

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Análisis técnico-económico para la implementación de un sistema de aireación en camaroneras con sistema de recirculación a baja salinidad

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Acuícola

Presentado por:

Gabriela Echeverría Valero

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

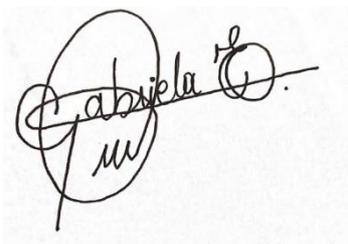
El presente proyecto lo dedico a mis padres por su apoyo incondicional. A mis madres religiosas, las que me dieron un hogar durante mi carrera universitaria. A mi familia y amigos. Y a todas las mujeres que han hecho grandes cambios en la industria acuícola, han sido objeto de motivación e inspiración para seguir firme en mi camino.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a todos los profesionales que han aportado grandes conocimientos a la industria acuícola. Seguir sus pasos es un gran honor.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (*Kimberly Gabriela Echeverría Valero*) 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"

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Gabriela E.' with a stylized flourish at the end. The signature is written over a light gray background.

Kimberly Gabriela
Echeverría Valero

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
WILFRIDO ERNESTO
ARGUELLO GUEVARA

**Wilfrido Ernesto
Arguello Guevara, *Ph.D.***

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
BONNY NARCISA
BAYOT ARROYO

**Bonny Narcisa
Bayot Arroyo, *Ph.D.***

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

A fin de optimizar el uso de aireadores en una camaronera con sistema de recirculación a baja salinidad (Taura, provincia del Guayas), se determinó la eficiencia de tres tipos de aireadores bajo las mismas condiciones físicas (raceways circulares de concreto de 50 m³, 5.4 mg/l de salinidad y temperatura promedio de 28.5°C) y sus costos de operación en piscinas de camarón *Penaeus vannamei*. Durante las pruebas se obtuvo que la Demanda Total de Oxígeno disuelto (TOD) de las piscinas fue de 9.1 kg O₂ que demanda el uso de 4 aireadores por hectárea. Los aireadores splash M1 y M2 presentaron menores tasas de transferencia de oxígeno al agua de los raceways (SORT), 1.03 y 0.99 kg O₂/h respectivamente, comparado con el valor 1.21 kg O₂/h estimado para el aireador de paleta. El aireador de paleta también presentó mayor eficiencia de velocidad de transferencia de oxígeno (SAE) con 1.09 kg O₂/kwh. En cuestión de costos, los aireadores Splash M1 y M2 presentaron mayor precio de compra versus el aireador de paletas. Dentro de los costos de consumo kilowatts por hora por hectárea, el aireador de paleta presentó menor costo, sin embargo, el costo de mantenimiento fue mayor para el aireador de paleta, por la cantidad de accesorios que presenta la estructura del equipo. Finalmente se concluyó que el equipo ideal para la camaronera es el aireador de paleta, debido a su alta eficiencia y bajos costos de inversión y operación.

Palabras clave: Transferencia de oxígeno, eficiencia estándar, aireación, sistema de recirculación

ABSTRACT

*In order to optimise the use of aerators in a shrimp farm with a low salinity recirculation system (Taura, Guayas province), the efficiency of three types of aerators was determined under the same physical conditions (50 m³ circular concrete raceways, 5.4 mg/l salinity and average temperature of 28.5°C) and their operating costs in *Penaeus vannamei* shrimp ponds. During the tests it was found that the Total Dissolved Oxygen Demand (TOD) of the ponds was 9.1 kg O₂ which requires the use of 4 aerators per hectare. The splash aerators M1 and M2 had lower rates of oxygen transfer to the raceway water (SORT), 1.03 and 0.99 kg O₂/h respectively, compared to the 1.21 kg O₂/h value estimated for the paddle aerator. The paddle aerator also had a higher oxygen transfer efficiency (OTS) with 1.09 kg O₂/kwh. In terms of cost, the Splash M1 and M2 aerators had a higher purchase price versus the paddle aerator. In terms of kilowatt per hour per hectare consumption costs, the paddle aerator presented a lower cost, however, the maintenance cost was higher for the paddle aerator, due to the number of accessories in the structure of the equipment. Finally, it was concluded that the ideal equipment for the shrimp farm is the paddle aerator, due to its high efficiency and low investment and operating costs.*

Keywords: Oxygen transfer, standard efficiency, aeration, recirculation system.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	iv
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
ÍNDICE GENERAL	3
ABREVIATURAS	5
SIMBOLOGÍA	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
CAPÍTULO 1	9
1. Introducción	9
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	11
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	12
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo General	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 MARCO TEÓRICO	14
1.4.1 Factores biológicos	14
1.4.2 Calidad del agua y calidad de suelo	15
1.4.3 Variabilidad diurna del Oxígeno disuelto	15
1.4.4 Factor de conversión alimenticia	15
1.4.5 Factores técnicos	16
1.4.6 Tasa de transferencia de oxígeno estándar, SORT y eficiencia de aireación estándar, SAE	16

CAPÍTULO 2	18
2. METODOLOGÍA	18
2.1 Diseño experimental.....	18
2.2 Eficiencia de los aireadores.....	23
2.3 Numero de aireadores y costo	25
CAPITULO 3	28
3. Resultado y análisis	28
CAPÍTULO 4	32
4. Referencias	35

ABREVIATURAS

RAS	Recirculation Aquacultur Systems
SORT	Standard Oxygen Transfer Rate
SAE	Standard Aeration Efficiency
FCA	Factor de Conversión Alimenticia
OD	Oxígeno Disuelto
WSSP	White Spot
KLa_{20}	Coeficiente de transferencia de oxígeno por unidad de tiempo
KLa_T	Coeficiente de transferencia de oxígeno a la temperatura del agua
C_s	Concentración de OD en saturación a 20°C
V	Volumen
T	Temperatura
TOD	Demanda Total de Oxígeno
DO	Demanda de oxígeno de la columna de agua, del fondo y del camarón

SIMBOLOGÍA

g	Gramos
kw	Kilowatt
pH	Potencial de Hidrógeno
min	Minutos
USD	Dólar Estadunidense
°C	Grados Celsius

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Aireador de 8 paleta utilizado para la prueba de eficiencia. Fuente: (BERAQUA, 2021)	18
Figura 2. 2 Aireador modelo splash de 1.5 hp. Fuente: (OXIPEZ, s.f.)	19
Figura 2. 3 Aireador modelo splash. Fuente: (BERAQUA, 2021)	19
Figura 2. 4 Raceways utilizado para estimar la eficiencia y costos de operación de tres modelos de aireación en una camaronera. Fuente: (Echeverría, 2021)	21
Figura 2. 5 Boleo de la mezcla de meta bisulfito de sodio y cloruro de cobalto sobre el volumen de agua del raceway. Fuente: (Echeverría, 2021)	21
Figura 2. 6 Oxígeno disuelto del medio (mg/l) en términos de 100% de saturación y variando con la temperatura y salinidad del agua. Fuente: (Vinatea, 2020)	22
Figura 2. 7 Aireador eléctrico de 8 paletas de 1.5 hp en un raceway de 50 m ³ con 30 m ³ .de agua. Fuente: (Echeverría, 2021)	23
Figura 3. 8 Variación diurna de la saturación de oxígeno disuelto de una piscina de la camaronera con densidad de 185.000 animales por hectárea con un peso promedio de camarón 11.7g de a 28.8°C de temperatura. Porcentajes de saturación menores a 50% genera perdida	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Variación de la concentración de las cargas de Nitrógeno, fósforo y demanda de oxígeno disuelto en función al factor de conversión alimenticio (FCR) de peso vivo. Fuente: (Claude E. Boyd, 2022).	16
Tabla 2. 2 Características de los tres modelos de aireadores utilizados para la prueba de eficiencia. Fuente: (Echeverría, 2022)	20
Tabla 3. 3 Demanda bioquímica de oxígeno de una piscina de 185,000 camarones (11.7 g) por hectárea, a una temperatura de 28.8 °C. Fuente: (Echeverría, 2022)	28
Tabla 3. 4 Rendimiento de los aireadores utilizados en las tres pruebas con los aireadores. Oxígenos disueltos al 100, 70 y 10% de saturación medidos en el tiempo. Fuente: (BERAQUA, 2021)	29
Tabla 3. 5 Valores estimados de SORT y SAE obtenidos en las pruebas en este estudio, comparación con los valores presentados en las fichas técnicas de los aireadores y costo de aireación real. Fuente: (Echeverría, 2022)	30
Tabla 3. 6 Comparativo de los costos por hectárea en base a las horas de trabajo, cantidad de equipos y eficiencia de los tres modelos de aireadores. Fuente: (Echeverría, 2022)	31
Tabla 3.7 Comparativo de los costos de inversión, costo de kilowatts y costo de mantenimiento por año de los tres modelos de aireadores. Fuente: (Echeverría, 2022)	31

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es líder mundial en la producción de camarón de cultivo. En el 2020 superó a India y se convirtió en el primer país productor de camarón del mundo (FAO, 2021). A nivel nacional, el camarón de cultivo es el primer producto de exportación no petrolero (25.5% de las exportaciones no petroleras), representando el 3% del producto interno bruto (PIB) y genera más de 261,000 plazas de trabajo (Luna, 2021). Entre abril y julio de 2021, se produjo 531 mil TM de camarón de cultivo, lo que generó \$3,175 millones y, representó un incremento del 17% en toneladas exportadas para el mismo periodo del 2020 (BCE, 2021, CNA, 2021). Además, el camarón ecuatoriano es posicionado internacionalmente con valor agregado y destaca por su calidad, llegando a estar calificado en distintos supermercados del mundo como el camarón de mejor calidad. Estas estadísticas evidencian la importancia de la industria del cultivo de camarón para el desarrollo socioeconómico del país y el rol protagonista a nivel mundial que ninguna otra industria o actividad económica del país distinta al petróleo ha podido superar.

Sin embargo, el liderazgo que posee el Ecuador en una de las industrias de alimento de mayor crecimiento mundial demanda importantes esfuerzos para satisfacer la demanda internacional e incrementar aún más la capacidad de valor agregado. En este contexto, la industria camaronera ecuatoriana necesita corregir las falencias y mejorar los costos de producción. Uno de los aspectos a ser mejorado es el desarrollo de técnicas de producción ambientalmente sostenibles, que permitan prevenir o controlar las enfermedades para conseguir un mayor volumen de producción de camarón limpio y libre de antibióticos (Luna, 2021).

Los aireadores son equipos que suministran artificialmente oxígeno a la piscina para minimizar el estrés de los camarones e incrementar la producción utilizados en los sistemas de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en ingles). Para optimizar los costos de producción en un RAS es necesario incrementar la capacidad de carga de la

piscina, para lo cual, por un lado, es imprescindible conocer los requerimientos de oxígeno disuelto de la biomasa de las piscinas. Mientras que, por otro lado, es necesario realizar un análisis técnico y económico de los parámetros de eficiencia de los aireadores. La eficiencia de los aireadores es medida por dos parámetros: a) tasa de transferencia estándar del oxígeno (SOTR, por sus siglas en inglés) y b) eficiencia estándar de aireación (SAE, por sus siglas en inglés). El SOTR es la cantidad de aire que un equipo puede introducir a un cuerpo de agua por unidad de tiempo bajo condiciones estándar, sus unidades de $\text{kg O}_2 \text{h}^{-1}$. En tanto que, el SAE es la velocidad a la que esa transferencia (SOTR) es realizada por unidad de potencia del equipo, De tal forma que el SAE es el SOTR dividido para la potencia que demanda el aireador para poder realizar la transferencia de oxígeno, siendo sus unidades $\text{kg O}_2 \text{W}^{-1}\text{h}^{-1}$. Los aireadores tienen como finalidad mejorar la transferencia de oxígeno en la interfaz aire-agua y minimizar la estratificación en el cuerpo de agua (González, 2019). Por consiguiente, aireadores con mayores valores de SAE y SOTR serán más eficientes para un cultivo de camarón. El conocimiento de la eficiencia de los aireadores es por tanto imprescindible para optimizar el uso y la tasa de recirculación como también los niveles de alimentación del camarón (Ecudinatek, 2020).

Varios modelos comerciales de aireadores mecánicos tales como: los pulverizadores de bomba vertical (VPS), las ruedas de paletas (PW), las bombas de hélice-aspirador (PAP) y los equipos con sistema de aire difuso (González, 2019). Por otro lado, los equipos eléctricos presentan mayor variedad, tanto en forma como en tamaño, lo que facilita la distribución de los aireadores en la piscina (Ecudinatek, 2020). En consecuencia, el productor debe seleccionar el modelo de aireador más adecuado para las condiciones físicas, químicas y biológicas de sus piscinas de producción.

Considerando que, la aireación es después del costo de las postlarvas y la alimentación el tercer costo más importante en el cultivo de camarón, y que representa el 15% del costo total de la producción (González, 2019), la presente propuesta plantea estudiar los criterios técnicos de eficiencia y económicos para la selección e implementación de aireadores en piscinas de cultivo de camarón *Penaeus vannamei* en una granja con sistema de recirculación a baja salinidad.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La camaronera está localizada en la zona de Taura, en la provincia del Guayas. Utiliza un sistema de recirculación (20% diario) para un área de 300 ha de espejo de agua. Cuenta con 5 años de producción semi-intensiva. Las densidades de siembra promedio son 180.000-200.000 camarones/ha. Estas densidades se han podido manejar sin aireación, sin embargo, se ha observado deficiencia en la conversión del alimento que han afectado en gran medida los costos de producción. La salinidad del agua se mantiene en 5.4 mg/l y una temperatura promedio de 27°C. Sin embargo, la estación climática cálida/húmeda presenta temperaturas de hasta 32°C y en la estación fría/seca se ha observado temperaturas promedio de 25°C.

La camaronera ha sufrido problemas de mortalidad de camarón por bajos niveles de concentración de oxígeno disuelto (OD < 3.9 mg/l), mala conversión alimenticia y mala calidad del agua y suelo. El principal detonante de estos problemas se adjudica a la falta de aireación en las piscinas de engorde, especialmente en la estación climática cálido/húmedo debido a la variabilidad diurna de la temperatura del agua de la piscina. Adicionalmente el exceso de alimento es otro factor que ha incidido en los problemas de producción de la camaronera. Para corregir las problemáticas que se suscitaron durante los ciclos de producción se necesita proporcionar aireación que permita obtener el máximo rendimiento posible de las piscinas.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La aireación es el principal factor limitante dentro de la producción en cultivos semi-intensivos e intensivos de camarón. Niveles bajos de concentración de oxígeno disuelto pueden generar niveles altos de sulfuro de hidrógeno, presencia de bacterias y algas nocivas, lo cual está acompañado por la aparición de olores desagradables y suelo lodoso. Estas condiciones generan un ambiente anóxico y mortal para los camarones (TecnoTanques, 2016).

El mercado cuenta con varios modelos de equipos de aireación, lo que permite al productor tener una gran gama de opciones, sin embargo, la decisión de adquisición del equipo adecuado dependerá de las condiciones químicas, físicas y biológicas de los estanques de producción. El protocolo de implementación de aireadores en las piscinas camaroneras está sujeto principalmente a las variables de eficiencia de los aireadores: El SORT (standard oxygen transfer rate) permite conocer la tasa de transferencia de la masa de oxígeno que un equipo puede introducir a un cuerpo de agua por unidad de tiempo. En tanto el SAE (standard aeration efficiency) estima la eficiencia del equipo para realizar la transferencia de oxígeno. El funcionamiento de los distintos aireadores también implica distintos costos, por lo que es importante realizar un estudio económico para cada aireador. Estos conocimientos determinarán la selección del aireador más eficiente en términos técnicos y de costo-beneficio. Además, es importante determinar el número de aireadores necesarios según la densidad de animales, así como el protocolo de hora de inicio y periodo de encendido, lo que redundará en un ahorro de costos de producción para la camaronera bajo estudio.

La demanda del camarón ecuatoriano en mercados internacionales exige mejorar los costos de producción y aumentar el valor agregado del producto final, por ende, el productor se ve en la necesidad de incrementar la capacidad de carga de las piscinas con la finalidad de aumentar la densidad de siembra, manteniendo un camarón limpio y si antibióticos añadidos (Luna, 2021). La presente investigación representa un aporte al mejoramiento de los procesos de cultivo en piscinas semi-intensivas y una contribución a la industria camaronera del país.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la factibilidad técnica y económicos para la implementación de aireación en piscinas de engorde de cultivo de camarón *Penaeus vannamei* en un sistema de recirculación a baja salinidad.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la tasa de transferencia de oxígeno estándar y la eficiencia estándar de aireación para tres tipos de aireadores.
- Determinar el número de aireadores y tiempo de operatividad en función de área y la densidad de siembra de la piscina.
- Evaluar los costos de tres tipos de aireadores para piscinas de engorde de camarón *Penaeus vannamei* en un sistema de recirculación a baja salinidad.

1.4 MARCO TEÓRICO

La acuicultura en Ecuador inició en 1978, en la provincia de El Oro (Fernado-Criado, 1984). Durante los primeros 15 años de la industria se crearon cerca de 90.000 de camaronas. Sin embargo, en el 2000 la industria fue afectada significativamente por la epidemia del virus de la Mancha Blanca (WSSV) y el cambio de la moneda nacional al dólar americano (Piedrahita, 2018). Desde el 2007 hasta la actualidad, la producción de camarón ha tenido un crecido anualmente de aproximadamente el 12 por ciento. Para mantener crecimiento en el tiempo, la industria se ha visto en la necesidad de mejorar los costos de producción y el manejo acuícola (Burbano-Gallardo, 2015)

La aireación comprende un factor importante dentro de la producción de camarones. Actualmente, la demanda de camarón se ha incrementado lo que obliga al productor a mejorar los costos de producción y el manejo acuícola. Esto a su vez demanda de mayor inversión en equipos que compense el oxígeno disuelto que la biomasa de una piscina camaronera requiere. Por tal motivo, es necesario realizar estudios que estimen la eficiencia de los equipos aireadores en piscinas de producción acuícola, para mejorar la conversión alimenticia y la calidad de agua, que redunde en un mejor rendimiento en la producción (Jayanthi, 2021).

Los principales factores que se consideran al momento de implementar equipos aireadores en una camaronera.

1.4.1 Factores biológicos

La baja concentración de oxígeno afecta al crecimiento de los camarones y eleva el factor de conversión alimenticia (Balnova, ADM, 2019). Concentraciones de oxígeno disuelto menores a 2 mg/l generan mortalidades en camarón *P. vannamei* (Fenucci, FAO, 1988). La aireación está correlacionada directamente con los factores biológicos de una camaronera, ya que equipos aireadores con mayor eficiencia aportarán más oxígeno disuelto a la piscina (Ching, 2021).

1.4.2 Calidad del agua y calidad de suelo

La falta de oxígeno en el medio promueve el Bloom de algas tóxicas al medio tales como las cianofitas y los dinoflagelados. Para identificar presencia de exceso de algas, se puede observar la coloración del agua, este es un indicador que facilita el análisis y por consecuencia la toma de correctivos frente a situaciones tales como: verde brillante, que manifiesta gran concentración de algas, color marrón, que permite identificar algas muertas, aguas verdes pálidas, este es un gran indicador de una buena calidad (Balnova, ADM, 2014). Por otro lado, se encuentra la turbidez, uno de los indicadores más versátiles ya que permite conocer e inferir la concentración de algas de un sistema *in situ*: entre 30 y 35 cm de visibilidad (Fenucci, FAO, 1988). De acuerdo con la FAO, el detonante de los suelos sulfato ácidos es la presencia de pirita y la ausencia de minerales de carbonato que funcionan como neutralizadoras de acidez de la oxidación de la pirita (Simpson, 1985).

1.4.3 Variabilidad diurna del Oxígeno disuelto

Los niveles más bajos de oxígeno disuelto en una piscina camaronera ocurren mayormente durante la madrugada, requiriéndose de aireadores para compensar este déficit. Por otro lado, los niveles más altos de oxígeno disuelto ocurren en la tarde (Fenucci, FAO, s.f.). La demanda de oxígeno del fondo va aumentando a medida que transcurre los días del ciclo, debido a la acumulación de materia orgánica dada por los camarones y la productividad primaria de la piscina (Vinatea L. , ResearchGate, 2011).

1.4.4 Factor de conversión alimenticia

El factor de conversión alimenticia es la relación entre la cantidad de balanceado suministrado frente a la cantidad de biomasa de camarón, y permite conocer la eficiencia del alimento administrado en una piscina. Sin embargo, se conoce que dentro del alimento suministrado al camarón, entre el 10 al 15 por ciento no se ingiere y cerca del 10 por ciento del alimento ingerido es excretado como heces (Claude E. Boyd, 2022).

Tabla 1. 1 Variación de la concentración de las cargas de Nitrógeno, fósforo y demanda de oxígeno disuelto en función al factor de conversión alimenticio (FCR) de peso vivo. Fuente: (Claude E. Boyd, 2022).

FCR	Nitrógeno (kg/t)	Fósforo (kg/t)	Demanda de oxígeno disuelto (kg/t)
1.0	24.7	8.0	1,100
1.1	30.0	9.1	1,210
1.2	35.4	10.2	1,320
1.3	40.7	11.4	1,430
1.4	46.0	12.5	1,540
1.5	51.4	13.6	1,650
1.6	56.7	14.7	1,760
1.7	62.0	15.8	1,870
1.8	67.3	17.0	1,980
1.9	72.7	18.1	2,090
2.0	78.0	19.2	2,200

Dentro de los beneficios que ofrece un bajo FCR está la buena calidad de agua y suelos lo que da como consecuencia un sistema de buena calidad (Claude E. Boyd, 2022).

1.4.5 Factores técnicos

En cuanto a la parte técnica, la selección del tipo de aireador está dada por la eficiencia (González, 2019). Los indicadores que permiten conocer la tasa de transferencia de oxígeno y la eficiencia de los equipos aireadores están dadas por el SORT y el SAE como también las condiciones de la calidad del agua y la estructura de las piscinas. Para evitar sesgos debido a las condiciones ambientales, la prueba que se realiza para encontrar el valor de SORT y el SAE están dadas por condiciones estándar.

1.4.6 Tasa de transferencia de oxígeno estándar, SORT y eficiencia de aireación estándar, SAE

La tasa de transferencia de oxígeno estándar (SORT) estima la cantidad de masa de oxígeno que un aireador, indiferente del modelo, puede transferir hacia el agua por unidad de tiempo (Vinatea L. , ResearchGate, 2007). Esta variable exige condiciones estándares para evitar sesgos o errores en el cálculo, por ende, la temperatura del agua

debe estar a 20 °C, la concentración de OD debe estar a 0 mg L y a 1 atm de presión. Esta variable está dada en las siguientes unidades $\text{kg O}_2 \text{kWh}^{-1}$. por otro lado, está el SAE el cual comprende la eficiencia de un aireador en condiciones estándares y se da en unidades de $\text{kg O}_2 \text{kWh}^{-1}$. (Fenucci, FAO, 1988).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño experimental

El estudio se llevó a cabo en una camaronera ubicada en la zona de Taura, provincia del Guayas. Las pruebas se realizaron en tres raceways circulares de concreto de 50 m³ de capacidad (3.75 m de altura y 1.5 m de radio) forrados con liner. La salinidad del agua promedio del agua fue 5.4 mg/l. Se realizaron pruebas con tres modelos de aireador eléctricos de distintas marcas.

El primer aireador eléctrico de 1.5 hp cuenta con 8 paletas (Figura 2. 1). Comprende una sola pieza de polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés) resistente al sol. Cuenta con un reductor que sirve para moderar la velocidad del funcionamiento de los equipos concesionado en hierro fundido (BERAQUA, 2021).



Figura 2. 1 Aireador de 8 paleta utilizado para la prueba de eficiencia. Fuente: (BERAQUA, 2021)

El segundo aireador eléctrico (Splash M1) es de 2 hp con un área de acción de 2500 a 4500 m² dentro de la piscina.



Figura 2. 2 Aireador modelo splash de 1.5 hp. Fuente: (OXIPEZ, s.f.)

El tercer aireador eléctrico (Splash M2) es de 1.5 hp. Cuenta con 2.8 m de altura de lanzamiento. Es de una sola pieza de polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés) y con hélice en nylon (BERAQUA, 2021).



Figura 2. 3 Aireador modelo splash. Fuente: (BERAQUA, 2021)

Dentro de las características de los aireadores de paleta esta la función de airear mayor área en la superficie, además de generar burbujas más pequeñas lo que permite que haya mayor transferencia de oxígeno al agua. También ayudan a evitar la estratificación. Por otro lado, los aireadores splash, a diferencia de los aireadores de paleta, cuenta con la característica de airear mayor área en la columna de agua, por tanto, son ideales para piscinas con alta batimetría. Mientras que, en piscinas con poca batimetría con los aireadores splash se corre el riesgo de levantar el sedimento del fondo (Vinatea L. , ResearchGate, 2007).

Tabla 2. 2 Características de los tres modelos de aireadores utilizados para la prueba de eficiencia.
Fuente: (Echeverría, 2022)

Nombre del aireador	Modelo	Frecuencia (hz)	Voltios (V)	Potencia por fabricante (kw)	Precio de compra (\$)
Splash M1	Splash	60	220	1.5	828
Splash M2	Splash	60	220	1.1	797
Paleta	8 paletas	60	220	1.1	450

Con la finalidad de bajar el oxígeno disuelto del agua de disuelto del agua de los raceways a 0 mg/l se mezcló con meta bisulfito de sodio en 50 litros de agua, a una relación de 10 mg/litro de agua y cloruro de cobalto a una relación de 0.1 mg/litro de agua. Se utilizó un volumen de 30.000 L de agua para cada raceway. Por tanto, se colocó 1.6 kg de meta bisulfito de sodio y 3 g de cloruro de cobalto. Luego, se boleó la mezcla sobre la masa de agua como se muestra en la **Figura 2.5**. Finalmente, para homogenizar todo el volumen se utilizó una bomba sumergible.



Figura 2. 4 Raceways utilizado para estimar la eficiencia y costos de operación de tres modelos de aireación en una camaronera. Fuente: (Echeverría, 2021)



Figura 2. 5 Boleo de la mezcla de meta bisulfito de sodio y cloruro de cobalto sobre el volumen de agua del raceway. Fuente: (Echeverría, 2021)

Se registró la temperatura y concentración de oxígeno disuelto del agua con un oxígeno metro marca YSI. Para conocer la concentración de oxígeno disuelto se utilizó dos oxígenos metros durante toda la prueba. Con los valores de temperatura y salinidad se interpoló el valor de solubilidad del oxígeno al 100% de saturación (**Figura 2. 6**).

Temperatura (°C)	Salinidad (‰)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	14.6	14.1	13.6	13.2	12.7	12.3	11.9	11.5	11.1
1	14.2	13.7	13.2	12.8	12.4	11.9	11.5	11.2	10.8
2	13.8	13.3	12.9	12.4	12.0	11.6	11.2	10.9	10.5
3	13.4	13.0	12.5	12.1	11.7	11.3	11.0	10.6	10.2
4	13.0	12.6	12.2	11.8	11.4	11.0	10.7	10.3	10.0
5	12.7	12.3	11.9	11.5	11.1	10.8	10.4	10.1	9.8
6	12.4	12.0	11.6	11.2	10.9	10.5	10.2	9.8	9.5
7	12.1	11.7	11.3	11.0	10.6	10.3	9.9	9.6	9.3
8	11.8	11.4	11.0	10.7	10.4	10.0	9.7	9.4	9.1
9	11.5	11.1	10.8	10.4	10.1	9.8	9.5	9.2	8.9
10	11.2	10.9	10.5	10.2	9.9	9.6	9.3	9.0	8.7
11	11.0	10.6	10.3	10.0	9.7	9.4	9.1	8.8	8.5
12	10.7	10.4	10.1	9.8	9.5	9.2	8.9	8.6	8.3
13	10.5	10.2	9.8	9.5	9.2	9.0	8.7	8.4	8.2
14	10.2	9.9	9.6	9.3	9.1	8.8	8.5	8.2	8.0
15	10.0	9.7	9.4	9.1	8.9	8.6	8.3	8.1	7.8
16	9.8	9.5	9.2	9.0	8.7	8.1	8.2	7.9	7.7
17	9.6	9.3	9.0	8.8	8.5	8.3	8.0	7.8	7.5
18	9.4	9.1	8.9	8.6	8.3	8.1	7.9	7.6	7.4
19	9.2	8.9	8.7	8.4	8.2	7.9	7.7	7.5	7.3
20	9.0	8.8	8.5	8.3	8.0	7.8	7.6	7.3	7.1
21	8.9	8.6	8.3	8.1	7.9	7.6	7.4	7.2	7.0
22	8.7	8.4	8.2	8.0	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9
23	8.5	8.3	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	6.9	6.7
24	8.4	8.1	7.9	7.7	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6
25	8.2	8.0	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5
26	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4
27	7.9	7.7	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3
28	7.8	7.5	7.3	7.1	6.9	6.7	6.6	6.4	6.2
29	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.5	6.3	6.1

Figura 2. 6 Oxígeno disuelto del medio (mg/l) en términos de 100% de saturación y variando con la temperatura y salinidad del agua.
Fuente: (Vinatea, 2020)

Después de estimar el valor de la solubilidad del oxígeno al 100% de saturación se determinó el tiempo que se necesitó para llegar al 10% y 70% de la saturación. Finalmente, los aireadores fueron encendidos para darle oxígeno y alcanzar la saturación del medio como se muestra en la **Figura 2. 8**.



Figura 2. 7 Aireador eléctrico de 8 paletas de 1.5 hp en un raceway de 50 m³ con 30 m³ .de agua. Fuente: (Echeverría, 2021)

2.2 Eficiencia de los aireadores

El SORT (cantidad de aire que un equipo puede introducir a un cuerpo de agua por unidad de tiempo bajo condiciones estándar) para cada uno de los aireadores fue calculado con la fórmula 1.1, que permite estimar la cantidad de oxígeno disuelto que el aireador puede transferir al cuerpo de agua del raceway por unidad de tiempo.

$$SORT = (KLa_{20}) * (C_{20}) * (V) * (10^{-3}) \quad \mathbf{1.1}$$

Donde:

KLa_{20} : Coeficiente de transferencia de oxígeno (kg O₂/h)

C_s : Concentración de OD en saturación a 20°C (g/m³)

V: Volumen de agua del raceway (m³)

10⁻³: Factor de conversión de gramos a kilogramos (kg/g)

El valor KLa_{20} cuenta con una fórmula en función de la temperatura del agua, tal como se expresa en la fórmula 1.2.

$$KLa_{20} = Klat * 1.024^{20-T} \quad \mathbf{1.2}$$

Donde:

T: temperatura del agua del raceway

KLa_{20} : Coeficiente de transferencia de oxígeno a 20°C (h^{-1})

KLa_T : Coeficiente de transferencia de oxígeno a la temperatura del agua del raceway (h^{-1})

Sin embargo, para conocer el coeficiente de transferencia de oxígeno se requiere del valor del $Klat$.

$$Klat = \frac{1.1}{\frac{t70 - t10}{60}} \quad \mathbf{1.3}$$

Donde:

t10: Tiempo que toma el oxígeno en alcanzar el 10 por ciento de saturación.

t70: Tiempo que toma el oxígeno en alcanzar el 70 por ciento de saturación.

KLa_T : Coeficiente de transferencia de oxígeno a la temperatura del agua del raceway (h^{-1})

Por lo que las unidades del SORT fueron $kg \frac{O_2}{hr}$:

Para la estimación del SAE, velocidad a la que la transferencia (SORT) es realizada por unidad de potencia del equipo se utilizó la fórmula 1.4.

Formula del SAE

$$SAE = \frac{SORT}{Consumo (kw)}$$

Donde el consumo de potencia del aireador está dado en kw. Por tanto, las unidades del SAE son $kg \frac{O_2}{kWh}$

2.3 Numero de aireadores y costo

Para determinar el número de aireadores necesarios a ser instalados en la piscina se calculó la demanda total de oxígeno requerido por toda la biomasa existente en la piscina (TOD, fórmula 1.5). Donde,

TOD representa la demanda total de oxígeno de suelo, el agua y el camarón.

$$TOD: DO * V * 10^{-3} \quad \mathbf{1.5}$$

Donde:

DO: Demanda del oxígeno (g O₂/m³/h)

V: Volumen del raceway (m³)

10⁻³: Factor de conversión de gramos en kilogramos (kg/g)

A su vez DO depende del consumo de oxígeno de la biomasa de camarón (Fórmula 1.6).

$$DO: CO * RC * RF \quad \mathbf{1.6}$$

Donde:

CO: Consumo del O₂ del animal (g O₂/m³/h)

RC: Consumo del O₂ de la columna de agua (g O₂/m³/h)

RF: Consumo del O₂ del suelo (g O₂/m³/h)

Siendo, el consumo del O₂ de la columna de agua (RC) estimado con la (Fórmula 1.7)

$$RC: \frac{O_i - O_f}{Tiempo (h)} \quad \mathbf{1.7}$$

RC: Respiración de la columna de agua

O_i: Oxígeno inicial (mg/L/h)

O_f: Oxígeno final (mg/L/h)

T: Tiempo medido en horas

En tanto que el consumo del O₂ del suelo (RF) es estimado con la (Fórmula 1.8)

$$RF: \frac{O_i - O_f}{Tiempo (h)} - RC \quad \mathbf{1.8}$$

Donde:

RC: Respiración de la columna de agua

RF: Respiración del fondo

O_i: Oxígeno inicial tomado antes de tapan el tubo (mg/L/h)

O_f: Oxígeno final (mg/L/h)

T: Tiempo medido en horas

Una vez calculado todos los componentes de TOD se determinó el número total de aireadores se utilizó la fórmula 1.9.

$$N = \frac{TOD}{SOT} \quad \mathbf{1.9}$$

Donde:

N: número de aireadores

TOD: demanda total de oxígeno de la biomasa de camarón, agua y suelo.

La potencia requerida por cada aireador se estimó con la siguiente (Fórmula 1.10)

$$P = \frac{TOD}{SAE} \quad \mathbf{1.10}$$

Donde:

TOD: demanda total de oxígeno de suelo + agua + camarón

SAE: Eficiencia del aireador por kilowatios de consumo.

Finalmente, el costo de electricidad se estimó considerando los días de cultivo, horas de operación de cada aireador, el valor comercial cobrado por el proveedor por concepto del consumo de energía eléctrica por kilowatios y la potencia requerida, tal como es expresado en la **(Fórmula 1.11)**

En esta sección, se debe conocer las horas más críticas de oxígeno dentro de la camaronera, ya que este valor vario por la salinidad del agua, las condiciones climáticas y las densidades de siembra. En cuanto a los días de cultivo, se debe conocer el promedio de días que duran los ciclos de producción. Y finalmente el costo de aireación estará sujeto a la tarifa de bombeo de agua aprobada por la corporación nacional de electricidad.

$$\text{Costo de electricidad} = \text{Dias cultivo} * \text{Horas de operacion} * \text{Costo} \frac{\text{electricidad}}{\text{kw}} * P \quad \mathbf{1.11}$$

CAPITULO 3

3. Resultado y análisis

Se encontró que en una piscina con 185.000 camarones (11.7 g) por hectárea, a una temperatura de 28.8 °C, el requerimiento de oxígeno de la columna de agua y suelo fueron 0.45 y 0.35 g O₂/m³/h, respectivamente (Tabla 3.1). Esto representó una demanda total de oxígeno del medio de 9.1 kg O₂/h.

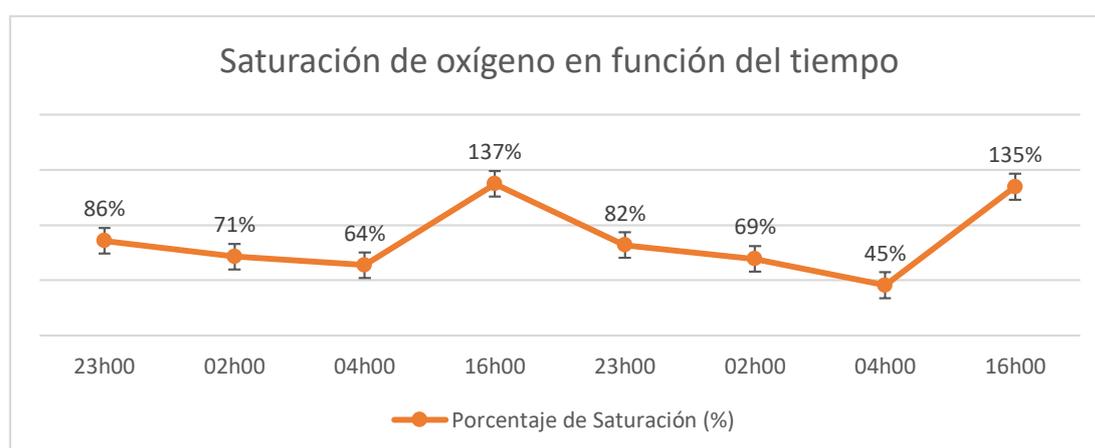


Figura 3. 8 Variación diurna de la saturación de oxígeno disuelto de una piscina de la camaronera con densidad de 185.000 animales por hectárea con un peso promedio de camarón 11.7g de a 28.8°C de temperatura. Porcentajes de saturación menores a 50% genera perdida

Tabla 3. 3 Demanda bioquímica de oxígeno de una piscina de 185,000 camarones (11.7 g) por hectárea, a una temperatura de 28.8 °C. Fuente: (Echeverría, 2022)

Hora	Oxígeno medido en la columna de agua (RC)	Oxígeno medido en el fondo (RF)	Respiración columna de agua	Respiración del fondo	Respiración del camarón	Demanda de oxígeno (DO)	Demanda total, de oxígeno TOD
	mg/l	mg/l	g O ₂ /m ³ /h	kg O ₂ /h			
16:20	13,1	9,5					
17:01	12,9	9,1	0.45	0.35	0.05	0.85	9.1
17:40	12.5	8,4					

Los tres tipos de aireadores fueron evaluados bajo las mismas condiciones. Se encontró que el aireador Splash M2 de 1.5 hp tardó más tiempo en recuperar el 70% de la saturación de oxígeno en comparación a los dos modelos restantes (Splash M1 y Paleta)

(Tabla 3.4). El aireador de Paleta de 1.5 hp obtuvo menor potencia. Sin embargo, obtuvo el menor tiempo de saturación al 70% (Balnova, Nova S.A., 2014).

Tabla 3. 4 Rendimiento de los aireadores utilizados en las tres pruebas con los aireadores. Oxígenos disueltos al 100, 70 y 10% de saturación medidos en el tiempo. Fuente: (BERAQUA, 2021)

Modelo de aireador	Salinidad (mg/l)	Temperatura (°C)	OD 100% (mg/l)	OD al 10% de saturación (mg/l)	Temperatura al 10% de saturación de O ₂ (min)	OD al 70% de saturación (mg/l)	Temperatura al 70% de saturación de O ₂ (min)
Splash M1	5.4	26.6	7.80	0.79	2.09	5.53	14.85
Splash M2	5.4	25.3	8.00	0.81	2.34	5.63	16.32
Paleta	5.4	26.2	7.80	0.8	1.82	5.54	12.81

El SORT y el SAE teórico versus el real tuvieron diferencias en sus valores teniendo los más bajo en la práctica. El SAE encontrado durante las pruebas permitieron conocer que el aireador con mayor eficiencia es de Paleta con un SAE de 1.09 kg O₂/kwh. Considerando que, la tarifa diferencial por concepto de consumo de energía eléctrica por kilowatts para camaroneras con sistema de bombeo cobrado por el proveedor es de \$0.06 kilowatts por hora, el costo de aireación por kilogramos de oxígeno transferido al agua del raceway representó un valor de \$0.05 para el aireador de paleta y \$0.09 para el aireador splash M1.

Tabla 3. 5 Valores estimados de SORT y SAE obtenidos en las pruebas en este estudio, comparación con los valores presentados en las fichas técnicas de los aireadores y costo de aireación real. Fuente: (Echeverría, 2022)

Modelo de aireador	SORT $\left(\frac{kg\ O_2}{hr}\right)$	SAE Teórico $\left(\frac{kg\ O_2}{kWh}\right)$	SORT $\left(\frac{kg\ O_2}{hr}\right)$	SAE Real $\left(\frac{kg\ O_2}{kWh}\right)$	Costo de aireación Real $\left(\frac{USD}{kg\ O_2}\right)$
Splash M1	1.50	1.00	1.03	0.70	0.09
Splash M2	1.53	1.38	0.99	0.89	0.07
Paleta	1.35	1.80	1.21	1.09	0.05

Entregar oxígeno al medio de cultivo puede ser una tarea complicada, ya que esta depende de un estudio delimitado a las características tanto geográficas, físicas y biológicas que presente la camaronera. En cuanto a los costos operativos, no es claro la cantidad ya que esto depende de diversos factores tales como la temporada: en clima húmedo/cálido los aireadores pueden trabajar más de 16 horas ya que las temperaturas varían drásticamente. Por otro lado, en la temporada seca/fría los aireadores se ajustan a las 16 horas de funcionamiento. La densidad de siembra y el mantenimiento son dos de los factores que también inciden en la correcta gestión de los equipos y de los costos operativos.

Desde el punto de vista biológico, los aireadores splash tienen la característica de airear más área de la columna de agua, haciéndolos ideales para piscinas profundas. Los equipos de paleta tienen otro enfoque, estos apuntan a mayor aireación en la superficie del agua, evitando así mismo la estratificación. Otra de las características que tienen los aireadores de paleta es, que, en agua dulce, las burbujas que generan son de mayor tamaño debido a la menor tensión superficial del agua minimizando área de superficie para el intercambio de oxígeno por difusión. Sin embargo, la solubilidad del oxígeno es mayor en comparación al agua salada.

Tabla 3. 6 Comparativo de los costos por hectárea en base a las horas de trabajo, cantidad de equipos y eficiencia de los tres modelos de aireadores. Fuente: (Echeverría, 2022)

Modelo de aireador	Horas trabajo/ Día (hr)	Consumo equipo /día de trabajo (kw h)	Cantidad equipos/ ha	Consumo equipo/ha/día kw h	Costo consumo/ha/día \$	Costo de consumo en 300 ha \$
Splash M1	16	11.2	4	44	3.96	1.188
Splash M2	16	14.2	4	57	3.99	1.197
Paleta	16	17.4	4	69	3.45	1.035

Tabla 3.7 Comparativo de los costos de inversión, costo de kilowatts y costo de mantenimiento por año de los tres modelos de aireadores. Fuente: (Echeverría, 2022)

Modelo de aireador	Inversión inicial \$	Costo kW/año \$	Costo mantenimiento/año \$
Splash M1	993.000	433.000	430
Splash M2	956.000	436.000	350
Paleta	540.000	377.000	440

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ecuador se ha inclinado por los Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS, por sus siglas en inglés) para los cultivos semi-intensivos. Estos sistemas se caracterizan por manejar la calidad del agua y suelos basados en la promoción de factores (niveles altos de recambio de agua, retiro de lodos y aireación) que aumentan la capacidad de carga de las piscinas. Los RAS bien diseñados son capaces de optimizar los recursos, manteniendo un medio microbiológico estable, lo cual reduce el riesgo de entrada de patógenos a los sistemas y reduce el impacto ambiental. El oxígeno disuelto (OD) es el factor más limitante en los RAS porque la biomasa de camarón, fitoplancton y bacterias del agua y suelo en una piscina de camarón es superior al de un medio acuático natural. Esta biomasa puede consumir el oxígeno disuelto de la piscina más rápido que lo que se repone. A su vez, estas bajas concentraciones de oxígeno disuelto en la piscina ocasionan estrés en los camarones, lo que limita el consumo de alimento de los camarones y por tanto el crecimiento, incrementan la susceptibilidad de los camarones a los patógenos infecciosos, e inclusive pueden ocasionar la muerte de los animales. Concentraciones de oxígeno disuelto menores a 3 mg/L afectan la calidad del agua de la piscina, volviéndola hipóxica por consecuencia de los restos de alimento y heces y la respiración de los organismos, lo cual eleva los niveles de estrés de los camarones y la conversión alimenticia (Jayanthi, 2021).

Conclusiones

- El aireador de paleta presentó mayor eficiencia para transferir el aire del medio al agua ($SAE = 1.09 \text{ kg } \frac{\text{O}_2}{\text{kWh}}$), con un costo de aireación de 0.05 USD/Kw h, lo que representa un 37% de ahorro frente a los modelos de aireadores
- Los modelos de aireadores splash presentan mayor costo de inversión, sin embargo, el costo de mantenimiento es menor en comparación al aireador de paleta, esto debido a la cantidad de accesorios que tienen sus estructuras; los aireadores de paleta cuentan con varias piezas mientras que el aireador splash están dados por una sola pieza bajando la probabilidad de daños.
- El aireador de paleta aun siendo un equipo con varias piezas, cuenta con menor gasto de kilowatts al año *versus* el aireador splash, teniendo como consecuencia menor gasto operativo por ciclo de producción
- La vida útil de los aireadores de paleta y splash es de cinco años, sin embargo, un buen mantenimiento podría alargar la vida útil de los equipos.
- Debido a la infraestructura de la camaronera, el modelo de aireador splash podría generar problemáticas en cuanto al suelo, ya que por su método de aireación podría remover sedimento del fondo lo que aumentaría la turbidez del agua de tal forma que interferiría con la
- Para la camaronera que cuenta con piscinas mayormente planas, el aireador ideal es el modelo de paleta, ya que, al tener mayor eficiencia, menor costo y mayor aireación superficial, lo hace el candidato idóneo para implementarlo en las 300 hectáreas de espejo de agua de la piscina estudiada.

•

Recomendaciones

- En presencia de problemas de crecimiento, mortalidad, pérdida de la calidad del agua y suelo en las piscinas, se recomienda implementar aireación mecánica para compensar el déficit de oxígeno del medio.
- Se recomienda hacer pruebas de distintos modelos, midiendo la potencia real frente a la potencia de la ficha técnica de los aireadores bajos los parámetros físico-químicos de la camaronera a la que se le quiera implementar un sistema de aireación mecánica.

- Se recomienda conocer la accesibilidad que tiene la camaronera para la instalación eléctrica, previo a un análisis para la implementación de aireación.
- Cuando se realicen las pruebas es recomendable utilizar una bomba sumergible para homogenizar los reactivos con el volumen de agua, para esto se podría optar por encender el aireador por 2 minutos para mover el agua que se encuentra en el centro del raceways. De igual forma, es recomendable utilizar agua limpia y libre de cloro.
- En cuanto a la toma de oxígeno, se podría trabajar con dos oxígenómetros: uno localizado frente al aireador, el otro detrás y comparar las lecturas.
- Se recomienda utilizar sulfito de sodio ya que este reactivo es más eficiente para bajar el oxígeno del medio frente al meta bisulfito de sodio.
- Cuando se esté pesando los reactivos, es necesario el uso de mascarillas y guantes para prevenir posibles accidentes.
- Para las pruebas, los raceways de 50 m³ podrían ser llenados hasta los 30 m³ ya que al generar movimiento de agua por consecuencia de los aireadores se pierde gran masa de agua de los raceways.

4. REFERENCIAS

- Advance. (12 de Diciembre de 2019). *Google*. Obtenido de Google: <https://somosadvance.com/eficiencia-de-operacion-de-sistemas-de-aireacion/>
- Balnova. (20 de Febrero de 2014). *ADM*. Obtenido de ADM: <https://balnova.com/ph-en-estanques-de-camaron/>
- Balnova. (18 de Marzo de 2014). *Nova S.A.* Obtenido de Nova S.A.: <https://balnova.com/oxigeno-en-estanques-de-camaron/>
- Balnova. (10 de Marzo de 2019). *ADM*. Obtenido de ADM: <https://balnova.com/una-revision-al-mecanismo-inmunologico-de-los-crustaceos-decapodos/>
- BERAQUA. (2021). *BERAQUA* . Obtenido de BERAQUA : http://www.beraqua.com.br/es/ver_productos/aireadores/3/aquamix
- Burbano-Gallardo. (Agosto de 2015). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate: <file:///C:/Users/kecheverria/Downloads/SupervivenciadeposlarvasdeLitopenaeusvannamei.pdf>
- Ching, C. (2021). Calidad de agua y capacidad de acrga n el cultivo de camarón . *Calidad de agua y capacidad de acrga n el cultivo de camarón* , (pág. 5). Guayaquil .
- Claude E. Boyd, P. (3 de Enero de 2022). *Global Seafood*. Obtenido de Global Seafood: <https://www.globalseafood.org/advocate/un-bajo-indice-de-conversion-alimenticia-es-el-principal-indicador-de-una-acuacultura-eficiente/>
- CRUPESA. (2021). *CRUPESA*. Obtenido de CRUPESA: <https://www.crupesa.com/>
- ECUASINO. (2021). *Importadora ECUASINO*. Obtenido de Importadora ECUASINO: <http://www.ecuasino.com/productos.php?id=1>
- Ecudinatek. (5 de Agosto de 2020). *Dinatek*. Obtenido de Dinatek: <https://dinatek.ec/eficiencia-en-aireacion-de-piscinas-de-camaron/>
- FAO. (16 de 07 de 2021). *Food and Agriculture Organization of the United Nations* . Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations : <https://www.fao.org/in-action/globefish/market-reports/resource-detail/en/c/1416629/>
- Fenucci, J. L. (Agosto de 1988). *FAO*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/3/AB466S/AB466S00.htm#TOC>

- Fenucci, J. L. (s.f.). *FAO*. Obtenido de *FAO*:
<https://www.fao.org/3/ab466s/AB466S00.htm#TOC>
- Fernando-Criado, M. P. (1984). *Informes 1984 nacionales sobre el desarrollo de la acuicultura en America Latina*. *FAO inf.Pesca*, (294)supl.1:138 p.
- Fernando-Criado, P. (1984). *INFORMES NACIONALES SOBRE EL DESARROLLO DE LA ACUICULTURA EN AMERICA LATINA*. ISBN 92-5-302133-0. Obtenido de *FAO*.
- González, F. (25 de marzo de 2019). *Piscicultura Global*. Obtenido de *Piscicultura Global*:
<https://www.pisciculturaglobal.com/seleccion-y-uso-de-aireadores-para-la-acuicultura/>
- Jayanthi, M. (2021). *ELSEVIER*. Obtenido de *ELSEVIER*:
[file:///C:/Users/kecheverria/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/4/Attachments/Jayanthi%20et%20al%202021\[9474\].pdf](file:///C:/Users/kecheverria/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/4/Attachments/Jayanthi%20et%20al%202021[9474].pdf)
- Luna, G. (Octubre de 2021). *Camara Nacional de Acuicultura*. Obtenido de *Camara Nacional de Acuicultura*: https://issuu.com/revista-cna/docs/edicion143_100
- OXIPEZ. (s.f.). *OXIPEZ*. Obtenido de *OXIPEZ*: <https://oxipez.com/>
- Piedrahita, Y. (23 de Julio de 2018). *Global Seafood*. Obtenido de *Global Seafood*:
<https://www.globalseafood.org/advocate/la-industria-de-cultivo-de-camaron-en-ecuador-parte-1/>
- Simpson, H. y. (1985). *ACUICULTURA DE AGUA SALOBRE EN LOS TRÓPICOS: EL PROBLEMA DE LOS SUELOS DE SULFATO ÁCIDO*. *FAO*, 32. Obtenido de *FAO*.
- Tecnoacua. (2021). *DIVA*. Obtenido de *DIVA*: <http://tecnoacua.com.ec/CATALOGO.pdf>
- TecnoTanques. (19 de Septiembre de 2016). *google*. Obtenido de *google*:
<https://tecnotanques.com/importante-la-aireacion-del-agua/#:~:text=Motivos%20de%20su%20importancia.%20Las%20razones%20para%20la,elementos%20nocivos%20para%20la%20flora%20y%20fauna%20marina.>
- Vinatea, L. (Septiembre de 2007). *ResearchGate*. Obtenido de *ResearchGate*:
file:///C:/Users/kecheverria/Downloads/Influence_of_water_salinity_on_the_SOTR_of_paddlew.pdf

Vinatea, L. (Enero de 2007). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate:
file:///C:/Users/kecheverria/Downloads/Evaluation_of_respiration_rates_and_mechanical_aer%20(3).pdf

Vinatea, L. (Mayo de 2011). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate:
file:///C:/Users/kecheverria/Downloads/ActaScientariumVinaArantesMuedas.pdf

Vinatea, L.-C. B. (2009). *COMBINED EFFECT OF BODY WEIGHT, TEMPERATURE AND SALINITY ON SHRIMP Litopenaeus vannamei OXYGEN CONSUMPTION RATE*. Brasil: 57(4):305-314. Obtenido de Scielo:
<https://www.scielo.br/j/bjoce/a/Yd4TBjcJTYDCs7LmC8mzmVp/?format=pdf>