



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE ACUICULTURA**

**Efecto de la disposición de los aireadores mecánicos sobre el perfil de oxígeno disuelto en estanques de cultivo de camarón**

**MENA FAJARDO MICHAEL JORDY  
INGENIERO ACUICOLA**

**ORDOÑEZ LLIVICHUZCA WILMER JOEL  
INGENIERO ACUICOLA**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE ACUICULTURA**

**Efecto de la disposición de los aireadores mecánicos sobre el perfil  
de oxígeno disuelto en estanques de cultivo de camarón**

**MENA FAJARDO MICHAEL JORDY  
INGENIERO ACUICOLA**

**ORDOÑEZ LLIVICHUZCA WILMER JOEL  
INGENIERO ACUICOLA**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE ACUICULTURA**

**PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

**Efecto de la disposición de los aireadores mecánicos sobre el perfil  
de oxígeno disuelto en estanques de cultivo de camarón**

**MENA FAJARDO MICHAEL JORDY  
INGENIERO ACUICOLA**

**ORDOÑEZ LLIVICHUZCA WILMER JOEL  
INGENIERO ACUICOLA**

**SANTACRUZ REYES ROBERTO ADRIAN**

**MACHALA  
2023**

# borrador tesis

*por* Jordy Mena

---

**Fecha de entrega:** 11-mar-2024 04:35p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2318028933

**Nombre del archivo:** Tesis\_TURNITIN\_\_J.Mena,J.Ordo\_ez.1.docx (3.98M)

**Total de palabras:** 8354

**Total de caracteres:** 43361

# borrador tesis

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

4%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

1%

2

Martín Merino Ibarra, Elva Guadalupe Escobar Briones. "Tendencias de Investigación en Limnología Tropical Perspectivas Universitarias en Latinoamérica", Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2015

Publicación

<1%

3

[de.slideshare.net](https://de.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1%

4

[livros01.livrosgratis.com.br](https://livros01.livrosgratis.com.br)

Fuente de Internet

<1%

5

[www.quinchon.addr.com](https://www.quinchon.addr.com)

Fuente de Internet

<1%

6

[infofirma.sea.gob.cl](https://infofirma.sea.gob.cl)

Fuente de Internet

<1%

7

[agualatinoamerica.com](https://agualatinoamerica.com)

Fuente de Internet

<1%

---

[cebem.org](https://cebem.org)

8	Fuente de Internet	<1 %
9	Esther Capilla Tamborero. "Geometría, arte y construcción. Las bóvedas de los Siglos XIII a XVI en el entorno valenciano.", Universitat Politecnica de Valencia, 2016 Publicación	<1 %
10	Submitted to Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba Trabajo del estudiante	<1 %
11	docplayer.nl Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
14	hispana.mcu.es Fuente de Internet	<1 %
15	www.eladelantado.com Fuente de Internet	<1 %
16	www.jove.com Fuente de Internet	<1 %

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, MENA FAJARDO MICHAEL JORDY y ORDOÑEZ LLIVICHUZCA WILMER JOEL, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Efecto de la disposición de los aireadores mecánicos sobre el perfil de oxígeno disuelto en estanques de cultivo de camarón, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

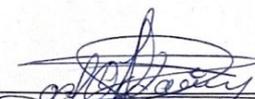
Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



MENA FAJARDO MICHAEL JORDY  
0705888899



ORDOÑEZ LLIVICHUZCA WILMER JOEL  
0704837699

## AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres, quienes actuaron como pilar fundamental en todo nuestro proceso educativo, expresarles nuestro más sincero agradecimiento por el apoyo incondicional en todas las etapas de nuestra carrera universitaria. Es gracias a su apoyo y confianza en nosotros, el resultado de haber completado con éxito nuestras metas.

Extender un agradecimiento al Dr. Santacruz Reyes Roberto Adrián, por el tiempo dedicado a nuestra orientación como nuestro mentor en la investigación realizada. El amplio conocimiento y entrega por la carrera nos sirve de apoyo para querer indagar, investigar y profundizar nuestros conocimientos en temas de manejo sostenible en acuicultura.

Recordar también las enseñanzas impartidas por el Dr. Patricio Colón Velázquez López y la Dra. Lita Scarleth Sorroza Ochoa por su colaboración e interés en nuestra investigación. Su amplio conocimiento y orientación nos ayudaron a corregir errores. Siempre estaremos agradecidos por su ayuda y su tiempo para resolver algunas de nuestras interrogantes.

A nuestra familia y amigos cercanos, que siempre estuvieron al pendiente de nuestro largo proceso universitario y a pesar de no haber sido un camino fácil siempre estuvieron dispuestos a colaborar en los problemas que iban surgiendo durante el camino.

A nuestros compañeros de cursos superiores que actualmente ejercen su título universitario, los cuales ahora pasan a ser nuestros colegas, agradecerles también por siempre acompañarnos en la vida universitaria, les agradecemos por su paciencia y aprecio para resolver nuestras interrogantes a lo largo de estos años.

*Wilmer & Jordy*

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se la dedico principalmente a mis padres John Mena Rodríguez y Janeth Fajardo Rodríguez, gracias a ellos pude recibir la mejor educación y dedicarme a estudiar, gracias a ustedes que pasaron noches en vela trabajando para que de esta manera no me falte nada, les dedico esta meta, la cual no fue solo mi esfuerzo, fue también su esfuerzo, espero poder hacerlos sentir orgullosos y devolverles tantos años de trabajo que han dedicado a mi estudio. Agradezco mucho las compañías y consejos que siempre me ayudaron a tomar el mejor camino.

De igual forma, agradezco a mis hermanas y hermano Yomari Mena, Adriana Mena y Jerick Mena, ya que, me ayudaron a siempre seguir luchando y nunca me dejaron decaer de mis metas, a pesar de que no fue fácil ellos también fueron parte de este proceso. Yomari Mena, te agradezco por la paciencia que tuviste conmigo en momentos complicados, gracias por ser mi hermana.

*Michael Jordy Mena Fajardo*

Este trabajo de investigación se la dedico principalmente a mi padre Wilmer Alfredo Ordoñez Tinoco, gracias a él pude recibir la mejor educación y centrarme en mis estudios, gracias a usted que pasa todos los días trabajando para que nada me falte y para que yo pueda cumplir uno de sus deseos que es graduarme de la universidad, le dedico este logro, el cual no lo logre solamente con mi esfuerzo, fue también su esfuerzo, espero que se sienta orgulloso de mi y poder algún día devolverle todo lo que me ha dado para culminar mis estudios. Agradezco mucho las compañías y consejos que siempre me ayudaron a tomar el mejor camino.

De igual forma, agradezco a mis hermanos, Marlon Buele LL., Anary Macas LL. y Allison Ordoñez LL., ya que, me ayudaron a siempre seguir estudiando y culminar mi etapa universitaria, a pesar de que no fue fácil ellos también fueron parte de este proceso. Y por

supuesto agradezco a mi pareja Andrea Yaguachi, gracias por la paciencia que tuviste conmigo en momentos complicados y por haberme acompañado en este largo camino, gracias por estar presente en esta etapa de mi vida.

*Wilmer Joel Ordoñez Llivichuzca*

## RESUMEN

El oxígeno disuelto (OD) siendo uno de los principales parámetros fisicoquímicos que afecta directamente a la calidad de agua de un estanque acuícola se convierte en uno de los principales factores a tomarse en cuenta en una producción, ya que la deficiencia de este factor puede causar altas mortalidades y desequilibrio en cuanto a las propiedades del agua del sistema de cultivo. En la presente investigación se analizó el efecto de la disposición de los aireadores mecánicos (aireador estático y rotativo) en un sistema de cultivo tradicional del camarón, evaluando cómo esta disposición afecta a la disponibilidad de OD en el estanque. Los datos fueron recopilados en relación a la distribución del OD en el perfil vertical dentro del estanque, con mediciones horizontales a los 0 m desde el golpe de las paletas, hasta los 30 m de distancia del aireador, con mediciones cada 3 m en ambas disposiciones. Los resultados se presentan en estadística descriptiva, para lo cual se estudió el efecto de la disposición durante 8 semanas con la finalidad de obtener datos suficientes que puedan respaldar la eficiencia en la incorporación de OD generada por estos 2 tipos de disposición, encontrando diferencias entre ambas. Las disposiciones de los aireadores presentaron resultados variados en cuanto a la presencia de OD en perfil vertical con una diferencia de incorporación de OD del 15,76 % y 6,38% en aireador estático y aireador rotativo respectivamente. La incorporación más alta de OD se observó en el aireador estático, por otra parte, el aireador rotativo tiene una pérdida de OD de hasta el 59,49%, la cual ocurrió debido al desplazamiento del aireador y por lo tanto la distribución de OD en el agua fue significativamente diferente en comparación al aireador estático. En base a los resultados se concluyó que la ubicación adecuada para un aireador estático debe ser cerca del muro, principalmente en la zona de préstamo, para generar corrientes que puedan circular por todo el estanque. En la disposición del aireador rotativo lo aconsejable sería utilizarlos en pre-cría por la ola en forma de espiral lo que permite incorporación de OD más uniforme.

**Palabras clave:** Oxígeno disuelto, aireador estático, aireador rotativo, perfil vertical, eficiencia.

## ABSTRACT

Dissolved oxygen (DO), being one of the main physicochemical parameters directly affecting the water quality of an aquaculture pond, becomes one of the primary factors to be considered in production, as deficiency in this factor can cause high mortalities and imbalance in the water properties of the cultivation system. In this research, the effect of the arrangement of mechanical aerators (static and rotating aerators) in a traditional shrimp farming system was analyzed, evaluating how this arrangement affects the availability of DO in the pond. Data were collected regarding the distribution of DO in the vertical profile within the pond, with horizontal measurements from 0 m from the paddle strike to 30 m away from the aerator, with measurements every 3 m in both arrangements. The results are presented in descriptive statistics, for which the effect of the arrangement was studied over 8 weeks in order to obtain sufficient data that can support the efficiency in the incorporation of DO generated by these 2 types of arrangements, finding differences between them. The aerator arrangements showed varied results regarding the presence of DO in the vertical profile with a difference in DO incorporation of 15.76% and 6.38% in static and rotating aerators respectively. The highest DO incorporation was observed in the static aerator; however, the rotating aerator has a loss of DO of up to 59.49%, which occurred due to the displacement of the aerator and therefore the distribution of DO in the water was significantly different compared to the static aerator. Based on the results, it was concluded that the appropriate location for a static aerator should be near the wall, mainly in the loan zone, to generate currents that can circulate throughout the pond. For the arrangement of the rotating aerator, it would be advisable to use them in pre-breeding with a spiral wave, allowing for a more uniform incorporation of DO.

**Keywords:** Dissolved oxygen, static aerator, rotary aerator, vertical profile, efficiency.

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>X</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>XI</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XIV</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XV</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>XVI</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>- 1 -</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	- 1 -
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	- 3 -
3. JUSTIFICACIÓN .....	- 4 -
4. OBJETIVOS .....	- 5 -
4.1. <i>Objetivo general</i> .....	- 5 -
4.2. <i>Objetivo específico</i> .....	- 5 -
5. HIPÓTESIS.....	- 6 -
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>- 7 -</b>
6. REVISIÓN DE LITERATURA.....	- 7 -
6.1. <i>Oxígeno Disuelto</i> .....	- 7 -
6.1.1. Necesidad del oxígeno en los estanques de producción .....	- 8 -
6.1.2. Producción de oxígeno en un estanque.....	- 8 -
6.1.3. Factores que incrementan la disponibilidad de oxígeno disuelto .....	- 9 -

6.1.3.1. Producción natural.....	- 9 -
6.1.3.1.1. Fitoplancton.....	- 9 -
6.1.3.1.2. Difusión.....	- 10 -
6.1.3.2. Producción artificial.....	- 10 -
6.1.4. Consumo de oxígeno disuelto.....	- 11 -
6.2. <i>Calidad de agua en acuicultura</i> .....	- 12 -
6.2.1. Parámetros importantes para el cultivo de camarón.....	- 13 -
6.2.1.1. Temperatura.....	- 14 -
6.3. <i>Aireadores mecánicos</i> .....	- 15 -
6.4. <i>Niveles de OD</i> .....	- 16 -
6.4.1. En función a su distancia.....	- 16 -
6.4.2. En función a su profundidad.....	- 17 -
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>- 18 -</b>
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	- 18 -
7.1. <i>Materiales y equipos</i> .....	- 18 -
7.1.1. Equipos.....	- 18 -
7.1.2. Materiales.....	- 18 -
7.2. <i>Área de estudio</i> .....	- 18 -
7.3. <i>Metodología</i> .....	- 18 -
7.4. <i>Toma de datos in situ</i> .....	- 19 -
7.5. <i>Identificación de aireadores</i> .....	- 22 -
7.5.1. Aireadores mecánicos (paletas).....	- 22 -
7.5.2. Número de paletas.....	- 22 -
7.6. <i>Tiempo de funcionamiento</i> .....	- 22 -
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>- 23 -</b>

8. RESULTADOS.....	- 23 -
8.1. <i>Oxígeno disuelto</i> .....	- 23 -
8.1.1. Aireador estático .....	- 24 -
8.1.2. Aireador rotativo .....	- 27 -
9. DISCUSIÓN .....	- 32 -
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>- 34 -</b>
10. CONCLUSIONES .....	- 34 -
11. RECOMENDACIONES .....	- 36 -
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>37</b>
12. BIBLIOGRAFÍA.....	37
13. ANEXOS.....	44

## INDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1: Imagen referencial del sector a trabajar .....</i>	<i>- 18 -</i>
<i>Ilustración 2: Imagen referencial de toma de datos in situ de manera horizontal.....</i>	<i>- 20 -</i>
<i>Ilustración 3: Imagen referencial de toma de datos in situ de manera vertical.....</i>	<i>- 20 -</i>
<i>Ilustración 4: Comportamiento de la concentración de OD (promedio) con aireador mecánico estático .....</i>	<i>- 25 -</i>
<i>Ilustración 5: Comportamiento de oxígeno disuelto de manera vertical en aireador estático a los 0m, 15m, 30m de distancia vertical en la semana 1, 4 y 8.....</i>	<i>- 26 -</i>
<i>Ilustración 6: Perfil 3D del comportamiento de la concentración de OD (promedio) con aireador mecánico estático.....</i>	<i>- 27 -</i>
<i>Ilustración 7: Comportamiento de la concentración de OD (promedio) con aireador mecánico rotativo.....</i>	<i>- 28 -</i>
<i>Ilustración 8: Comportamiento de oxígeno disuelto de manera vertical en aireador rotativo a los 0m, 15m, 30m de distancia vertical en la semana 1, 4 y 8.....</i>	<i>- 29 -</i>
<i>Ilustración 9: Perfil 3D del comportamiento de la concentración de OD (promedio) con aireador mecánico rotativo.....</i>	<i>- 30 -</i>

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Modelo de toma de datos in situ de la disponibilidad de oxígeno disuelto con respecto a su distancia horizontal y vertical partiendo desde las paletas .....</i>	<i>- 21 -</i>
<i>Tabla 2: Modelo de toma de datos in situ de la disponibilidad de oxígeno disuelto con respecto a su distancia vertical partiendo desde las paletas .....</i>	<i>- 21 -</i>
<i>Tabla 3: Promedios generales de concentración de OD registrados en aireadores estáticos y rotativos a los 0 m de distancia horizontal.....</i>	<i>- 23 -</i>
<i>Tabla 4: Promedios generales de concentración de OD registrados en aireadores estáticos y rotativos a los 30 m de distancia horizontal.....</i>	<i>- 24 -</i>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo A: Toma de datos in situ aireador estático.....</i>	<i>44</i>
<i>Anexo B: Calibración de medidor de oxígeno (YSI Ecosense DO200A) para recolección de datos.....</i>	<i>44</i>
<i>Anexo C: Rotación de paletas del aireador estático .....</i>	<i>45</i>
<i>Anexo D: Aireador rotativo utilizado en las mediciones de oxígeno .....</i>	<i>45</i>
<i>Anexo E: Toma de datos de aireador estático a los 0m de distancia horizontal .....</i>	<i>46</i>

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

La cantidad de oxígeno presente en el agua se denomina "oxígeno disuelto" (OD) y juega un papel crucial en la supervivencia y reproducción de los animales acuáticos. El OD es un parámetro comúnmente utilizado para evaluar la calidad del agua en estanques y otros cuerpos de agua, con correlación al OD las sales también alteran la capacidad de disolución del oxígeno en el agua lo cual el nivel de saturación disminuye con respecto a la salinidad (Arias, 2021).

La dirección del flujo de agua tiene un papel importante en el movimiento y la mezcla de un estanque. Además, facilita el intercambio de gases con la atmósfera, aumentando la cantidad de oxígeno liberado en el agua. Esto ayuda a disminuir la posibilidad de zonas anóxicas que se forman durante la estabilización de la temperatura. Estos dispositivos son partes esenciales del sistema de producción intensiva permitiendo mantener niveles suficientes de oxígeno disperso en el agua para el cultivo exitoso de camarones (Villareal, 2022).

La tasa de transferencia de oxígeno se define como la cantidad de oxígeno disuelto en un volumen de agua por unidad de tiempo, bajo condiciones específicas de temperatura, presión atmosférica, velocidad de gas, potencia y concentración de oxígeno disuelto. El parámetro coeficiente transferencia de oxígeno (KLa) se utiliza ampliamente para evaluar el rendimiento de los sistemas de aireación de agua o aguas residuales en condiciones operativas específicas. Además, existen otros parámetros que se emplean para caracterizar el desempeño de los sistemas de oxigenación de agua, como la eficiencia de aireación y la eficiencia de transferencia de oxígeno (Robles-Rete, 2022).

En la aireación de superficie se utiliza un dispositivo mecánico que agita la superficie para introducir oxígeno atmosférico en el agua. Este enfoque se destaca por su simplicidad, confiabilidad y rentabilidad en la transmisión de oxígeno. Una hélice de chorro se utiliza para

transportar oxígeno de la atmósfera al agua. Está compuesto por impulsores en varias configuraciones. Este tipo de aireación mecánica puede tener un flujo axial ascendente, lo que tiene ciertos inconvenientes como la producción de ruido y olores como consecuencia de la Re-suspensión y salpicadura de gotas sobre la superficie del agua sobrante (Aparicio-Plazas & Blanco-Zúñiga, 2022).

Para mantener los niveles de oxígeno necesarios para el cultivo, los sistemas de aire y oxigenación se utilizan mayoritariamente en sistemas intensivos. El nivel de saturación de oxígeno en el agua está relacionado con el intercambio de gases. La cantidad de oxígeno a menudo se reduce hasta en un 70% como pasa por el tanque y biofiltro. Sin embargo, la concentración de oxígeno en el tanque de cultivo supera el 90% y, en algunos casos, llega incluso al 100%. Esto muestra cuán importantes son estos sistemas para garantizar un suministro adecuado de oxígeno para un cultivo exitoso (Mejía-Rómulo, 2020).

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La camaronicultura, ha afectado grandemente a la ecología del sector ecuatoriano, debido al constante descuido de ciertos empresarios. Aunque las leyes de Ecuador tienen como finalidad cuidar el ecosistema, muchos empresarios fallan en la utilización de recursos y en muchas ocasiones la utilización de hidrocarburos utilizados en aireadores, son liberados al medio acuoso, dando como resultado una mala calidad de agua, por lo que resta decir que la inexperiencia es un factor negativo al intentar controlar sistemas de producción de mayor intensificación.

El oxígeno como fuente primordial de buena calidad de agua, junto con el alimento balanceado, son los dos factores más explotados. Gracias a nuevas tecnologías implementadas como automatización de aireación mecánica, se ha triplicado la producción.

Los aireadores mecánicos, gracias a su eje transversal, son los de mayor uso para una buena transferencia de oxígeno y homogenización de temperaturas en la columna de agua, gracias a esto los valores de oxígeno en un estanque acuícola, son más estables y permite soportar mayores cargas al agua.

El uso negativo es el consumo de hidrocarburos, incluso algunos aireadores mantienen un gasto energético alto ya que su ineficacia se basa en posicionarse dentro del estanque, por lo que este proyecto pretende determinar el óptimo posicionamiento de la aireación mecánica.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Debido a las diferentes causas que dificultan la producción de camarón, es más que claro que el interés científico de la tecnificación de aireadores mecánicos en las áreas productivas de camarón se ha ido incrementando con el paso del tiempo y logrando así tener bases donde se pueden fundamentar diferentes tipos de hipótesis acerca de cuál sería el mejor posicionamiento de un aireador mecánico para mantener el adecuado perfil de oxígeno disuelto en la columna de agua y así ayudar a la producción de camarón.

Por ende, el concepto de efecto de la disposición de los aireadores mecánicos se plantea como un intento de considerar su determinante contribución en el desempeño sobre la producción de oxígeno disuelto en el perfil de columna de agua, por sí mismo el posicionamiento de los aireadores mecánicos constituye una variable de importancia crucial para la comprensión del éxito productivo del sector camaronero.

La medición y manejo de la disposición de los aireadores mecánicos exigen el desarrollo y verificación de las principales teorías que abarcan el estudio, en ese sentido, la presente investigación contribuirá con el enriquecimiento de la literatura científica sobre esta noción novedosa, particularmente aplicándola al campo de la producción como lo hace en otras industrias.

Es por eso, que el uso de aireadores para tener un mejor perfil de oxígeno disuelto en los cultivos de camarón ha venido teniendo un interesante uso en el campo productivo, debido a que su posicionamiento influye en el efecto de la distribución de oxígeno en el perfil de los estanques de producción.

En el Ecuador la práctica del cultivo de camarón en estanques se ha venido incrementando considerablemente en las últimas décadas, ya que es una parte fundamental y una alternativa para la sostenibilidad de muchos hogares en Ecuador, también es una de las fuentes potenciales que se comercializa en todo el mundo.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1.Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la disposición de los aireadores mecánicos en el perfil de oxígeno disuelto en estanques de cultivo de camarón, mediante la implementación aireadores mecánicos estáticos y rotarios para estudiar su eficiencia en un estanque.

### **4.2.Objetivo específico**

- Determinar cómo la disposición de los aireadores mecánicos impacta en la distribución vertical del perfil de oxígeno disuelto en los estanques de cultivo de camarón.
- Evaluar la distribución de oxígeno disuelto entre aireadores mecánicos estáticos y rotarios.
- Comparar el impacto de la disposición de los aireadores mecánicos para minimizar los problemas asociados en la variación de oxígeno disuelto en estanques de cultivo de camarón.

## **5. HIPÓTESIS**

La disposición de los aireadores mecánicos tiene un efecto sobre el perfil de oxígeno disuelto en estanques de cultivo de camarón. Se analizarán los valores referenciales a la carga de producción de oxígeno disuelto, lo que llevaría a determinar cuál es la mejor disposición de los aireadores mecánicos, ya sean estos rotatorios o estáticos para tener una mejor efectividad en la incorporación de oxígeno en los cultivos de camarón.

## CAPÍTULO II

### 6. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 6.1. Oxígeno Disuelto

La importancia de este parámetro, asimismo el más crítico, en la acuicultura considerando que es un regulador metabólico que provoca estrés en los cultivos lo que determina en consecuencias de la aparición de enfermedades y rezagado la mortalidad en caso de no tomar medidas para corregir la falta del mismo (Astudillo, 2021).

Dentro de la camaronicultura o incluso dentro de la acuicultura siempre ha existido un factor clave que es la raíz de la mayoría de las producciones a gran escala de la actividad. El oxígeno y su transferencia al medio acuoso, es un problema que constantemente no es tomado en cuenta por los empresarios que practican la actividad, e incluso se tiene la falsa creencia de que tomar en cuenta este factor no afectara al crecimiento idóneo de la especie acuática cultivada. El oxígeno es quizás el factor crítico más importante en la calidad de agua, siendo importante para los procesos fisicoquímicos y su debida restauración (Rojas-Arias & Blanco-Zúñiga, 2021).

Por eso la presencia o la falta del oxígeno en los estanques de cultivo influye determinadamente en el proceso metabólico de los organismos, es decir, si en el estanque tenemos una concentración de oxígeno de 1 ppm, la energía que se usará para poder aumentar su biomasa se reducirá hasta un 25%. Manejando el oxígeno disuelto en el estanque disminuimos el FCA por la pérdida de lixiviación del alimento y las altas mortalidades (Galang *et al.*, 2019).

Dentro de la acuicultura moderna la predicción eficiente y precisa del oxígeno disuelto en base a datos de series temporales es fundamental para el control y gestión de una camaronera o cualquier actividad acuícola. Por contraparte, los flujos de datos de oxígeno disuelto que no

son lineales y son generados continuamente representan un desafío en los métodos de predicción existentes (Shi *et al.*, 2019).

### **6.1.1. Necesidad del oxígeno en los estanques de producción**

El OD es el factor determinante en la importancia para tener una calidad de agua en los estanques de producción, la concentración del OD se reduce cuando la salinidad y la temperatura en el estanque son elevadas, llegando a reducir hasta el 65% de OD cuando estos dos factores se juntan (Carranza, 2020).

Durante el cultivo, los organismos acuáticos van obteniendo más biomasa y esta influye como un factor sobre el consumo de OD, ya que dependiendo de su biomasa este tendrá un mayor consumo, por ende, es necesario saber cuál es el consumo en el estanque y el consumo de los organismos cultivados, para poder suplementar la necesidad de OD en el estanque (Carranza, 2020).

### **6.1.2. Producción de oxígeno en un estanque**

Muchos estudios tratan al oxígeno como factor fundamental para la calidad de agua y como en un sistema son muy pocos los métodos efectivos para dar oxígeno uniforme dentro del estanque, es necesaria una investigación profunda. Los tipos de oxigenación más conocidos y utilizados en la industria son la oxigenación por paleta, a nivel mundial, a medida que aumenta la producción, más alta es la proporción de estos aireadores, por su efectividad. Por lo que, el conservar niveles óptimos en parámetros físicos como el oxígeno es un indicador de calidad de agua (Laban, 2021).

Una mejor oxigenación en la acuicultura de camarones es ventajosa tanto para la producción comercial como para el medio ambiente. ayuda a asegurar una producción exitosa de camarone y aumenta la capacidad de producción de los estanques de acuicultura cuando el oxígeno disuelto (OD) es un componente importante. Se espera que un efectivo. El sistema de

aireación crearía condiciones ideales y sostenibles en las parcelas de acuicultura, favoreciendo así el éxito del cultivo y el equilibrio ecológico (Itano *et al.*, 2019).

### **6.1.3. Factores que incrementan la disponibilidad de oxígeno disuelto**

Las formas para incrementar las concentraciones de oxígeno disuelto para mantenerlos en los niveles factibles para el desarrollo uniforme de los organismos acuáticos. Ingresa a través de forma natural por medio de la fotosíntesis o por la difusión con la interacción de la atmosfera, pero también se agrega por la intervención de la mano humana con el desarrollo de la aireación mecánica o mediante el recambio de afluentes por la entrada o salida en las compuertas de los estanques (Carchipulla, 2018).

#### **6.1.3.1. Producción natural**

En los estanques de acuicultura tradicionales se conoce que las microalgas son las principales responsables de la generación de oxígeno natural en un estanque, de esta misma forma, indirectamente los productores son los que generan el ambiente para la reproducción de microalgas a través del alimento balanceado, ya que de este mismo se añaden importantes aportes de nitrógeno y fósforo como resultado del alimento que no fue consumido y la excreción metabólica. Esto da como resultado la producción de toneladas de fitoplancton y a su vez este último a través de la fotosíntesis suele generar oxígeno durante el día, lamentablemente esto en la noche pasa a ser un problema (Boyd *et al.*, 2018)

##### **6.1.3.1.1. Fitoplancton**

La producción de oxígeno hecha por el fitoplancton por medio de la fotosíntesis en el transcurso del día de la mano de la luz solar, lo contrario a lo que sucede en las noches que se transforma en un consumidor más del oxígeno disuelto en el estanque de cultivo, un buen bloom de algas es beneficioso durante el transcurso del día, pero en la noche así mismo el oxígeno decaerá por la respiración elevada de la masa microalgal (Oberle *et al.*, 2019).

Además, en los estanques o cualquier ecosistema acuático que no tenga una circulación de agua, existe el evento de que se aumente la concentración de fitoplancton debido a la MO presente en el medio y por ende esta causara en la mañana y tarde dará unos altos valores de OD, pero en las noches causara una mayor respiración en el estanque disminuyendo el OD disponible en el cultivo (Torres, 2020).

#### **6.1.3.1.2. Difusión**

La transferencia de gases ocurre cuando existe una oscilación entre la superficie líquida y la atmosfera, por eso hay que tener presente la solubilidad de cada gas existente. Los diversos factores que influyen en la solubilidad de los gases en los estanques por medio de la naturaleza química, la presión ejercida por la atmosfera y las concentraciones del mismo oxígeno sabiendo que la temperatura es la más influyente sobre la misma (Mallqui, 2019).

#### **6.1.3.2. Producción artificial**

La aireación mecánica es con gran diferencia, unos de los medios comunes más eficaces utilizados con la finalidad de potenciar las concentraciones de oxígeno disuelto. Estos tipos de aireadores son utilizados debido a su alta eficacia en la generación de oxígeno disuelto, facilitando de esta manera mantener niveles de oxígeno estables a las horas que sean necesarias. Este tipo de sistema se ha convertido en requisito debido al aumento de demanda de insumos de origen acuícola y las nuevas densidades manejadas dentro de un estanque, haciendo que los requerimientos en calidad de agua aumenten (Jiang *et al.*, 2019).

Las grandes plantas de tratamiento se ventilan mediante difusores, que pueden ser porosos o no porosos según la profundidad del tanque. La eficiencia de transmisión de oxígeno para difusores porosos oscila entre el 15 y el 25 %, pero los difusores no porosos solo alcanzan una eficiencia de transferencia de 5 a 8%. La selección de cualquier tipo de difusor se basa en los requisitos y características del sistema de tratamiento (Conozco *et al.*, 2021).

Hay tres etapas para la transmisión de oxígeno disuelto (OD) utilizando discos con superficies esféricas: impacto, desplazamiento y salida. Las aspas interrumpen el equilibrio de la superficie del agua durante el impacto, lo que facilita el desarrollo de burbujas de aire atrapadas. Esta situación tiene una influencia significativa en el proceso de transferencia de OD, lo que se refleja en los valores de los coeficientes KLa (Coeficiente de transferencia de oxígeno) (Blanco *et al.*, 2022).

En los estanques con aireación, a diferencia de los estanques de control, se encontró que la temperatura del agua disminuyó más a una profundidad de 70 cm que en la superficie. Además, se descubrió que, bajo una presión de aire más alta, el agua invadía hasta 70 centímetros en la superficie. Además, se notó que las tasas de evaporación aumentaron con niveles más altos de presión de aire. La pérdida de agua en los estanques aumentó entre un 32% y un 92% en periodos de 24 horas (Abdelrahman & Boyd, 2018).

Actualmente el oxígeno disuelto es manejado por los operadores y sus conocimientos, debido a la falta de información existe un desaprovechamiento de recursos lo que aumenta el costo de mejoramiento. Sumado a esto, una exposición prolongada a concentraciones elevadas dentro del límite de lo normal, dan como consecuencia una enfermedad llamada la enfermedad de la burbuja, lo que causa mortalidad en especies (Zhou *et al.*, 2021)

#### **6.1.4. Consumo de oxígeno disuelto**

El consumo de OD en los estanques acuícolas dependerá de los factores que tengamos dentro del sistema de producción, se determina que los sedimentos, el fitoplancton y los organismos que se están cultivando son los principales consumidores OD dentro de los sistemas de producción (Carranza, 2020).

Actualmente, se conoce que en un estanque acuícola el oxígeno disuelto puede resultar variante por diferentes factores los cuales infieren directamente en la calidad de agua, en los

que se incluye el pH y temperatura, lo cual nos puede afectar gravemente en nuestra producción. Debido a que, si los factores antes mencionados no son estables, o no son lo que normalmente se necesitarían podríamos causar variaciones de oxígeno disuelto en nuestro estanque, causando un estrés que como consecuencia sería mortalidad total (Huan *et al.*, 2020).

Se ha realizado estudios en ciertas regiones demostrando que el OD (Oxígeno disuelto) puede ser variable dependiendo el consumo, esto se da principalmente por el bloom algal presente en el estanque, en situaciones de poca incidencia de luz solar, las algas pasan a ser consumidoras de oxígeno lo cual afecta directamente a los organismos, en casos graves puede resultar en una hipoxia en organismos acuáticos (Zihan *et al.*, 2020).

Un factor determinante de control dentro de un estanque piscícola debe ser la materia orgánica acumulada por la actividad, esto va a depender de como sea el manejo del estanque. Se define que el principal consumo de oxígeno se da por la materia orgánica, siendo el factor clave de la desoxigenación y la hipoxia. De esta manera determinamos que es una ventaja determinar la variación natural o preexistente en la carga de la materia orgánica dentro de la actividad acuícola (Maxey *et al.*, 2020).

## **6.2. Calidad de agua en acuicultura**

En el mundo, la acuicultura se da por diversos factores, ya sea por lo económico, por lo social, e incluso en algunas ocasiones por lo político, el hecho es que, en todas las actividades acuícolas, muchas ocasiones, ciertos factores son obviados, por la razón de ahorrar costos, o incluso porque no lo ven de cierta forma, necesario. Esto implica en muchos problemas ya que, a falta de inversión, la producción se complica, al querer abaratar costos que deberían ser considerados como riesgosos y terminan tornándose en pérdidas totales de producción (Naspirán-Jojoa *et al.*, 2022).

Dentro de la camaronicultura o incluso dentro de la acuicultura siempre ha existido un factor clave que es la raíz de la mayoría de las producciones a gran escala de la actividad. El oxígeno y su transferencia al medio acuoso, es un problema que constantemente no es tomado en cuenta por los empresarios que practican la actividad, e incluso se tiene la falsa creencia de que tomar en cuenta este factor no afectara al crecimiento idóneo de la especie acuática cultivada. El oxígeno es quizás el factor crítico más importante en la calidad de agua, siendo importante para los procesos fisicoquímicos y su debida restauración (Rojas-Arias & Blanco-Zúñiga, 2021).

Varios estudios comprueban que el Oxígeno disuelto es uno de los factores principales ya que este mismo aseguran un crecimiento y desarrollo optimo en los organismos de cultivo, aumentando la eficacia de la producción y al igual potenciar algunos productos utilizados. Numerosos estudios han demostrado que la baja frecuente de oxígeno disuelto, restringe gravemente un óptimo crecimiento del organismo acuático e incluso en casos graves de déficit de oxígeno puede provocar la muerte generalizada de la producción (Fijani *et al.*, 2019).

### **6.2.1. Parámetros importantes para el cultivo de camarón**

Los tipos de cultivo que son manejados en Ecuador son los semi-intensivos e intensivos, de los cuales estos últimos son lo que necesitan de un mayor control en sus parámetros fisicoquímicos. Debido a su rápido crecimiento de los costes de producción ha existido una inestabilidad en cuanto a lo rentable que es la industria, esto principalmente marcada por parámetros ambientales, dando como resultado el cambio de sistema de cultivo por uno más práctico y eficaz, implementando valores importantes en calidad de agua, siendo esto, parte fundamental de la producción (Castillo-Ochoa, & Velásquez-López, 2021).

En muchos estudios se habla de la importancia de los factores fisicoquímicos del agua, con la finalidad de actuar de manera responsable sobre nuestro sistema, sin embargo, la

variación de oxígeno disuelto se puede ver afectada por diferentes razones y existe un importante desfase temporal sobre la regulación y control del factor de oxígeno disuelto. Para poder garantizar una óptima seguridad de producción acuícola, es necesario predecir de antemano estos factores, al igual que el oxígeno disuelto (Ren *et al.*, 2020).

#### **6.2.1.1. Temperatura**

Asimismo, el rol determinante que ejerce la temperatura en el agua y su relación con los problemas cuando esta se incrementa influye en el estrés metabólico, la no asimilación del alimento balanceado, la aparición de enfermedades, o la tasa de mortalidad que presentan los organismos dentro del cultivo. También tiene relevancia en el microbiota y sobre el comportamiento metabólico de la flora y fauna, ya que el incremento de temperatura acelera el proceso de respiración y otros factores más (Rondón, 2020).

Cuando la temperatura se eleva en un cuerpo de agua, la parte superficial se vuelve más ligera y esto provoca que las aguas no se mezclen debido a sus densidades y por consecuencia el intercambio gaseoso será menor, pero si este cuerpo de agua tiene una profundidad superior a 1.50 metros se llega a tener una estratificación térmica prolongada, pero si esta cuenta con una compuerta de salida de agua se puede romper la estratificación y se incrementa la calidad del agua subiendo los niveles de OD cuando llega a tener 0,75 metros de profundidad, ya que a esta profundidad las temperaturas se estabilizan en el agua y se conoce como termoclina (Gattorno, 2019).

Los organismos de cultivo, también puede llegar a ser afectados por la temperatura y por consecuencia también puede llegar a afectarse su actividad enzimática, tasas metabólicas, niveles de inmunoglobulinas y además afecta el crecimiento de los organismos. Esto se relaciona directamente al oxígeno, debido que, a mayor actividad en las tasas metabólicas,

sumado la descomposición de la materia orgánica, el consumo de oxígeno aumenta y esto afecta en general al oxígeno disuelto en un estanque (Jiang *et al.*, 2021).

En la actualidad el parámetro de temperatura es influenciado por sistemas de aireación mecánica que disipan el calor dentro de los estanques, esto lleva a la mortalidad de los organismos, donde si tenemos una temperatura mayor a 34 °C se incrementa la tasa de mortalidad, la disminución de la solubilidad del oxígeno y el aumento de consumo de OD por parte de los organismos en cultivo, lo que lleva a una hipoxia dentro del estanque (Navarrete *et al.*, 2022).

### **6.3. Aireadores mecánicos**

En cuanto, Ecuador se ha visto en la obligación de mejorar su tecnología, para abastecer la demanda mundial. Los aireadores han sido parte fundamental de este cambio, por lo que se han utilizado en sistemas del tipo RAS (Sistema de recirculación de agua) para mejorar producción y optimizar los costos de este. El aumento de aireadores no es lo único que se realiza, ya que es vital conocer su eficacia, evitando gastos innecesarios y potenciando la producción, dando mejores resultados (Echeverría & Bayot, 2022).

Este crecimiento abrupto de la producción camaronera trajo problemas en los nuevos retos a enfrentar, el principal en Ecuador fue el uso de sistemas como aireadores mecánicos, para mantener los niveles de oxígeno estables y ayudar en el control de una temperatura uniforme en la columna de agua. Esto se dio gracias a la optimización de recursos que su principal finalidad fue mantener los nuevos sistemas productivos a mayor densidad, dando como resultados nuevos estudios y a la creación de tablas demostrativas de control tanto en aireación como de alimento (Lombeida & Samaniego, 2022).

Se han realizado varios esfuerzos para optimizar el flujo de aire de las zanjas de oxidación utilizando el método de control de OD basado en sistemas de difusión. Pero el

sistema de aireación por difusión es diferente del sistema de aireación mecánica de superficie. Primero, el movimiento de las burbujas está fuertemente correlacionado con flujo de aire y movimiento fluido (Qiu *et al.*, 2018).

Los aireadores mecánicos en la acuicultura son capaces de inducir a la circulación de agua, mantener un suministro de oxígeno disuelto estable, eliminar partículas pequeñas de fondo y por último mejorar las condiciones de lodo del fondo. No obstante, existe muy poca información sobre la utilización eficiente de la aireación mecánica. Manteniendo una concentración mínima de oxígeno disuelto puede ayudar en una pequeña disminución de consumo en el alimento y aumentar la eficiencia de la conversión alimenticia (Marappan *et al.*, 2020).

En cuanto a la selección de un aireador es un aspecto muy importante a tomarse en cuenta. El aireador a ser seleccionado debe ser económicamente capaz y eficiente lo suficiente como para satisfacer las necesidades en requerimientos de oxígeno en nuestra columna de agua, manteniendo parámetros normales (Roy *et al.*, 2022).

## **6.4.Niveles de OD**

### **6.4.1. En función a su distancia**

Los valores de OD en sistemas de producción acuícola especialmente en entornos al aire libre como es el caso de los estanques, tenemos las variaciones ambientales, dichas fluctuaciones de temperatura o velocidad del viento pueden alterar el impacto significativo en los balances de OD (Pentair, 2016).

La aireación ejerce una significativa influencia en los niveles de OD tanto en la columna de agua como en los sedimentos del lecho. La circulación impulsa el movimiento del agua, facilitando el intercambio entre masas de agua saturadas de OD y masas con niveles bajos de

OD, tanto en direcciones horizontales como verticales. Esto contribuye a incrementar progresivamente el nivel general de OD en un estanque de cultivo (Ho *et al.*, 2004).

#### **6.4.2. En función a su profundidad**

En la variación vertical que tenemos en el estanque podemos observar, que en su gran mayoría depende de la actividad fotosintética y por la presencia de vientos se produce la combinación tanto de la mezcla de los vientos, la atmosfera y la interacción del aireador mecánico en la parte superficial, siendo así que mientras tengamos más profundidad la capacidad de transferencia de OD dentro de la columna de agua será mucho menor y esta dependerá de la eficiencia del estanque en mantener un valor óptimo de OD dentro del mismo (Chiriguaya & Burgos, 1990).

Este análisis abarca diferentes niveles de complejidad, que van desde un examen básico de la teoría del momento hasta la realización de simulaciones completas del flujo mediante dinámica de fluidos. Se estudia la física que subyace en la generación de empuje por parte de una rueda de paletas, así como se analiza el rendimiento global de este método de propulsión (Lesteven & Ange, 2018).

Los estudios fisicoquímicos que se han hecho dentro de estanques muestran una alta variación sobre los perfiles de oxígeno disuelto (OD), las cuales demuestran diferentes curvaturas dentro de su variación, mostrando un agotamiento de OD en cuanto mayor sea su profundidad (Vásquez, 2012).

## CAPÍTULO III

### 7. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 7.1. Materiales y equipos

##### 7.1.1. Equipos

- Medidor de oxígeno YSI Ecosense DO200A
- Aireador mecánico estáticos (16 hp/ Diesel)
- Aireador mecánico rotativo (16hp/ Diesel)
- Computador portátil

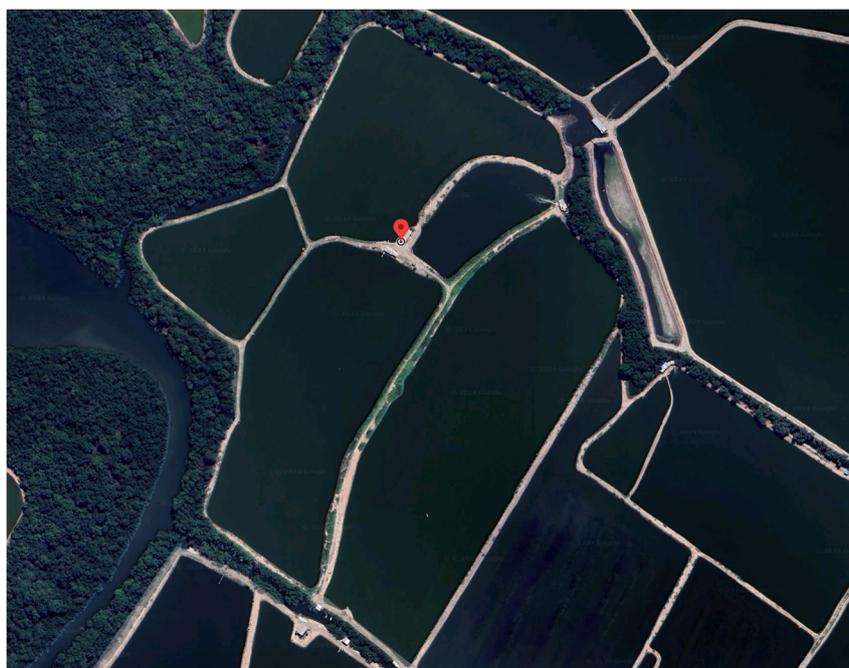
##### 7.1.2. Materiales

- Cinta métrica
- Hilo Nylon de 30 metros
- Bote
- Remos
- Libreta
- Esferográficos

#### 7.2. Área de estudio

El lugar donde se llevará a cabo el estudio es en el sector sauces, con las coordenadas de -3.216018, -79.97348.

*Ilustración 1: Imagen referencial del sector a trabajar*



*Fuente: Google maps*

#### 7.3. Metodología

La metodología se definió en base a dos tipos de disposición de aireadores de paleta en el estanque. Estas dos disposiciones son aireadores mecánicos estáticos y rotativos, los cuales tiene, como finalidad crear un perfil de oxígeno con respecto a la columna de agua, su distancia desde la salida de las paletas con la finalidad de determinar su dispersión.

#### **7.4. Toma de datos in situ**

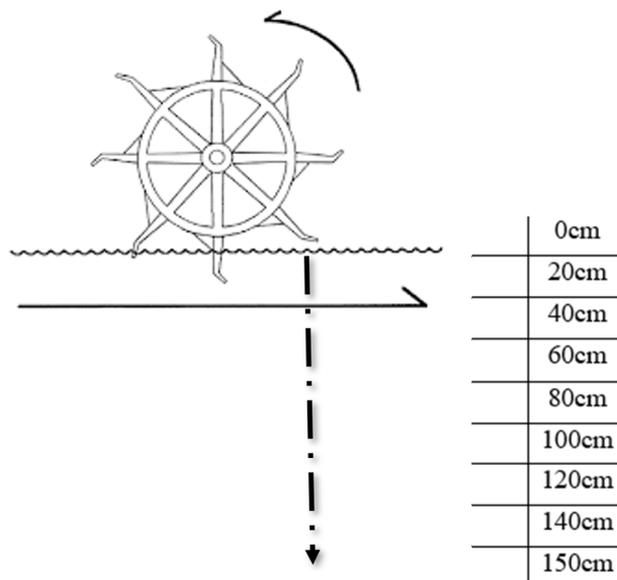
La toma de datos, se llevó a cabo luego de haber encendido los aireadores, con la finalidad que tengan una disminución en la variación del oxígeno generado, con un tiempo de separación de 30 min. - 1 h. Estos datos se tomarán cada 3 metros desde la dispersión de las paletas hasta llegar a una distancia de 30 m en longitud y en profundidad se tomará cada 20 cm hasta llegar a la profundidad total del estanque, esto con el sistema estático.

De igual forma se lo hará con el aireador rotativo, con la única diferencia de que se tomara en cuenta el movimiento rotativo que tiene el aireador mecánico, pero con las mismas características que el aireador estático, la toma de datos cada 3 metros hasta llegar a completar una distancia de 30 m de radio desde el centro hasta el último dato.

*Ilustración 2: Imagen referencial de toma de datos in situ de manera horizontal*



*Ilustración 3: Imagen referencial de toma de datos in situ de manera vertical*



*Tabla 1: Modelo de toma de datos in situ de la disponibilidad de oxígeno disuelto con respecto a su distancia horizontal y vertical partiendo desde las paletas*

Distancia Horizontal (30m)	Distancia vertical (1.5m)	Aireador Mecánico Estático	Aireador Mecánico Rotativo
0m			
3m			
6m			
9m			
12m			
15m			
18m			
21m			
24m			
27m			
30m			

*Tabla 2: Modelo de toma de datos in situ de la disponibilidad de oxígeno disuelto con respecto a su distancia vertical partiendo desde las paletas*

Distancia vertical (1.5m)	Aireador Mecánico Estático	Aireador Mecánico Rotativo
0cm		
20cm		
40cm		
60cm		
80cm		
100cm		

120cm		
140cm		
150cm		

## **7.5. Identificación de aireadores**

### **7.5.1. Aireadores mecánicos (paletas)**

Aireadores mecánicos de 16 paletas con una potencia de 16 hp motor a Diesel a 2200 rpm con un consumo medio de 1 ¼ litros por hora con una estructura metálica de acero inoxidable

### **7.5.2. Número de paletas**

El número de paletas es directamente proporcional a su capacidad, ambos tipos de disposiciones poseen aireadores de 16 paletas

## **7.6. Tiempo de funcionamiento**

Su tiempo de funcionamiento empieza a las 17:00 h hasta las 07:00h, pero por motivos de investigación se mantenían encendidos hasta las 09:00h dando un total de 16 h de encendido, esto no representa una suma significativa del oxígeno, más bien esto mantiene un OD estable en el estanque.

## CAPÍTULO IV

### 8. RESULTADOS

#### 8.1. Oxígeno disuelto

La concentración de OD en ambas disposiciones de los aireadores de paletas muestra una relación directa entre distancia desde la paleta vs. concentración de OD. Este efecto se observó de igual manera en el perfil vertical (profundidad) de la columna de agua. Adicionalmente, la temperatura es un factor que influye en los valores observados. La relación existente que se esperaba va en correlación con la distancia de la paleta del aireador, tanto horizontal como verticalmente, donde el promedio de oxígeno disuelto en el punto más cercano de medición fue de 3,99 y 3,96 mg/L en el aireador estático y rotativo, respectivamente. Vale recalcar que los datos fueron tomados en piscinas distintas y que a pesar de que, los datos iniciales fueron tomados como puntos de partida, la dinámica del OD en ambas disposiciones de aireadores se mantuvieron similares, sin que el tiempo de toma de muestra y la temperatura representaran un problema significativo el cual pudiera alterar los resultados.

En el caso de la profundidad, existieron 2 perfiles verticales, tal como se observa en la Tabla 3, los cuales correspondían con la ubicación de los aireadores y, no provocaban un efecto directo en la cantidad de oxígeno disuelto presente en la columna de agua.

*Tabla 3: Promedios generales de concentración de OD registrados en aireadores estáticos y rotativos a los 0 m de distancia horizontal*

<b>ESTÁTICO</b>			<b>ROTATIVO</b>		
<b>Distancia Horizontal</b>	<b>Distancia Vertical</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>Distancia Horizontal</b>	<b>Distancia Vertical</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>0m</b>	0 cm	3.99	<b>0m</b>	0 cm	3.96
	20cm	3.91		20cm	3.92
	40 cm	3.83		40 cm	3.87
	60 cm	3.74		60 cm	3.81
	80 cm	3.67		80 cm	3.77
	100 cm	3.60		100 cm	3.73
	120 cm	3.51		120 cm	3.70
	140 cm	3.41			
	160 cm	3.33			

Fuente: Elaborado por los autores.

Identificándose de esta forma, que tanto aireadores rotativos y estáticos, actúan de distinta manera sobre el perfil de oxígeno disuelto presente en la columna de agua.

### 8.1.1. Aireador estático

Los datos se observan con un promedio de 3,99 mg/L de oxígeno disuelto en la parte más próxima a la paleta del aireador estático (superficie), según se observa en la Tabla 3. Por lo contrario, la menor concentración de OD se la identificó a partir de los 15 m (160 cm de profundidad), obteniendo datos de OD entre 3,00 – 3,03 mg/L.

Los datos presentados en la Tabla 3, muestran un claro descenso desde el punto cero hasta los 1,60 m, que es la profundidad total medida en la toma de datos del aireador estático. Estos datos a simple vista demuestran que existe una desestratificación vertical, la cual se ayuda moviendo una mayor cantidad de agua por la corriente generada por el aireador, tomando en cuenta, que este fue creado con ese fin y el efecto secundario es la proporción de oxígeno.

Por otro lado, se observó una notable diferencia en la concentración de OD a los 30 m, de manera que los datos obtenidos a esta distancia, se pueden relacionar con el efecto directo de la productividad primaria presente en el estanque, de esta forma se justifica una menor cantidad de OD, como se lo muestra en la Tabla 4. Sin embargo, la desestratificación continúa marcando una diferencia notable en el OD tanto en la superficie como en la profundidad.

*Tabla 4: Promedios generales de concentración de OD registrados en aireador estático a los 30 m de distancia horizontal*

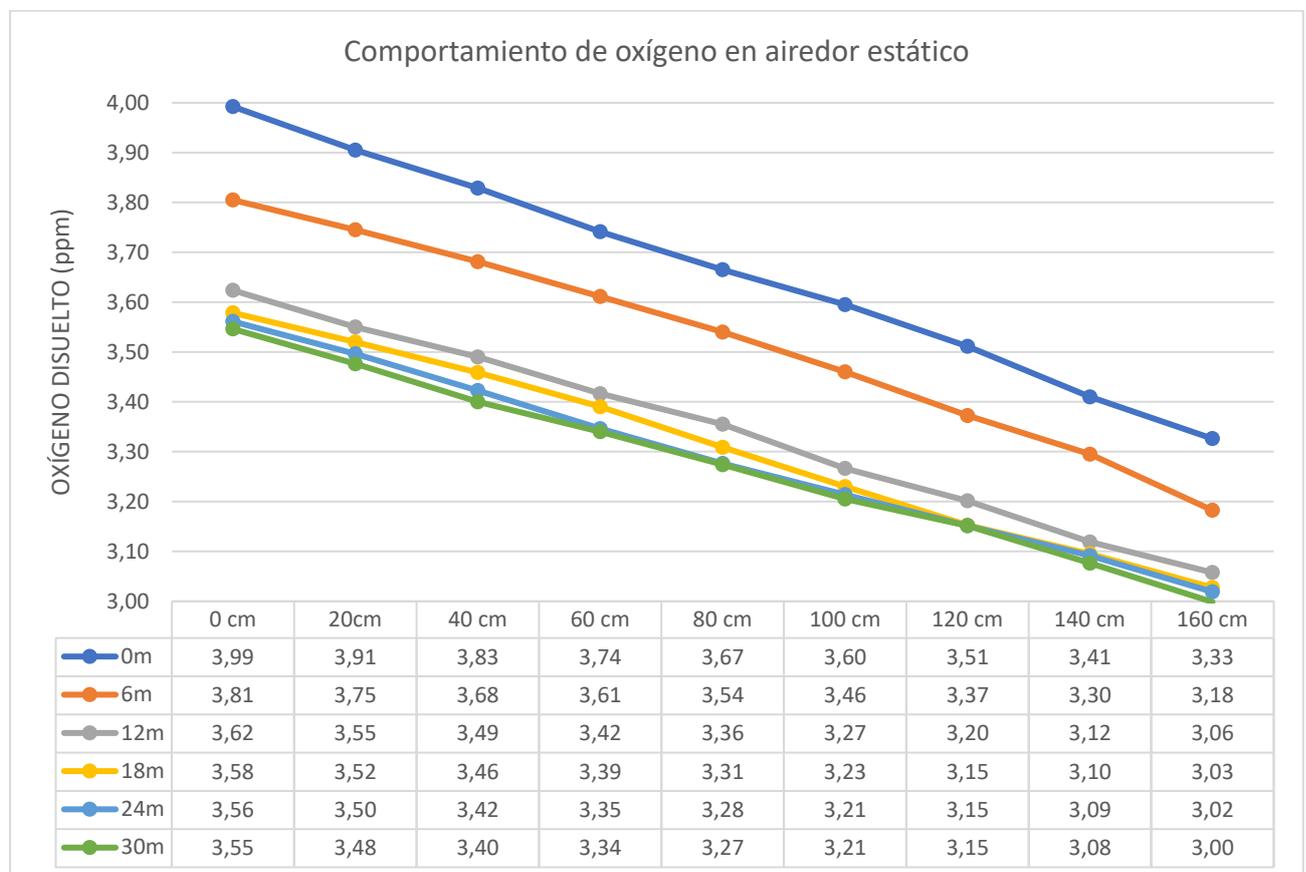
<b>ESTÁTICO</b>		
<b>Distancia Horizontal</b>	<b>Distancia Vertical</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>30m</b>	0 cm	3.55
	20cm	3.48
	40 cm	3.40
	60 cm	3.34
	80 cm	3.27
	100 cm	3.21
	120 cm	3.15
	140 cm	3.08
	160 cm	3.00

Fuente: Elaborado por los autores

Los datos de la Tabla 4, presentan una notable diferenciación en el perfil vertical de oxígeno, siendo así que se observa una desestratificación vertical y su eficiencia dependerá de la ubicación del aireador. Estos datos muestran como a los 30 m el OD sigue teniendo una diferencia muy marcada en cuanto a la superficie (0 cm) y la zona de mayor profundidad (160 cm), existiendo una diferencia del 15,49%.

En la Ilustración 4, se observa que los puntos críticos de cambio de concentración de OD empiezan a los 6 m de distancia horizontal. A partir de este punto existe un marcado descenso de la concentración de OD proporcionado por el aireador estático, siendo este comportamiento muy similar en el perfil vertical, tanto a los 0 m como a los 30 m.

*Ilustración 4: Comportamiento de la concentración de OD (promedio) con aireador mecánico estático*

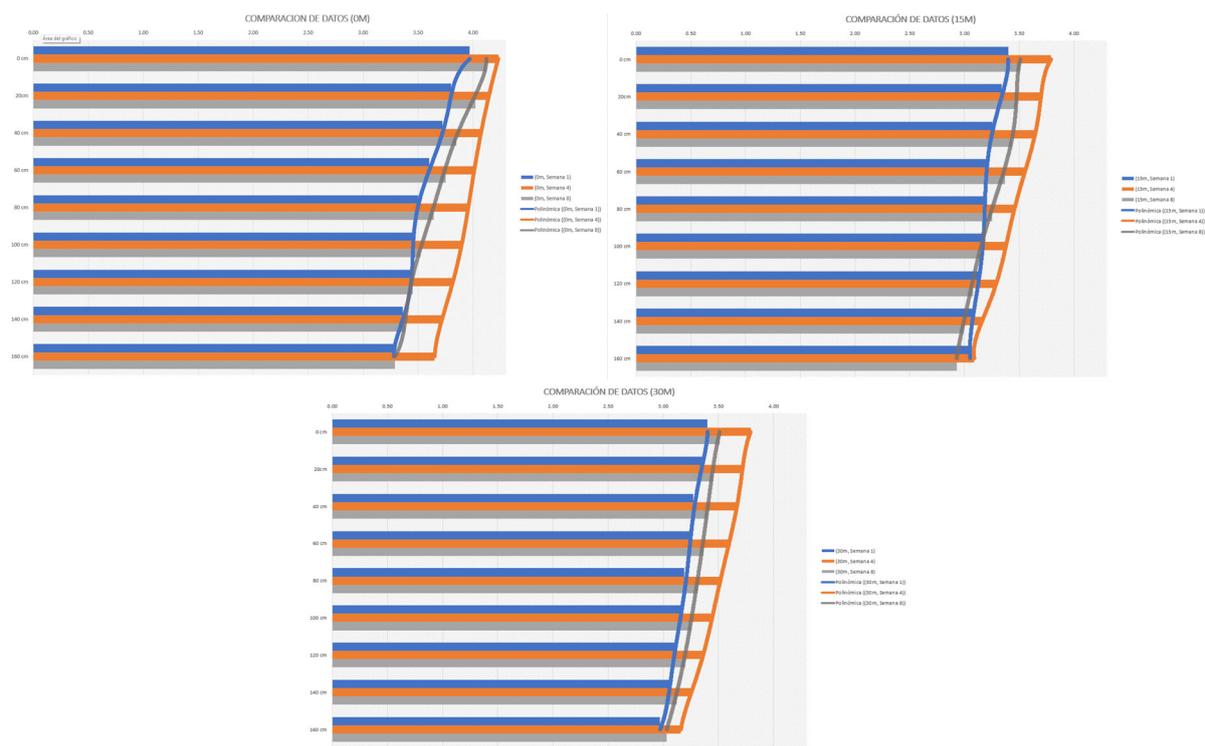


Fuente: Elaborado por los autores.

Se define de esta forma que los 12 m (Ilustración 4) de distancia horizontal, denota una mayor estabilidad del OD proporcionado por el aireador mecánico, siendo de esta forma, que existe un comportamiento en donde el OD es más estable de manera vertical, esto se observa a distancias entre 12-30 m horizontales.

Los puntos en los que las concentraciones de OD mostraron variaciones notorias (Ilustración 5), fueron los puntos de 0 m, 15 m, 30 m (horizontal), donde la diferenciación de OD se relaciona con 1) la zona de incorporación de oxígeno (0 m), 2) la zona mixta generación/incorporación de oxígeno (15 m) y 3) la zona de generación de oxígeno (productividad primaria) (30 m).

*Ilustración 5: Comportamiento de oxígeno disuelto de manera vertical en aireador estático a los 0m, 15m, 30m de distancia horizontal en la semana 1, 4 y 8.*

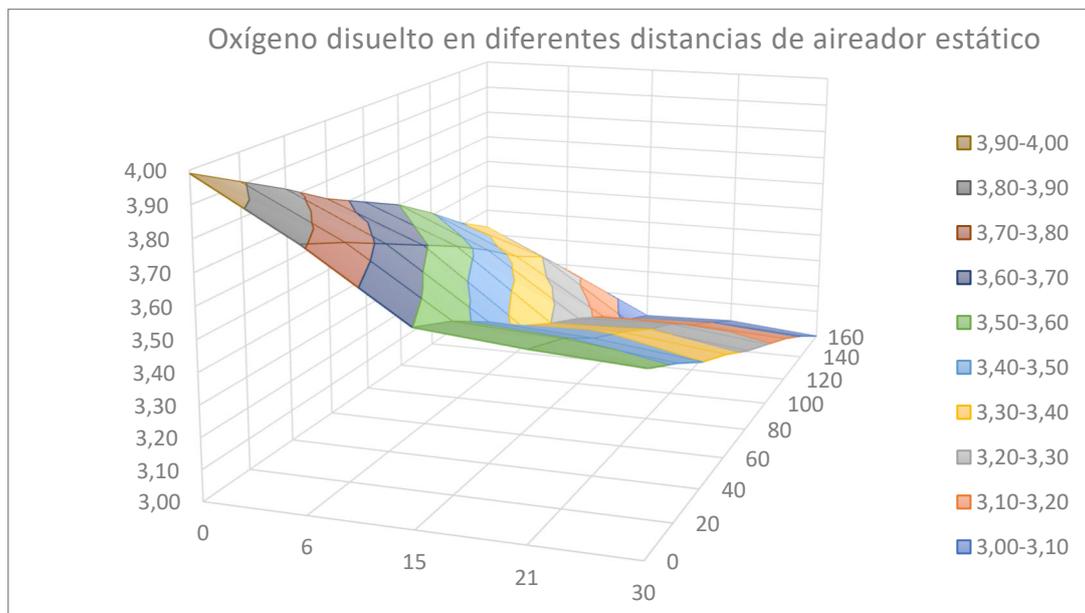


Fuente: Elaborado por los autores

La diferencia que se presenta en las tres figuras de la Ilustración 5, se basa en que a los 0 m de distancia existe una mayor dispersión vertical en comparación a las distancias de 15 m y 30 m, esto como efecto del trabajo directo de las paletas las cuales provocan un movimiento

continuo del agua, lo cual hace que capte oxígeno atmosférico, pero a su vez, este mismo también rompe la capa de estratificación que existe en el estanque, provocando este efecto de variación y poca estabilidad de oxígeno, muy diferente a lo que sucede a los 30 m.

*Ilustración 6: Perfil 3D del comportamiento de la concentración de OD (promedio) con aireador mecánico estático*



Fuente: Elaborado por los autores.

En la Ilustración 6 se observa el comportamiento semanal de la concentración promedio de OD con el aireador estático, denotando una disminución proporcional en relación a la profundidad y distancia, donde la concentración notoriamente más estable fue de 3,50- 3,60 mg/L de OD en el estanque. Estos resultados se relacionan con la tendencia observada en la Ilustración 5, donde el OD tiene mayor presencia en zonas cercanas a la paleta del aireador y a medida que se va alejando, la concentración de OD baja, sin embargo, se observa que tiene una mayor estabilidad a distancias mayores.

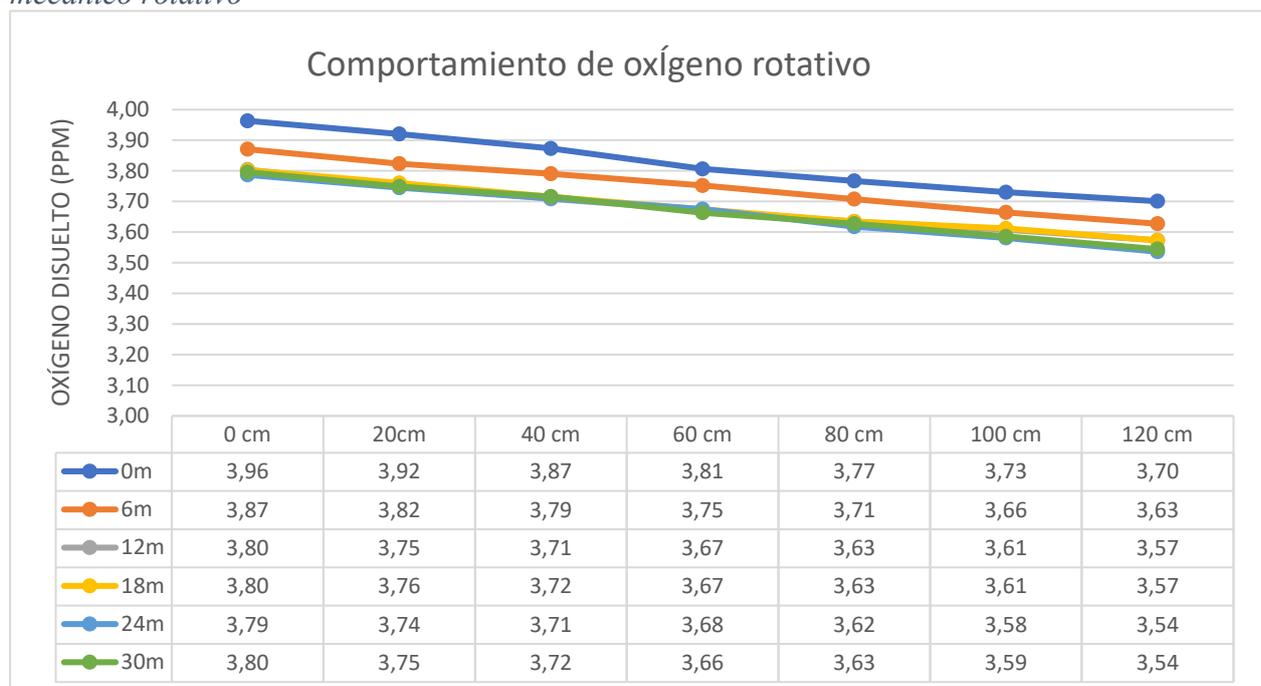
### 8.1.2. Aireador rotativo

Los datos arrojaron un promedio de 3,96 mg/L de oxígeno disuelto en la parte más próxima a la paleta del aireador rotativo (superficie), según se observa en la Ilustración 7. Por lo

contrario, la menor concentración de OD se la identificó a partir de los 15 m (120 cm de profundidad), teniendo datos entre 3,00 – 3,03 mg/L de OD. Los datos de la concentración de OD por el aireador rotativo mostraron un pico en la semana 5, con cantidades de 4,25 mg/L debido a una notoria actividad fotosintética, por la gran cantidad de luz solar.

Los datos de la Ilustración 7 se presentan mediante 5 líneas de dispersión (valores promedio) y en esta se observa el comportamiento del OD y como es su propagación en el estanque, tomando en consideración que la espiral formada por la rotación del propio aireador no interfiera con las lecturas de OD.

*Ilustración 7: Comportamiento de la concentración de OD (promedio) con aireador mecánico rotativo*



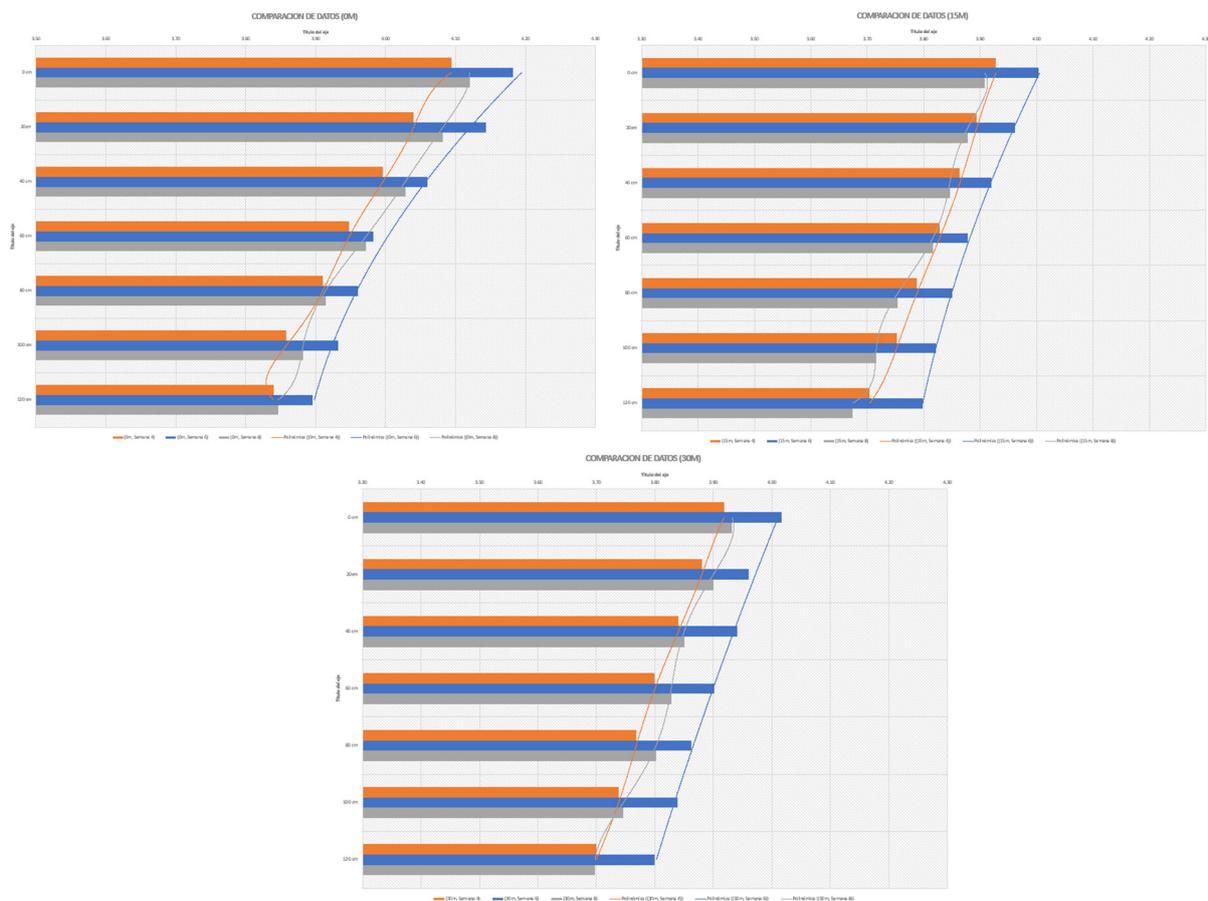
Fuente: Elaborado por los autores.

Adicionalmente, en la Ilustración 7 se observa que los puntos críticos de concentración de OD empiezan a partir de los 6 m de distancia horizontal. A partir de este punto no presenta un descenso muy marcado en la concentración de OD proporcionado por el aireador rotativo, con lo que los resultados indican que existe una mayor estabilidad de OD presente en el estanque a una mayor distancia horizontal (12-30 m).

Los datos de la concentración de OD del aireador rotativo demuestran que, en la columna de agua se obtuvo una menor dispersión vertical y horizontal de OD, a comparación del aireador estático, siendo este el comportamiento presentado desde el primer punto (0 m de distancia), teniendo un descenso de OD a los 6 m siendo este el punto crítico de cambio de OD y al finalizar las concentraciones de OD empiezan a ser homogéneas a partir de los 12 m de distancia.

La toma de datos se realizó en puntos a lo largo de 5 líneas de dispersión, los cuales no presentaron diferenciación en cuanto a los datos de OD. Las mediciones de OD al ser ejecutadas en un corto periodo de tiempo, no presentaron problemas que puedan afectar a los resultados finales.

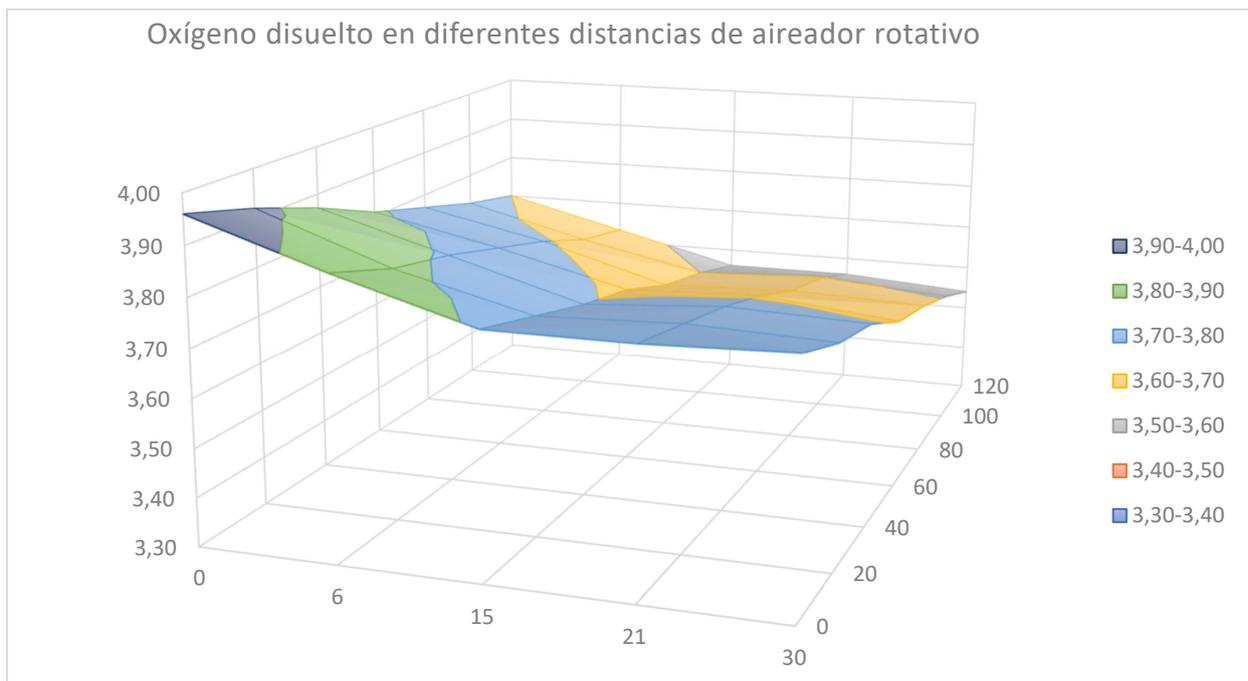
*Ilustración 8: Comportamiento de oxígeno disuelto de manera vertical en aireador rotativo a los 0m, 15m, 30m de distancia horizontal en la semana 1, 4 y 8.*



Fuente: Elaborado por los autores.

En la ilustración 8, se tomaron de referencia los puntos extremos y los puntos medios (0 m, 15 m, 30 m), en donde a los 0 m se puede ver una línea de tendencia más notoria en forma vertical. En esta disposición del aireador, se observan tanto la rotación de las aspas y el desplazamiento del equipo, con lo cual parte de la energía se pierde en este desplazamiento, observándose que las aspas rompen de manera leve la capa de estratificación que existe en el estanque, provocando este efecto de variación y poca estabilidad de OD a los 0 m, sin embargo, a los 15 y 30 m, los niveles se mantienen estables, siendo de esta forma, que el OD proviene de la productividad primaria (fotosíntesis).

*Ilustración 9: Perfil 3D del comportamiento de la concentración de OD (promedio) con aireador mecánico rotativo*



Fuente: Elaborado por los autores.

En la Ilustración 9 se observa el comportamiento semanal de la concentración promedio de OD con el aireador rotativo, donde el rango de concentración más estable de OD se encuentra entre los 3,70-3,80 mg/L. En el rango de concentración de OD de las 5 líneas de

dispersión del aireador rotativo, los datos fueron similares en todas ellas, con un comportamiento leve en cuanto al movimiento del agua, a diferencia del aireador estático.

Estos resultados se relacionan con la tendencia presentada en la Ilustración 9, donde el OD tiene mayor presencia en zonas cercanas a la paleta del aireador y a medida que se va alejando, la concentración de OD disminuye, sin embargo, existe una menor diferencia en cuanto a la variación de OD, debido a que el aireador rotativo pierde eficiencia ejerciendo rotación sobre su eje, de esta forma, el aireador proporciona un menor ingreso de OD, el cual es notorio en el perfil de oxígeno observado en el estanque.

## 9. DISCUSIÓN

Lesteven (2018) da a conocer la importancia de la dinámica de las paletas giratorias que provocan el movimiento del agua, estudiando como estas influyen directamente en su eficiencia. Por otro lado, Kang *et al* (2004) proponen un modelo en el cual se puede considerar el flujo de chorro que es impulsado por las paletas en una forma sencilla, utilizando un factor de corrección de masa  $\alpha$ , proporcionando de manera efectiva una herramienta de predicción de la circulación horizontal y una relación de la sedimentación y calidad de agua, aquellos estudios ayudan a comprender y relacionar los resultados de la presente investigación y de cómo el número de paletas, la forma de las paletas y la disposición de los aireadores influye en el perfil de OD observado. Siendo así que, se conoce que existe una pérdida de energía empleada en el movimiento de la aireación mecánica rotativa, dando resultados menores de oxígeno y, por lo tanto, menor movimiento del agua, afectando gravemente en la calidad de suelos y de agua, anteriormente mencionada.

Boyd *et al* (2018) mencionan que la fotosíntesis es la principal fuente de oxígeno en un estanque acuícola, siendo los microorganismos presentes los principales consumidores de oxígeno, en aquel estudio se menciona como en la noche el consumo de oxígeno disuelto aumenta por consecuencia del mismo fitoplancton presente, llegando a niveles cercanos de 3 mg/L de OD en un estanque de *Ictalurus punctatus*, teniendo la necesidad de utilizar aireadores mecánicos para suplir esta falta. En el presente estudio con *Litopenaeus vannamei*, se observó esta misma deficiencia en la concentración de oxígeno, por lo que suplir y estudiar la eficiencia de aireación es fundamental para evitar esta caída, siendo así que se observaron resultados similares en las primeras horas de la mañana de 3,99 mg/L y 3,96 mg/L de OD en aireador estático y rotativo, respectivamente. A mayor distancia del aireador la incorporación/distribución de oxígeno empieza a disminuir, observándose valores de 3,00 mg/L de OD, principalmente por la actividad fitoplanctónica (productividad primaria), con lo

cual, a partir de los 30 m de distancia, el oxígeno presente es exclusivamente por producción natural (fotosíntesis).

Adicionalmente Jian-ming y otros (2019) mencionan que tanto la temperatura como los días soleados inciden en la concentración de OD y que la radiación solar influye notoriamente en la cantidad de OD a producir en un cuerpo de agua. Sin embargo, no es recomendable depender completamente de esta generación natural de oxígeno y es necesario la utilización de aireación mecánica suplementaria. En el experimento realizado por aquellos autores, se utilizó aireadores (3kW) los cuales se activan automáticamente cuando el OD caía por debajo de los 4,5 mg/L y cesan cuando alcanzan los 5,5 mg/L. En relación con el presente estudio, la eficiencia de la aireación es fundamental ya que esta es una medida suplementaria necesaria para mantener niveles de oxígeno estables en momentos cruciales, por lo que seleccionar la disposición adecuada (aireador estático o rotativo) es imprescindible para mantener niveles óptimos de este parámetro en el estanque.

## CAPITULO V

### 10. CONCLUSIONES

Como conclusiones se puede mencionar que:

- El comportamiento de la dispersión del oxígeno en el aireador estático tuvo una mayor influencia, haciendo referencia a una longitud de los primeros 12 metros de medición, pasado esta distancia, empiezan a existir indicios de producción de oxígeno principalmente por productividad primaria, ya que la estratificación se rompe hasta esta distancia y los niveles de OD tanto horizontal como vertical no varían en función a la distancia de las paletas del aireador estático
- Este comportamiento coincide con una productividad primaria eficiente, dado que los resultados obtenidos muestran una notable disminución a medida que se aleja desde el punto inicial (0 m). Sin embargo, la distribución vertical es algo notable en cuanto a diferenciación de OD debido a que presentan una gran variación en la parte superficial y el fondo del estanque, concluyendo de esta forma que existe una desestratificación homogénea dentro de la columna del agua con aireadores estáticos.
- Por otra parte, los aireadores rotativos presentan una menor eficiencia en cuanto a distribución de OD en columna de agua, por lo tanto, su distribución dentro del área de dispersión será mucho menor en comparación del aireador estático, esto se aprecia en todas las tomas de muestreo dentro de la piscina, siendo así que a los 6 metros existe una notable disminución de OD y valiéndose a partir de los 9m netamente de la productividad primaria del estanque para la producción de oxígeno.
- El motivo por el cual el aireador rotativo tiene una menor capacidad de levantamiento de agua se debe principalmente a su pérdida de energía que se emplea al desplazarse sobre su propio eje, la pérdida de incorporación de OD llega hasta un 59,499% en comparación al aireador estático, por lo cual no tiene la misma capacidad de dispersión.

- La presencia de OD en el estanque, puede ser un factor fundamental en producción, por lo que, el seleccionar un equipo de mayor eficiencia es fundamental, en este caso, el aireador rotativa pierde eficiencia empleada en desplazamiento sobre su propio eje, caso contrario de lo que sucede en aireador estático, el cual no ejerce este mismo desplazamiento, si no que sus aspas emplean hasta un 15,76% de eficiencia en desestratificación vertical, caso contrario de lo que sucede en aireador rotativo que su eficiencia llega a los 6,383%.
- La ubicación adecuada para un aireador estático es cerca del muro, principalmente en la zona de préstamo, generando corrientes que puedan circular por todo el estanque. En la disposición del aireador rotativo lo correcto sería utilizarlos en pre-cría por su onda en forma de espiral. Si se tiene aireadores rotativos en fase de engorde, se podría ubicar en zona de mesa y utilizar estacas que permitan limitar el movimiento sobre su propio eje, de esta manera se evita la pérdida de energía.

## **11. RECOMENDACIONES**

- Conocer las capacidades y limitaciones mecánicas que tienen los aireadores.
- Estudiar el perfil horizontal de OD y cómo influyen las paletas en ambas disposiciones de aireadores.
- Conocer número de paletas las cuales generan la corriente de agua.
- Experimentar con diferentes ángulos de aireador estático para una mejor dispersión de oxígeno.
- Estudiar la relación de las paletas, diseño, su forma y como estas influyen directamente en la corriente generada por el aireador.
- Analizar el consumo y gasto energético del aireador para generar el movimiento del agua.

## CAPÍTULO VI

### 12. BIBLIOGRAFÍA

- Abdelrahman, H., & Boyd, C. (2018). Effects of mechanical aeration on evaporation rate and water temperature in aquaculture ponds. Obtenido de *Aquaculture Research* , 49, 2184-2192: <https://doi.org/10.1111/are.13674>
- Aparicio-Plazas, D., & Blanco-Zúñiga, C. (2022). Incremento de la eficiencia estándar de aireación (SAE), de un aireador de superficie de baja velocidad. Obtenido de *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 10(1), 189–201: <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/innovacioning/article/view/4950/5669>
- Arias, D. (2021). Diseño, construcción, automatización y determinación de los parámetros de funcionamiento de un aireador difusor tornado para el sector camaronero. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Trabajo de Tesis): <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15117>
- Rojas-Arias, N., & Blanco-Zúñiga, C. R. (2021). Transferencia de oxígeno disuelto utilizando aspas rectas y curvas en un aireador mecánico. Obtenido de *Prospectiva*, 19(1).<http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/2527>.
- Astudillo, J. (2021). Causas y efectos de condiciones anóxicas en estanques de cultivo de *Litopenaeus vannamei*. Obtenido de *UTMACH*, 38.(Trabajo de titulación): <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16576>
- Blanco-Zuñiga, C., Useche de Vega, D., & Rojas Arias, N. (2022). Efecto de la potencia y número de aspas de un aireador rotativo sobre la transferencia de oxígeno disuelto en agua. Obtenido de *Ingeniería*, 27(1), e17467: <https://doi.org/10.14483/23448393.17467>

- Boyd, C., Torrans, E., & Tucker, C. (2018). Dissolved oxygen and aeration in *Ictalurid catfish* aquaculture. Obtenido de *Journal of the World Aquaculture Society*, 49, 7-70: <https://doi.org/10.1111/jwas.12469>
- Carchipulla, V. (2018). Importancia del oxígeno disuelto para mejorar la calidad de agua en estanques de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Obtenido de *UTMACH*, 30 (Trabajo de tesis): <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12905>
- Carranza, É. (2020). Evaluación de la tasa de consumo de oxígeno del *Penaeus vannamei* con relación a la salinidad, temperatura y peso corporal. Obtenido de *Revista Ciencia Y Tecnología*, , 13(25), 55–65.: <https://doi.org/10.5377/rct.v13i25.10412>
- Castillo-Ochoa, B., & Velásquez-López, P. C. (2021). Manejo estacional de los sistemas de producción de camarón en el Ecuador. Obtenido de *Sociedad & Tecnología*, 4(3), 447-461. <https://doi.org/10.51247/st.v4i3.151>
- Chiriguaya, J., & Burgos, L. (1990). Variaciones verticales y su relación con algunos parámetros físico-químicos en una estación fija en el área externa del Golfo de Guayaquil. Obtenido de *Instituto Oceanográfico de la Armada, Guayaquil, Ecuador*, 6(1), 34-35. <http://hdl.handle.net/1834/2179>
- Conozco Condor, A., Hernandez Soto, & Galin, R. (2021). Efecto del número de discos de un aireador mecánico y la concentración de contaminantes, sobre la velocidad de oxigenación de agua. Obtenido de *Universidad Nacional del centro del Perú (Tesis de postgrado)*: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7952>
- Echeverría Valero, G., & Bayot Arroyo, B. (2022). Análisis técnico-económico para la implementación de un sistema de aireación en camaroneras con sistema de recirculación a baja salinidad. Obtenido de (*Doctoral dissertation, ESPOL. FIMCM: Acuicultura*). <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53249>

- Fijani, E., Barzegar, R., Deo, R., Tziritis, E., & Skordas, K. (2019). Design and implementation of a hybrid model based on two-layer decomposition method coupled with extreme learning machines to support real-time environmental monitoring of water quality parameters. Obtenido de *Science of the total environment*, 648, 839-853: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.221>
- Galang, D., Ashari, A., Sulmawati, L., Mahasri, G., Prayogo, & Sari, L. (2019). The oxygen content and dissolved oxygen consumption level of white shrimp *Litopenaeus vannamei* in the nanobubble cultivation system. Obtenido de *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 236(1): <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/236/1/012014/pdf>
- Gattorno, J. (2019). From Comportamiento de la estratificación térmica en una laguna de estabilización facultativa. Obtenido de *Revista Científica Agua, Saneamiento y Ambiente*, 14(1), 119-134.: <https://doi.org/10.36829/08ASA.v14i1.1208>.
- Gómez, A., Baylon, J., Gómez, D., & Barrera, J. (2021). Camino al sensor inteligente de oxígeno disuelto en la acuicultura. Obtenido de *Identidad energética*, 4, 81-86: [http://cinergiaug.org/Revista/VI\\_2021/RIE\\_V4\\_N1\\_Dic2021.12.pdf](http://cinergiaug.org/Revista/VI_2021/RIE_V4_N1_Dic2021.12.pdf)
- Ho, Y., Ock, L., Duk, S., & Sik, Y. (2004). 2-D hydrodynamic model simulating paddlewheel-driven circulation in rectangular shrimp culture ponds. Obtenido de *Aquaculture*, 231(1-4), 163-179: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.08.024>
- Huan, J., Li, H., Li, M., & Chen, B. (2020). Prediction of dissolved oxygen in aquaculture based on gradient boosting decision tree and long short-term memory network: A study of Chang Zhou fishery demonstration base, China. Obtenido de *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105530: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105530>

- Itano, T., Inagaki, T., Nakamura, C., Hashimoto, R., Negoro, N., Hyodo, J., & Honda, S. (2019). Water circulation induced by mechanical aerators in a rectangular vessel for shrimp aquaculture. Obtenido de *Aquacultural Engineering*, 85, 106-113: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.03.006>
- Jiang, J. M., Zhu, Z. W., Huan, J., & Shi, B. (2019). Energy-efficient Mechanical Aeration System in Aquaculture. Obtenido de *DEStech Trans. Eng. Technol. Res.*, 198-202. <https://scholar.archive.org/work/bm4aw7vfgfek3pxdtsgorsgni4/access/wayback/http://dpi-proceedings.com/index.php/dtetr/article/download/32036/30626>
- Jiang, X., Dong, S., Liu, R., Huang, M., Dong, K., Ge, J., ... & Zhou, Y. (2021). Effects of temperature, dissolved oxygen, and their interaction on the growth performance and condition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Obtenido de *Journal of Thermal Biology*, 98, 102928: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102928>
- Laban-Martinez, M. (2021). Propuesta de automatización en la mejora del monitoreo de la calidad de agua para incrementar la productividad en una empresa Langostinera. Obtenido de Universidad César Vallejo (Trabajo de tesis): <https://hdl.handle.net/20.500.12692/72322>
- Lesteven, P., & Ange, M. (2018). Hydrodynamic Analysis of Paddle Wheel Propulsion. Obtenido de NTNU Open ( Master's thesis): <http://hdl.handle.net/11250/2614970>
- Lombeida Vásconez, J., & Samaniego Reyes, J. (2022). Desarrollo de un tablero demostrativo para el Control de Sistemas de aireadores y alimentadores supervisados y monitoreados mediante radiofrecuencia por medio de Sistema Scada. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana (Trabajo de tesis). <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22834>

- Mallqui, E. (2019). Evaluación de la velocidad de transferencia de oxígeno, en un sistema de aireación de agua. Obtenido de *Universidad Nacional del Centro del Perú*, 92.: [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5196/T%20010\\_43497890\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5196/T%20010_43497890_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Marappan, J., Ambattaiyanpatti Anathaikamatchi, B., Sakkarai, S., Thiagarajan, R., Muthusamy, D., Kuppusamy, M., ... & Shanmugam, S. (2020). Assessment of the new generation aeration systems efficiency and water current flow rate, its relation to the cost economics at varying salinities for *Penaeus vannamei* culture. Obtenido de *Aquaculture Research*, 51(5), 2112-2124: <https://doi.org/10.1111/are.14562>
- Maxey, J. D., Hartstein, N. D., Then, A. Y. H., & Barrenger, M. (2020). Dissolved oxygen consumption in a fjord-like estuary, Macquarie Harbour, Tasmania. Obtenido de *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 246, 107016. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107016>
- Mejía-Rómulo, E. (2020). Aplicación del principio de un venturi en el proceso de aireación en un estanque acuícola de un sistema de recirculación, aplicando dinámica de fluidos computacional. Obtenido de Universidad Autónoma del Estado de México (Trabajo de tesis). <http://hdl.handle.net/20.500.11799/138552>
- Naspirán-Jojoa, D., Fajardo-Rosero, A. G., Ueno-Fukura, M., & Collazos-Lasso, L. F. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): una revisión. Obtenido de *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69(1), 75-97: <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>
- Navarrete, J., Noles, P., Delgado, C., Hernández, N., & Guerrero, R. (2022). Biorremediación de efluentes del cultivo de camarón por medio de consorcios microbianos autóctonos y

- microalgas nativas en Manabí, Ecuador. Obtenido de *Aquatécnica*, 4(1), 53–65:  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.6536004>
- Oberle, M., Salomón, S., Ehrmaierb, B., Richterc, P., Lebert, M., & Strauch, S. (2019). Diurnal stratification of oxygen in shallow aquaculture ponds in central Europe and recommendations for optimal aeration. Obtenido de *Aquaculture*(501), 482-487:  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.005>
- Pentair. (2016). *Oxígeno Disuelto en Acuicultura*. Obtenido de Charla Técnica:  
<http://pentairaes.com/charlatecnica>
- Qiu, Y., Zhang, C., Li, B., Li, J., Zhang, X., Liu, Y., . . . Huang, X. (2018). Optimal Surface Aeration Control in Full-Scale Oxidation Ditches through Energy Consumption Analysis, 10 (7), 945. Obtenido de MDPI: <https://doi.org/10.3390/w10070945>
- Ren, Q., Wang, X., Li, W., Wei, Y., & An, D. (2020). Research of dissolved oxygen prediction in recirculating aquaculture systems based on deep belief network. Obtenido de *Aquacultural Engineering*, 90, 102085. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102085>
- Robles-Rete, J. (2022). Evaluación del efecto del caudal de agua en la tasa de transferencia de oxígeno de aereadores Venturi. Obtenido de Universidad Continental (Trabajo de tesis): <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11132>
- Rondón Hernández, D. F. (2020). Relación entre lo ambiental y lo fisicoquímico. El caso del oxígeno disuelto. Obtenido de Universidad de Guayaquil (Trabajo de tesis): <https://repositorio.ug.edu.ec/bitstreams/081fc87b-63d2-4133-a7e1-403323638740/download>.
- Roy, S. M., Machavaram, R., Moulick, S., & Mukherjee, C. K. (2022). Economic feasibility study of aerators in aquaculture using life cycle costing (LCC) approach. Obtenido

de *Journal of Environmental Management*, 302, 114037:  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114037>

Shi, P., Li, G., Yuan, Y., Huang, G., & Kuang, L. (2019). Prediction of dissolved oxygen content in aquaculture using Clustering-based Softplus Extreme Learning Machine. Obtenido de *Computers and electronics in agriculture*, 157, 329-338:  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.004>

Torres, R. (2020). Estudio de microalgas del sistema lagunario del sur de tamaulipas. Obtenido de *Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México* (Trabajo de tesis):  
<https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/1332>

Vásquez, G., (2012). Metodología para determinar niveles de eutrofización en ecosistemas acuáticos. Obtenido de *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(24): 112-128: <https://www.revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/view/81>

Villareal, A. (2022). Efecto de la aireación en el cultivo hiper-intensivo foto-heterotrófico del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en un sistema sin recambio de agua. Obtenido de Centro de investigaciones biológicas del noroeste, S.C (Trabajo de tesis): <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/3139>

Zhou, X., Li, D., Zhang, L., & Duan, Q. (2021). Application of an adaptive PID controller enhanced by a differential evolution algorithm for precise control of dissolved oxygen in recirculating aquaculture systems. Obtenido de *Biosystems Engineering*, 208, 186-198: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.05.019>

Zihan, Z., Guisheng, S., & Liang, Z. (2020). Characteristics of dissolved oxygen and pH variations in summer off the Qinhuangdao. Obtenido de *海洋学报*, 42(10), 144-154.  
<http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.0253-4193.2020.10.014>

### 13. ANEXOS



*Anexo A: Toma de datos in situ aireador estático*



*Anexo B: Calibración de medidor de oxígeno (YSI Ecosense DO200A) para recolección de datos.*



*Anexo C: rotación de paletas del aireador estático*



*Anexo D: Aireador rotativo utilizado en las mediciones de oxígeno*



*Anexo E: Toma de datos de aireador estático a los 0m de distancia horizontal*