



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE ACUICULTURA

**Aplicación del percarbonato de sodio para
incrementar la concentración de oxígeno disuelto
a diferentes salinidades.**

**SANCHEZ VALLADOLID RENE ALEJANDRO
INGENIERO ACUICOLA**

**LOAIZA OROZCO VICENTE ARNALDO
INGENIERO ACUICOLA**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE ACUICULTURA

**Aplicación del percarbonato de sodio para
incrementar la concentración de oxígeno disuelto
a diferentes salinidades.**

**SANCHEZ VALLADOLID RENE ALEJANDRO
INGENIERO ACUICOLA**

**LOAIZA OROZCO VICENTE ARNALDO
INGENIERO ACUICOLA**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE ACUICULTURA

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

**Aplicación del percarbonato de sodio para
incrementar la concentración de oxígeno disuelto
a diferentes salinidades.**

**SANCHEZ VALLADOLID RENE ALEJANDRO
INGENIERO ACUICOLA**

**LOAIZA OROZCO VICENTE ARNALDO
INGENIERO ACUICOLA**

SANTACRUZ REYES ROBERTO ADRIAN

**MACHALA
2024**

draft - Loaiza Sánchez

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

1%

★ Submitted to Universidad Técnica de Machala

Trabajo del estudiante

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo

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

Los que suscriben, SANCHEZ VALLADOLID RENE ALEJANDRO y LOAIZA OROZCO VICENTE ARNALDO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Aplicación del percarbonato de sodio para incrementar la concentración de oxígeno disuelto a diferentes salinidades., 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.

SANCHEZ VALLADOLID RENE ALEJANDRO

0707024253

LOAIZA OROZCO VICENTE ARNALDO

0707052585

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, Darwin Loaiza y Graciela Orozco, y a mi hermano Pedro Loaiza, quienes han sido mi apoyo constante durante todo este proceso educativo. Su esfuerzo y aliento han sido fundamentales en cada meta alcanzada. También quiero extender mi gratitud a mis abuelitos, Cirio Loaiza y Ulvia Jaramillo, por ser una fuente de inspiración y sabiduría.

Agradezco encarecidamente al Dr. Roberto Adrián Santacruz Reyes por su experimentada guía y su invaluable apoyo en esta investigación. Su orientación y consejos han sido esenciales para el éxito de este proyecto.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Dr. Patricio Colón Velásquez López y al Biol. Milton Luis Cun Jaramillo por su compromiso y por las valiosas ideas que contribuyeron de manera significativa a la formación de esta investigación.

Finalmente, quiero dar las gracias a Daniel Once, padre de nuestro amigo Yanner, quien nos prestó el oxigenómetro que fue de gran ayuda para la elaboración de este trabajo. También agradezco a mis amigos Eugenio, Yanner, Hans y Rommel, quienes han sido una fuente de motivación que a través de su colaboración, opiniones y apoyo, han hecho de esta formación académica una experiencia memorable.

Vicente Loaiza

AGRADECIMIENTOS

Primero, quiero agradecer a Dios por la fortaleza y reflexión que me ha brindado durante este proceso.

A mis padres, mi más sincero agradecimiento por su apoyo constante y por estar siempre a mi lado. Su aliento y comprensión han sido fundamentales para seguir adelante.

A mi tutor de tesis, Roberto A. Santacruz Reyes, PH. D. le debo mucho por su orientación y paciencia. Sus valiosos consejos y su dedicación han sido cruciales para el desarrollo de este trabajo.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias, gracias por proporcionar el entorno académico y los recursos que me permitieron llevar a cabo esta investigación.

También quiero expresar mi gratitud al Laboratorio de Suelos por su colaboración y el apoyo técnico esencial para completar los experimentos.

Finalmente, a mis amigos, muchas gracias por su comprensión y apoyo durante todo este tiempo. Sus palabras de aliento y compañía han sido muy importantes para mí.

A todos ustedes, muchas gracias.

René Sánchez

DEDICATORIA

Este logro lo dedico con todo mi corazón a mis padres, Darwin y Graciela, cuyo amor, apoyo y dedicación han sido pilares fundamentales en mi vida. A mi hermano Pedro Loaiza, cuya confianza y orientación me han sido invaluable para alcanzar esta meta.

A mis abuelitos, Cirio Loaiza y Ulvia Jaramillo, que siempre me han ofrecido su respaldo, compartiendo conmigo tanto los momentos de alegría como los desafíos. Su presencia constante ha sido crucial para continuar adelante.

Este éxito es tanto mío como de todos ustedes. Gracias por estar a mi lado en cada paso de este viaje.

Vicente Loaiza

DEDICATORIA

Le dedico todo mi esfuerzo a mi familia, en especial a mi abuela y hermana han sido el pilar fundamental para convertirme en el hombre que soy.

René Sánchez

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	6
RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.2. JUSTIFICACIÓN	12
1.3. OBJETIVOS	13
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Historia de la acuicultura	14
2.1.1. Expansión acuícola a nivel mundial	14
2.2. Industria camaronera en Ecuador.....	15
2.3. Tipos de salinidades para el cultivo de <i>Litopenaeus vannamei</i>	17
2.4. Solubilidad de oxígeno en diferentes salinidades	18
2.4.1. Consumo de oxígeno a diferentes salinidades.....	18
2.5. Fuentes principales de oxígeno disuelto en estanques	19
2.5.1. Fotosíntesis	19
2.5.2. Difusión del oxígeno atmosférico al agua	19
2.5.3. Aireación mecánica	19
2.6. Consumo de oxígeno disuelto en los estanques acuícolas	20
2.6.1. Organismos.....	20
2.6.2. Fitoplancton.....	20
2.6.3. Sedimento.....	20
2.6.3.1. Requerimiento de oxígeno en camarones	21
2.7. Concentración de OD adecuados para camaronicultura	21
2.8. Uso de productos químicos para el incremento de OD en estanques.....	21
2.8.1. Peróxido de hidrógeno	22
2.8.1.1. Peróxido de hidrógeno y sus aplicaciones generales.....	22

2.8.2. Percarbonato de sodio	22
2.8.2.1. Formula molecular y descomposición del SCP.....	23
2.8.3. Usos generales del percarbonato de sodio y sus propiedades fisicoquímicas.....	23
2.8.3.1. Para tratamiento de cianobacterias	24
2.8.3.2. Para controlar enfermedades en peces.....	25
2.8.3.3. Usos combinados del percarbonato de sodio con otras sustancias.....	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Materiales y equipos	28
3.1.1. Material de laboratorio	28
3.1.2. Material de oficina.....	28
3.1.3. Material biológico	28
3.2. Metodología	29
3.2.1. Ubicación del experimento.....	29
3.2.2. Diseño Experimental	29
3.2.3. Tratamientos.....	30
3.2.4. Unidades experimentales.....	30
3.2.5. Caracterización de los tratamientos.....	31
3.2.5.1. Obtención de muestras.....	31
3.2.5.2. Obtención de los reactivos.....	31
3.2.6. Mezcla de aguas	31
3.2.7. Incorporación de los reactivos.....	31
3.2.7.1. Cálculo del Incremento de Oxígeno Disuelto (ΔOD).....	31
3.2.7.2. Eliminación de oxígeno disuelto con reactivos	32
3.2.8. Percarbonato de sodio.....	32
3.2.9. Variables medidas	33
3.2.9.1. Oxígeno disuelto.....	33
3.2.9.2. pH	33
4. RESULTADOS.....	35
4.1. Incremento de la concentración de OD con la aplicación de percarbonato de sodio.....	35
4.2. Cantidad de oxígeno producido al adicionar SPC en agua marina.....	39
4.3. Cantidad de oxígeno producido al adicionar SPC en agua salobre	42

4.4.	Cantidad de oxígeno producido al adicionar SPC en agua dulce	45
4.5.	Influencia del SPC en los niveles de pH del agua durante 3 horas en diferentes ambientes.....	48
5.	DISCUSIONES.....	52
5.1.	Comparaciones de oxígeno con respecto a la salinidad	52
5.2.	Influencia del Percarbonato de Sodio (SPC) en los Niveles de pH del Agua durante el tiempo de experimentación	53
5.3.	Procesos químicos observados durante la liberación de oxígeno por parte del SPC en agua a diferentes salinidades	53
6.	CONCLUSIONES.....	55
7.	RECOMENDACIONES	56
8.	BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS.....		62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Exportación del camarón del Ecuador, 2010 -2021.	17
Figura 2. Mecanismo de acción y destino ambiental del percarbonato de sodio flotante.....	25
Figura 3 Ilustración satelital del lugar donde se realizó el proyecto.	29
Figura 4 Procedimiento para cuantificar el incremento en los niveles de oxígeno disuelto provocado por el SPC.....	33
Figura 5. Variación de oxígeno disuelto al adicionar SPC en agua marina.	36
Figura 6. Variación de oxígeno disuelto al adicionar SPC en agua salobre.	37
Figura 7. Variación de oxígeno disuelto al adicionar SPC en agua dulce.	38
Figura 8. Oxígeno producido al aplicar SPC en agua salada en intervalos de 15 minutos.	41
Figura 9. Oxígeno producido al aplicar SPC en agua salobre en intervalos de 15 minutos.	44
Figura 10. Oxígeno producido al aplicar SPC en agua salobre en intervalos de 15 minutos.	47
Figura 11. Evolución del pH en Agua Marina al aplicar diferentes concentraciones de Percarbonato de Sodio.	49
Figura 12. Cambios en el pH del Agua Salobre a lo Largo del Tiempo con Diferentes Niveles de Percarbonato de Sodio	49
Figura 13. Progresión del pH del Agua Dulce a lo Largo del Tiempo con Diferentes Niveles de Percarbonato de Sodio.....	50
Figura 14. Pruebas preliminares de eliminación de oxígeno.	62
Figura 15. Ubicación al azar de las unidades experimentales (UE).....	62
Figura 16. Transporte de agua dulce de río en bidones para los experimentos.	62
Figura 17. Medición de incremento de oxígeno al aplicar SPC.	62
Figura 19. Medición de oxígeno disuelto en el agua dulce para la eliminación del mismo.	63
Figura 18. Adición de percarbonato de sodio a las Unidades Experimentales.	63
Figura 20. Registro de datos experimentales.....	63
Figura 21. Pesaje de cloruro de cobalto utilizando la balanza analítica.	63
Figura 22. Valores de oxígeno disuelto bajos antes de aplicar SPC	64
Figura 23. Pesaje de percarbonato de sodio.....	64
Figura 24. Mezcla de agua para bajar la salinidad	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. <i>Propiedades fisicoquímicas del SPC.</i>	24
Tabla II. <i>Materiales de laboratorio y sustancias usadas.</i>	28
Tabla III. <i>Materiales y Softwares utilizados.</i>	28
Tabla IV. <i>Material biológico empleado.</i>	28
Tabla V. <i>Diseño experimental en la aplicación de SPC para el aumento de OD a salinidad de 30-15 y 0 UPS</i>	30
Tabla VI. <i>Objeto de estudio</i>	30
Tabla VII. <i>Incremento de OD por incorporación de SPC a diferentes salinidades durante 3 horas</i>	35
Tabla VIII. <i>Incremento de oxígeno en espacios de 15 minutos durante 3 horas a 30 ppt al adicionar SPC.</i>	39
Tabla IX. <i>Incremento de oxígeno en espacios de 15 minutos durante 3 horas a 15 ppt al adicionar SPC.</i>	42
Tabla X. <i>Oxígeno producido al aplicar SPC en agua dulce en intervalos de 15 minutos.</i>	45
Tabla XI. <i>Variación de pH al adicionar percarbonato de sodio en 3 distintos ambientes durante 3 horas.</i>	48

RESUMEN

El oxígeno disuelto (OD) es crucial en la acuicultura, ya que afecta directamente la salud, el crecimiento y la supervivencia de los organismos acuáticos. En situaciones de disminución repentina de OD, el peróxido de hidrógeno se aplica tradicionalmente como método de emergencia. Sin embargo, desde 2022, este químico está controlado por la Secretaría Técnica de Drogas (Seted), restringiendo su uso en la acuicultura comercial, específicamente en granjas camaroneras. Como alternativa viable, el percarbonato de sodio (SPC) ha surgido en el mercado, cumpliendo una función similar al generar oxígeno y ofreciendo beneficios significativos.

Para evaluar la eficacia del SPC, se realizó un experimento en tres ambientes acuáticos distintos: agua dulce, salobre y marina. Se implementaron cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de SPC: T0 (0 mg/L), T1 (6 mg/L), T2 (12 mg/L) y T3 (24 mg/L). Antes de la aplicación del SPC, el oxígeno disuelto presente en las unidades experimentales fue eliminado mediante sulfito de sodio y cloruro de cobalto, asegurando un punto de partida uniforme para todos los tratamientos.

Los resultados mostraron que la adición de SPC aumentó significativamente los niveles de OD en los tres tipos de agua, variando según la salinidad del agua, siendo más eficaz en ambientes de agua dulce (0 UPS), seguido del agua marina y posteriormente del ambiente de agua salobre con valores promedios de $2,99 \pm 1,33$; $2,25 \pm 1,12$; $1,72 \pm 0,87$ mg/L respectivamente, cabe recalcar que todos los valores se dieron a una concentración de 24 mg/L de percarbonato de sodio. La efectividad observada en el agua dulce se atribuye por la poca cantidad de sólidos totales disueltos presentes.

Palabras clave: oxígeno disuelto, percarbonato de sodio, salinidad.

ABSTRACT

Dissolved oxygen (DO) is crucial in aquaculture as it directly affects the health, growth, and survival of aquatic organisms. In situations of sudden DO depletion, hydrogen peroxide is traditionally applied as an emergency method. However, since 2022, this chemical has been controlled by the Technical Secretariat of Drugs (Seted), restricting its use in commercial aquaculture, specifically in shrimp farms. As a viable alternative, sodium percarbonate (SPC) has emerged in the market, fulfilling a similar function by generating oxygen and offering significant benefits.

To evaluate the effectiveness of SPC, an experiment was conducted in three different aquatic environments: freshwater, brackish water, and marine water. Four treatments were implemented with different SPC concentrations: T0 (0 mg/L), T1 (6 mg/L), T2 (12 mg/L), and T3 (24 mg/L). Before the application of SPC, the dissolved oxygen present in the experimental units was removed using sodium sulfite and cobalt chloride, ensuring a uniform starting point for all treatments.

The results showed that the addition of SPC significantly increased DO levels in the three types of water, varying according to water salinity, being most effective in freshwater environments (0 PSU), followed by marine water and subsequently the brackish water environment, with average values of $2,99 \pm 1,33$, $2,25 \pm 1,12$, and $1,72 \pm 0,87$ mg/L, respectively. It should be noted that all values were at a concentration of 24 mg/L of sodium percarbonate. The observed effectiveness in freshwater is attributed to the low amount of total dissolved solids present.

Keywords: dissolved oxygen, sodium percarbonate, salinity.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la acuicultura ha experimentado un crecimiento significativo generando fuentes de trabajos, convirtiéndose en una industria vital para el suministro global de productos marinos en la que involucran diferentes tipos de organismos en cautiverio, como peces, moluscos, crustáceos y macroalgas. Cada tipo de acuicultura cuenta con sus propias técnicas y metodologías específicas, y cada una con diferentes desafíos y oportunidades.

Dentro de la problemática en esta industria sobresale la disminución de oxígeno en los estanques lo que puede afectar negativamente a la salud de los organismos y la utilidad del negocio. En condiciones naturales encontramos niveles de oxígeno cercanos a la saturación (variando desde los 4 a 8 ppm), la cantidad es incierta y dependerá de ciertos factores como la productividad primaria, intensidad luminosa y disponibilidad de nutrientes.

La principal fuente natural de oxígeno para los organismos es el fitoplancton, ya que lo produce durante la fotosíntesis. Aunque el oxígeno del aire entra por difusión al agua, este proceso es relativamente lento, aunque puede acelerarse en presencia de viento y aireación. No obstante, el oxígeno también se consume o se pierde debido a la respiración biológica (de los peces, el agua y los sedimentos), a la oxidación química, a la difusión de nuevo a la atmósfera, y a través de los efluentes.

Existen varias estrategias para resolver el problema de oxígeno en los estanques de cultivo, como la aireación mecánica, recambios de agua, inyección de aire, y la adición de sustancias químicas oxigenantes, como el peróxido de hidrogeno que ha sido un compuesto muy utilizado en el sector acuícola como desinfectante, alguicida y como generador de Oxígeno Disuelto (OD). Este químico dejó de ser accesible para una gran parte del sector camaronero que no se haya registrado en la Secretaria Técnica de Prevención Integral de Drogas de Ecuador (Seted) por lo que, es una sustancia sujeta a control.

Entre las alternativas de emergencia más recientes está el percarbonato de sodio, conocido por su capacidad para liberar oxígeno cuando se descompone, y que podría ser una opción viable y efectiva para aumentar los niveles de OD. En este contexto, esta substancia emerge como una solución prometedora para contrarrestar este problema, mejorar la calidad del agua y, por ende, optimizar las condiciones de cultivo. Además, es un producto que

presenta un certificado de registro sanitario vigente en nuestro país otorgado por MPCEIP (Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, 2024).

1.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Para la buena producción de *Litopenaeus vannamei* se consideran diferentes parámetros ya sean estos físicos, químicos y biológicos. Para los primeros mencionados están la temperatura, salinidad, luz y turbidez; los químicos que se monitorean con reiteración son OD, pH, alcalinidad, dureza y compuestos nitrogenados. En cuanto a los parámetros biológicos, estos tienen que ver con microorganismos como virus, bacterias y microalgas nocivas para el cultivo.

La ausencia del oxígeno puede llegar a afectar el crecimiento y funcionamiento de los camarones peneidos, el déficit de este parámetro químico es influenciado por varios factores como la respiración de fondo, columna de agua y la respiración de los camarones.

La alternativa que se usa frecuentemente son los recambios de agua, que para obtener un buen resultado debe ser masivo, aunque esta práctica perjudica a los sistemas de cultivo por la pérdida de nutrientes.

Actualmente, la forma común de incorporar oxígeno disuelto al estanque es mediante el uso de aireadores mecánicos, siendo una opción que ha llevado al éxito a la industria camaronera, a tal punto de incrementar la capacidad de carga en un estanque. Sin embargo, este método se verá limitado en un momento de corte energético y/o cuando haya una ausencia de combustible, provocando un descenso en los niveles de OD lo que ocurre generalmente en las noches, a tal punto de producir un barbeo, que si no es controlado a tiempo puede llegar a provocar mortalidad.

Para contrarrestar la pérdida de OD, se aplican sustancias químicas como el peróxido de hidrogeno, que se incorpora directo al agua para aumentar los niveles de OD. La parte negativa de esta opción es que llega a deteriorar la comunidad de microorganismos presentes en el medio, además es producto líquido tóxico que perjudica la salud de quien lo manipula.

De momento, la alternativa novedosa a la limitación existente con la aplicación del compuesto peróxido de hidrogeno, es el uso del percarbonato de sodio (SPC) en estanques acuícolas. Esta sustancia cumple la misma función que el peróxido de hidrógeno, de manera que lo hace una opción rápida y manejable.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El oxígeno disuelto en los estanques acuícolas se ve consumido por la respiración biológica del agua, suelo y organismos acuáticos, así mismo, existen fuentes naturales como la fotosíntesis, difusión de oxígeno; mecánicas como bombas, aireadores y químicas como los compuestos peróxidos, que proporcionan oxígeno al medio.

El peróxido de hidrogeno es una sustancia que se ha venido usando a lo largo de la acuicultura en Ecuador, por su capacidad de generar OD en los sistemas de cultivo. Se utiliza como un método de emergencia, ya que además de proveer oxígeno, oxida sustancias creadas en el agua y suelo, matando los microorganismos al estar en contacto con su membrana, desde el año 2022 este químico es controlado por Seted, restringiendo su comercialización en el campo acuícola a granjas camaroneras.

Por este motivo una alternativa como sustancia oxidante aplicable en acuicultura presente en el mercado es la adición de Percarbonato de sodio como reemplazo del peróxido de hidrógeno, ya que, cumple con la misma función de generar oxígeno y al mismo tiempo aporta beneficios significativos para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la biodiversidad.

Frente a la información obtenida del uso indiscriminado del percarbonato de sodio en granjas piscícolas donde se obtuvieron resultados negativos, surge la necesidad de estudiar el insumo en organismos como el camarón.

La información proporcionada sobre el Percarbonato de sodio como generador de oxígeno en esta investigación, hace que los resultados de este estudio proporcionen datos efectivos para futuras investigaciones científicas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficacia del percarbonato de sodio para incrementar la concentración de oxígeno disuelto utilizando agua a diferentes salinidades.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar la cantidad de oxígeno disuelto producido por el percarbonato de sodio en agua a diferentes salinidades.
- Determinar el comportamiento de la liberación del OD bajo el efecto de la aplicación SPC a diferentes salinidades
- Comprobar la influencia del SPC en los niveles de pH del agua durante 3 horas en diferentes ambientes

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El compuesto SPC, al disolverse en agua, libera peróxido de hidrógeno. Este, a su vez, se descompone en agua y oxígeno, lo que puede incrementar la concentración de oxígeno disuelto en el medio acuático. Este aumento de oxígeno es particularmente relevante en granjas acuícolas, donde niveles adecuados de oxígeno disuelto son esenciales para la salud de los camarones.

No obstante, la eficacia del percarbonato de sodio puede verse afectada por factores ambientales como la salinidad y la temperatura del agua. Es crucial comprender cómo estas variables influyen en la liberación de oxígeno, ya que podrían impactar la estabilidad del peróxido de hidrógeno y, en consecuencia, la cantidad de oxígeno accesible para los organismos en diversas condiciones acuáticas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Historia de la acuicultura

Al adentrarnos en la historia de la acuicultura, que se remontan en el continente Asiático, el primer registro conocido que describe esta práctica y sus ventajas fue escrito por Fan Li en 460 a.C., Según informes los japoneses iniciaron la práctica de cultivar ostras intermarealmente hace unos 3000 años y el cultivo de algas aparentemente se remonta en el siglo XV en Corea (Stickney & Gatlin, 2022).

La cría de peces en estanques tiene su origen en la Mesopotamia y la antigua China, y fue practicada también por los romanos durante la época imperial. Posteriormente, esta técnica se integró en el sistema de producción alimentaria de los monasterios cristianos en Europa Central (FAO, 1999).

Durante varios milenios la acuicultura fue practicada como una forma extensiva de la agricultura por parte de piscicultores que compartían técnicas entre sí, también desarrollaban nuevos métodos a través de la experimentación y el ensayo, a finales del siglo XIX nuevas tecnologías promovieron los avances en la acuicultura desarrolladas por naturalistas y científicos, que aportaron a esta disciplina. Los primeros ejemplos de ciencia aplicada a este campo es atribuida a investigadores de Europa y América del Norte (Stickney & Gatlin, 2022).

2.1.1. Expansión acuícola a nivel mundial

El cultivo de peces marinos y crustáceos también se ha incrementado en estos años, pero se ha visto opacada por el volumen de peso vivo de bivalvos y algas marinas y por la producción de especies de agua dulce, representado un 75 % del volumen mundial de la acuicultura comestible, lo que evidencia su conversión favorable de peso vivo a peso comestible en comparación con los moluscos y crustáceos, que tienen altos pesos de concha (Naylor *et al.*, 2021).

Los mayores productores acuícolas fuera de Asia (cada uno de los cuales representa entre el 1% y el 2% de la producción mundial) incluyen Noruega y Chile, que producen

principalmente salmón del Atlántico (*Salmo salar*) y Egipto, que produce tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) (FAO, 2021).

2.2. Industria camaronera en Ecuador

En nuestro país el rubro de la camaronicultura data de la década de 1960, el inicio de la práctica comenzó en la captura de camarones silvestres en las costas del país. Entonces, la pesca de camarones se hacía principalmente para el consumo local, al término de la década de 1960 y comienzos de los 1970 la cría de estos organismos se experimentó en estanques y piscinas, las especies como el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y el camarón tigre (*Penaeus monodon*) fueron empleadas en los primeros cultivos (López & Bayas, 2023).

En cuanto a las exportaciones de camarón en 1985, alcanzó a 20.044 toneladas equivalentes a 156.486 dólares, y hubo un crecimiento de 11.054 toneladas para 1986, exportando 31.098 toneladas según el (Banco Central del Ecuador, 2019).

Se convirtió en uno de los sectores económicos con mayor crecimiento, su desarrollo se debe a una mezcla de distintos factores: geográficos, climáticos y económicos, Ecuador se ha establecido en el mercado mundial como uno de los principales productores de camarón (López & Bayas, 2023).

La industria ha atravesado varias etapas significativas. La primera, entre 1978 y 1984, marcó el inicio de la producción de camarón, con la creación de 89,368 hectáreas de estanques. Durante la segunda etapa, entre 1984 y 1995, se experimentó un boom camaronero, caracterizado por una fuerte inversión extranjera y la duplicación de la superficie destinada a la producción, alcanzando las 178,071 hectáreas (Romero, 2014).

Este sector es crucial para la economía del país, ya que representa una gran parte de los ingresos no petroleros, ocupando el segundo lugar después del petróleo en términos de divisas por exportaciones. Según datos del Banco Central del Ecuador, en 2018, la industria camaronera superó en 2017 la hegemonía de 40 años del sector bananero en términos de ingresos, lo que refuerza la idea de que las exportaciones de camarón son un pilar fundamental para el PIB y para la dinámica económica de Ecuador. (Alvarez-Cañares *et al.*, 2021).

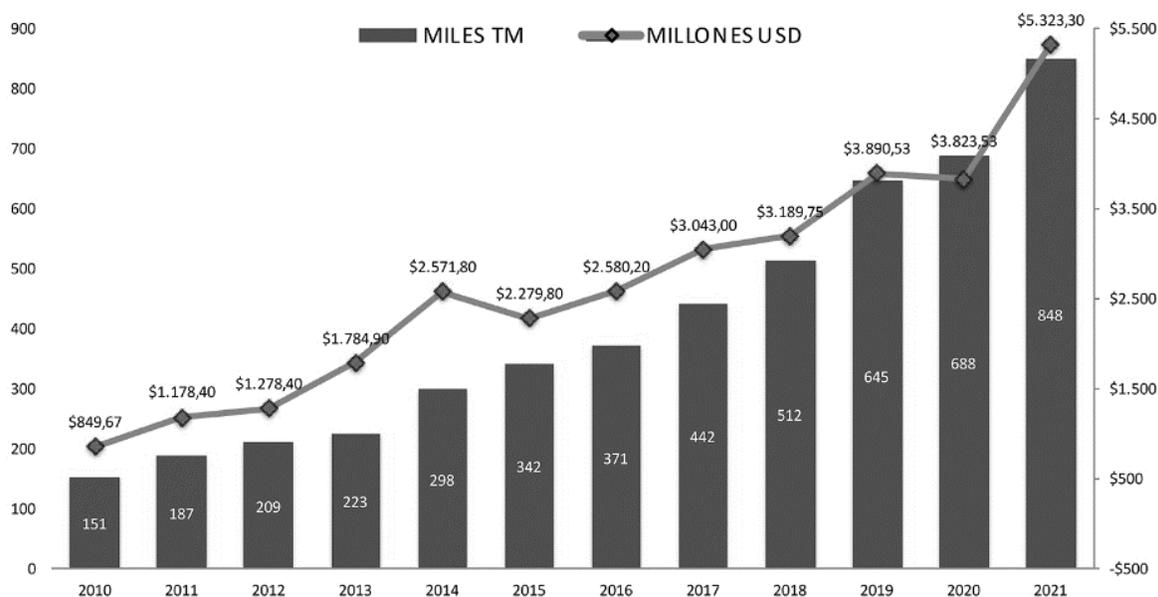
El impacto del virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) redujo en un 80% la capacidad productiva de la industria local, dejándola en una situación crítica y vulnerable. Tomó seis años para que la producción se recuperara al nivel alcanzado en 1999 (Uzcátegui *et al.*, 2016).

En 2019, las exportaciones de camarón ecuatoriano hacia Estados Unidos, Asia y Europa estaban en aumento, alcanzando un 15,6% más en comparación con 2018, según datos del Banco Central del Ecuador. Sin embargo, en 2020, el país enfrentó una de las crisis más profundas de las últimas décadas debido a la pandemia de Covid-19. Para Ecuador, un país que no se caracteriza por su estabilidad económica, social o política, la incertidumbre provocada por la pandemia desencadenó una grave crisis sanitaria, seguida de una crisis económica (Banco Central del Ecuador, 2020).

La industria camaronera ecuatoriana, que lleva más de cincuenta años en funcionamiento, es un claro ejemplo de éxito. Ha logrado un crecimiento impresionante y ha alcanzado volúmenes de producción que la colocan a la par de los principales productores mundiales (Uzcátegui *et al.*, 2016). Además, el éxito de esta industria se debe en parte a que comenzó con un sistema de producción extensivo, de baja demanda, en el que se siembran entre 8 y 15 larvas por metro cuadrado. A nivel mundial, existe un déficit del 25% de camarón, causado por la reducción de la producción en Asia debido al síndrome de muerte temprana (Bernabé, 2016).

En la **Figura 1.** muestra la producción y el valor económico de la industria del camarón desde 2010 hasta 2021, las barras verticales representan la producción en miles de toneladas métricas (TM) por año, en el año 2019, 2020 y 2021 alcanzaron valores de 645, 688, 848 (TM) y en valor económico en los mismos años llegaron a \$3.890,53 millones en 2019, \$3.823,58 millones en 2020, y \$5.323,30 millones en 2021. La tendencia general es un aumento tanto en la producción como en el valor de la producción de camarón, con un incremento significativo en el valor entre 2020 y 2021.

Figura 1. Exportación del camarón del Ecuador, 2010 -2021.



Fuente: (Cámara Nacional de Acuacultura, 2023).

Durante los últimos diez años, la industria ha experimentado un incremento tanto en la producción como en los precios, así como una mayor regulación y mejoras en la gestión ambiental. Desde 2007, Ecuador ha sostenido un crecimiento anual constante de aproximadamente el 12%, alcanzando en 2017 exportaciones de 246,000 toneladas métricas. Esto ha triplicado las exportaciones del país, posicionándolo como el principal productor de camarón cultivado en el continente, con más del 50% de la producción en la región de las Américas (Piedrahita, 2018).

2.3. Tipos de salinidades para el cultivo de *Litopenaeus vannamei*

El cultivo del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* se puede dar en rangos de salinidad que van desde 1 a 40 unidades prácticas de salinidad (UPS). El cultivo en bajas salinidades se ha llevado con éxito en nuestro país debido a la resistencia que tiene el organismo a enfermedades y afectaciones que pueden ocurrir en zonas costeras (Machado & Ceballos, 2023).

Según Roque et al. (2020), para cultivar camarón en tierra adentro se necesita que los rangos de salinidad sean los óptimos con variaciones de 20 a 32 UPS, ya que valores cercanos

a cero podrían disminuir la tasa de crecimiento, según su investigación en un periodo de 49 días los organismos se sometieron a dos diferentes salinidades, dando como resultado, un peso de 17.75 gramos en salinidades optimas y 12 gramos en salinidades cercanas a cero.

En el cultivo de *L. vannamei* a baja salinidad el organismo es susceptible a la intoxicación por nitrito y amonio, esto se debe a que, el camarón no está en las condiciones adecuadas del punto isosmótico, y así existe la diferencia entre gradientes como la osmolalidad y fluidos corporales que a su vez ocasiona mayor entrada o absorción de las sustancias toxicas disueltas (Gil-Nuñez *et al.*, 2018).

El estudio realizado por Velásquez *et al.* (2023), estipula que el rendimiento del camarón blanco a una salinidad de 0.3 UPS fue baja, el crecimiento semanal alcanzó 0.92 g, con un peso promedio de 8 g en un periodo de 8 semanas, en la mitad del ciclo de cultivo se registró la disminución en el rendimiento del camarón, esto se debió a la concentración de amonio que es un factor tóxico en los sistemas de cultivo a bajas salinidades.

2.4. Solubilidad de oxígeno en diferentes salinidades

Según Viera & Garcia (2019), cuando la salinidad es mayor acontece una gran disminución en la concentración de oxígeno disuelto. A una temperatura específica la solubilidad de oxígeno decrece al pasar de agua dulce al agua salada, por lo tanto, al verse aumentada la concentración de minerales disminuirá la capacidad de retener o absorber oxígeno, si comparamos el agua destilada con el agua salada se verá disminuida su capacidad de disolver oxígeno en un 18%.

2.4.1. Consumo de oxígeno a diferentes salinidades

El estudio realizado por Carranza (2020) que evaluó la tasa de consumo de oxígeno del *Penaeus vannamei* en relación con la salinidad, temperatura y peso corporal, mostró que el consumo de oxígeno en los camarones a los diez minutos, con una salinidad de 32 UPS, fue de 2.31 mg/L. En cambio, con una salinidad de 4 UPS, el consumo de oxígeno se redujo a 1.43 mg/L. A los 40 minutos, el consumo de oxígeno fue de 3.71 mg/L a una salinidad de 32 UPS y de 3.16 mg/L a una salinidad de 4 UPS. Estos resultados confirman que a mayor salinidad, el consumo de oxígeno será menor en comparación con menores salinidades.

2.5. Fuentes principales de oxígeno disuelto en estanques

Existen diferentes maneras de incrementar las concentraciones de OD en estanques, para tener rangos óptimos de este gas y que los organismos tengan un crecimiento óptimo, el OD puede ingresar de manera natural o por intervención del humano; a través de la fotosíntesis o por difusión y por asistencia del hombre integrando al cultivo aireación mecánica, respectivamente (Carchipulla, 2018).

2.5.1. Fotosíntesis

El fitoplancton produce oxígeno disuelto mediante una reacción química llamada fotosíntesis, durante el día, no obstante, al igual que otra planta respira por las noches. La abundancia del fitoplancton en estanques acuícolas es alta debido a las altas concentración de nutrientes y fertilizantes que se le suministran a esta unidad de cultivo. La tasa de fotosíntesis dependerá de la cantidad de luz solar, este proceso químico comienza al amanecer y en un día normal las cantidades de OD aumentan desde la mañana hasta mediodía y durante la noche la concentración de OD tiende a disminuir (Boyd, 2017).

2.5.2. Difusión del oxígeno atmosférico al agua

El oxígeno gaseoso se disuelve en el agua por la difusión entre la atmósfera y el agua, las moléculas de oxígeno en el aire se mezclan con las moléculas de agua, este gas se transfiere cuando existe un desequilibrio entre la masa de gas y la superficie líquida, existen factores que pueden influir sobre la solubilidad que presentan los gases en los medios acuáticos encontrando la presión del gas, la naturaleza química y la temperatura la que mayormente influye (Mallqui, 2019).

En un sistema de producción acuícola, el OD extraído por los peces o los camarones necesita ser sustituido por la difusión del oxígeno atmosférico en el agua, el movimiento del agua es imprescindible para mover el OD desde la superficie de la columna de agua hacia el fondo del estanque favoreciendo la respiración para los camarones (Boyd, 2022).

2.5.3. Aireación mecánica

La aireación mecánica es un método de transferencia de oxígeno en donde se aplican en los sistemas de producción aireadores que permiten transferir fracciones del oxígeno

atmosférico a un cuerpo acuático para ser convertido en OD, ya que su ausencia es un factor crítico para la comunidad biológica (Zuñiga & Rojas, 2021).

Para evitar los bajones de OD en los cultivos se ha implementado como alternativa la aireación mecánica, y se ha convertido en una práctica estándar para la crianza de camarón marino y otras especies, el uso de estos equipos es esencial cuando se quiere incrementar la capacidad de carga del estanque, pero se necesitan desarrollar técnicas más precisas para determinar la cantidad adecuada de aireadores que se deben emplear en un estanque (Boyd *et al.*, 2017).

2.6. Consumo de oxígeno disuelto en los estanques acuícolas

El consumo de oxígeno empieza cuando los organismos en cultivo utilizan el elemento con mayor velocidad que las microalgas y la difusión pueden producir la muerte repentina de las microalgas, el sedimento son los factores claves para el agotamiento y el consumo de oxígeno en un estanque acuícola (Burtle, 2016).

2.6.1. Organismos

Los factores que pueden afectar el consumo de oxígeno es la temperatura, la actividad y el tamaño del individuo, un estudio realizado por (Galang *et al.*, 2019) demostró que el consumo de oxígeno del *L. vannamei* a una salinidad de 25 UPS y 30°C de temperatura estuvo dentro del rango requerido por la especie que va desde 1,63 a 4,80 mg/L/h.

2.6.2. Fitoplancton

Así como las comunidades fitoplanctónicas nos provee oxígeno por el día también se encarga de consumir oxígeno disuelto por la noche o también consume cuando se tiene una irradiación solar muy baja, provocando un agotamiento de OD en el estanque por este motivo es necesario regular las concentraciones de estas comunidades en lo que dura el ciclo de cultivo, el problema de OD es notoria en las profundidades de los estanques provocando zonas de hipoxia (Oberle *et al.*, 2019).

2.6.3. Sedimento

Los sedimentos en los estanques son una de las principales fuentes de consumo de oxígeno disuelto. Según la intensidad del cultivo, el consumo diario de oxígeno por parte de

los sedimentos puede oscilar entre menos de 1 mg/L y 10 mg/L. Los sedimentos contienen excretas de animales, fitoplancton muerto y alimento no consumido. Estos insumos acuícolas incrementan la carga de materia orgánica en los estanques, que se transforma en materia muerta y eleva la demanda de oxígeno (Boyd, 2018).

2.6.3.1. Requerimiento de oxígeno en camarones

El consumo de oxígeno para el camarón se ve influenciada por la temperatura y salinidad, en un estudio realizado por (Wafi *et al.*, 2021), el consumo de oxígeno en periodo de engorde tiende a bajar, a mayor peso del organismo, menor será la tasa de demanda de oxígeno, cabe mencionar que los camarones más pequeños necesitan mayor energía para el sistema metabólico. (poner el requerimiento de oxígeno del camarón)

2.7. Concentración de OD adecuados para camaronicultura

El oxígeno disuelto es el factor que regula el metabolismo de los organismos y tiene una influencia en el estanque llegando a afectar el crecimiento y la conversión alimenticia, causa estrés, bajo apetito, es más susceptible a enfermedades y puede provocar mortalidades en los cultivos. Muchos autores discrepan en el intervalo adecuado u óptimo del oxígeno disuelto, que van desde 6-10 mg/L, 4 y 7 mg/L (García *et al.*, 2018).

Hernandez (2016) en su estudio de la caracterización en la calidad de agua en un sistema intensivo, recomienda que por la mañana los valores de oxígeno disuelto no sean menores a 3,89 mg/L para que así la supervivencia se incremente entre 20% y un 50% en producción, reduciendo así el factor de conversión alimenticia a comparación de cuando el OD por las mañanas sean inferiores a 2,32 mg/L.

2.8. Uso de productos químicos para el incremento de OD en estanques

El uso de productos químicos que proveen OD en acuicultura es una práctica que se ha desarrollado en los últimos tiempos porque los estanques ocurren intervalos de hipoxia, el peróxido de hidrogeno como alternativa enfocada en incrementar el oxígeno en la acuicultura, y desinfecta y disocia, es una opción ventajosa para el proceso de desinfección en este entorno acuático.

El peróxido de hidrógeno como generador de oxígeno se ha venido usando con moderación, a causa de ser un compuesto biocida y soluble, se descompone rápidamente en diferentes condiciones ambientales debido a la catalasa y la peroxidasa microbiana (Girolamini *et al.*, 2019).

El SPC, una sustancia sólida compuesta por tres partes de peróxido de hidrógeno y dos partes de carbonato ha sido tradicionalmente empleado como agente de limpieza y desinfección, en acuicultura, su uso ha experimentado un aumento reciente para la oxigenación del agua en situaciones de emergencia (Boyd & Tucker, 2014).

2.8.1. Peróxido de hidrógeno

Creado por primera vez por Louis Jacques Thenard en 1818 producto de la reacción del peróxido de bario y el ácido nítrico, mejorado posteriormente la síntesis del compuesto con ácido clorhídrico. En 1894 se obtuvo por primera vez esta sustancia cien por ciento pura mediante el proceso de destilación al vacío y la fórmula conocida hoy en día fue detallada a finales del siglo XIX (Abdollahi & Hosseini, 2014).

2.8.1.1. Peróxido de hidrógeno y sus aplicaciones generales

El peróxido de hidrogeno tienes distintas aplicaciones químicas, biológicas, domésticas y de uso terapéutico incluso es usado como agente microbiano y oxidante. Además, este compuesto es aplicado en aguas residuales municipales y para el control rentable del sulfuro de hidrógeno en lodos municipales, también es usado para reducir la demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno (DBO) y (DQO) de las aguas residuales industriales (Abdollahi & Hosseini, 2014).

Estructura química: HO ----- OH

Formula molecular: H₂O₂

2.8.2. Percarbonato de sodio

El percarbonato de sodio tiene diferentes denominaciones, sal disódica del ácido carbónico comprimido con peróxido de hidrógeno, carbonato de sodio peroxihidratado, SCP (Sodium percarbonate) como sus siglas en inglés, siendo mayormente utilizado en productos

de limpieza o blanqueadores ecológicos, y en menor contexto, se utiliza como alguicida o fungicida.

El SCP es una sal y cuando se disuelve en agua, libera peróxido de hidrógeno que ayudará a la generación de oxígeno en el medio acuático (Solvay, 2013).

2.8.2.1. Formula molecular y descomposición del SCP

Para producir SCP se pulveriza peróxido de hidrógeno con solución de carbonato de sodio en un fluidizador, una vez que el agua se evapore se forman cristales y se obtiene el SCP, su fórmula molecular es $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$ (Solvay, 2013).

El percarbonato de sodio una vez descompuesto, forma H_2O_2 y carbonato de sodio, el peróxido de hidrógeno se puede descomponer para la generación de agua y oxígeno y puede liberar algo de calor, su descomposición se produce por la siguiente reacción $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 1,5 \text{O}_2 + \text{Calor}$ (Solvay, 2013).

2.8.3. Usos generales del percarbonato de sodio y sus propiedades fisicoquímicas

En la *Tabla I*. se describe las propiedades del SPC, está compuesto por Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) y Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2), El Percarbonato tiene la función de peróxido de hidrógeno líquido y además posee la capacidad de descomponerse velozmente a baja temperatura y genera oxígeno para lavar, limpiar, blanquear, desinfectar y desodorizar. El uso principal del SPC es la industria de productos de limpieza como un blanqueador químico en detergentes para el lavado (tabletas, polvos compactos o normales) (Coutiño, 2012).

Tabla I. Propiedades fisicoquímicas del SPC.

Propiedades Fisicoquímicas	
Nombre químico	Peroxihidrato de carbonato de sodio
Fórmula molecular	$2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$
Peso molecular (gr/mol)	314.02
Contiene Basado en el peso	32.5 % de H_2O_2 y 67.5% Na_2CO_3
Número CAS	15630-89-4
Estado físico	Polvo Cristalino blanco con una pureza >85%
Densidad relativa	2.14 g/cm ³
Punto de ebullición/ignición	N/A
Presión de vapor	<10 ⁻³ pa at 25 °C
Solubilidad en agua	140 g/l at 20 °C
pH	10.5 a 1% concentración (20°C)
Diámetro promedio	0.3 - 1.5 mm

Fuente: (Coutiño, 2012).

2.8.3.1. Para tratamiento de cianobacterias

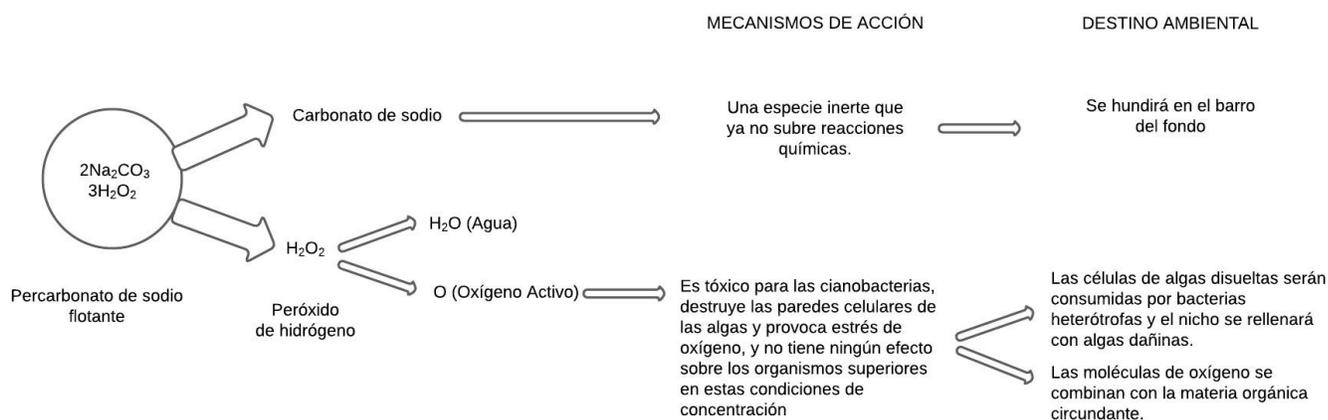
Las partículas flotantes de SPC presentan ventajas no tóxicas, inodoras y no contaminantes. Al contactar con los cuerpos de agua reacciona y se convierte en peróxido de hidrogeno y carbonato de sodio , el polímero cumple con la acción de que las partículas tiendan a flotar, liberando mejor los ingredientes activos, eliminando las células de las cianobacterias por este ingrediente producido por la reacción química de SPC cuando está en el agua (Yaoqiang *et al.*, 2022).

Yaoqiang *et al.* (2022) realizaron un estudio donde usaron partículas flotantes de SPC, para controlar la proliferación de algas verdiazules en un estanque eutrófico de 250 m². consideraron que se debe aplicar la cantidad de 2,5 kg/ha del producto ya que la concentración de células de cianobacterias se encuentra en el rango de 5 000 a 20 000 cel./ml aclararon que la dosificación del SPC dependerá de la concentración de cel./ml, se observaron cambios, antes de aplicar el agua tenía un olor rancio y turbidez alta, en cuanto al color del agua a las 4 horas después de aplicarse producto cambio su tonalidad de azul verdoso a azul, 8 horas después el color del cuerpo de agua se vuelve más claro y el olor del cuerpo de agua se debilita

Lo que indica que la cantidad de algas azules en el cuerpo de agua se ha reducido y el efecto del producto ha comenzado a aparecer. Los investigadores además observaron cambios en el contenido de OD a las 24 y 48 horas después de aplicar el SPC en la superficie del agua se estabilizo en 12~13 mg/L, mientras que el OD en el fondo aumentó de 1,5 mg/L a 2 mg/L y luego a 3 mg/L deduciendo que se puede usar este producto para aumentar el contenido de OD del fondo del agua (Yaoqiang *et al.*, 2022).

En la **Figura 2.** Ilustra el proceso de descomposición del percarbonato de sodio y sus efectos ambientales Cuando el percarbonato de sodio, representado como $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$, se descompone, produce carbonato de sodio y peróxido de hidrógeno. El carbonato de sodio es una especie inerte que no sufre más reacciones químicas y se hundirá en el barro del fondo del cuerpo de agua.

Figura 2. Mecanismo de acción y destino ambiental del percarbonato de sodio flotante.



Fuente: (Yaoqiang *et al.*, 2022).

2.8.3.2. Para controlar enfermedades en peces

Heinecke & Buchmann (2009) utilizaron una combinación de filtración de agua y percarbonato de sodio, para controlar *Ichthyophthirius multifiliis* un parásito que afecta a la piscicultura de agua dulce causando una morbilidad y mortalidad en las especies, una estrategia preventiva que fue usada en este proyecto para combatir el brote de este parásito que afecta a los sistemas de recirculación, fue la filtración de agua ya que se encarga de eliminar los tomonts previniendo los tomoquistes combinándolo con el percarbonato de sodio, que libera peróxido de hidrogeno y a su mismo tiempo lo compararon con el

formaldehído (FA) que se ha venido usando con mayor frecuencia como método preventivo, los theronts fueron expuestos a 8, 16, 32 y 64 mg/L de FA y SPC diversas concentraciones y temperaturas (11 a 13 y 21 a 22 °C) y tiempos de exposición.

Se descubrió que el SPC tenía mayor eficacia en comparación con el FA, pero la temperatura y la concentración del producto químico tenían influencias significativas en la supervivencia del parásito. Un estudio de dosis-respuesta realizado en tomons mostró que los tomons eran mucho más tolerantes a ambas sustancias químicas. Los estudios de microfiltración demostraron que era posible filtrar el 100% de los tomons utilizando un tamaño de malla de 80 μm . Por lo tanto, se recomiendan métodos mecánicos para eliminar los tomons, con lo que se evitará la posterior producción de tomoquistes y theronts (Heinecke & Buchmann, 2009).

Lars-Flemming & Jokumsen, (2017) realizaron un proyecto experimental en un estanque con un volumen aproximado de 100 m^3 , que tenían juveniles de *Oncorhynchus mykiss* de 175 g de peso promedio donde aplicaron percarbonato de sodio para mejorar la calidad del agua por la adición indirecta de oxígeno, usando una pala en un periodo de menos de 5 minutos adicionaron la cantidad de 12 kg de SPC por toda la unidad de cultivo. En la compuerta de salida colocaron sensores para medir los niveles de oxígeno y pH para registrar los datos antes y durante la aplicación de esta sustancia,

Los datos obtenidos indicaron que la concentración de H_2O_2 alcanzó su nivel máximo de 35 ppm a los 30 minutos tras la adición del SPC. Esta concentración se mantuvo superior a 10 ppm durante más de dos horas, pero disminuyó posteriormente debido a la dilución y descomposición en el estanque. Además, se observó que la adición de SPC provocó la liberación de iones de carbonato alcalino, lo que resultó en un incremento notable del pH, que pasó de 8,0 a más de 9,5 en un lapso de 10 minutos (Lars-Flemming & Jokumsen, 2017).

2.8.3.3. Usos combinados del percarbonato de sodio con otras sustancias

El SPC fue utilizado junto con rayos ultravioleta (UV) para la degradación del antibiótico tetraciclina (TC), cuando se utilizó SPC solo, no hubo efecto, (Zhao *et al.*, 2024) obtuvo efectividad cuando se utilizó un sistema UV/SPC con efecto sinérgico con una efectividad alta, logrando eliminar un 89.1% en tan solo 15 minutos, también se contabilizó la rentabilidad y demostraron que se necesita 1.58 m^3 .

Se utilizó policloruro de aluminio (PACl) y percarbonato de sodio (SPC) para la mitigación de microalgas en agua potable, la concentración efectiva de PACl fue de 20mg/L mientras que la concentración de SPC 0.10 mmol/L este tratamiento fue simultáneo dando una efectividad de 90.5% para la eliminación de *Microcystis aeruginosa*. (Cheng *et al.*, 2021).

En el estudio para eliminar *Microcystis aeruginosa* con la ayuda del percarbonato de sodio activado previamente con manganeso, (Li *et al.*, 2023) concluyó que la dosificación de 0.2/0.1 Mn/SPC es la mejor y más eficaz para mitigar mencionada micro alga con ello se puede garantizar una calidad de agua y sin manganeso residual.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales y equipos

3.1.1. Material de laboratorio

Tabla II. Materiales de laboratorio y sustancias usadas.

Equipo de laboratorio	Sustancias
<ul style="list-style-type: none">• Balanza analítica	<ul style="list-style-type: none">• Percarbonato de sodio (SPC)
<ul style="list-style-type: none">• pH Hanna	<ul style="list-style-type: none">• Cloruro de Cobalto II Hexahidratado
<ul style="list-style-type: none">• YSI PRO20	<ul style="list-style-type: none">• Sulfito de sodio Grado ACS
<ul style="list-style-type: none">• Recipientes 12 L	<ul style="list-style-type: none">• Formalina

Fuente: Elaborado por los autores

3.1.2. Material de oficina

Tabla III. Materiales y Softwares utilizados.

Equipos	Software
<ul style="list-style-type: none">• Computador portátil	<ul style="list-style-type: none">• IBM SPSS Statistics 22
<ul style="list-style-type: none">• Lápiz y bolígrafos	<ul style="list-style-type: none">• Office 2019
<ul style="list-style-type: none">• Pegatinas	
<ul style="list-style-type: none">• Borrador	

Fuente: Elaborado por los autores

3.1.3. Material biológico

Tabla IV. Material biológico empleado.

<ul style="list-style-type: none">• Agua salada
<ul style="list-style-type: none">• Agua Estuarina
<ul style="list-style-type: none">• Agua Dulce

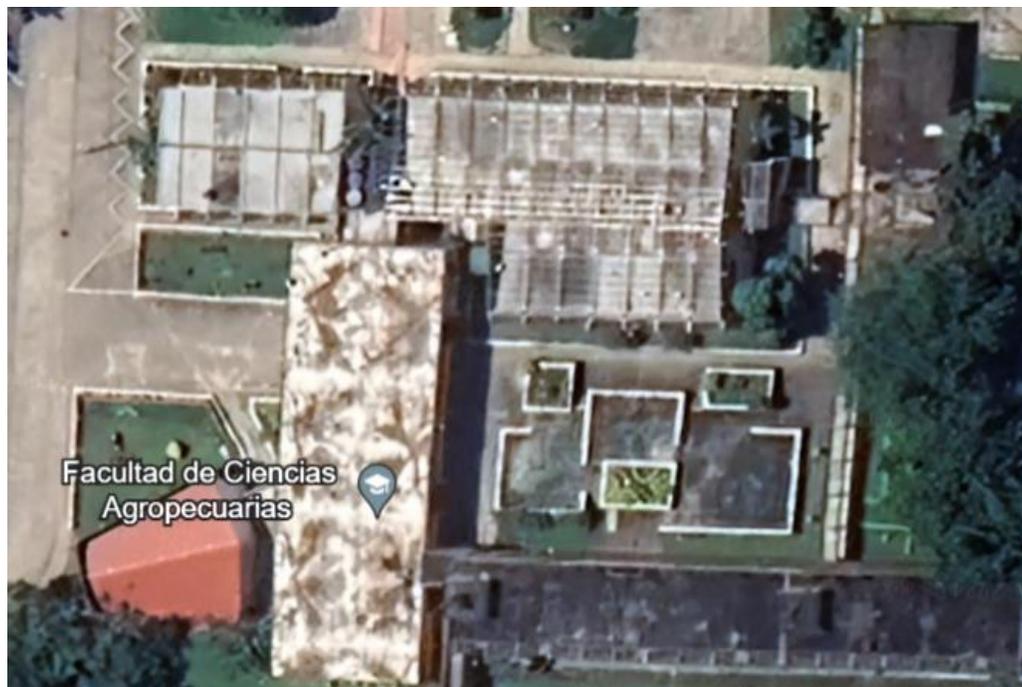
Fuente: Elaborado por los autores

3.2. Metodología

3.2.1. Ubicación del experimento

El estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, situada en Machala, provincia de El Oro en el Laboratorio de Suelos, que se encuentra ubicado cuya dirección es P35P+CCW, E583, El Cambio y tienen las siguientes coordenadas: -3.291656, -79.914164.

Figura 3 Ilustración satelital del lugar donde se realizó el proyecto.



Fuente: Google Earth

3.2.2. Diseño Experimental

Para la presente investigación se efectuó un diseño completamente al azar que cuenta con un factor de estudio (SPC) con cuatro tratamientos y tres réplicas, dando un total de doce unidades experimentales. Los tratamientos fueron distribuidos completamente al azar en las unidades experimentales para toda la investigación.

Tabla V. *Diseño experimental en la aplicación de SPC para el aumento de OD a salinidad de 30-15 y 0 UPS*

REPLICAS	TRATAMIENTOS CON SALINIDAD 30-15-0 UPS			
1	T1	T0	T3	T1
2	T0	T2	T0	T3
3	T2	T1	T3	T2

*1UPS= 1ppm= 1mgL

Fuente: *Elaborado por los autores*

3.2.3. Tratamientos

El producto estudiado en nuestro experimento es el percarbonato de sodio que cuenta con una pureza del 98%, las dosis aplicadas fueron 3; siendo estas 6 - 12 y 24 mg/L.

Tabla VI. *Objeto de estudio*

Número	Tratamiento	Dosis del SPC (mg/L)
T-0	Control	0
T-1	1	6
T-2	2	12
T-3	3	24

Fuente: *Elaborada por autores*

3.2.4. Unidades experimentales

Un total de doce fuentes plásticas de 12 litros, que fueron ocupadas con agua de diferentes ambientes, salino, salobre, dulce. Las fuentes se cubrieron en una totalidad del 80%.

3.2.5. Caracterización de los tratamientos

Se utilizó percarbonato de sodio, para conocer la eficacia como oxígeno de emergencia, el tiempo que duraría en el agua, la concentración para el incremento de un ppm de oxígeno.

3.2.5.1. Obtención de muestras

Para el siguiente trabajo, se obtuvo agua salada de un laboratorio ubicado en Puerto Bolívar. Se consiguieron aproximadamente 200 litros de este tipo de agua. Se adquirieron 8 bidones de agua potable, cada uno con una salinidad de 0 UPS (unidades de salinidad práctica). Esta agua servirá como base para la preparación de la muestra de agua salobre. Para obtener la muestra de agua salobre, se mezclaron las dos fuentes de agua: el agua salada del laboratorio y el agua potable. La mezcla se ajustó hasta alcanzar una salinidad de 15 UPS, que es el nivel deseado para las pruebas.

3.2.5.2. Obtención de los reactivos

Los reactivos utilizados fueron percarbonato de sodio, cloruro de cobalto, sulfito de sodio y formalina, los reactivos se compraron por separado, el percarbonato de sodio se compró en Prilabsa, el cloruro de cobalto y sulfato de sodio se compraron en productos químicos Cevallos en la provincia del Guayas.

3.2.6. Mezcla de aguas

Con la ayuda de la fórmula para bajar o subir salinidad, se procedió a realizar los cálculos respectivos para saber cuánto de agua salada y agua potable se debe añadir para obtener la concentración deseada.

$$\text{Volumen de agua} = \frac{\text{salinidad requerida} * \text{volumen de agua}}{\text{salinidad del reservorio}}$$

3.2.7. Incorporación de los reactivos

3.2.7.1. Cálculo del Incremento de Oxígeno Disuelto (Δ OD)

El propósito de este punto es determinar cuánto ha incrementado el nivel de oxígeno disuelto en el agua después de aplicar el SPC. Para ello, se sigue el siguiente procedimiento:

Para determinar cuánto oxígeno se ha producido y disuelto en el agua debido a la reacción con el SPC, se calcula la diferencia entre las mediciones del oxígeno disuelto final (OD_f) y el oxígeno disuelto inicial (OD_i). La fórmula utilizada es:

$$\Delta OD = OD_f - OD_i$$

Donde:

- ΔOD es el incremento de OD.
- OD_f es la cantidad de OD final medida después de la aplicación del SPC.
- OD_i es la cantidad de oxígeno disuelto inicial medida antes de la aplicación del SPC.

3.2.7.2. Eliminación de oxígeno disuelto con reactivos

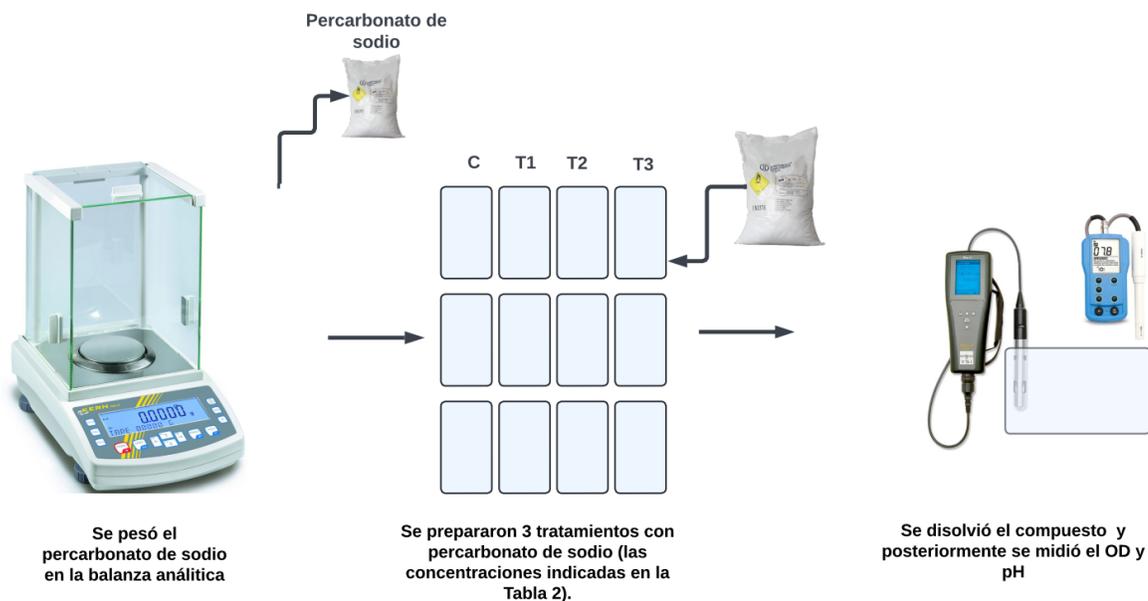
Existe un método químico que su función es absorber el OD mediante un agente reductor llamado sulfito de sodio, es un producto de bajo costo y reactivo con el oxígeno; se utilizan catalizadores como las sales de cobalto para amplificar su acción (Kikuchi *et al.*, 1954).

Para nuestra investigación utilizamos cloruro de cobalto (CoCl₂), según Rogers (2001) afirma que se debe agregar cloruro de cobalto para producir una concentración de cobalto 0.30 mg/L, en nuestro proyecto como utilizamos unidades experimentales de 10 L debemos poner la cantidad de 3 mg de esta sustancia. A continuación, siguiendo las instrucciones del investigador se debe disolver sulfito de sodio (Na₂SO₃) en los recipientes la cantidad que se adicionó 8 miligramos por litro de sulfito de sodio por 1 ppm de concentración de OD, y el nivel de OD se reduciría por debajo de 0,5 mg/L.

3.2.8. Percarbonato de sodio

Este producto se le incorporó al agua una vez que terminamos el proceso mencionado anteriormente, las concentraciones de este producto fueron las siguientes; 6 mg/L, 12 mg/L y 24 mg/L, cabe mencionar que fueron las mismas concentraciones para las diferentes salinidades, cada semana se realizó un tratamiento diferente, llevando así el trabajo durante 3 semanas.

Figura 4 Procedimiento para cuantificar el incremento en los niveles de oxígeno disuelto provocado por el SPC.



Fuente: Elaborada por autores

3.2.9. Variables medidas

3.2.9.1. Oxígeno disuelto

Para este aspecto de la investigación, la variable que se midió es el oxígeno disuelto. Para ello se eliminó el OD de los cuerpos de agua con el reactivo, luego se verificó con el YSI que quede una ínfima concentración de oxígeno, seguidamente se adicionó el SPC en todas las réplicas a estudiar, y utilizando un instrumento YSI se registró el incremento de las concentraciones de OD. Las mediciones se tomaron en intervalos de 15 minutos en el transcurso de 3 horas. Esta metodología proporcionó datos sobre la cantidad de oxígeno disuelto presente y cómo cambia con el tiempo en las condiciones elegidas.

3.2.9.2. pH

La segunda variable que se midió en esta investigación es el pH del agua, utilizando el potenciómetro y las mediciones se registraron cada 30 minutos durante un período de 3 horas. Las mediciones de pH proporcionarán información sobre la acidez o alcalinidad del

agua, y cómo puede variar a lo largo del tiempo bajo las condiciones específicas de la investigación.

4. RESULTADOS

4.1. Incremento de la concentración de OD con la aplicación de percarbonato de sodio

La **Tabla VII** proporciona los valores de oxígeno disuelto promedio acumulado (en miligramos por cada litro) bajo diferentes tratamientos de percarbonato de sodio (0, 6, 12 y 24 mg/L) en tres tipos de agua: agua salada (35 UPS), agua salobre (15 UPS) y agua dulce (0 UPS). Los valores están acompañados con sus respectivos valores de \pm desviación estándar (DE).

Tabla VII. Incremento de OD por incorporación de SPC a diferentes salinidades durante 3 horas.

TRATAMIENTO	AMBIENTES		
	Agua salada (35 UPS)	Agua salobre (15 UPS)	Agua dulce (0 UPS)
	Oxígeno Acumulado total (mg/L)		
Control (T0)	1,58 \pm 1,05	0,81 \pm 0,63	1,57 \pm 1,03
6 mg/L (T1)	1,78 \pm 1,07	1,45 \pm 0,75	2,07 \pm 1,06
12 mg/L (T2)	1,82 \pm 1,11	1,40 \pm 0,78	2,29 \pm 1,05
24 mg/L (T3)	2,25 \pm 1,12	1,72 \pm 0,87	2,99 \pm 1,33

Fuente: Realizado por los Autores

Agua Salada (35 UPS): Incremento notable en oxígeno disuelto conforme aumenta la concentración de SPC, siendo más evidente en el tratamiento T3.

Para visualizar mejor estos datos, se presenta la **Figura 5.**, que grafica los mismos resultados mostrados en la **Tabla VII.** en la segunda columna.

Agua Salobre (15 UPS): Además, se constata un incremento en los niveles de oxígeno con el aumento de la concentración de percarbonato de sodio, aunque el incremento es menos pronunciado que en agua salada.

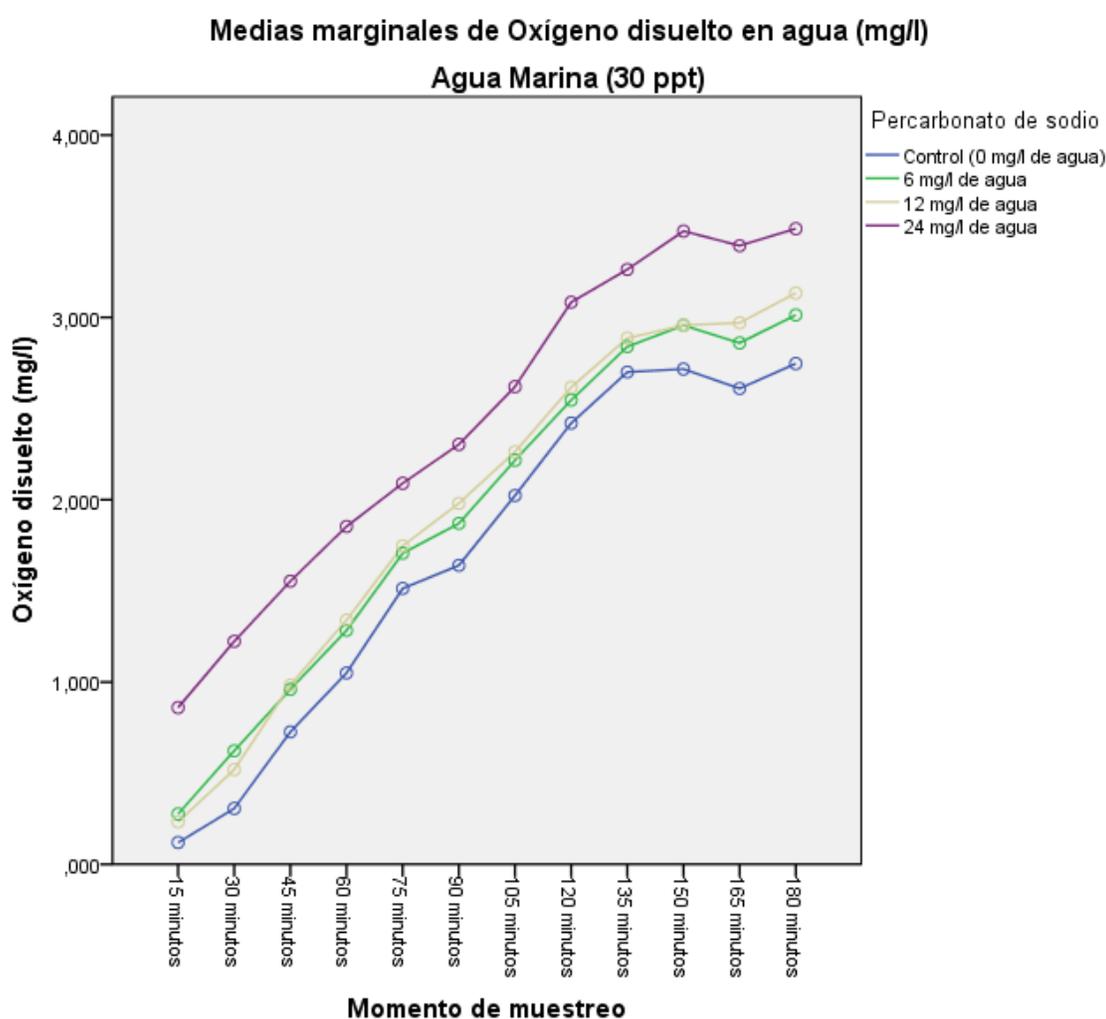
Para visualizar mejor estos datos, se presenta la **Figura 6.**, que grafica los mismos resultados mostrados en la **Tabla VII.** en la tercera columna.

Agua Dulce (0 UPS): El incremento en oxígeno disuelto es muy claro, especialmente en los tratamientos con mayores concentraciones de percarbonato de sodio (T2 y T3).

Para visualizar mejor estos datos, se presenta la **Figura 7.**, que grafica los mismos resultados mostrados en la **Tabla VII.** en la cuarta columna.

En todos los tratamientos se evidencia una relación proporcional directa entre concentración de SPC e incremento de OD. En el caso del tratamiento en agua salada, la concentración de OD varió entre 1,58 y 2,25 ppm para el control y T3 (24 ppm SPC), respectivamente. La duplicación de la concentración de SPC no produjo una respuesta proporcional en el incremento de OD en los tratamientos que recibieron el producto. Por ejemplo, a 6 ppm de SPC la concentración de OD fue 1,78 ppm, mientras que a 12 ppm el OD llegó a 1,82 ppm, es decir se incrementó en 2,2%.

Figura 5. Variación de oxígeno disuelto al adicionar SPC en agua marina.

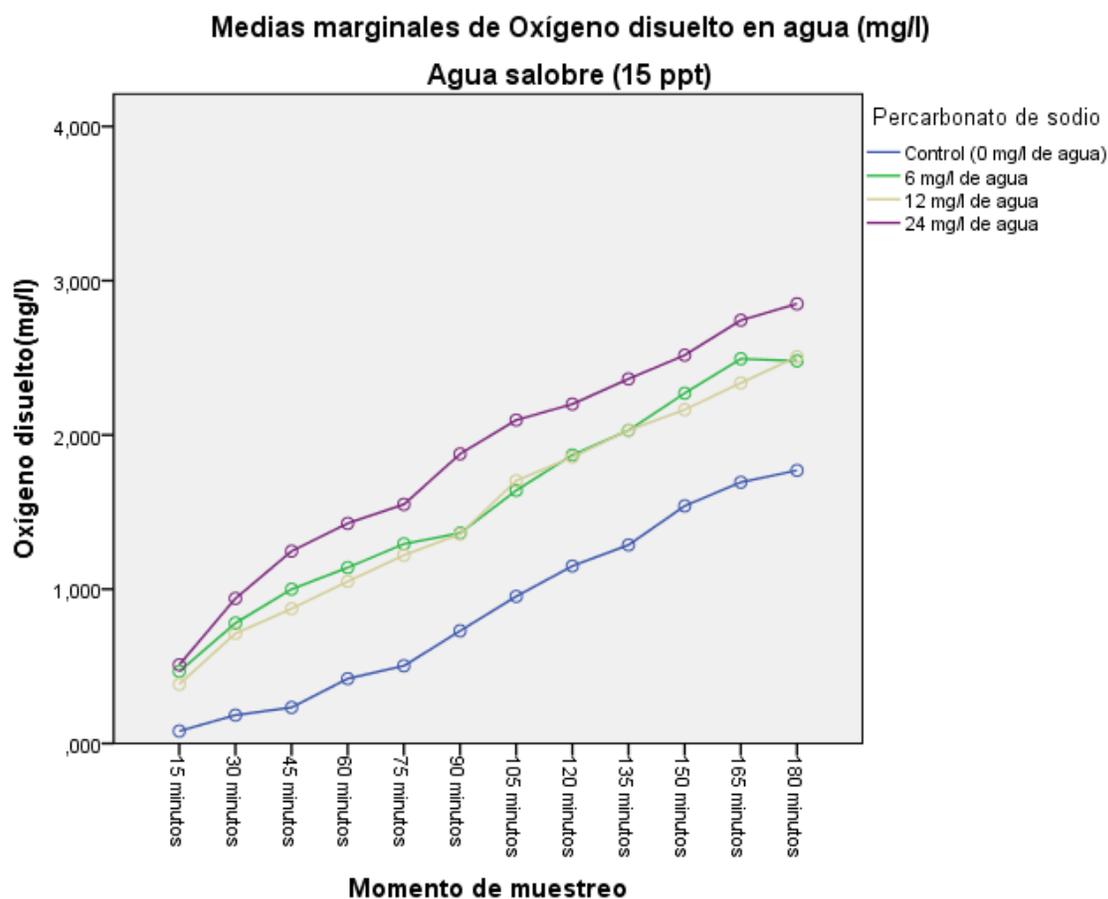


Fuente: Realizado por Autores

La **Figura 5.** muestra que el oxígeno disuelto aumenta con el tiempo en todos los tratamientos. El tratamiento con 24 mg/L de percarbonato de sodio (línea morada) presenta

el mayor aumento de oxígeno disuelto en comparación con los otros tratamientos. A los 180 minutos, las diferencias entre los tratamientos son más pronunciadas, con el tratamiento T3 alcanzando casi 4 mg/L.

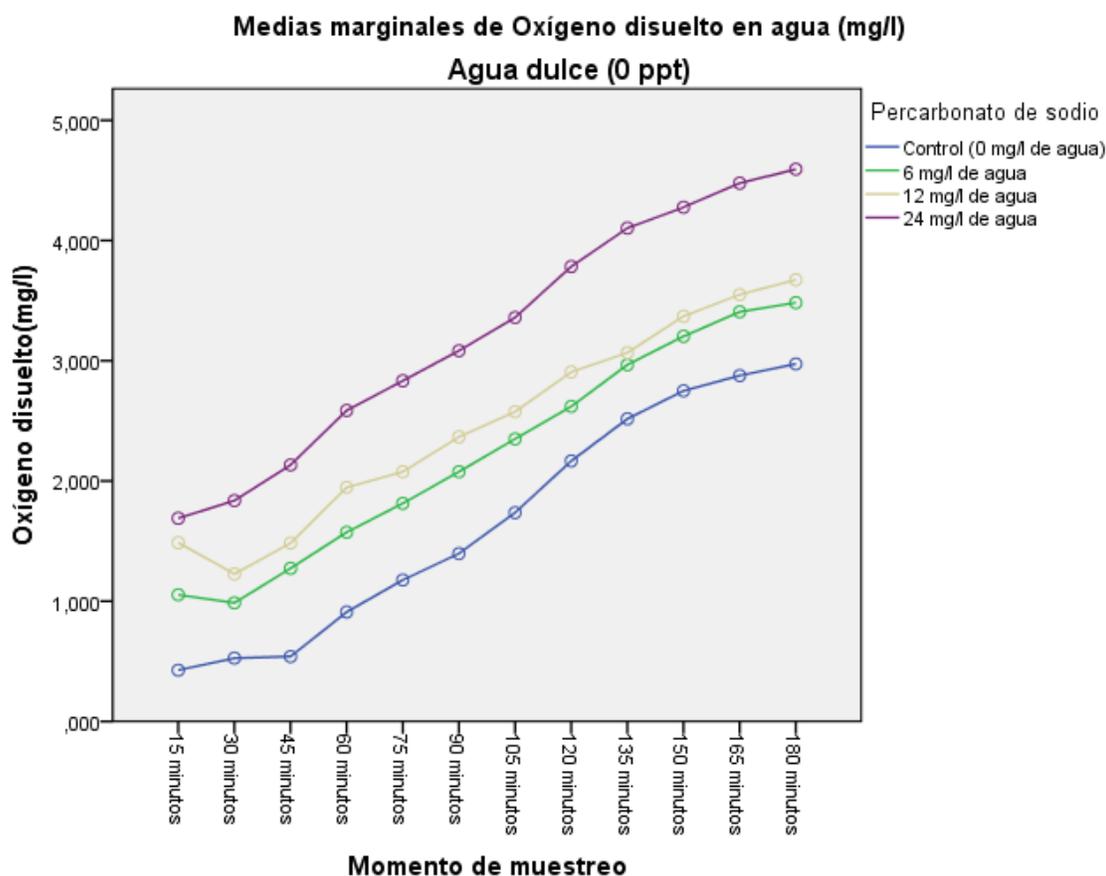
Figura 6. Variación de oxígeno disuelto al adicionar SPC en agua salobre.



Fuente: Realizado por Autores

La **Figura 6.** de manera similar, el oxígeno disuelto aumenta con el tiempo para todos los tratamientos. El tratamiento con 24 mg/L (línea morada) también muestra el mayor incremento, seguido por los tratamientos con 12 mg/L y 6 mg/L. Aunque los niveles de oxígeno disuelto son más bajos que en agua marina, las tendencias son consistentes, mostrando un aumento mayor con mayores concentraciones de percarbonato de sodio.

Figura 7. Variación de oxígeno disuelto al adicionar SPC en agua dulce.



Fuente: Realizado por Autores

La **Figura 7**. Sin adición de percarbonato de sodio, la concentración de oxígeno disuelto aumenta lentamente con el tiempo. Este incremento gradual sugiere que, en ausencia de tratamiento, la producción de oxígeno es mínima. Con 6 mg/L de percarbonato de sodio, se observa un incremento más rápido en la concentración de oxígeno disuelto comparado con el control. Esto indica que incluso una baja dosis de percarbonato de sodio puede aumentar la disponibilidad de oxígeno en el agua dulce. Aumentando la concentración a 12 mg/L, el oxígeno disuelto muestra un incremento aún más significativo a lo largo del tiempo. Esto refleja una mayor eficiencia del percarbonato de sodio en la oxigenación del agua dulce a esta concentración. La concentración más alta de percarbonato de sodio (24 mg/L) resulta en el mayor incremento en la concentración de oxígeno disuelto. Este tratamiento muestra una

producción sostenida y máxima de oxígeno disuelto a lo largo del tiempo, superando a todas las demás concentraciones probadas.

4.2. Cantidad de oxígeno producido al adicionar SPC en agua marina

La *Tabla VIII*. muestra la producción de oxígeno disuelto (OD) en agua marina (A) al aplicar SPC a diferentes concentraciones (6 mg/L, 12 mg/L, 24 mg/L) y un control sin aplicación. Los incrementos de oxígeno se miden en intervalos de 15 minutos a lo largo de 3 horas (180 minutos).

Tabla VIII. Incremento de oxígeno en espacios de 15 minutos durante 3 horas a 30 ppt al adicionar SPC.

Tiempo(min)	AGUA MARINA (A)			
	24 mg/L	12 mg/L	6 mg/L	Control
15	0,86 ± 0,17	0,23 ± 0,14	0,28 ± 0,21	0,11 ± 0,14
30	0,36 ± 0,09	0,29 ± 0,12	0,35 ± 0,06	0,19 ± 0,17
45	0,33 ± 0,20	0,46 ± 0,11	0,34 ± 0,03	0,42 ± 0,05
60	0,30 ± 0,25	0,36 ± 0,01	0,32 ± 0,04	0,32 ± 0,03
75	0,24 ± 0,30	0,41 ± 0,11	0,42 ± 0,06	0,46 ± 0,16
90	0,21 ± 0,20	0,23 ± 0,20	0,16 ± 0,06	0,21 ± 0,14
105	0,32 ± 0,25	0,28 ± 0,06	0,35 ± 0,05	0,38 ± 0,09
120	0,46 ± 0,01	0,35 ± 0,10	0,33 ± 0,14	0,40 ± 0,18
135	0,18 ± 0,04	0,27 ± 0,15	0,29 ± 0,11	0,28 ± 0,00
150	0,21 ± 0,12	0,12 ± 0,11	0,12 ± 0,08	0,05 ± 0,00
165	0,06 ± 0,00	0,09 ± 0,01	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
180	0,09 ± 0,05	0,16 ± 0,08	0,15 ± 0,04	0,21 ± 0,08

Fuente: Realizado por los Autores

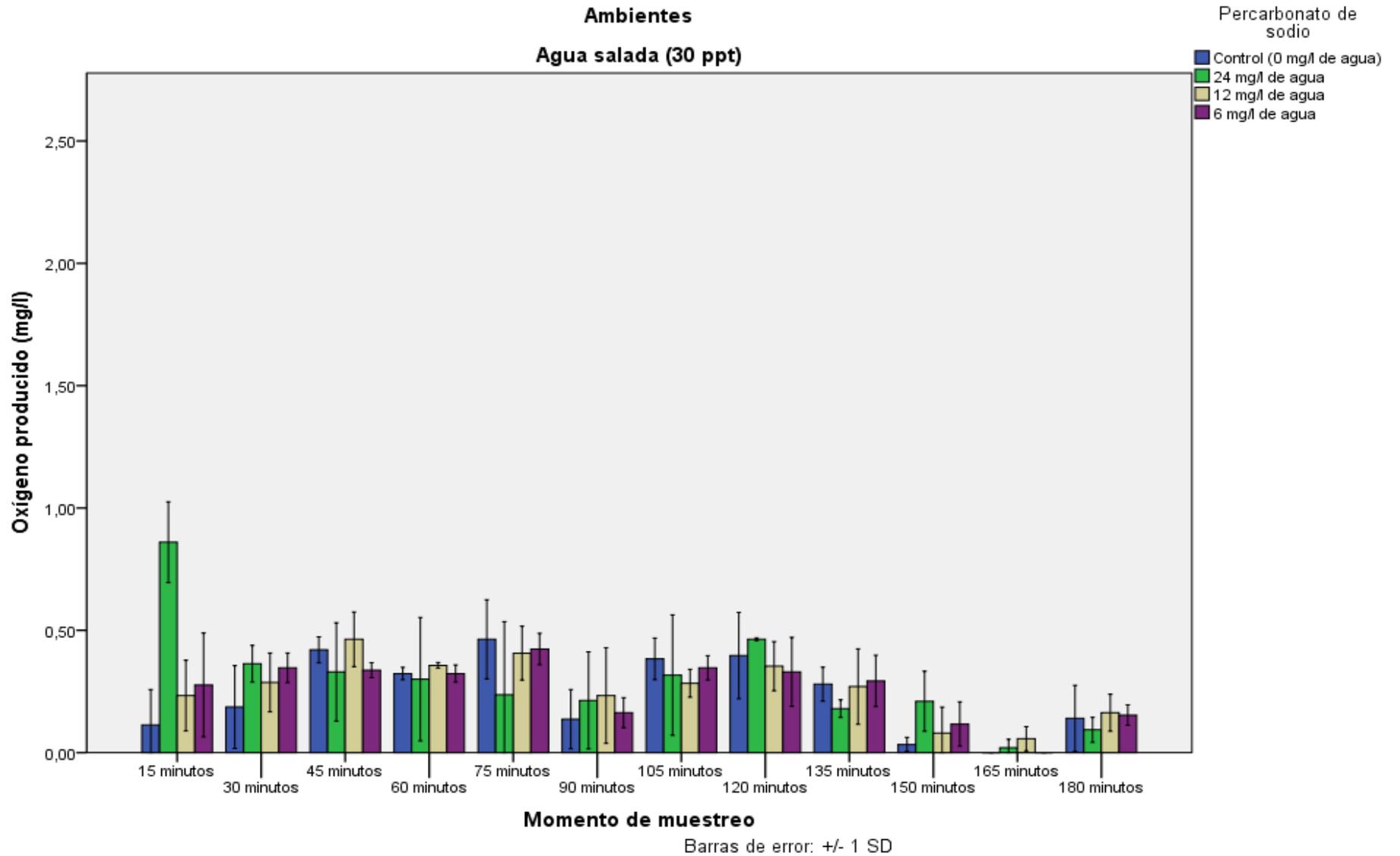
Los incrementos más significativos de oxígeno se observan en las concentraciones de 24 mg/L y 12 mg/L de percarbonato de sodio, especialmente en los primeros 15 minutos.

La concentración de 6 mg/L muestra un incremento moderado de oxígeno en comparación con las concentraciones más altas. El control presenta los incrementos más bajos de oxígeno, lo cual es esperado ya que no se aplicó percarbonato de sodio. A medida

que pasa el tiempo, los incrementos de oxígeno tienden a disminuir en todas las concentraciones, lo que indica una disminución en la efectividad de la liberación de oxígeno del percarbonato de sodio con el tiempo.

Para visualizar mejor estos datos, se presenta la **Figura 8.**, que grafica los mismos resultados mostrados en la **Tabla VIII.** Esta gráfica permite observar claramente las tendencias de incremento de oxígeno a lo largo del tiempo para cada una de las concentraciones de percarbonato de sodio.

Figura 8. Oxígeno producido al aplicar SPC en agua salada en intervalos de 15 minutos (con barras de error).



Fuente: Realizado por los Autores

4.3. Cantidad de oxígeno producido al adicionar SPC en agua salobre

La **Tabla IX.** muestra la producción de oxígeno disuelto (OD) en agua salobre (B) al aplicar SPC a diferentes concentraciones (6 mg/L, 12 mg/L, 24 mg/L) y un control sin aplicación. Los incrementos de oxígeno se miden en intervalos de 15 minutos a lo largo de 3 horas (180 minutos).

Tabla IX. Incremento de oxígeno en espacios de 15 minutos durante 3 horas a 15 ppt al adicionar SPC.

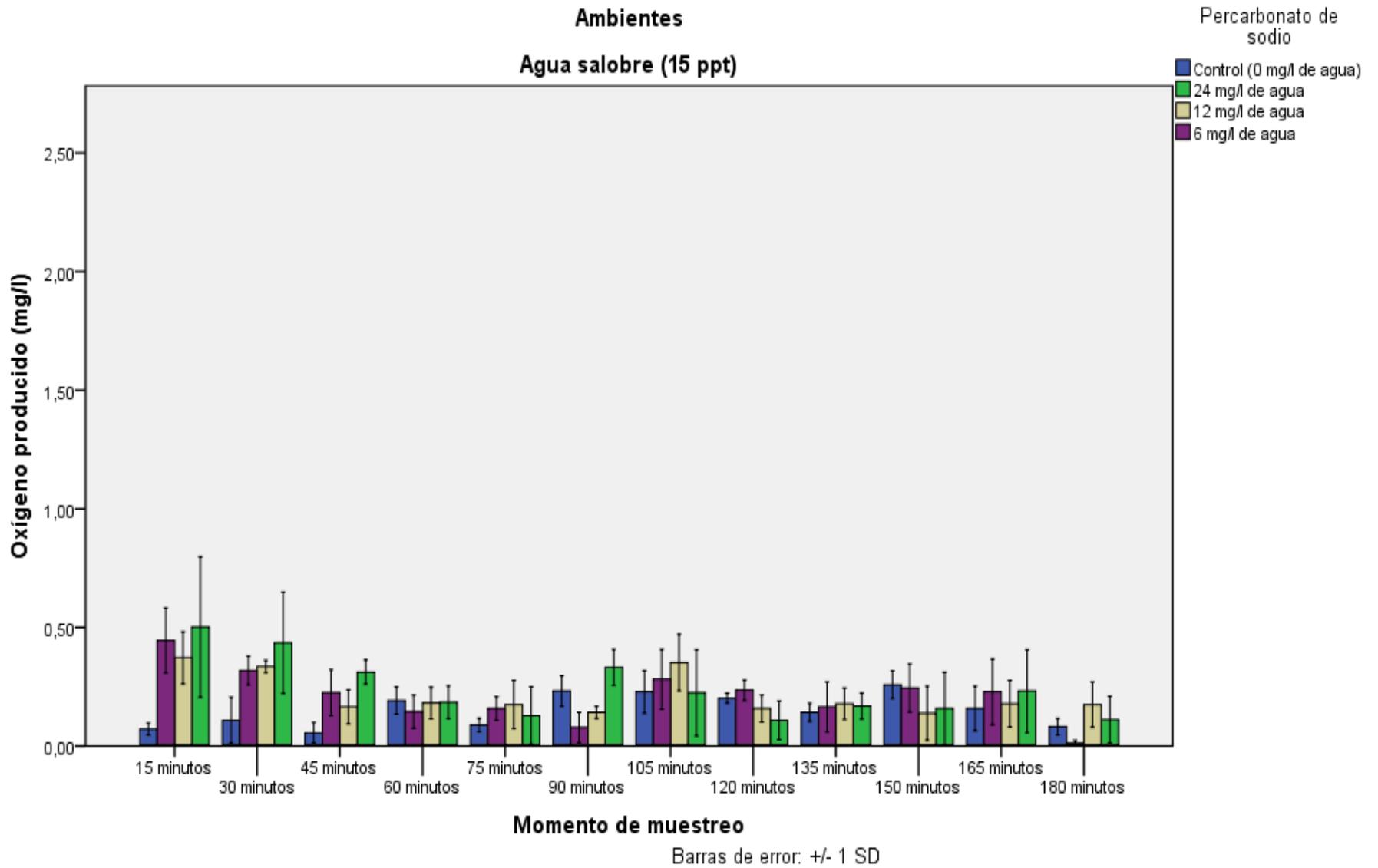
Tiempo(min)	AGUA SALOBRE (B)			
	24mg/L	12mg/L	6mg/L	CONTROL
15	0,50 ± 0,30	0,37 ± 0,11	0,44 ± 0,14	0,07 ± 0,03
30	0,43 ± 0,21	0,33 ± 0,03	0,31 ± 0,06	0,10 ± 0,10
45	0,31 ± 0,05	0,16 ± 0,07	0,22 ± 0,10	0,05 ± 0,04
60	0,18 ± 0,07	0,18 ± 0,07	0,14 ± 0,07	0,19 ± 0,06
75	0,12 ± 0,12	0,17 ± 0,10	0,15 ± 0,05	0,08 ± 0,03
90	0,33 ± 0,08	0,14 ± 0,03	0,11 ± 0,00	0,23 ± 0,06
105	0,22 ± 0,18	0,35 ± 0,12	0,28 ± 0,13	0,22 ± 0,09
120	0,10 ± 0,08	0,15 ± 0,06	0,23 ± 0,04	0,20 ± 0,02
135	0,16 ± 0,06	0,17 ± 0,07	0,16 ± 0,11	0,14 ± 0,04
150	0,15 ± 0,15	0,13 ± 0,12	0,24 ± 0,10	0,25 ± 0,06
165	0,23 ± 0,18	0,17 ± 0,10	0,22 ± 0,14	0,15 ± 0,09
180	0,11 ± 0,10	0,17 ± 0,10	0,02 ± 0,00	0,08 ± 0,04

Fuente: Realizado por los Autores

En agua salobre con 24 mg/L, el incremento inicial de oxígeno fue de 0.50 ± 0.30 mg/L a los 15 minutos, disminuyendo a 0.10 ± 0.08 mg/L a los 120 minutos, mostrando una reducción significativa con el tiempo. Para 12 mg/L, el incremento fue más constante, comenzando en 0.37 ± 0.11 mg/L y registrando un pico de 0.35 ± 0.12 mg/L a los 105 minutos. En la concentración de 6 mg/L, el incremento inicial fue de 0.44 ± 0.14 mg/L, pero disminuyó rápidamente a 0.02 ± 0.00 mg/L a los 180 minutos. El grupo control mostró un incremento mucho menor y variable, comenzando en 0.07 ± 0.03 mg/L y alcanzando un máximo de 0.25 ± 0.06 mg/L a los 150 minutos. Estos resultados indican que el percarbonato

de sodio tiene un efecto significativo en la liberación de oxígeno disuelto, siendo más efectivo a mayores concentraciones, aunque su eficacia disminuye con el tiempo. Para visualizar mejor estos datos, se presenta la **Figura 9**, que grafica los mismos resultados mostrados en la **Tabla IX**. Esta gráfica permite observar claramente las tendencias de incremento de oxígeno a lo largo del tiempo para cada una de las concentraciones de percarbonato de sodio.

Figura 9. Oxígeno producido al aplicar SPC en agua salobre en intervalos de 15 minutos (con barras de error).



Fuente: Realizado por los Autores

4.4. Cantidad de oxígeno producido al adicionar SPC en agua dulce

La *Tabla X.* muestra la producción de oxígeno disuelto (OD) en agua dulce (C) al aplicar SPC a diferentes concentraciones (6 mg/L, 12 mg/L, 24 mg/L,) y un control sin aplicación. Los incrementos de oxígeno se miden en intervalos de 15 minutos a lo largo de 3 horas (180 minutos).

Tabla X. Oxígeno producido al aplicar SPC en agua dulce en intervalos de 15 minutos.

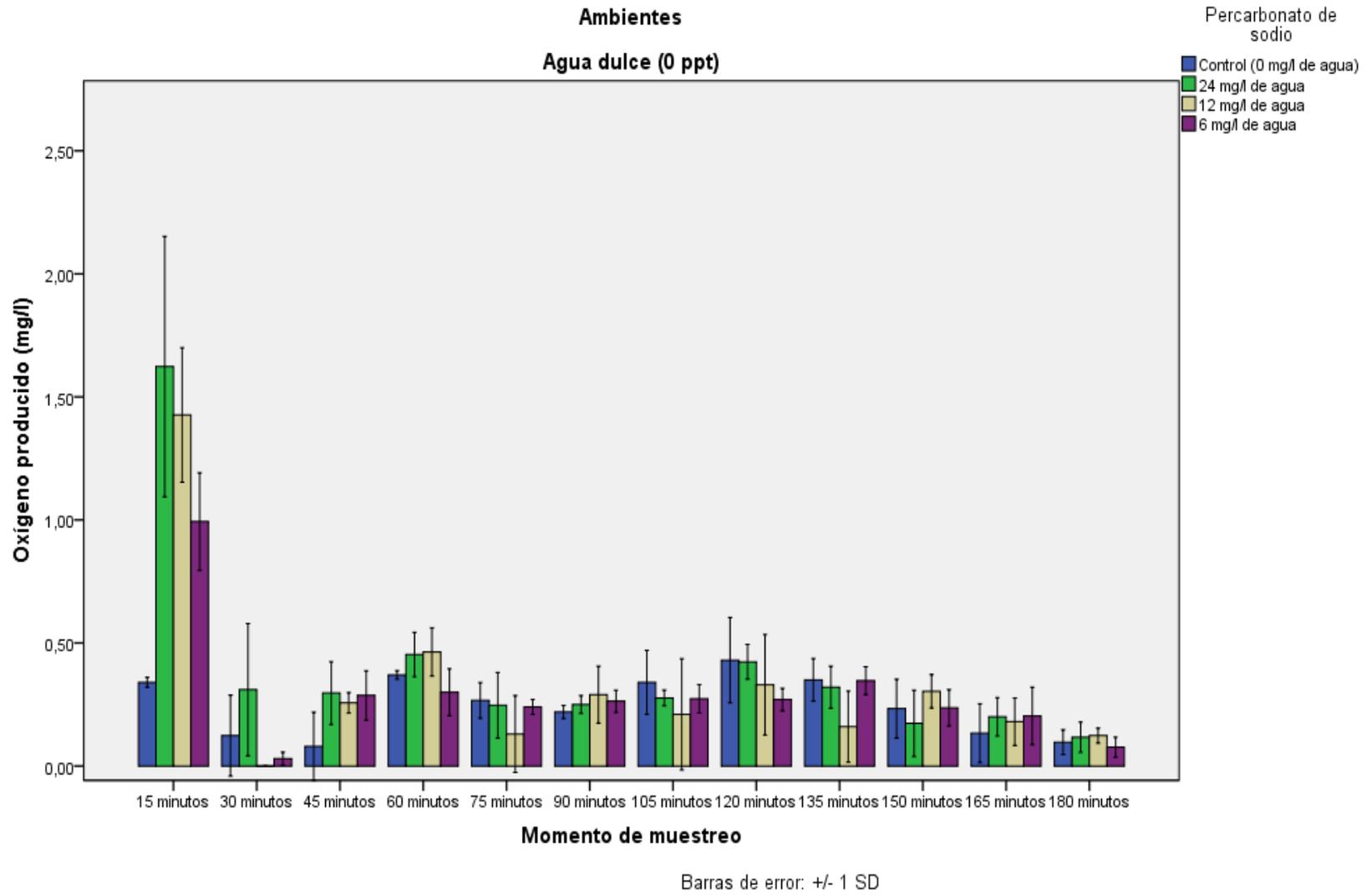
Tiempo(min)	AGUA DULCE (C)			
	24mg/L	12mg/L	6mg/L	CONTROL
15	1,62 ± 0,53	1,43 ± 0,27	0,99 ± 0,20	0,34 ± 0,02
30	0,47 ± 0,01	0,00 ± 0,00	0,05 ± 0,01	0,19 ± 0,18
45	0,30 ± 0,13	0,26 ± 0,04	0,29 ± 0,10	0,24 ± 0,01
60	0,45 ± 0,09	0,46 ± 0,10	0,30 ± 0,10	0,28 ± 0,02
75	0,25 ± 0,13	0,13 ± 0,16	0,24 ± 0,03	0,20 ± 0,07
90	0,25 ± 0,04	0,29 ± 0,12	0,26 ± 0,05	0,17 ± 0,03
105	0,28 ± 0,03	0,21 ± 0,23	0,27 ± 0,06	0,26 ± 0,13
120	0,42 ± 0,07	0,33 ± 0,20	0,27 ± 0,05	0,32 ± 0,17
135	0,32 ± 0,09	0,16 ± 0,14	0,35 ± 0,06	0,26 ± 0,09
150	0,17 ± 0,14	0,30 0,07	0,24 ± 0,07	0,18 ± 0,12
165	0,20 ± 0,08	0,18 0,10	0,20 ± 0,12	0,13 ± 0,04
180	0,12 ± 0,06	0,12 0,03	0,08 ± 0,04	0,07 ± 0,05

Fuente: Realizado por los Autores

En agua dulce con 24 mg/L, el incremento inicial de oxígeno fue de 1.62 ± 0.53 mg/L a los 15 minutos, disminuyendo significativamente a 0.12 ± 0.06 mg/L a los 180 minutos, indicando una reducción considerable con el tiempo. Para 12 mg/L, el incremento fue más estable, comenzando en 1.43 ± 0.27 mg/L y alcanzando un valor de 0.12 ± 0.03 mg/L a los 180 minutos. Con una concentración de 6 mg/L, el incremento inicial fue de 0.99 ± 0.20 mg/L a los 15 minutos, reduciéndose a 0.08 ± 0.04 mg/L a los 180 minutos, mostrando una disminución constante. El grupo control, sin tratamiento, mostró un incremento inicial de 0.34 ± 0.02 mg/L a los 15 minutos, con fluctuaciones menores, alcanzando un valor de 0.07

± 0.05 mg/L a los 180 minutos. Estos resultados sugieren que el percarbonato de sodio tiene un efecto significativo en el aumento del oxígeno disuelto en agua dulce. Para visualizar mejor estos datos, se presenta la **Figura 10.**, que grafica los mismos resultados mostrados en la **Tabla X.** Esta gráfica permite observar claramente las tendencias de incremento de oxígeno a lo largo del tiempo para cada una de las concentraciones de percarbonato de sodio

Figura 10. Oxígeno producido al aplicar SPC en agua salobre en intervalos de 15 minutos (con barras de error).



Fuente: Realizado por los Autores

4.5. Influencia del SPC en los niveles de pH del agua durante 3 horas en diferentes ambientes

La **Tabla XI**. presenta los valores promedio de pH, junto con sus desviaciones estándar (DE), en tres tipos de agua (agua salada, agua salobre y agua dulce) tras la aplicación de diferentes concentraciones de percarbonato de sodio (SPC). También se incluyen los valores iniciales de pH para cada tipo de agua antes de la aplicación del tratamiento.

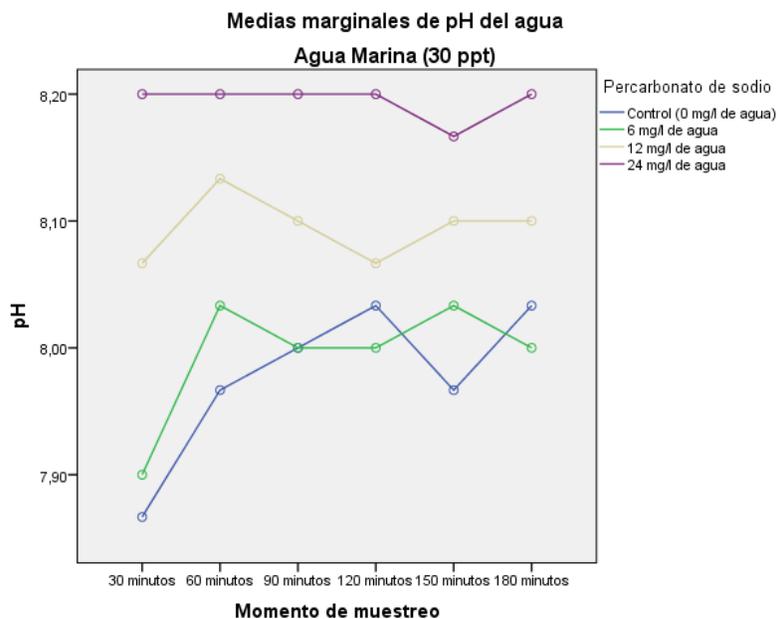
Tabla XI. Variación de pH al adicionar percarbonato de sodio en 3 distintos ambientes durante 3 horas.

TRATAMIENTO	AMBIENTES					
	Agua salada (30 UPS)	pH inicial	Agua salobre (15 UPS)	pH inicial	Agua dulce (0 UPS)	pH inicial
	pH					
Control (T0)	8,00 ± 0,00	7,53 ± 0,06	7,79 ± 0,37	6,67 ± 0,15	8,11 ± 0,42	7,97 ± 0,30
6 mg/L (T1)	7,99 ± 0,07	7,70 ± 0,10	7,84 ± 0,24	6,77 ± 0,15	8,16 ± 0,16	7,96 ± 0,23
12 mg/L (T2)	8,09 ± 0,05	7,97 ± 0,06	7,95 ± 0,17	6,87 ± 0,06	8,40 ± 0,15	8,07 ± 0,23
24 mg/L (T3)	8,19 ± 0,04	7,60 ± 0,26	8,09 ± 0,18	6,83 ± 0,12	8,71 ± 0,13	8,07 ± 0,06

Fuente: Realizado por los Autores

En el ambiente en donde se contempló una variación significativa de pH al adicionar el SPC fue en Agua salobre (15 UPS) y Agua dulce (0 UPS), a 15 UPS en el T3 (24 ppm SPC) el pH inicial fué de 6,83 incrementando a 8,09, es decir incrementó en 18,45%, a 0 UPS al aplicar la misma dosis que a 15 UPS solo incremento de 8,07 a 8,71 un 7,9%. En cambio, en agua dulce al aplicar 24 ppm incremento 0,64 puntos menor que agua salobre. En agua marina el incremento de pH fue inferior que, a los dos ambientes, en el tratamiento 24 mg/L (T3) el valor de pH aumento 0,59 puntos mientras que al adicionar la mitad de la dosificación el incremento fue de 0,12.

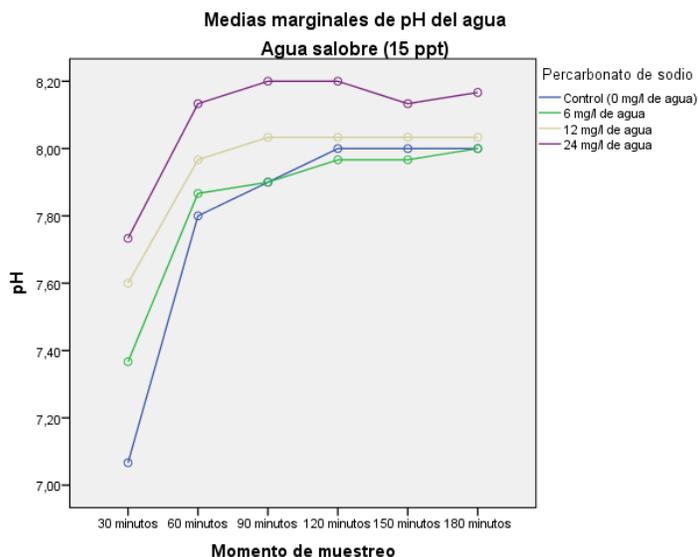
Figura 11. Evolución del pH en Agua Marina al aplicar diferentes concentraciones de Percarbonato de Sodio.



Fuente: Realizado por los Autores

La **Figura 11.** Indica que sin percarbonato de sodio, el pH permanece casi estable alrededor de 7.90-8.00. Con 6 mg/L y 12 mg/L, el pH sube inicialmente a 8.10 antes de estabilizarse en 8.00 y 8.05, respectivamente. La concentración de 24 mg/L mantiene un pH consistentemente alto y estable alrededor de 8.20. Estos resultados indican que el percarbonato de sodio, especialmente a mayores concentraciones, eleva pH del agua marina.

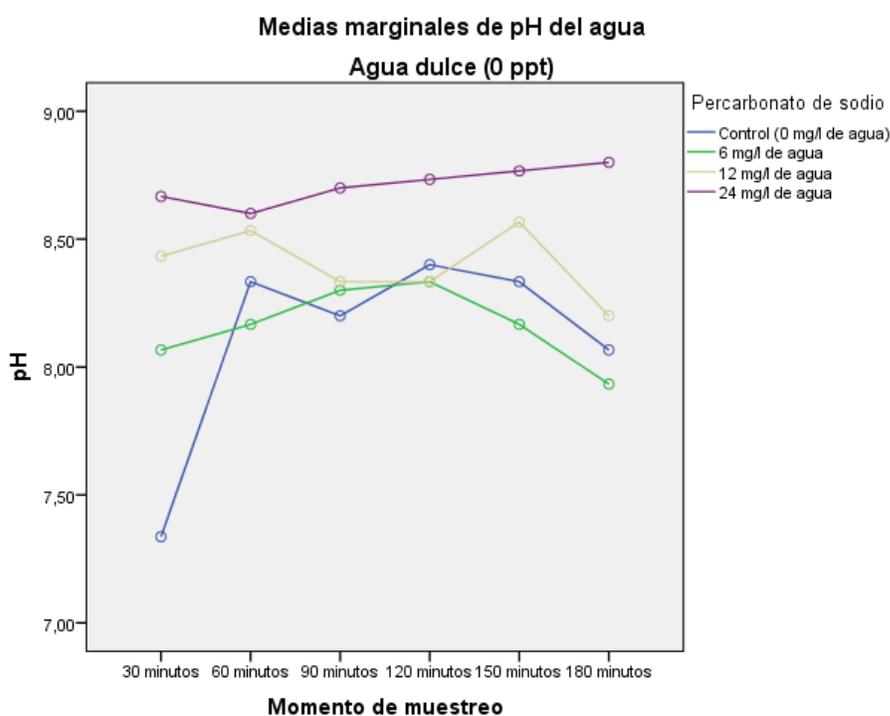
Figura 12. Cambios en el pH del Agua Salobre a lo Largo del Tiempo con Diferentes Niveles de Percarbonato de Sodio



Fuente: Realizado por los Autores

La **Figura 12**. Señala que Inicialmente, todas las concentraciones muestran un aumento significativo del pH en los primeros 60 minutos. Este aumento es más pronunciado en la concentración de 24 mg/L, alcanzando un pH cercano a 8.20 en 60 minutos, mientras que las demás concentraciones muestran incrementos más moderados, manteniéndose alrededor de 7.80 a 8.00 en el mismo intervalo de tiempo. A partir de los 90 minutos, el pH se estabiliza en todas las concentraciones, manteniéndose casi constante hasta los 180 minutos. La concentración más alta de percarbonato de sodio (24 mg/L) mantiene un pH ligeramente superior en comparación con las otras concentraciones durante todo el periodo de muestreo.

Figura 13. Progresión del pH del Agua Dulce a lo Largo del Tiempo con Diferentes Niveles de Percarbonato de Sodio



Fuente: Realizado por los Autores

La **Figura 13**. Presenta que en los primeros 60 minutos, todas las concentraciones muestran un incremento inicial del pH, siendo más notable en la concentración de 24 mg/L, que alcanza un pH cercano a 8.60. Sin embargo, después de este punto, las concentraciones de 0 mg/L, 6 mg/L y 12 mg/L muestran fluctuaciones en el pH sin una tendencia clara,

mientras que la concentración de 24 mg/L mantiene un pH más constante y elevado, estabilizándose alrededor de 8.80 a lo largo del tiempo. En contraste, la concentración control (0 mg/L) presenta la mayor variabilidad, con un pH que oscila entre 7.50 y 8.00 a lo largo del periodo de muestreo.

5. DISCUSIONES

5.1. Comparaciones de oxígeno con respecto a la salinidad

Cuando la salinidad es alta, las concentraciones de oxígeno disuelto se ven disminuidas en los cuerpos de agua (Guzmán et al., 1994). En el presente trabajo, la incorporación de SPC en salinidades mayores produjo en los niveles de OD en el agua un leve incremento, aun con la máxima concentración de percarbonato de sodio adicionada (24 mg/L).

Por otro lado, en el estudio realizado por Alvarado & Aguilar (2009), reafirmaron que el OD es uno de los parámetros más importantes en los sistemas acuícolas y que la solubilidad de este gas aumentará cuando la temperatura y la salinidad son menores, confirmando así los datos obtenidos en el estudio actual, donde en los tratamientos con agua dulce, se registró la concentración más elevada de OD.

En otro estudio realizado por Sabando & Zavala (2022), donde se estimó la eficiencia de compuestos generadores de peróxido para aumentar el oxígeno disuelto en agua destilada, determinaron que aplicando una cantidad de 33 mg/L de percarbonato de sodio al 90%, se incrementa 1 ppm de oxígeno en el agua. Comparando con los resultados obtenidos en este estudio, se necesitó un 36,36 % menos de esa cantidad, ya que únicamente con la adición de 12 mg/L del compuesto al 98% de pureza, se observó un incremento de 1 ppm de oxígeno disuelto en agua dulce. Esta cantidad de OD se generó durante los primeros 15 minutos al estar en contacto el percarbonato con el agua, refutando así lo que mencionan Boyd & Tucker (2014), quienes reportaron que para la generación de 1 ppm de oxígeno disuelto se necesita 6,7 mg/L del compuesto puro.

En el estudio realizado por Boyd et al. (2018), donde discuten sobre la importancia del oxígeno disuelto y de la aireación en acuicultura, establecen que la presión de oxígeno en el agua es inferior a la del aire, por lo tanto el oxígeno se traslada desde el aire hacia el agua, y la tasa de difusión se incrementa con un gradiente de presión mayor. El valor obtenido por difusión por día en condiciones naturales de temperatura y presión varía entre 0 - 6 ppm de OD, siendo así que en un tiempo de 3 horas se transfiere 0,75 ppm de oxígeno al agua, lo que

se corroboró en este estudio, en donde se pudo medir que el oxígeno ingresa por difusión en un promedio de 1,3 mg/L en un lapso de 3 horas, en las unidades experimentales.

5.2. Influencia del Percarbonato de Sodio (SPC) en los Niveles de pH del Agua durante el tiempo de experimentación

Cuando el SPC se solubiliza en agua, se descompone en peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y carbonato de sodio (Na_2CO_3) (Solvay, 2013). El carbonato de sodio provoca que los valores de pH tiendan a aumentar, y que a su vez se reduzca la capacidad del ion de magnesio y calcio, reduciendo la dureza del agua (Coutiño, 2012). En la investigación realizada por Sá & Boyd (2018), en donde evaluaron el efecto de la salinidad (salada, dulce y salobre) como un factor capaz de influir en la tasa de solubilidad del $CaCO_3$ discutiendo sus implicaciones para el encalado en acuicultura, como resultado obtuvieron que en agua dulce después de 1 semana de aplicar el carbonato de calcio, los valores de pH incrementaron de 7,18 a $8,83 \pm 0,21$ (1,65 puntos de pH, en promedio) y en agua salobre de 7,11 a 8,67 (incremento de 1,56 puntos de pH, en promedio). Lo que se encuentra en similitud con los resultados alcanzados en esta investigación ya que, en el ambiente de agua salobre (15 UPS) en donde se aplicó la mayor dosificación del SPC (24 ppm) se observó un incremento de 1,26 puntos de pH, pero no ocurrió lo mismo en agua dulce ya que cuando se aplicó la dosificación de 24 ppm de percarbonato, los valores de pH no se incrementaron tanto como en agua salobre, la cual tan solo incrementó 0,64 puntos, es decir 49% menos que lo observado en agua salada.

5.3. Procesos químicos observados durante la liberación de oxígeno por parte del SPC en agua a diferentes salinidades

Sá & Boyd (2017), evaluaron la velocidad de disolución del carbonato cálcico en agua de distintas salinidades. Antes de la aplicación de $CaCO_3$ (1 g/2 L) los valores de salinidad y pH fueron 31,7 g/L y $8,15 \pm 0,02$, 11,0 g/L y $7,97 \pm 0,04$, y 0,0 g/L: pH $6,87 \pm 0,17$, para agua marina, salobre y dulce, respectivamente. A las 24 h de aplicar el carbonato de calcio obtuvieron una menor variación del pH en el agua marina 31,7 g/L disminución de 0.1 unidades (pH final $8,1 \pm 0,1$) y a menor salinidad 0.0 g/L: Aumento de 2,2 unidades (pH final $9,1 \pm 0,2$). Esto es destacable ya que la disolución de $CaCO_3$ aumenta con una mayor concentración de CO_2 (Boyd et al., 2016). En este contexto, en aguas de baja salinidad, como el agua dulce, la concentración inicial de CO_2 es mayor debido a un pH más bajo facilitando

su disolución, por lo que el pH consecuentemente aumentará. Todo lo contrario, con altas salinidades el pH inicial es más alto, lo que significa que hay menos CO_2 disuelto disponible para reaccionar con el CaCO_3 . Por lo tanto, la capacidad del CaCO_3 para disolverse y elevar el pH es limitada.

6. CONCLUSIONES.

El aporte de oxígeno mediante la adición del percarbonato de sodio fue mayor en el ambiente de agua dulce (0 UPS), seguido del agua marina y posteriormente del ambiente de agua salobre con valores promedios de $2,99 \pm 1,33$; $2,25 \pm 1,12$; $1,72 \pm 0,87$ mg/L respectivamente, cabe recalcar que todos los valores se dieron a una concentración de 24 mg/L de percarbonato de sodio. La efectividad observada en el agua dulce se debe a que esta es blanda, y por la poca cantidad de sólidos totales disueltos presentes. Nos sorprendió descubrir que el SPC incrementó más el oxígeno disuelto en agua marina que en agua salobre, lo cual contraviene el orden esperado basado en la concentración de sólidos disueltos (agua dulce, salobre, marina). Este hallazgo sugiere que existen factores adicionales que deben ser investigados en futuras investigaciones.

El oxígeno liberado hacia el medio por la interacción del percarbonato de sodio con el agua a diferentes salinidades fue consistente en todos los entornos acuáticos, aunque su eficiencia varió. La dosis de 24 mg/L siempre resultó en un aumento significativo en comparación con las dosis de 6 mg/L y 12 mg/L.

El pH mostró diferencias significativas entre los distintos ambientes. En el agua salada (35 UPS), el pH se mantuvo estable alrededor de 8 en todos los tratamientos, debido a la alta capacidad amortiguadora del ambiente salino. En el agua salobre (15 UPS), el pH fluctuó ligeramente, especialmente con concentraciones más altas de percarbonato de sodio, sugiriendo una moderada capacidad de regulación del pH. En el agua dulce (0 UPS), el pH varió más notablemente, aumentando hasta 8,71 con la concentración más alta de percarbonato, lo que indica una menor capacidad de amortiguación debido a la ausencia de sales disueltas.

7. RECOMENDACIONES

- Comparar la eficiencia de incorporación de oxígeno entre percarbonato de sodio y peróxido de hidrogeno.
- Realizar este tipo de investigaciones en un ambiente de mesocosmos considerando la interaccion del sedimento en la demanda de oxígeno.
- Se recomienda para futuras investigaciones colocar como factor de estudio a la temperatura ya que podria influir en los resultados obtenidos condicionalmente este ya que afecta a la disolucion del oxígeno en el agua.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abdollahi, M., & Hosseini, A. (2014). Hydrogen Peroxide. In *Encyclopedia of Toxicology* (Issue December 2014, pp. 967–970). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00736-3>
- Alvarado, J. J., & Aguilar, J. F. (2009). Batimetría, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en aguas del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57(SUPPL. 1), 19–29.
- Alvarez-Cañares, M., Vera-Jiménez, K., & Soto-Gonzalez, C. (2021). Covid-19: Impacto económico en las exportaciones del sector camaronero ecuatoriano en el periodo 2019-2020. 593 *Digital Publisher CEIT*, 6(3), 133–145. <https://doi.org/10.33386/593dp.2021.3.551>
- Banco Central del Ecuador. (2019). Evolución de la Balanza Comercial. BCE. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorExterno/BalanzaPagos/balanzaComercial/ebc201912.pdf>
- Banco Central del Ecuador. (31 de septiembre de 2020). Boletín de Cuentas Nacionales Trimestrales 2020. Obtenido de <https://www.bce.fin.ec/index.php/boletines-de-prensa-archivo/item/1359-la-economia-ecuatoriana-crecio-01-en-2019>
- Bernabé, L. (2016). Sector Camaronero: Evolución y proyección a corto plazo. *Fcshopina*, (87)1-7. <http://www.test.revistas.espol.edu.ec/index.php/fenopina/article/view/100/107>
- Blanco-Zuñiga, C., & Rojas-Arias, N. (2021). Transferencia de oxígeno disuelto utilizando aspasrectas y curvas en un aireador mecánico. *Prospectiva*, 19 (1), 1–10. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F7999820.pdf&psig=AOvVaw3u3g7gs8VhO6MOXfO6eZ4g&ust=1707094846143000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAgQrpoMahcKEwiwzNqBvpCEAxUAAAAAHQAAAAAQBA>
- Boyd, C. (2017). El fitoplancton y su impacto en la calidad del agua. *Global Aquaculture Alliance*, 8–12. <https://www.globalseafood.org/advocate/el-fitoplancton-y-su-impacto-en-la-calidad-del-agua/#:~:text=Muchas funciones importantes en los estanques acuícolas&text=La tasa de fotosíntesis depende,o temprano en la tarde>.
- Boyd, C. (2018). Dinámica del oxígeno disuelto. *Global Aquaculture Alliance*, 6. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/dinamica-del-oxigeno-disuelto/?headlessPrint=AAAAPIA9c8r7gs82oWZBA>
- Boyd, C. (2022). El oxígeno disuelto es una preocupación importante en la acuicultura. Este es el por qué. *Global Aquaculture Alliance*, 1–5. <https://www.globalseafood.org/advocate/el-oxigeno-disuelto-es-una-preocupacion-importante-en-la-acuicultura-este-es-el-por-que/>
- Boyd, C. E., McNevin, A. A., Racine, P., Tinh, H. Q., Minh, H. N., Viriyatum, R., Paungkaew, D., & Engle, C. (2017). Resource Use Assessment of Shrimp, *Litopenaeus vannamei* and *Penaeus monodon*, Production in Thailand and Vietnam. *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(2), 201–226. <https://doi.org/10.1111/jwas.12394>

- Boyd, C. E., Torrans, E. L., & Tucker, C. S. (2018). Dissolved Oxygen and Aeration in Ictalurid Catfish Aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(1), 7–70. <https://doi.org/10.1111/jwas.12469>
- Boyd, C. E., Tucker, C. S., & Somridhivej, B. (2016). Alkalinity and Hardness: Critical but Elusive Concepts in Aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(1), 6–41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12241>
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2014). Handbook for Aquaculture Water Quality. 6.
- Burtle, G. . (2016). Oxygen Depletion in Ponds. *UGA Extension*, 1048, 1–3.
- Cámara Nacional de Acuicultura. (2023). Reporte de Exportaciones Ecuatorianas Totales. Obtenido de <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- Carchipulla, V. (2018). *Importancia Del Oxígeno Disuelto Para Mejorar La Calidad De Agua En Estanques De Camarón Blanco Litopenaeus Vannamei* [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA]. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13852/3/DE00006_TRABAJODETITULACION2.pdf
- Carranza, É. O. (2020). Evaluación de la tasa de consumo de oxígeno del *Penaeus vannamei* con relación a la salinidad, temperatura y peso corporal. *Revista Ciencia y Tecnología*, 25, 55–65. <https://doi.org/10.5377/rct.v13i25.10412>
- Cheng, X., Lian, J., Ren, Z., Hou, C., Jin, Y., Zhang, L., Zhu, X., Luo, C., Wu, D., & Liang, H. (2021). Coupling sodium percarbonate (SPC) oxidation and coagulation for membrane fouling mitigation in algae-laden water treatment. *Water Research*, 204(August), 117622. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117622>
- Coutiño, J. (2012). “ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE INTEGRACIÓN AL PROCESO DE LAVADO DEL AGENTE OXIDANTE PERCARBONATO DE SODIO ($2Na_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$) CON EL PROPÓSITO DE LA DISMINUCIÓN DE LOS CONSUMOS DE ENERGÍA” [INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ]. <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/713>
- FAO. (1999). *Algunos Elementos Básicos de la Acuicultura*.
- FAO. (2021). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action. In *Inform* (Vol. 32, Issue 6). <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Galang, D. P., Ashari, A. K., Sulmatiwi, L., Mahasri, G., Prayogo, & Sari, L. A. (2019). The oxygen content and dissolved oxygen consumption level of white shrimp *Litopenaeus vannamei* in the nanobubble cultivation system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 236(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/236/1/012014>
- García Sánchez, S., Juárez Agis, A., Olivier Salome, B., Rivas González, M., & Zeferino Torres, J. (2018). VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS AMBIENTALES QUE INCIDEN EN EL CULTIVO DE CAMARÓN *Litopenaeus vannamei*, EN COYUCA DE BENÍTEZ, GUERRERO, MÉXICO. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(2), 135–155.

- Gil-Nuñez, J. C., R., C.-H., Servín-Villegas, F. J., Magallon-Barajas, Lares-Villa, F., González-Galaviz, J. R., & Bórquez-López, R. A. (2018). Efecto de dos fuentes y tres niveles de proteína dietaria sobre residuales nitrogenados en el cultivo a baja salinidad de *Litopenaeus vannamei* a dos tallas. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 14(2), 53–60.
- Girolamini, L., Dormi, A., Pellati, T., Somaroli, P., Montanari, D., Costa, A., Savelli, F., Martelli, A., Grottola, A., Fregni Serpini, G., & Cristino, S. (2019). Advances in legionella control by a new formulation of hydrogen peroxide and silver salts in a hospital hot water network. *Pathogens*, 8(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/pathogens8040209>
- Guzmán, M., Parra, G., Peña, L., Leyva, N., Hernández, M., Olivares, H., & Barragán, E. (1994). *La Calidad del Agua* (p. 65).
- Heinecke, R. D., & Buchmann, K. (2009). Control of *Ichthyophthirius multifiliis* using a combination of water filtration and sodium percarbonate: Dose-response studies. *Aquaculture*, 288(1–2), 32–35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.11.017>
- Hernandez, J. (2016). Caracterización de la calidad de agua en un sistema intensivo de cultivo de camarón blanco *Litopenaeus Vannamei*, en condiciones de alta salinidad con recambio de agua limitado [Centro de investigaciones biológicas del noroeste, s.c.]. In *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.* <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/505>
- Lars-Flemming, P., & Jokumsen, A. (2017). Los pros y los contras del percarbonato de sodio. *Global Aquaculture Alliance*, 3–8. <https://www.globalseafood.org/advocate/los-pros-y-los-contras-del-percarbonato-de-sodio/>
- Li, N., Chen, F., Xu, S., Zhu, S., Bu, L., Deng, L., Shi, Z., & Zhou, S. (2023). Removal of *Microcystis aeruginosa* by manganese activated sodium percarbonate: Performance and role of the in-situ formed MnO₂. *Chemosphere*, 341, 140054. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.140054>
- López, P. A. O., & Bayas, L. A. M. (2023). Análisis breve sobre el impacto del precio del camarón en exportaciones del Ecuador periodo 2018-2022. *South Florida Journal of Development*, 4(7), 2800–2812. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n7-019>
- Machado, C., & Ceballos, J. (2023). *CULTIVO A BAJA SALINIDAD DE POSTLARVAS DE Litopenaeus vannamei CON DIFERENTES RELACIONES DE K + / Na +* Javier E. Cabrera Machado y Barbarito Jaime Ceballos Centro de Investigaciones Pesqueras. Ciudad de La Habana. Cuba. 5–7.
- Mallqui, E. (2019). *Evaluación de la velocidad de transferencia de oxígeno, en un sistema de aireación de agua* [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ]. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5196/T010_43497890_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (2024). *Listado final RSU - Enero 2024*. <https://www.produccion.gob.ec/wp->

- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., Little, D. C., Lubchenco, J., Shumway, S. E., & Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851), 551–563. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>
- Oberle, M., Salomon, S., Ehrmaier, B., Richter, P., Lebert, M., & Strauch, S. (2019). Diurnal stratification of oxygen in shallow aquaculture ponds in central Europe and recommendations for optimal aeration. *Aquaculture*, 501(May 2018), 482–487. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.005>
- Piedrahita, Y. (2018). La industria de cultivo de camarón en Ecuador, parte 1. *Global Aquaculture Alliance*. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/la-industria-de-cultivo-de-camaron-en-ecuador-parte-2/>
- Rogers, G. (2001). Air Stripping: Aeration Offers Dealers More Than They May Realize. *Revista Water Conditioning & Purification*. Obtenido de <https://wcponline.com/2001/06/25/air-stripping-aeration-offers-dealers-may-realize/>
- Romero, S. (2014, March). Neoliberalismo e industria camaronera en Ecuador. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (15)55-78. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/5961/1/RFLACSO-LV15-04-Romero.pdf>
- Roque, M., Canales, M., Cáceres, O., Flores, J., Cea, N., & Hernández, V. (2020). Comparación del crecimiento del camarón blanco en dos condiciones de estudio, salinidad óptima y salinidad cercana a cero. *Ciencia e Interculturalidad*, 26(01), 132–147. <https://doi.org/10.5377/rci.v26i01.9890>
- Sá, M., & Boyd, C. (2017). Dissolution rate of calcium carbonate and calcium hydroxide in saline waters and its relevance for aquaculture. *Aquaculture*, 469, 102–105. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.11.033>
- Sá, M. V. do C. e., & Boyd, C. E. (2018). Role of salinity in the dissolution rates of CaCO₃ and its implications for aquaculture liming. *Aquaculture Research*, 49(1), 576–581. <https://doi.org/10.1111/are.13489>
- Sabando, J., & Zavala, L. (2022). *Evaluación de la capacidad de compuestos peróxidos para incrementar el oxígeno disuelto y su influencia en cepas de microalgas y bacterias*. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56891>
- Solvay. (2013). *Percarbonato de sodio (Peroxihidrato de carbonato de sodio)*. <https://doi.org/15630-89-4>
- Stickney, R., & Gatlin, D. (2022). *Aquaculture: an introductory text*. CAB Internacional. <https://doi.org/10.1079/9781800621145.0000>
- Uzcátegui, C., Solano, J., & Figueroa, P. (2016). PERSPECTIVA SOBRE LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS NATURALES A LARGO PLAZO CASO

INDUSTRIA CAMARONERA ECUATORIANA. *Revista Científica Universidad y Sociedad*, 8, 163–168. <http://rus.ucf.edu.cu/>

- Velásquez López, P. C., Solorzano Reyes, J. F., Ochoa Pereira, P. M., Solano Motoche, G. W., Quizhpe Cordero, P., & Guillen Añasco, R. M. (2023). Caracterización de la calidad del agua durante el cultivo del camarón *Litopenaeus vannamei* con agua dulce en el Sur del Ecuador. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 10(2), 74–87. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2023.100200074>
- Viera Valencia, L. F., & Garcia Giraldo, D. (2019). Solubilidad del oxígeno en función de la salinidad. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2(ml), 1–2.
- Wafi, A., Ariadi, H., Muqsith, A., Mahmudi, M., & Fadjar, M. (2021). Oxygen Consumption of *Litopenaeus vannamei* in Intensive Ponds Based on the Dynamic Modeling System. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.20473/jafh.v10i1.18102>
- Yaoqiang, L., Ailan, Y., Donghui, H., Yanfei, W., & Jun, L. (2022). Application of Floating Sodium Percarbonate Particles to Treat Cyanobacteria. *Advances in Environmental Protection*, 12(06), 1246–1253. <https://doi.org/10.12677/aep.2022.126154>
- Zhao, L., Zhao, Y. G., Jin, C., Yang, D., Zhang, Y., & Progress, M. (2024). Removal of tetracycline by ultraviolet/sodium percarbonate (UV/SPC) advanced oxidation process in water. *Environmental Research*, 247, 118260. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2024.118260>

ANEXOS



Figura 14. Pruebas preliminares de eliminación de oxígeno.



Figura 15. Ubicación al azar de las unidades experimentales (UE)



Figura 16. Transporte de agua dulce de río en bidones para los experimentos.



Figura 17. Medición de incremento de oxígeno al aplicar SPC.



Figura 19. Adición de percarbonato de sodio a las Unidades Experimentales.



Figura 18. Medición de oxígeno disuelto en el agua dulce para la eliminación del mismo.

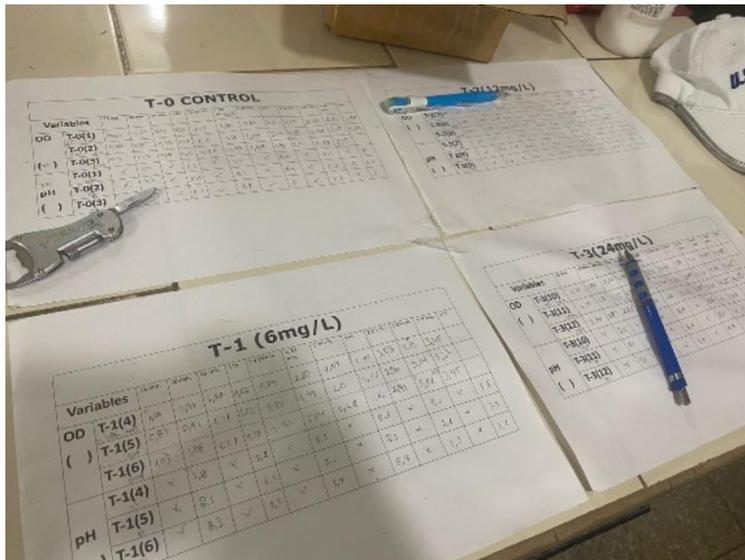


Figura 20. Registro de datos experimentales.



Figura 21. Pesaje de cloruro de cobalto utilizando la balanza analítica.



Figura 24. Mescla de agua para bajar la salinidad



Figura 23. Pesaje de percarbonato de sodio



Figura 22. Valores de oxígeno disuelto bajos antes de aplicar SPC