).

La acuicultura forma parte de los sectores de consumo humano de crecimiento rápido. Uno de los principales requisitos para hacer frente a la demanda actual de proteína de pescado es la intensificación de los cultivos. Dicha intensificación se realiza aumentando la densidad de siembra de animales para aumentar la productividad por unidad de superficie. Mantener una buena calidad del agua es de particular interés en los sistemas de acuicultura intensiva, los mismos que requieren de la aeración artificial empleando determinados equipos que permiten agregar oxígeno a la columna de agua, a través de una sucesión donde se transporta el agua para que tenga un contacto directo con el aire. Con este proceso, se permite que aumente el oxígeno y consiga la reducción de CO₂, a más de la exclusión del metano, sulfuro de hidrógeno y demás compuestos químicos que producen olor y sabor al agua (Arias, 2019).

Por otro lado, las altas densidades de población y el mayor uso de insumos como piensos granulados y medicamentos caracterizan el cultivo intensivo. La mayoría de los agricultores involucrados en la acuicultura son empresarios urbanos con negocios de élite y grandes corporaciones. Los propietarios de las fincas no siempre toman personalmente una participación en la gestión y, en cambio, contratan gerentes y personal técnico para tales acciones (Flores, 2020).

Por eso, se debe de invertir en equipos y maquinarias, además de personas capacitadas para el buen funcionamiento de las operaciones diarias. Con respecto a las maquinarias, una de las innovaciones son los sistemas de aeración, los cuales estimulan una mejor

calidad de vida dentro de los estanques y piscinas, debido a que este ayuda a reducir la mortalidad y el estrés de los camarones en su etapa de crecimiento (Aeration Industries Internacional , 2016).

1.1 Descripción del problema

En las operaciones de acuicultura intensiva y semi-intensiva, después de satisfacer las necesidades alimentarias del animal de cultivo, la baja concentración de oxígeno disuelto suele ser el primer factor importante que limita la producción. Por lo tanto, la aeración se vuelve esencial para permitir una mayor disponibilidad de oxígeno disuelto y soportar una mayor producción. La aeración es el medio más eficaz para aumentar la disponibilidad de oxígeno.

Es así que, para que exista el contacto entre el aire y el agua se necesita de los aireadores, mismos que mejoran la transferencia del oxígeno. El uso de aeración en estanques de acuicultura se está volviendo cada vez más común e intensivo. En estanques de cultivo con fondos de tierra, las tasas de aeración en la acuicultura basada en piensos pueden alcanzar los 25 - 30 hp/ha, pero en los estanques con tecnología de biofloc revestidos de geomembrana se pueden aplicar 100 hp / ha de aireación (Millán, 2020).

Aunque es obvio que aumentar la tasa de aeración aumentará la tasa de evaporación del estanque, no se ha estudiado la pérdida por evaporación que resulta del uso de aeración en los estanques de acuicultura o tanques al aire libre. Además, la evaporación es un proceso de enfriamiento y se desconoce el efecto de la aeración sobre la temperatura del agua en los sistemas de acuicultura (Méndez, 2019). Por lo tanto, este proyecto busca dar los criterios para el dimensionamiento de la aeración en la producción, del camarón blanco (*Penaeus vannamei*).

1.2 Justificación del problema

La pérdida de agua causada por la aeración debe tenerse en cuenta durante la fase de planificación de la granja, para permitir una mejor estimación de la capacidad requerida de

los equipos de agua a partir de los cálculos del presupuesto de agua. Además, la pérdida por evaporación aumenta la salinidad del agua, lo que puede afectar el crecimiento y la supervivencia del camarón cultivado.

Los aireadores mejoran la transferencia de oxígeno. Por eso, su uso en los estanques de acuicultura se está volviendo cada vez más demandado. La innovación en este sector permite a la industria camaronera maximizar sus ganancias, nuevas fuentes de empleo, generación de divisas y capital a emprendimientos locales, aspectos que favorecen para el desarrollo de nuevas oportunidades de los acuicultores; por lo cual es importante definir criterios que ayuden al dimensionamiento de la aeración en la producción del camarón blanco.

Con la implementación de los aireadores en el sistema de cultivo de camarones, se espera alcanzar los niveles de oxígeno disuelto en un rango óptimo para el crecimiento del camarón, además de mantener el fondo del estanque saludable conservando los procesos físicos y químicos en orden, previniendo la proliferación de bacterias que puedan perjudicar al camarón, ya que, sin estas acciones pueden reflejar bajos ingresos económicos y con ello la pérdida de cultivos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Establecer criterios que ayuden al dimensionamiento de la aeración con la producción mediante criterios e información técnica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las variables que interfieren en el dimensionamiento de la aeración en la producción del camarón blanco (*Penaeus vannamei*)
- Determinar los criterios más empleados para el dimensionamiento de la aeración.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Importancia de la aeración

La aireación se basa en un procedimiento que conlleva a purificar el agua, a través de una transformación donde el líquido tiene contacto directo con el aire, y mediante este proceso se consigue que el oxígeno se incremente, y se reduzca el contenido de CO₂, pero sobre todo la expulsión del metano, sulfato de hidrógeno y demás combinados orgánicos, que producen sabor y olor al agua. La aeración reduce la compactación, oxida el suelo y permite que el fondo del estanque se mantenga oxigenado evitando la proliferación de bacterias anaeróbicas (Arias, 2019). La importancia de la aeración es proporcionar y mantener la porción adecuada de oxígeno, dado que este elemento es esencial para el desarrollo de la vida, por encima y por debajo del agua. Para que un estanque y sus habitantes se mantengan sanos, es importante que en el agua circule la cantidad adecuada de oxígeno de acuerdo a la especie que se esté cultivando (Torres, 2017).

La calidad del agua manejada en la crianza de larvas de camarón es un elemento fundamental para el desarrollo del sistema de producción. Es así que esta cualidad refleja el excelente trabajo basado en buenas prácticas de manejo para la cadena reproductiva del camarón blanco (Valle S. , 2020). Sin embargo, la pérdida de la calidad del agua se puede dar por la inadecuada administración de los componentes utilizados para la producción de larvas de camarón, o a su vez por la forma natural en la que viene el agua, la limpieza de los tanques de recepción, el inadecuado diseño de la aeración en el estanque, la incorrecta alimentación de los nauplios, u otros factores que se presentan en el procedimiento (Garnica D., 2016).

Entre los diferentes puntos de advertencia que se presentan ante la falta de oxígeno, están los siguientes:

- Los camarones boquean en la superficie, normalmente a primera hora de la mañana.
- Olores desagradables en el estanque
- Cantidades excesivas de algas filamentosas

1.4.2 Sistemas de aeración

Para Arias (2019) utilizar la aeración para el proceso de tratamiento de aguas residuales es muy habitual, ya que, se lo puede realizar a través de lodos activados, tanques de homogenización y lagunas aireadas por diferentes sistemas (figura 1.1). En cada uno de estos sistemas se busca la transferencia del oxígeno desde el ambiente hasta la fase líquida, siendo primordial que la aeración, también con estos sistema se puede alcanzar la homogenización de la columna del agua, suspensión de los sólidos disueltos, enfriar o calentar el agua a tratar, diluir los gases en el líquido, etc.



Figura 1. 1: Clasificación de sistemas de aireación según su modelo operativo

1.4.3 Equipos de aeración

En una finca camaronera, se utilizan distintos equipos para un mejor rendimiento de camarón por unidad de área de estanque de producción. En el cultivo del camarón blanco se utilizan varios tipos de aeración, pero los siguientes son los más empleados, blowers, aireador de paletas y aireación mediante turbina o difusores (Venturi) cada uno con su diferente principio (Torres, 2017).

1.4.3.1 Blower

El blower tiene como propósito que la turbina del canal lateral se dirija según el impulso, dicho de otra manera, que la energía cinética se transfiere del rotor al medio vehiculado y de esta manera es transformada en presión. En las versiones de dos etapas ambas trabajan según el principio descrito (Perez, 2016).

Existen modelos que instalan las dos etapas en serie, con el objetivo de alcanzar una mayor presión diferencial final, y otros que las instalan en paralelo, con el objetivo de alcanzar un

mayor caudal. La compresión del gas se realiza de una manera totalmente exenta de aceite. No se necesita ni se permite una lubricación de la cámara de compresión (Perez, 2016).

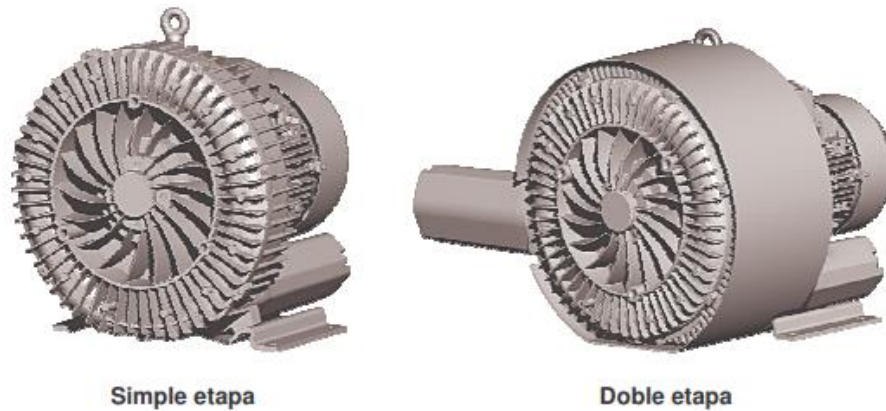


Figura 1. 2: Tipo de Blowers (Perez, 2016)

1.4.3.2 Aireador de paletas

Este tipo de aireador es el método más utilizado, además es uno de los dos sistemas más eficientes y prácticos aplicados en el cultivo del camarón. Estos aireadores funcionan inyectando aire atmosférico a elevada presión, por la cual se logra romper la fase líquida e ingresar el aire mediante burbujas, mismas que transportan el oxígeno atmosférico hacia el tanque.

Este tipo de aireador trabaja a poca profundidad, es decir, de 0.5 a 1.20 m de altura, pero una de sus ventajas es que, gracias a su movimiento horizontal, se logra abarcar grandes distancias, lo que le permite trabajar en estanques pocos profundos. Sin embargo, a menor profundidad, hay una menor mezcla de las aguas (Marcillo M., 2010).



Figura 1. 3: Aireador de paletas (Marcillo M., 2010)

1.4.3.3 Venturi

Un venturi es un dispositivo típicamente en forma de “T” el cual es instalado en dirección al flujo del agua y posee una reducción en la entrada y otra en la salida. Perpendicular al flujo existe una salida atmosférica, en el centro del dispositivo existe un espacio vacío denominado cámara de mezclado, donde se produce la presión diferencial que fuerza al aire a entrar en la cámara de mezclado y saturar el agua para luego ser expulsada (González, 2020).



Figura 1. 4: Venturi (González, 2020)

Estos derivan de los principios de mecánica de fluidos establecidos por Bernoulli, que en resumen establecen que un fluido circulando por un conducto cerrado conserva su energía a lo largo del recorrido y que su presión disminuye o aumenta en relación directa a la

velocidad del flujo, esta afirmación está acompañada de varias ecuaciones y experimentos que lo demuestran (González, 2020)

1.4.4 La aeración y su relación con la producción acuícola

La aeración es un mecanismo fundamental frente al uso de energía para el cultivo de camarón. Es así que, cerca de 4 millones de toneladas métricas (TM) de alrededor de 5 millones de TM de camarones peneidos criados en granjas en el 2016, procedieron de estanques aireados artificialmente. (Boyd, 2020)

La cantidad de aireación manejada en los estanques camaroneros no se ha analizado de forma metódica, sin embargo, los encargados de las camaroneras frecuentemente emplean una "regla empírica" donde incremento de 300 a 500 kg de producción de camarón demanda 1 hp de aireación (3.33 a 2.0 hp / TM camarón). Además, se logran generar inclusive 1,5 TM / ha de camarón sin aireación (Aeration Industries Internacional , 2016)

Existen motores eléctricos que utilizan aproximadamente 1 kWh (un kilovatio hora que es una unidad de energía equivalente a 3,6 megajulios) de electricidad por caballo de fuerza - hora de funcionamiento. La cantidad de energía utilizada por TM de camarón a una tasa de aireación de 2.5 hp / TM de camarón con aireadores operados en estanques por un promedio de 16 horas al día durante un período de crecimiento de 80 días (Boyd, 2020).

Las cantidades de electricidad (y energía) por hectárea aumentarán de manera constante a medida que aumente la meta de producción en TM por hectárea, pero la cantidad de energía aplicada por TM de camarón para la aireación es 11.5 GJ / TM ($2.5 \text{ kW} / \text{TM} \times 16 \text{ horas} / \text{día} \times 80 \text{ días} / \text{cultivo} \times 0,0036 \text{ GJ} / \text{kwh}$; GJ = gigajulio, una unidad de medida de energía) y constante en todas las intensidades de producción (Boyd, 2020)(Arias, 2019).

1.4.5 Importancia de los criterios para la implementación de la aeración

La aireación trata de tener los niveles óptimos de oxígeno en el agua alrededor ideal para este fin, se comete el error de pensar que todos son iguales. Para ello no se debe cometer

el principal error al momento de escoger un aireador, y es que todos son iguales, puesto que no es así. Todos los aireadores tienen diferentes características y existen criterios que deben ser observados para hacer una buena elección. Aquellos criterios se refieren a la eficiencia de los aireadores mecánicos, los cuales deben tener dos unidades importantes como es el SOTR (kg O₂/h) y el SAE (kg O₂/kwh) (Aeration Industries Internacional , 2016).

- SOTR (kg O₂/h): hace referencia a la Tasa Patrón de Transferencia de Oxígeno cuyas unidades son los kilogramos de oxígeno transferido en una hora - (kg O₂/h).
- SAE (kg O₂/kwh): Eficiencia Patrón del Aireador, las unidades son los kilogramos de oxígenos transferidos por cada kw hora de energía consumida - (kg O₂/kwh).

Frente a esto, la mayor parte de acuicultores se han preguntado ¿Cuántos aireadores por estanque se debe tener? Y la respuesta se engloba a cuatro aspectos:

Conocer el SOTR (kg O₂/h) del aireador que se va a utilizar.

- Respiración del agua.
- Respiración animal.
- Respiración del fondo.

Con estos aspectos, ya se conoce cuantos aireadores contener, de tal forma que el número de aparatos que se vaya a colocar será proporcional a la salinidad y el SOTR será proporcional a la demanda total de O₂ y a la altitud.

Por tanto, el uso de los aireadores facilita que los camarones se desarrollen con mayor fuerza su estructura fisiológica en menos tiempo. Debido a que estos aparatos mantienen la temperatura del agua en su estado ideal balanceando el ph (Aeration Industries Internacional , 2016). Para hacer más eficiente el uso de aeración se requiere tomar en cuenta los siguientes puntos:

- No instalar más aireación de la necesaria. Una buena regla es aproximadamente 2 hp/t para los aireadores de paletas.
- Reducir el uso de energía haciendo coincidir los motores o los motores con las cargas impuestas por los aireadores.
- Reducir aún más el uso de energía al programar la operación por etapas con la proporción de la capacidad de aireación instalada en uso y las horas diarias de operación aumentando desde la siembra hasta la cosecha con respecto a la cantidad de biomasa de camarones.
- Promover el uso de aireadores fabricados en fábrica en lugar de depender de aireadores hechos en granjas de piezas de otros equipos.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el presente apartado, se muestran los criterios utilizados para optimizar la oxigenación del cuerpo de agua, donde se ha considerado las variables ambientales que causan interferencias. Además, los parámetros que se mencionan a continuación son los necesarios para dimensionar la aeración para el correcto cultivo de los camarones.

2.1 Temperatura

La temperatura, medida de calor o frío expresada en términos de escalas arbitrarias, que indica la dirección en la que fluirá espontáneamente la energía calorífica, es decir, de un cuerpo más caliente (uno a mayor temperatura) a un cuerpo más frío (uno a menor temperatura). La temperatura no es el equivalente de la energía de un sistema termodinámico; por ejemplo, una cerilla encendida está a una temperatura mucho mayor que un iceberg, pero la energía térmica total contenida en un iceberg es mucho mayor que la energía contenida en una cerilla. La temperatura, al igual que la presión o la densidad, es una propiedad intensiva, independiente de la cantidad de materia considerada, a diferencia de las propiedades extensivas, como la masa o el volumen. (RAE, 2022)

La temperatura es un parámetro controlador de diferentes factores químicos y biológicos. Para el cultivo de camarón los valores óptimos (Tabla 2.1.) permiten un buen desarrollo en su ciclo de cultivo. La permanencia de mantener las condiciones ideales de temperatura suele estar relacionado con estaciones de año (invierno y verano). La temperatura es una de las variables más importantes debido a que interfiere para un desarrollo acelerado dentro del rango óptimo de la especie, permitiendo la disminución del tiempo de producción y una mejor actividad alimenticia con el persistente ahorro del balanceado (Calderer, 2001).

Tabla 2. 1: Control de la temperatura según su condición en el estanque.

| | Condición | Control |
|---|----------------------------|--|
| 1 | Temperatura alta (33°C) | Incrementar el recambio de agua dado que la temperatura T°C del canal debe ser más baja. |
| 2 | Temperatura baja (25°C) | Bajar el cambio de agua para aprovechar que el agua se calienta mediante el sol. |
| 3 | Estratificación | Manipular la estratificación moviendo el agua con la asistencia de un aireador de superficie, con el fin de girar en la piscina mediante un motor. |

Fuente: (FAO, 2016)

2.2 Salinidad

Es la cantidad total de materia sólida disuelta en un Kg de agua de mar, cuando todo el carbonato se ha convertido en óxido, todo el bromo y yodo en cloro, y la materia orgánica está completamente oxidada. Esta cantidad de materia sólida es expresada en gramos y la unidad de la salinidad se mide en g/L; ‰ o partes por mil (ppt) (Vives, 2003).

El agua dulce tiene poca sal, normalmente menos de 0,5 ppt. El agua con una salinidad de entre 0,5 y 17 ppt se denomina agua salobre, que se encuentra en estuarios y aguas marino-costeras (Martínez, 2020). Puede ser confuso, ya que a partir de 20 ppt es agua de mar según varios conceptos. El agua de mar tiene una media de 35 ppt, pero puede oscilar entre 20 y 40 ppt. Esta variación se debe a las diferencias en la evaporación, la precipitación, la congelación y la escorrentía de agua dulce de la tierra en diferentes latitudes y lugares. La salinidad del agua de mar también varía según la profundidad del agua porque la densidad y la presión del agua aumentan con la profundidad. El agua con una salinidad superior a 50 ppt es agua salada, aunque no muchos organismos pueden sobrevivir en una concentración de sal tan alta. (Martínez, 2020)

Aunque muchos organismos marinos son capaces de soportar los cambios de salinidad regulando o conformándose, siguen estando limitados por rangos tolerables para cada especie. (Mata, 2020)

Tabla 2. 2: Valores óptimos y tolerantes de la salinidad para el camarón blanco.

| RANGOS DE TOLERANCIA | |
|----------------------|------------------------|
| Pueden sobrevivir | De 0 ppm hasta 50 ppm. |
| Crecimiento óptimo | De 15 ppm a 25 ppm. |

Fuente: (FAO, 2016)

La salinidad que se halla dentro de los estanques de cultivo de camarón puede variar. Puede incrementarse con la evaporación o reducir con la lluvia. No obstante, aunque el camarón puede vivir en agua con salinidades distintas, no puede sobrellevar un cambio brusco de salinidad dentro del rango de 0 a 50 ppm. La aclimatación de los camarones a una salinidad nueva debe ser lenta (García, Hernández, & Narváez, 2020).

2.3 Oxígeno

El oxígeno forma compuestos por reacción con prácticamente cualquier otro elemento, así como por reacciones que trasladan a los componentes de sus combinaciones entre sí; en muchos casos, estos métodos van conducidos de la evolución del calor y la luz y en tales casos se denominan combustiones. Su compuesto más importante es el agua (Brasted, 2020).

Con la luz del sol, las algas y el plancton desarrollan la fotosíntesis, y esta acción permite el aumento de la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Sin embargo, en la noche, en los días de lluvia o días nublados, es probable que el agua no adquiera el oxígeno suficiente para los camarones (Flowen, 2020).

Cuando el valor de oxígeno disuelto se encuentra en un nivel bajo, los camarones se trasladan hacia la superficie, lo que puede conducir al estado letárgico o hasta la muerte de los mismos. Sin embargo, cuando el agua está saciada en oxígeno, el aire ingresa al sistema de circulación sanguínea del camarón, provocado el inicio de la enfermedad llamada “burbuja de gas” provocando la muerte de los camarones (Flowen, 2020).

Tabla 2. 3: Efectos del oxígeno según sus valores que se pueden encontrar en un cultivo.

| Ítem | Oxígeno | Rango | Efectos |
|------|--------------------|------------------------|--|
| 1 | Oxígeno | <3 ppm | Incrementar la renovación de forma rápida con suficientes entradas y salidas. No se debe alimentar a los camarones No se debe fertilizar los estanques |
| 2 | Oxígeno muy bajo | 3 ppm $<(O_2) < 6$ ppm | No existen algas suficientes para prevenir una fertilización. Realizar un cambio rotundo de agua para la noche y para el día siguiente. |
| 3 | Oxígeno tarde bajo | >12 ppm | Adicionar la renovación dado que pueden nacer excesivas algas que pueden consumir todo el oxígeno otorgado para los camarones. |

Fuente: (FAO, 2016)

2.4 Ph

El pH, es una medida cuantitativa de la acidez o basicidad de las soluciones acuosas u otros líquidos. El término, es utilizado en química, biología y agronomía, donde convierte los valores de la concentración del ion hidrógeno, la cual se encuentra entre 1 10⁻¹⁴ equivalentes a gramo por litro (en números es de 0 a 14). En agua pura, el ion hidrógeno puede presentarse de 10⁻⁷ que equivalentes-gramos por litro, llegando a decir que tiene un ph de 7 (Delhipage, 2020).

El pH se suele medir con un medidor de pH, que lo convierte en lecturas de pH la diferencia de fuerza electromotriz (potencial eléctrico o tensión) esto se da por electrodos colocados en la solución que se va a analizar. Fundamentalmente, un medidor de pH se basa en un voltímetro conectado a un electrodo que responde al pH y a un electrodo de referencia (invariable) (Delhipage, 2020).

El pH es una medida de la acidez (iones hidrógeno) o la alcalinidad del agua. Por ende, es fundamental conservar un pH estable dentro de un rango seguro puesto que perturba el metabolismo y los procesos fisiológicos de los camarones blancos. Al no contar con los valores adecuados, provocan estrés a los camarones, así como el incremento de la

sensibilidad para contraer enfermedades, lo que conlleva a reducir los niveles de producción y ocasionar un desarrollo defectuoso e inclusive la muerte (BIOMIN, 2017).

Generalmente en el cultivo de camarón los valores bajos de pH se encuentran en la noche debido a la respiración y la producción de CO₂ por parte de organismos que están en el estanque, mientras que durante el día el pH aumenta, estas variaciones no deben exceder de 0.5. Es vital mantener un rango estable ya que las variaciones pueden afectar al metabolismo y otros procesos fisiológicos del camarón.

Tabla 2. 4: Valores óptimo del pH para el cultivo del camarón.

| pH | | |
|----------------|------------------------|---------------------------|
| Valor estándar | Frecuencia de medición | Procedimiento de medición |
| pH | 7.5 – 8.5 | Dos veces al día. |

Fuente: (BIOMIN, 2017)

Si la temperatura del agua es más alta, los camarones son aún más sensibles a las alteraciones de pH. Los signos de un pH subóptimo en un estanque de acuicultura son los siguientes:

- Comportamiento natatorio inusual.
- Muda continua (pH bajo)
- No muda (pH alto)
- Crecimiento deficiente del fitoplancton y el zooplancton (BIOMIN, 2017)

2.5 Supervivencia

La supervivencia son las técnicas que utilizan los animales para mantenerse vivos y seguros de cualquier evento no deseado que le provoque la muerte. (Atacama, 2018)

En un cultivo de camarón la supervivencia es el resultado de los controles semanales de acuerdo a los muestreos, los valores que se obtienen son una referencia de cómo se encuentra la población de la piscina con respecto a la densidad de siembra. Una de las estrategias para la acuicultura es la aplicación de medicamentos homeopáticos, como el

Phosphoricum acidum y *Silicea terra*, puesto que ha demostrado ser exitosa para promover el crecimiento, elevar la supervivencia y controlar enfermedades en el cultivo del camarón blanco (Mazón, Salas, & Teles, 2018).

Por otro lado, para Aragón, Córdova & Trías (2000) “la supervivencia forma parte de las medidas biológicas que tienen mayor relevancia para la producción del camaron dentro del estanque, además, es dependiente de la densidad”.

Tabla 2. 5: Porcentajes de supervivencia esperado de acuerdo al sistema de producción

| Porcentajes de supervivencia | | |
|------------------------------|-----------------|------------|
| N° | Sistema | Porcentaje |
| 1 | Extensivo | 50% |
| 2 | Semi intensivo | 75% |
| 3 | Intensivo | 75% |
| 4 | Hiper intensivo | 80% a 85% |

Fuente: COSAES (2012) citado por (Instituto Nacional de Pesca, 2018)

2.6 Factor de conversión alimenticia

La cantidad de alimento que se requiere para la producción de una unidad de carne (la masa de la entrada dividida por la salida) se conoce como Factor de Conversión de Alimentos (FCA) donde se discuten en términos de eficiencia. (Loza, 2019)

El FCA es la base de todas las fórmulas de alimentación, ya que los piensos se componen para favorecer un crecimiento rentable y saludable de los camarones. Por lo tanto, los piensos deben estar formulados de tal manera que promuevan el crecimiento y el peso de los camarones de acuerdo al gramaje basandose en las necesidades nutricionales que estos animales requieren. (Loza, 2019)

La comparación de la cantidad de alimento suministrado y el desarrollo del camarón consiente que sea calculado la tasa o factor de conversión alimenticia, siendo una medida del peso del camarón producido por kg. de alimento abastecido. El factor de conversión alimenticia varia durante el ciclo de producción y entre las poblaciones (Urey, 2009).

Tabla 2. 6: Factor de conversión alimenticia según el peso del animal.

| Factor de Conversión Alimenticia | | | |
|----------------------------------|-----------|-------------------------------|--|
| | Rango | Peso | Rango límite |
| 1 | 0.6 – 1.0 | Camarones hasta 10 gr de peso | Idealmente la F.C.A. no debe ser mayor de 1.5. |
| 2 | 1.0 – 1.3 | Tallas mayores a 10 gr | |

Fuente: (Talavera, Sánchez, & Zapata, 1997)

Las mejores sugerencias que pueden aplicar los jefes de producción para mejorar la FCA es incrementar el número de comederos, aumentar el número de dosis diarias de alimento y si es posible entregando en porcentajes teniendo en cuenta la actividad del camarón (menor cantidad de alimento en el día que durante la tarde o noche); mejor preparación y manejo del fondo y agua de los estanques para estimular el desarrollo de la productividad primaria, puesto que son variables que ayudan a obtener una mejor producción (Talavera, Sánchez, & Zapata, 1997).

2.7 Densidad del cultivo

Las densidades de cultivo demasiado bajas (4-10 PL/m²) o demasiado altas (300-450 PL/m²) pueden provocar pérdidas económicas, cuando la densidad es demasiado baja cada animal puede desarrollarse mejor, para alcanzar un buen rendimiento óptimo (Anguas, 2018)

Si la densidad de cultivo es demasiado alta, los animales pueden competir entre sí, lo que se conoce como competencia intraespecífica. En esas condiciones, el rendimiento de las camarones se convierte en un factor limitante para el máximo rendimiento del cultivo. (Miarnau, 2020)

Por lo tanto, es importante utilizar la densidad adecuada, teniendo en cuenta que la densidad que proporciona el mayor rendimiento y la densidad que proporcione los mayores ingresos pueden ser diferentes. Los cultivadores deben buscar tanto el rendimiento como los ingresos óptimos a la hora de equilibrar la densidad de cultivo. (Miarnau, 2020)

En la camaronicultura, existe un sistema de cultivo que integra los siguientes grupos: Extensivo, semi-intensivo, intensivo e hiper-intensivo. Esta clasificación está acorde a la densidad y tecnificación (aireación, tipo alimento, porcentaje de recambio de agua, entre otros) manejada en la producción del camarón. El cultivo se realiza cerca de la línea de costa donde se encuentran esteros, lagunas costeras, bahías o bien escolleras, en zonas con una buena fuente de abastecimiento de agua (FAO, 2021). Las densidades de cultivo varían según el grupo:

Tabla 2. 7: Densidad del cultivo de acuerdo al sistema de producción.

| Densidad de cultivo | |
|----------------------------|-----------------------------|
| Densidad | Rango |
| Extensivo | 4-10 PL/m ² |
| Semi-intensivo | 10-30 PL/m ² |
| Intensivo | 60-300 PL/m ² |
| Híper intensivo | 300-450 PL/m ² . |

Fuente: (Instituto Nacional de Pesca, 2018)

2.8 Hp/ha

En la mayoría de los países, los aireadores eléctricos flotantes de 1 a 2 hp con ruedas de paletas de plástico se instalan comúnmente en estanques camaroneros.

En el cultivo de camarón asiático, también es popular montar ruedas de paletas en flotadores y conducirlos con una unidad de potencia instalada en el dique del estanque. Comúnmente conocidos como aireadores de brazo largo, estos dispositivos funcionan con motores eléctricos de 2 a 5 hp o motores diésel de 7,5 a 16 hp. Los fabricantes de aireadores ofrecen aireadores de brazo largo como unidades prefabricadas, pero los productores suelen montar aireadores de brazo largo a partir de piezas de aireador (Mazón, Salas, & Teles, 2018).

2.9 Peso de siembra

Comúnmente, el "tamaño" de las postlarvas en el mercado se considera su edad cronológica, posteriormente de consumir el período de metamorfosis. Un P.L.10, por ejemplo, es un camarón que pasó por la metamorfosis completa (que involucra las etapas de nauplios, zoea y mysis) y ha sido postlarva durante 10 días. En este tiempo, el camarón ha perfeccionado su desarrollo morfológico y fisiológico y el proceso estándar de cría de larvas quedaría consumado (Aqua Negocios S.A., 2015). A esta edad (P.L.10), los animales ya están en condiciones de ser sembrados en estanques de las camaroneras, estos pueden ser raceways, pre criaderos o directamente en una piscina de engorde, generalmente a esa edad su peso suele estar entre 150 a 300 animales por cada gramo (pl/g).

Factores como la adaptación de especies, el mejoramiento genético, la diversificación y la modernización de la producción han dado lugar a avances significativos en las postlarvas del camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) que llegan a las granjas camaroneras desde criaderos comerciales. El P.L.10 de hace 20 años definitivamente no es el mismo producto que se ve hoy (Aqua Negocios S.A., 2015).

En general, el acuicultor que trabaja con este producto busca un material de siembra más fuerte, que pueda aportar más tolerancia al manejo de la población y una mayor ganancia de peso durante los primeros días en el estanque (Aqua Negocios S.A., 2015).

2.10 Peso de la cosecha

A medida que aumenta la tasa de crecimiento y se intensifica la producción, otros rasgos relacionados con la calidad y uniformidad del producto final ganan importancia tanto para los consumidores como para los productores. Los camarones se clasifican de acuerdo con los estándares que se definen en evaluaciones de marketing de alta calidad, y se determinan principalmente por sus características físicas y uniformidad de tamaño (Torres, 2017)

En particular, los camarones se clasifican de acuerdo con su tamaño y recuento por unidad de peso. Los precios entre las categorías de tamaño varían ampliamente, y una mayor cantidad de camarones por unidad de peso (es decir, de tamaño más pequeño) resulta en

una reducción del precio. Por lo tanto, aumentar la consistencia del tamaño dentro de un rango de recuento específico puede aumentar los márgenes de beneficio en la industria del camarón.

Además, una gran variación en el tamaño corporal puede causar competencia entre los camarones (jerarquías de dominancia), lo que afecta negativamente la tasa de crecimiento, la mortalidad y la eficiencia alimentaria, y aumenta la necesidad de prácticas de manejo como la clasificación por tamaño. Otro beneficio indirecto de mejorar la uniformidad es su potencial para mejorar la resiliencia, que se define como la capacidad de un animal para mantener el rendimiento a pesar de las perturbaciones ambientales (Solís, 2020)

2.11 Días del cultivo

Los días de cultivo están relacionados de acuerdo con los criterios de cada empresa, esto quiere decir que no existe un valor exacto establecido. Estos suelen estar ligados a los precios que oferte el mercado de acuerdo con las tallas o pesos requeridos en plantas procesadoras. Generalmente se pueden llegar a tener 4 ciclos anuales donde depende de otras variables como, por ejemplo:

- Días de secado de la piscina
- Incremento semanal
- Talla comercial
- Calidad del alimento suministrado en el ciclo
- Parámetros físicos y químicos

2.12 Criterios utilizados por la industria para el dimensionamiento de la aeración.

Entre los criterios que se ha llegado a identificar frente al dimensionamiento de la aireación en el cultivo de camarón blanco se encuentran los siguientes:

- El oxígeno disuelto forma parte de las medidas de calidad de agua más importante que van a limitar el desarrollo y supervivencia de los camarones blancos.

- La salinidad es otro criterio que se debe tener en cuenta para el monitoreo de los estanques a cielo abierto.
- Para un buen crecimiento y supervivencia de los camarones blancos se debe tener los estanques en condiciones adecuadas.
- El uso adecuado de los sistemas de aireación mecánica optimiza las escenarios de la calidad de agua dentro de los estanques.
- Utilizar densidades de siembra que no comprometan la capacidad del estanque (biomasa).
- Las densidades de siembra de camarón deben estar planeadas para optimizar la productividad y minimizar costos.
- Tener un adecuado nivel de agua en el estanque.
- Implementar técnicas de manipulación y manejo de las postlarvas, enfocadas a la reducción del estrés y de la mortalidad. (Cuéllar, Lara, & Morales, 2010)

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La metodología empleada para el presente proyecto comprendió un diseño de investigación mixta, que permitió mediante la investigación cualitativa establecer criterios e información técnica que ayuden al dimensionamiento de la aeración con la producción. Asimismo, que ayude a caracterizar y describir las variables que interfieren en el dimensionamiento de la aeración en la producción del camarón blanco (*Penaeus vannamei*).

Además, este proyecto utilizó la revisión documental que “es utilizada para evaluar un conjunto de documentos debido al contenido que esta posee, o para crear una narrativa más amplia a través del estudio de múltiples documentos que rodean un evento o individuo” (Hernández, Fernández, & Batista, 2014). La información recabada en el estudio es de fuente primaria debido a los instrumentos y técnicas de medición utilizados.

3.1 Criterios para el dimensionamiento

Son numerosos los criterios que se deben tener en cuenta antes de la implementación de un sistema de aireación en un cultivo de camarón blanco, para dimensionar es necesario considerar criterios como eficiencia, costos, mantenimientos de equipos, diseño y dimensiones del estanque, la productividad objetivo a producir entre otros (Piñeros Roldan, Gutierrez Espinosa, Coelho, & Lapa, 2020). Para este proyecto se seleccionaron los más importantes:

3.1.1 Eficiencia

Para implementar un sistema de aireación eficiente es primordial conocer la cantidad de oxígeno a transferirse al estanque y esto se puede conocer mediante el SOTR (Tasa Patrón de Transferencia de Oxígeno) y el SAE (Eficiencia Patrón del Aireador) de cada equipo. Para determinar el SAE y SOTR se deben emplear las siguientes formulas:

Tabla 3. 1: Formulas y unidades usadas para el cálculo del SOTR y SAE (Piñeros Roldan, Gutierrez Espinosa, Coelho, & Lapa, 2020).

| Variable | Ecuación | Unidad |
|-------------|---|-----------------------------|
| $KlaT$ | $\frac{1,1}{t(70\%) - t(10\%)}$ | h^{-1} |
| $KlaT_{20}$ | $KlaT \times 1,023^{(20-T)}$ | h^{-1} |
| $SORT$ | $KlaT_{20} \times Cs \times V \times 10^{-3}$ | $Kg O_2 h^{-1}$ |
| SAE | $\frac{SOTR}{Potencia\ del\ motor\ (kw)}$ | $Kg O_2 (Kw \cdot hr)^{-1}$ |

Donde:

$t(70\%)$: tiempo transcurrido para lograr el 70% de saturación del O_2

$t(10\%)$: tiempo transcurrido para lograr el 10% de saturación del O_2

T : temperatura del agua.

$KlaT$: coeficiente de transferencia de oxígeno a la temperatura del cuerpo de agua.

$KlaT_{20}$: coeficiente de transferencia del agua a 20 °C.

Cs : concentración de OD (mg/L) a 20 °C.

V : volumen del estanque.

Este criterio es importante al momento de dimensionar un sistema de aeración dado que permite elegir un equipo en base a su SOTR y SAE el cual representa la eficiencia que tendrá el sistema de aireación (Piñeros Roldan, Gutierrez Espinosa, Coelho, & Lapa, 2020).

3.1.2 Parámetros ambientales

Las condiciones ambientales como la temperatura y salinidad están ligadas a la solubilidad del oxígeno, estos factores ambientales influyen en la variabilidad del requerimiento del oxígeno por los camarones y en los procesos biológicos dentro del cultivo (Vinatea Arana, 20). Por ejemplo, si la temperatura aumenta, la solubilidad del oxígeno disminuye. Además, la salinidad al momento de seleccionar los aparatos de aeración juega un rol fundamental, dado que no siempre los materiales con los que son construidos permiten emplearlos en todos los cultivos, en casos como agua salada, salobre y dulce (Piñeros Roldan, Gutierrez Espinosa, Coelho, & Lapa, 2020). A continuación, se explica cuatro casos que están

relacionados directamente con la saturación del oxígeno de acuerdo con la temperatura y salinidad:

- Si la salinidad aumenta y la temperatura disminuye, la solubilidad del oxígeno disminuye.
- Si la salinidad disminuye y la temperatura aumenta, la solubilidad del oxígeno disminuye.
- Si la temperatura y la salinidad disminuyen, la solubilidad de oxígeno aumenta.
- Si la salinidad y la temperatura aumenta, la solubilidad del oxígeno disminuye.

Tabla 3. 2: Solubilidad del oxígeno de acuerdo con la salinidad y temperatura a una atmosfera de presión (760 mmHg).

| Temperatura (°C) | Salinidad (‰) | | | | |
|------------------|---------------|------|------|------|------|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 0 | 14.6 | 13.6 | 12.7 | 11.9 | 11.1 |
| 5 | 12.7 | 11.9 | 11.1 | 10.4 | 9.8 |
| 10 | 11.2 | 10.5 | 9.9 | 9.3 | 8.7 |
| 15 | 10.0 | 9.4 | 8.9 | 8.3 | 7.8 |
| 20 | 9.0 | 8.5 | 8.0 | 7.6 | 7.1 |
| 25 | 8.2 | 7.7 | 7.3 | 6.9 | 6.5 |
| 30 | 7.5 | 7.1 | 6.7 | 6.3 | 6.0 |

Fuente: (Vinatea Arana, 20)

Finalmente, es sustancial identificar la salinidad y la temperatura del cuerpo de agua para estimar la eficiencia que tendrán los equipos que se deseen implementar dado que la transferencia del oxígeno disminuirá a razón que la concentración de oxígeno se aproxime a su punto de saturación.

3.1.3 Cultivo del camarón blanco

Para cada fase en un cultivo del camarón blanco existen equipos y un sistema de aireación diferente de acuerdo con sus etapas. La disponibilidad de oxígeno para la especie dependerá de la tasa de respiración de la producción primaria, bacterias aeróbicas, materia orgánica y las reacciones químicas que requieren de oxígeno.

El oxígeno que es inyectado de forma natural o artificial (equipos de aireación) es aprovechado en un 55% por la respiración del fondo, 40% por la columna de agua y solamente el 5% por el cultivo objetivo (Osiris Carranza, 2020). Al dimensionar un sistema de aireación se debe conocer la respiración del estanque para así implementar el número de equipos necesarios que proporcionarán la cantidad necesaria de oxígeno para los camarones evitando así eventos de hipoxia y anoxia. El peso en los camarones es un elemento que incide directamente en el consumo de oxígeno. En los camarones de gramaje el consumo de oxígeno es mayor para sus procesos metabólicos (Osiris Carranza, 2020).

3.1.4 Condiciones del estanque

Las estructuras y formas del estanque en un cultivo de camarón pueden variar de acuerdo con el sistema de producción, generalmente las estructuras son de tierra o metálicas con recubiertas de geomembranas (liner), esta última se utiliza más en taques denominados raceways y en cultivos intensivos. La oxigenación en estos estanques se sujeta a la altura de agua y del tipo de aparato a usar. En estanques que son superiores a una hectárea es indispensable identificar la ubicación ideal de los equipos para disminuir el efecto de pérdida de eficiencia de transferencia del oxígeno entre el equipo anterior (Vinatea Arana, 20). Además, la ubicación ayudará al movimiento del agua y a mantener en suspensión los sólidos que se encuentren dentro de agua evitando así la precipitación de la materia orgánica.

3.1.5 Densidad

Al implementar un sistema de aireación, la densidad es una variable importante para evitar alguna emergencia futura, los eventos de hipoxia o bajones de oxígeno generados por la falta de este gas en el cuerpo de agua suelen generar estrés y mortalidades en el cultivo (Osiris Carranza, 2020).

3.2 Análisis e interpretación de encuesta

A partir de la muestra correspondiente al número de empresas acuícolas (24) se ha procedido a la tabulación de los resultados en la hoja de cálculo de Excel, que consistió en exponer aquellos datos en función de las preguntas de la encuesta sobre el dimensionamiento de la aeración en la producción de camarón blanco (*Penaeus vannamei*).

A continuación, se exponen los resultados obtenidos de la encuesta, realizadas en el programa de Excel para organizar, filtrar y visualizar cantidades de datos. Su uso más frecuente es la parte metodológica de la investigación, en este sentido, se han considerado tres interrogantes importantes de ocho preguntas realizadas:

¿Qué criterios considera importantes para el dimensionamiento de aeración?

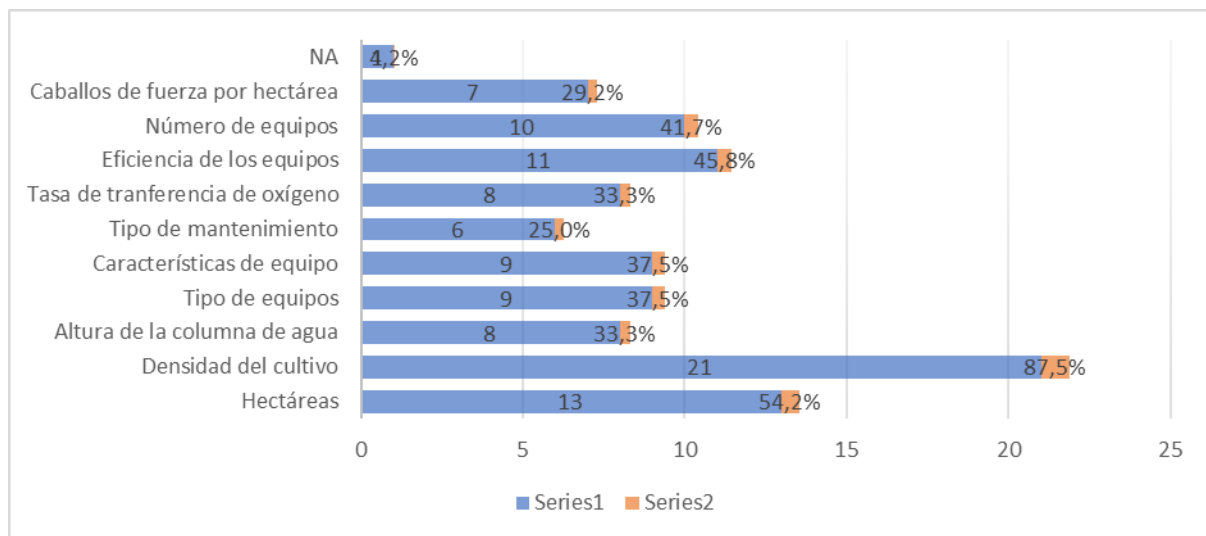


Figura 3. 1: Criterios para considerar el dimensionamiento.

Elaborado por: Chuya, 2021

Fuente: Investigación

Análisis e interpretación

Frente a la pregunta expuesta sobre los criterios para el dimensionamiento de aeración, se evidencia que el 87,5% que corresponde a 21 encuestados afirman que la densidad del cultivo es el criterio más importante para el dimensionamiento de aeración, puesto que, una buena densidad depende de la talla y edad proyectada para cosechar. Además, el 54,2%

mencionan que las hectáreas es el criterio principal, dado que a más hectáreas mayor producción de camarón blanco y mayores ganancias, no obstante, el 45,8% aseguran que la eficiencia de los equipos es uno de los puntos clave para el cultivo, porque si no se tiene un buen funcionamiento del equipo, los camarones no se desarrollan y mueren, por ello, se debe considerar los tipos y características de los equipos. Además, el 33,3% de encuestados, afirman que la tasa de transferencia de oxígeno es el criterio fundamental, ya que la baja transferencia afecta directamente al crecimiento de los camarones a más de la salud de los organismos.

Considera usted que la implementación de la aeración se da en función de:

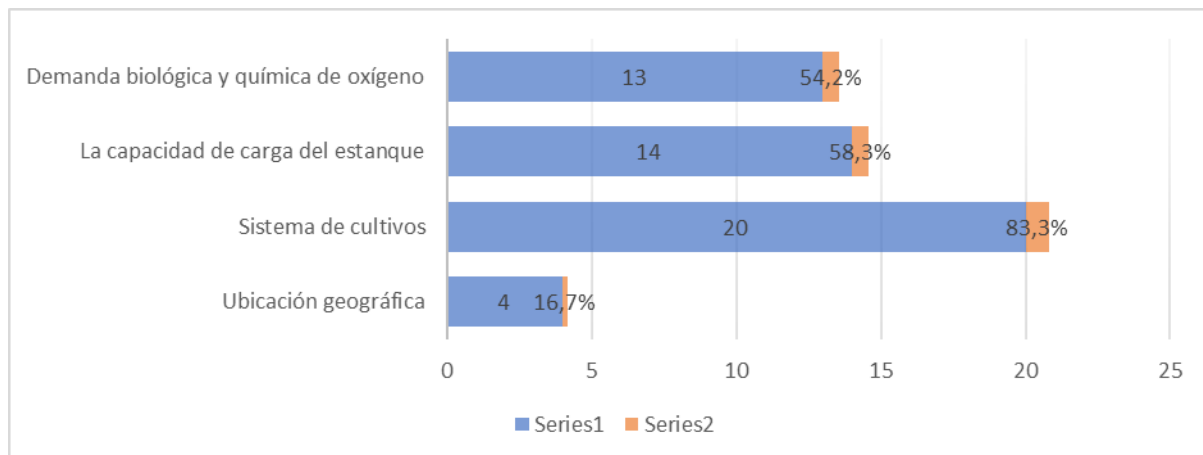


Figura 3. 2: Consideraciones para la implementación de la aeración.

Elaborado por: Chuya, 2021

Fuente: Investigación

Análisis e interpretación

Frente a la pregunta expuesta sobre el motivo de implementación de la aeración, se puede evidenciar que el 83,3% afirma que el sistema de cultivo es la principal razón para implementar la aeración, con el fin de mejorar las condiciones de los camarones y así optimizar su alimentación. De igual manera, el 58,3% aseguran que la capacidad de carga del estanque es uno de los motivos para implementar la aeración, dado que, las altas densidades ocasionan deficiencia del oxígeno afectando al crecimiento del camarón. Sin embargo, el 54,2% menciona que es necesario considerar la demanda biológica y química

de oxígeno al momento de implementar este sistema, no obstante, el 16,4% afirma que la ubicación geográfica es otra razón para la implementación de la aeración, para lo cual se debe tener en cuenta las corrientes de viento.

¿Cuántos hp / ha emplea para producir sus libras objetivos?

Tabla 3. 3: Número de hp / ha para producir las libras objetivo.

| Hp/ha | Lb/ha |
|-------|-------|
| 4 | 9000 |
| 8 | 12000 |
| 4 | 3200 |
| 12 | 20000 |
| 5 | 7000 |
| 6 | 9000 |
| 18 | 13000 |
| 6 | 5000 |
| 8 | 6000 |
| 30 | 10000 |
| 18 | 14000 |
| 16 | 13000 |
| 4 | 6000 |

Elaborado por: Chuya, 2021

Fuente: Investigación

Análisis e interpretación:

Frente a la pregunta expuesta sobre el número de hp/ha para producir las libras objetivas en las empresas, se puede observar que con 4 hp/ha una empresa produce 9000 lb/ha, a diferencia de otra que utiliza los mismos 4 hp/ha, pero solo produce 6000 lb/a y otra con los mismos 4 genera 3200 lb/ha siendo la diferencia la calidad de los camarones.

Por otro lado, para una nueva empresa acuícola con 5 hp/ha genera 7000 lb/ha, siendo un valor considerable frente a lo utilizado. Sin embargo, otra empresa con 6 hp/ha produce 9000 lb/ha alcanzado una cantidad superior a la primera empresa. Estos valores son los

más bajos que utilizan las empresas acuícolas para el cultivo del camarón blanco, generando de igual manera cantidades bajas de producción. No obstante, otras empresas utilizan entre 12 a 16 hp/ha logrado obtener un total de 20000 y 13000 lb/ha respectivamente.

3.3 Ejemplo práctico del uso de la aeración

Para que el proyecto tenga mayor veracidad frente a los resultados expuestos se ha revisado un ciclo de producción de dos piscinas en una empresa camaronera teniendo en cuenta los criterios de aeración que se han dado. Para ambos casos se cuenta con aeración mecánica para corregir las deficiencias del oxígeno disuelto, tomando en cuenta los criterios que se han dado.

Tabla 3. 4: Análisis de dos estanques con diferentes números de aireadores y hp/ha

| | PS15A2021 | PS5A2021 |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Densidad | 24 animales/m ² | 24 animales/m ² |
| Hectáreas | 4.84 ha | 4.16 ha |
| Batimetría | 167 cm | 172 cm |
| Número de equipos | 4 | 2 |
| Tipo de aireador | Paletas | Paletas |
| Hp/ha | 2.27 | 1.32 |
| Horas operativas | 24h00 | 24h00 |
| Mantenimiento | 1 cd/semana | 1 cd/semana |
| Sobrevivencia | 91% | 71% |
| Incremento semanal | 1.87 | 1.79 |

Elaborado por: Chuya, 2021

Fuente: Investigación

Además, en cuanto a los parámetros físicos químicos se ha tomado en consideración la temperatura, para los dos estanques se mantuvo en un rango entre 27 a 32 °C; de 3 a 11 mg/L oxígeno disuelto; 1.5 a 2.5 ppm la salinidad; de 7.5 a 8.5 el pH, de 30 a 38 cm de Turbidez, amonios menores a 0.5 mg/L.

Finalmente como se puede observar la piscina 5A2021 obtuvo una sobrevivencia baja en comparación del otro estanque (15A2021), durante su cultivo presentó eventos de baja de oxígeno y animales flotantes; lo cual indica que al tener un menor número de aireadores y menos hp/ha esto influyó directamente en la transferencia de oxígeno al cuerpo de agua y se reflejó en una menor producción al cierre de su ciclo.

CAPITULO 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Al haber finalizado la investigación e identificado los resultados referentes a los criterios para el dimensionamiento de la aeración en la producción de un cultivo de camarón blanco (*Penaeus vannamei*) se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Entre los criterios más empleados para el dimensionamiento de la aeración se han determinado que son el número de equipos utilizados para la producción del camarón blanco. Pero no se deja de lado la transferencia de oxígeno y la altura de la columna de agua, que sin duda también son muy indispensables tener en cuenta.
2. Los criterios de dimensionamiento de la aeración han permitido obtener un direccionamiento en cuanto a la producción del camarón blanco, siendo la más importante, puesto que ayuda a controlar el crecimiento y supervivencia de los camarones. Y para esta afirmación, se ha recurrido a la revisión bibliográfica y encuestas aplicadas a las empresas acuicultoras.
3. Entre los factores que interfieren en el dimensionamiento de la aeración en la producción del camarón blanco (*Penaeus vannamei*), está el inadecuado uso de los sistemas de aireación e inapropiado nivel de agua en el estanque, provocando condiciones insalubres y de baja calidad, generando la caída de productividad y aumento de costos para la empresa acuícola.
4. El análisis de resultados demostró favorable el uso los métodos mixtos donde se combina elementos de la investigación cuantitativa y la investigación, alcance descriptivo, explicativa, documental. La muestra de estudio corresponde a 24 encuestados mismas que fundamentan este proyecto.

5. El 83,3% de los encuestados considera que el sistema de cultivo es la principal razón para implementar la aeración, porque estos sistemas generalmente se desarrollan en áreas estrechas, con el fin de mejorar las condiciones de los camarones y así optimizar su sistema de aireación.
6. La aeración es una técnica para depurar el agua que se encuentra dentro de los estanques de los camarones, esto se da a través de un proceso donde se lleva al agua a un contacto con el aire. Logrando incrementar el oxígeno, comprimiendo el CO₂ y la separación del metano, sulfuro de hidrógeno y demás combinaciones orgánicas volátiles quienes son los encargados de otorgar al agua olor y sabor.
7. La cantidad de aireación utilizada para la producción del camarón en los diferentes estanques camaroneros no se ha estudiado de forma adecuada, sin embargo, los administradores de las camaroneras frecuentemente usan una regla rutinaria, donde cada aumento de 300 a 500 kg de producción de camarón demanda 1 hp de aireación (3.33 a 2.0 hp / TM camarón).
8. La aeración reduce la compactación, oxida el suelo y permite que el fondo del estanque se mantenga oxigenado evitando la proliferación de bacterias anaeróbicas.
9. La aireación en los sistemas de cultivo de camarones es una innovación que mejora la calidad de vida dentro de los estanques y piscinas, evitando la mortandad de los camarones.
10. La temperatura es un parámetro controlador de diferentes factores químicos y biológicos. Para el cultivo de camarón los valores óptimos que permiten un buen desarrollo en su ciclo de cultivo.
11. El oxígeno al ser un elemento químico forma combinaciones por reacción, donde se puede establecer a través de diferentes elementos, desplazando elementos de los compuestos entre sí. Este tipo de transformaciones se dan mediante el desarrollo del

calor y la luz, provocando combustiones. Sin embargo, el compuesto más sustancial es el agua.

12. Para solventar el número de caballos de fuerza del aireador en los estanques e instaurar programas para el trabajo frecuente en la acuicultura, aún se toma en cuenta la experiencia práctica y el monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto, siendo los puntos más comunes.
13. La producción de este crustáceo depende principalmente de la densidad de población, pero no influye únicamente en los niveles de producción. Las altas densidades de población y el uso de insumos elevados como piensos granulados y medicamentos caracterizan el cultivo intensivo.
14. En las operaciones de acuicultura intensiva y semi-intensiva, después de satisfacer las necesidades alimentarias del animal de cultivo, la baja concentración de oxígeno disuelto suele ser el primer factor importante que limita la producción esto ha hecho el uso de aeración en estanques de acuicultura se vuelva cada vez más común e intensivo.
15. En estanques de cultivo revestidos de tierra, las tasas de aireación en la acuicultura basada en piensos pueden alcanzar los 25 - 30 hp / ha, pero en los estanques con tecnología de biofloc revestidos de plástico se pueden aplicar 100 hp / ha de aireación.
16. En el cultivo de camarón los valores bajos de pH se encuentran en la noche debido a la respiración y la producción de CO₂ por parte de organismos que están en el estanque, mientras que durante el día el pH aumenta, estas variaciones no deben exceder de 0.5. Es vital mantener un rango estable ya que las variaciones pueden afectar al metabolismo y otros procesos fisiológicos del camarón.

17. La innovación de todo tipo que se pueda crear como nuevos equipos para el monitoreo de los parámetros del cultivo del camarón blanco en este sector permite a la industria camaronera maximizar sus ganancias, nuevas fuentes de empleo, incremento de divisas y capital a emprendimientos locales, aspectos que favorecen el desenvolvimiento de los acuicultores; por lo cual es importante definir criterios que ayuden al dimensionamiento de la aeración en la producción del camarón blanco.

4.2 Recomendaciones

1. Es necesario exponer por medio de un taller los datos y resultado obtenidos de este proyecto integrador, a los acuicultores sobre las variables que interfieren en el dimensionamiento de la aeración para la producción del camarón blanco (*Penaeus vannamei*), a fin de que puedan mejorar su actual sistema de manejo para tener a corto, mediano y largo plazo una rentabilidad por la calidad de manejo en el sistema de aireación que tengan instalados en sus fincas o planeen instalar.
2. Ampliar el estudio para obtener datos precisos sobre los criterios más empleados para el dimensionamiento de la aeración, de forma que puedan usar la presente información como línea base de futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Aeration Industries Internacional . (2016). *Un sistema de aireación idea para Corporaciones Acuícolas*. AIRE-O2.
- Anguas. (2018). Efecto de la temperatura y la densidad de cultivo. *Hidrobiológica*, 13(4), 42.
- Aqua Negocios S.A. (25 de mayo de 2015). *Issuu*. Obtenido de Industria Acuícola Edición 10.6: https://issuu.com/industriaacuicola/docs/edicion10_6_web/26
- Aragón, E., Córdova, J., Trías, H., & García, A. (2000). Efecto de la densidad de siembra y la estacionalidad en la producción de camarón azul *Litopenaeus stylirostris*. *CIENCIA PESQUERA No. 14* 39, 8.
- Arias, I. (2019). Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. *Universidad y ciencia*, 233-243.
- Atacama. (2018). *BBC New*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-54079245>
- BIOMIN. (2017). *ACUICULTURA Calidad del agua / biorremediación*. Obtenido de Biomin: <https://www.biomin.net/mx/especies/acuicultura/calidad-del-agua/-/biorremediacion/>
- Boyd, C. (20 de enero de 2020). *Uso de energía en la aireación de estanques acuícolas, Parte 1*. Obtenido de Responsible Seafood: <https://www.globalseafood.org/advocate/uso-de-energia-en-la-aireacion-de-estanques-acuicolas-parte-1/>
- Brasted, R. (01 de mayo de 2020). *Oxígeno*. Obtenido de Enciclopedia Británica: <https://www.britannica.com/science/oxygen>
- Calderer, A. (2001). INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA SALINIDAD SOBRE EL CRECIMIENTO Y CONSUMO DE OXÍGENO DE LA DORADA (*Sparus aurata* L.). *Universidad de Barcelona*, 33/64.
- Calderón, R. (2018). Implementación de un diseño piloto de bandejas de aireación para aguas, potencializado con microorganismos eficientes. *Ecología ambiental*, 24-52.
- Cuéllar, J., Lara, C., & Morales, V. (2010). *Manual de Buenas Prácticas de Manejo para el cultivo del camarón blanco*. Panamá: OSPESCA.
- Delphipage. (28 de septiembre de 2020). *pH | Definición, usos y hechos*. Obtenido de Delphipage: <https://delphipages.live/ciencias/fisica/materia-y-energia/ph>

- FAO. (enero de 2016). *Anexo 1: Plan de Trabajo*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/3/ac397s/AC397S05.htm>
- FAO. (15 de mayo de 2021). *ACUERDO mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Acuícola*. Obtenido de DOF - Diario Oficial de la Federación: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/mex202016.pdf>
- Flores, M. (2020). Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*.
- Flowen. (11 de agosto de 2020). *Control de pH y Oxígeno disuelto en la acuicultura*. Obtenido de Flowen: <https://flowen.com.pe/site/control-de-ph-y-oxigeno-disuelto-en-la-acuicultura/>
- García, J., Hernández, A., & Narváez, M. (2020). *Comparación de la sobrevivencia de post-larva de camarón Litopenaeus vannamei cultivados a densidades de 45 y 70 individuos/m² utilizando aireación y recambios de agua respectivamente, en las instalaciones de Laboratorio LIMA*. León: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA.
- Garnica D., F. (2016). *Rediseño del Sistema Térmico para la producción de nauplios de camarón*. Guayaquil : Escuela Superior Politécnica del Litoral .
- González, F. (3 de septiembre de 2020). *Venturis en la acuicultura*. Obtenido de Piscicultura Global: <https://www.pisciculturaglobal.com/venturis-en-la-acuicultura/>
- González, L. (2019). LAS PROTEÍNAS EN LA NUTRICIÓN . *Medigraphic*, 3. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/revsalpubnut/spn-2007/spn072g.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C., & Batista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Pesca. (2018). *Acuicultura Camarón blanco del Pacífico*. México: Gobierno de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuacultura-camaron-blanco-del-pacifico>
- Loza, B. (2019). *Evaluación de la conversión alimenticia* . Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12165/1/UPS-CT006107.pdf>
- Marcillo M., F. (2010). *Uso de Aireación en camaroneras*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8971/1/Aireacion.pdf>

- Martínez, N. (2020). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia Chihuahua* , 3(6), 3.
- Mata, F. (2020). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente* , 4(26-35), 7.
- Mazón, j., Salas, L., & Teles, A. (2018). “*Aquaculture: Plants and Invertebrates*”. IntechOpen Books. .
- Méndez, M. (2019). Azolla sp., un alimento de alto valor nutricional para la acuicultura. *Biotecnia*.
- Miarnau, X. (2020). El cultivo del almendro en alta densidad. *Revista de fruticultura*, 7(2), 4.
- Millán, L. (2020). Terapéutica en acuicultura. *Panorama actual del medicamento*.
- Ondarse, D. (2020). *pH*. Obtenido de <https://concepto.de/ph/>
- Osiris Carranza, E. (Noviembre de 2020). Evaluación de la tasa de consumo de oxígeno del *Penaeus vannamei* con relación a la salinidad, temperatura y peso corporal. *REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGIA*.
- Perez, E. (2016). *Manual Funcionamiento. ESTACIÓN DEPURADORA AUGAS RESIDUAIS REFUXIO ANIMAIS MOUGÁ*. Astral Poor. Obtenido de <https://www.embrapa.br/documents/1354377/29102107/Jesus+Pasco++Curso+Aireaci%C3%B3n.pdf/b1de65f0-e92a-366b-de74-12af1d7bf223?version=1.0>
- Piñeros Roldan, J., Gutierrez Espinosa, M., Coelho, M., & Lapa, M. (2020). Aireacion en la tecnologia biobloc (BFT): principios basicos, aplicaciones y perspectivas. *Politecnica*, 12.
- RAE. (2022). *Temperatura*. Obtenido de <https://dle.rae.es/temperatura>
- Solís, I. (2020). Evaluación del coeficiente de transferencia de oxígeno en procesos de fangos activados para optimizar la aireación. *Ingeniería del agua* , 183-202.
- Talavera, V., Sánchez, D., & Zapata, L. (1997). TASA O FACTOR DE CONVERSIÓN ALIMENTICIA EN EL CULTIVO DE CAMARÓN. *Nicovita camarón del mar. VOLUMEN 2 – EJEMPLAR 03*, 2.
- Torres, A. (2017). Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación. *Ra Ximhai*, 45-64.

- Urey, E. (2009). *Evaluación del crecimiento y rendimiento productivo de los camarones Litopenaeus vannamei en dos estanques manejados con Sistema Hiperintensivo en la granja camaronera Salinitas, Poneboya, en el Período de Abril a Septiembre del año 2008.* . León: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA.
- Valle S. , C. (2020). *Evaluación de dos concentraciones de salinidad para la producción del camarón blanco (Litopenaeus vannamei) en piscinas de agua dulce, cantón Arenillas, provincia de El Oro.* Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Vinatea Arana, L. (20). Principios químicos de la calidad de agua en acuicultura.
- Vives, J. (2003). *MANUAL DE TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y CONTAMINANTES MARINOS.* Santa Martha: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS.

