



*Efectos de productos calcáreos sobre diversos tipos de calidad de agua y tiempos de medición en niveles de PH y oxígeno disuelto*

*Effects of calcareous products on various types of water quality and measurement times in PH and dissolved oxygen levels*

*Efeitos de produtos calcários em vários tipos de qualidade de água e tempos de medição em PH e níveis de oxigênio dissolvido*

Bismark Patricio Iñiguez-Granda <sup>I</sup>  
[bismarkiniguezgranda@gmail.com](mailto:bismarkiniguezgranda@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0008-3120-4942>

Cesar Augusto Valarezo-Macías <sup>II</sup>  
[cavalarezo@utmachala.edu.ec](mailto:cavalarezo@utmachala.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8299-6232>

Jorge Patricio Rentería-Minuche <sup>III</sup>  
[prenteria@utmachala.edu.ec](mailto:prenteria@utmachala.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-3992-9063>

Wilmer G. Galarza-Mora <sup>IV</sup>  
[wgalarza@utmachala.edu.ec](mailto:wgalarza@utmachala.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-9807-825X>

**Correspondencia:** [bismarkiniguezgranda@gmail.com](mailto:bismarkiniguezgranda@gmail.com)

Ciencias Técnica y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de junio de 2023 \* **Aceptado:** 12 de julio de 2023 \* **Publicado:** 09 de agosto de 2023

- I. Estudiante Pregrado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Acuícola, Acuicultura, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ecuador
- II. Docente, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Acuícola, Acuicultura, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ecuador.
- III. Docente, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Acuícola, Acuicultura, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ecuador.
- IV. Docente, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Acuícola, Acuicultura, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

## Resumen

En la acuicultura, el proceso de encalado se utiliza principalmente para neutralizar la acidez. Aunque el uso de productos calcáreos es común, existe una falta de información detallada sobre sus beneficios reales y cuantificables. En muchos casos, estos productos no se administran de manera adecuada, lo que puede desequilibrar los ecosistemas y aumentar los costos de producción. Los productos calcáreos disponibles en el mercado varían en composición y propiedades clave que deben considerarse en su aplicación práctica. Dos propiedades cruciales de los materiales calcáreos son su capacidad de neutralización, que determina la cantidad de ácido que pueden neutralizar, y el tamaño de sus partículas, que dicta la velocidad de disolución para neutralizar la acidez.

Este estudio se llevó a cabo con el propósito de comprender la interacción entre el carbonato de calcio y el hidróxido de calcio en diferentes tipos de agua en relación con el pH y el oxígeno disuelto en diferentes intervalos de tiempo. El objetivo era identificar la mejor combinación de tratamiento entre el tipo de agua y el producto calcáreo. Se empleó un diseño experimental de Experimento Factorial Completamente al Azar con cinco unidades experimentales. Se consideraron cuatro factores de estudio: el tipo de agua (dulce, salada y salobre), los productos calcáreos (carbonato de calcio e hidróxido de calcio), la dosis de producto calcáreo en gramos (0,1; 0,2; 0,4; 0,8) y el tiempo en minutos (0, 10, 30). Para analizar los datos experimentales, se utilizó el software SPSS para caracterizar la distribución de datos de las variables dependientes. Se calcularon medidas de tendencia central, dispersión y curtosis. Dado que no hubo interacción entre los tratamientos de los factores de estudio, se realizó un análisis estadístico del efecto de cada tratamiento de manera individual mediante ANOVA factorial intra-grupos. Finalmente, se llevaron a cabo pruebas Post-Hoc Duncan para determinar el mejor tratamiento en términos de medias de pH y oxígeno disuelto (mg/L). Se determinó que existe una interacción entre el tipo de agua y el producto calcáreo en función del pH. La combinación óptima de tratamiento resultó ser Agua dulce-Ca  $[(OH)]_2$  con un pH del agua de 8,57. No se encontró interacción entre el tipo de agua y las dosis de los productos calcáreos. Las dosis más efectivas fueron 0,8 g y 0,4 g, con medias de pH del agua de 8,28 y 8,25, respectivamente. Un hallazgo similar ocurrió en la interacción entre el tipo de agua y el momento de medición. Se concluyó que los mejores momentos de medición para el pH son a los 10 y 30 minutos. Por último, se demostró que existe

interacción entre el tipo de agua y los productos calcáreos en función del oxígeno disuelto (mg/L) del agua. Las mejores combinaciones de tratamiento resultaron ser Agua Dulce-Ca  $[(OH)]_2$  con un promedio de 6,4, y Agua salobre-Ca  $[(CO)]_3$ .

**Palabras clave:** Productos calcáreos; calidad del agua; solubilidad; salinidad.

## Abstract

In aquaculture, the liming process is mainly used to neutralize acidity. Although the use of calcareous products is common, there is a lack of detailed information on their real and quantifiable benefits. In many cases, these products are not properly managed, which can throw ecosystems off balance and increase production costs. The lime products available on the market vary in composition and key properties that must be considered in their practical application. Two crucial properties of lime materials are their neutralizing capacity, which determines the amount of acid they can neutralize, and their particle size, which dictates the rate of dissolution to neutralize acidity.

This study was carried out with the purpose of understanding the interaction between calcium carbonate and calcium hydroxide in different types of water in relation to pH and dissolved oxygen at different time intervals. The objective was to identify the best combination of treatment between the type of water and the calcareous product. An experimental design of a Completely Random Factorial Experiment with five experimental units was used. Four study factors were considered: the type of water (fresh, salty and brackish), the calcareous products (calcium carbonate and calcium hydroxide), the dose of calcareous product in grams (0.1; 0.2; 0.4; 0.8) and the time in minutes (0, 10, 30). To analyze the experimental data, the SPSS software was used to characterize the data distribution of the dependent variables. Measures of central tendency, dispersion, and kurtosis were calculated. Since there was no interaction between the treatments of the study factors, a statistical analysis of the effect of each treatment was performed individually using intra-group factorial ANOVA. Finally, Post-Hoc Duncan tests were carried out to determine the best treatment in terms of mean pH and dissolved oxygen (mg/L). It was determined that there is an interaction between the type of water and the calcareous product depending on the pH. The optimal treatment combination was found to be Freshwater-Ca  $[(OH)]_2$  with a water pH of 8.57. No interaction was found between the type of water and the doses of calcareous products. The most effective doses were 0.8 g and 0.4 g, with mean water

pH of 8.28 and 8.25, respectively. A similar finding occurred in the interaction between the type of water and the time of measurement. It was concluded that the best measurement times for pH are at 10 and 30 minutes. Finally, it was shown that there is an interaction between the type of water and the calcareous products depending on the dissolved oxygen (mg/L) of the water. The best treatment combinations were Fresh Water-Ca  $[(OH)]_2$  with an average of 6.4, and Brackish Water-Ca  $[(CO)]_3$ .

**Keywords:** Calcareous products; water quality; solubility; salinity.

## Resumo

Na aquicultura, o processo de calagem é usado principalmente para neutralizar a acidez. Embora o uso de produtos calcários seja comum, faltam informações detalhadas sobre seus benefícios reais e quantificáveis. Em muitos casos, esses produtos não são manejados adequadamente, o que pode desequilibrar os ecossistemas e aumentar os custos de produção. Os produtos de cal disponíveis no mercado variam em composição e propriedades-chave que devem ser consideradas em sua aplicação prática. Duas propriedades cruciais dos materiais de cal são sua capacidade de neutralização, que determina a quantidade de ácido que eles podem neutralizar, e seu tamanho de partícula, que determina a taxa de dissolução para neutralizar a acidez.

Este estudo foi realizado com o objetivo de compreender a interação entre carbonato de cálcio e hidróxido de cálcio em diferentes tipos de água em relação ao pH e oxigênio dissolvido em diferentes intervalos de tempo. O objetivo foi identificar a melhor combinação de tratamento entre o tipo de água e o produto calcário. Foi utilizado um planejamento experimental de Experimento Fatorial Completamente Aleatório com cinco unidades experimentais. Foram considerados quatro fatores de estudo: o tipo de água (doce, salgada e salobra), os produtos calcários (carbonato de cálcio e hidróxido de cálcio), a dose de produto calcário em gramas (0,1; 0,2; 0,4; 0,8) e o tempo em minutos (0, 10, 30). Para analisar os dados experimentais, o software SPSS foi utilizado para caracterizar a distribuição dos dados das variáveis dependentes. Medidas de tendência central, dispersão e curtose foram calculadas. Como não houve interação entre os tratamentos dos fatores do estudo, uma análise estatística do efeito de cada tratamento foi realizada individualmente usando ANOVA fatorial intragrupo. Finalmente, testes Post-Hoc Duncan foram realizados para determinar o melhor tratamento em termos de pH médio e

oxigênio dissolvido (mg/L). Foi determinado que existe uma interação entre o tipo de água e o produto calcáreo em função do pH. A combinação de tratamento ideal foi encontrada como Água Doce-Ca  $[(OH)]_2$  com um pH de água de 8,57. Não foi encontrada interação entre o tipo de água e as doses de produtos calcáreos. As doses mais efetivas foram de 0,8 g e 0,4 g, com pH médio da água de 8,28 e 8,25, respectivamente. Achado semelhante ocorreu na interação entre o tipo de água e o tempo de medição. Concluiu-se que os melhores tempos de medição de pH são aos 10 e 30 minutos. Por fim, foi demonstrado que existe uma interação entre o tipo de água e os produtos calcáreos em função do oxigênio dissolvido (mg/L) da água. As melhores combinações de tratamento foram Água Doce-Ca  $[(OH)]_2$  com média de 6,4, e Água Salobra-Ca  $[CO]_3$ .

**Palavras-chave:** Produtos calcáreos; qualidade da água; solubilidade; salinidade.

## Introducción

En el campo acuícola el uso de productos calcáreos es de manera frecuente, sin embargo, la información sobre los beneficios reales de este tipo de productos es relativamente escasa. Estos productos suelen utilizarse con la finalidad de aumentar la alcalinidad, desinfectar fondos y ajustar el pH, lo cual sirve para regular las condiciones del agua y suelo que se encuentren ligeramente ácidos, esto se debe a que los productos calcáreos provienen de las rocas volcánicas como también de compuestos químicos altamente calcificados que al ser aplicados producen un efecto de alcalinidad. Los productos calcáreos actualmente en el mercado tienen diferente composición y propiedades importantes que deben tenerse en cuenta en las aplicaciones prácticas. Las dos propiedades más importantes de los materiales calcáreos son la capacidad de neutralizar y su tamaño de partícula. El primero establece la cantidad de ácido que puede ser neutralizado por una determinada cantidad de cal, mientras que el segundo dicta la velocidad de disolución para neutralizar la acidez. Los productos calcáreos además contienen grandes cantidades de impurezas o sustancias que no reaccionan con la acidez. Por otra parte, el uso de los productos como el carbonato de calcio o el hidróxido de calcio tienen otros efectos en relación con la aplicación en el agua ya que surge efecto en la descomposición de la materia orgánica la misma que al no ser tratada puede provocar una elevación del amonio y del amoniaco en forma toxica que puede ser letal en los diferentes cultivos que se desarrollan en el campo acuícola. Además, las aplicaciones de estos productos podrían ayudar a elevar las concentraciones de calcio en el

agua, lo que mejoraría la supervivencia final de crustáceos al: acortar el tiempo de caparazón blando (postmuda) y reducir la posibilidad del ataque por parte de predadores durante esta etapa de susceptibilidad y, ayudar a minimizar las condiciones de estrés presentes en la piscina.

Sin embargo, los productos calcáreos a menudo se aplican a las aguas de los estanques sin control, sin preocuparse por las concentraciones de alcalinidad total (Queiroz, Nicolella, Wood, & Boyd, 2004). Es posible que los productos calcáreos se disuelvan mal en agua salada, no obstante los productores de camarones aplican grandes cantidades de carbonato de calcio e hidróxido de calcio a los estanques, el uso innecesario de estos productos no perjudica el crecimiento de los crustáceos sino que aumenta el costo de producción por el precio del material y la de mano de obra (Sá & Boyd, Dissolution rate of calcium carbonate and calcium hydroxide in saline waters and its relevance for aquaculture, 2016).

### **Planteamiento del problema**

Los insumos calcáreos añadidos a los estanques de camarones a menudo no se disuelven, puesto que el agua muchas de las veces se encuentran con una alcalinidad alta, siendo su aplicación inútil. Este encalado es una práctica muy común, y lo hacen con la idea de incrementar la alcalinidad de la piscina y controlar bacterias patógenas, no obstante, existe muy poca información sobre los verdaderos beneficios de estos insumos en los estanques, por lo que usualmente se los aplica de forma innecesaria.

### **Justificación**

El siguiente trabajo se realizó con el fin de conocer el tipo de interacción entre el carbonato de calcio e hidróxido de calcio sobre diferentes tipos de agua, en función del pH y el oxígeno disuelto en diferentes tiempos, para así conocer que combinación de tratamiento entre tipo de agua y producto calcáreo es la mejor. Es decir, determinar que producto calcáreo es más efectivo sobre un tipo de agua y la incidencia que tiene el pH y el OD en función del tiempo.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Valorar la influencia de los productos calcáreos sobre diversos tipos de calidad de agua en función del pH y oxígeno disuelto en diferentes tiempos de medición.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la mejor combinación entre producto calcáreo (hidróxido de calcio y carbonato de calcio) y tipo de agua (dulce, salada y salobre).
- Determinar la interacción entre el producto calcáreo y el tipo de agua en función del pH.
- Determinar la interacción entre el producto calcáreo y el tipo de agua en diferentes momentos de medición en función del oxígeno disuelto.
- Determinar la interacción entre el tipo de agua y las dosis de los productos calcáreos.

## **Revisión bibliográfica**

### **El Agua**

El agua es uno de los recursos más importantes del mundo, sin el cual la vida no existiría. Este elemento sustenta una serie de actividades para el ser humano, los animales y las plantas, depende del equilibrio natural de las ciudades y puede ser agua dulce, salobre o salada, ocupando el agua dulce 35 mil millones de Km<sup>3</sup> del volumen del planeta. El resto está formado por los océanos, que abarcan 1.400 millones de Km<sup>3</sup>, y aunque la cantidad de agua dulce del planeta parece asombrosa, sólo existe una cierta cantidad en forma de lagos y ríos. Las propiedades del agua y del suelo cambian como consecuencia del uso de diversos productos o de acciones como la deforestación y la urbanización, alterando la disponibilidad de cada tipo de agua. Hay diferentes tipos de sustancias y productos que cambian las características y propiedades del agua y, por tanto, los usos del agua (Twain, 2009).

### **Características del agua**

Según (Poonam, Tanushree, & Sukalyan, 2013) algunas de las características del agua pura en estado líquido son las siguientes:

- No posee color, no posee olor y no posee sabor.

- Densidad: 1 g/cm<sup>3</sup> a 4 °C
- Punto de fusión: 0 °C
- Punto de ebullición: 100 °C
- Constante dieléctrica: 78,3
- pH=7

## **Propiedades del Agua**

El agua no tiene color, ni sabor, pero tiene muchas propiedades químicas y físicas que la hacen insustituible, la fórmula química del agua es H<sub>2</sub>O, que es el resultado de combinar dos átomos de hidrógeno con uno de oxígeno, átomos que son iguales, pero eléctricamente diferentes, es decir en un lado carga eléctrica positiva y carga negativa en el otro lado. Las moléculas de agua se atraen entre sí hasta la unión y, por lo tanto, se forman gotas de agua, otra propiedad del agua es que es limpia y neutra, lo que nos dice que no es ni ácida ni alcalina (Shaltami & Bustany, 2021), mientras que (Perez, 2016), menciona que el agua es la única sustancia natural que se encuentra en tres estados: líquido, sólido en los polos (hielo) y gaseoso (vapor de agua) a las temperaturas que comúnmente se encuentran en la Tierra.

## **Acción Disolvente**

El agua es un líquido que disuelve más sustancias, por lo que se dice que es un solvente universal, esta propiedad es quizás la más importante para la vida debido a su capacidad para establecer puentes de hidrógeno (Eisenberg & Kauzmann, 2005), según (Marcus, 2009) en el caso de las disoluciones iónicas, los iones de sal son atraídos o atrapados por dipolos de agua, se cubren con moléculas de agua en forma de iones hidratados. La potencia de los disolventes se encarga de ser el medio en el que se desarrollan las reacciones metabólicas.

## **Tipos de aguas**

### **El Agua dulce**

El agua dulce es el tipo de agua con menor concentración de sal en su composición, las investigaciones demuestran que la concentración de sal en un litro de agua dulce es de 0,1 gramos de sal disuelta, este tipo de agua es la más utilizada porque sustenta a la mayoría de las



actividades del hombre. El agua dulce suministrada a humanos, plantas y animales está contenida en agua que cae en forma de lluvia, rocío o granizo, agua evaporada, agua superficial en forma de ríos o lagos, así como agua contenida en estratos que contienen agua. Esta cantidad de agua estará disponible para su uso, siempre y cuando no se la contamine o exista un desbalance que rompa este ciclo natural (Bhateria & Jain, 2016).

El agua dulce disponible en el planeta corresponde tan solo un 2.5% del 100% de agua que existe en todo el mundo, de la cual un 70% se encuentra congelada en los polos como glaciares y nevados, mientras que por otro lado solo el 1% se encuentra en la superficie disponible para los habitantes de la Tierra en ríos, lagunas, humedales, arroyos y lagos (Alba & Hernández, 2015).

### **El Agua de mar**

El agua de mar contiene agua dulce y sales disueltas: cloruro, magnesio, calcio, sodio, etc. Juntas, estas sales constituyen más del 99 % del agua de mar disuelta, se dice que el agua es como un nutriente porque contiene 83 de los 118 elementos de la tabla periódica, así como proteínas puras como el zooplancton y el fitoplancton, por esta razón, se cree que la vida comenzó en el mar (Sharp, 2001).

(Jeldres, Piceros, Valenzuela, & Robles, 2019) mencionan que el agua de lluvia contiene dióxido de carbono, que es una mezcla de CO<sub>2</sub> del aire y agua que se disuelve y descompone las rocas, y que los iones resultantes van a parar al mar y se acumulan en gran cantidad con el tiempo en capas de sedimentos, donde sus las concentraciones alcanzan alrededor de 35 g de sal por litro de agua.

El agua de mar es un tipo de agua que contiene en su composición de 33 a 39 gramos de sales solubles, en las que predomina el cloruro de sodio, entre otros como magnesio, calcio, azufre, etc., el agua de mar se encuentra en océanos y mares, en donde cuenta con un 97.5% del total del agua del planeta, cubre las 3/4 partes de la superficie terrestre, tiene una densidad mayor que el agua dulce debido a su elevado contenido de sales, y se caracteriza por una mayor densidad que el agua dulce debido a su alto contenido en sales (Kim, Venkatesan, & Sudha, 2011), mientras que (Alba & Hernández, 2015) indica que concentraciones de salinidad son diferentes por varios factores y uno de ellos es si se encuentran cerca de un estuario.

## **El agua en piscinas camaroneras**

La selección de lugares de acuicultura con características ambientales desfavorables es la causa de muchos problemas de calidad del agua. Una característica que debe evitarse en todos los tipos de acuicultura es una fuente de agua contaminada. En la acuicultura en estanques, también deben evitarse las zonas con características desfavorables del suelo. Algunos ejemplos son los hábitats de manglares, los suelos orgánicos, los suelos potencialmente ácidos y sulfatados, y los suelos muy arenosos o rocosos (Prangnell & Samocha, 2019).

La calidad del agua tiene un efecto considerable en la supervivencia y el crecimiento de los organismos acuáticos. Un entorno adecuado es un entorno higiénico para los animales porque es necesario para el crecimiento y la supervivencia (Nindarwi, Rochman, Tsany, Rachmawati, & Masithah, 2019). Para proporcionar un mejor hábitat para los crustáceos debemos considerar los factores físicos, químicos y biológicos, así como los diferentes métodos de alimentación, además del tipo de fertilización ya sea orgánica o inorgánica, la cual da paso a la proliferación de algas puesto que si cualquiera de estos factores no está en equilibrio podría bajar el rendimiento del cultivo, causar estrés a los animales y posiblemente grandes pérdidas en la producción (Alarcon, et al., 2021).

En los estanques acuícolas, la calidad del agua se ve afectada por la interacción de varios componentes químicos. El dióxido de carbono, el pH, la alcalinidad y la dureza están interconectados y pueden tener efectos profundos en la productividad del estanque, los niveles de estrés, la salud animal, la disponibilidad de oxígeno y la toxicidad (Salazar, Acuña, Maestre, & Salazar, 2021). La mayoría de las características de calidad del agua no son constantes porque las concentraciones de dióxido de carbono y los niveles de pH varían de un día a otro. La alcalinidad y la dureza son relativamente estables, pero pueden variar con el tiempo, generalmente de semanas a meses, según el pH o el contenido mineral de la piscina y el suelo del fondo (Wurts & Durborow, 1992).

En estanques de cultivo es importante mantener el pH dentro del rango óptimo, ya que el pH afecta la mayoría de las reacciones y fenómenos químicos que ocurren en el agua, y también afecta el estado fisiológico de los camarones. Los ambientes con un pH inferior a 6,5 o superior a 9,5 pueden retardar el crecimiento de los animales, y un pH entre 7,0 y 9,0 promueve el crecimiento de bacterias heterótrofas y nitrificantes (Furtado, Poersch, & Wasielesky, 2011).

Los efectos de la temperatura y la salinidad en los crustáceos en acuicultura han sido objeto de gran interés, la mayoría de las especies acuícolas tienen un rango bastante amplio de tolerancia a la temperatura y a la salinidad, pero los cambios en cualquiera de las dos variantes fuera del rango óptimo provocan estrés y, si son lo suficientemente extremos, la muerte (Brooks & Conkle, 2019).

La turbidez del agua es un parámetro importante para los crustáceos en el estanque, está estrechamente relacionado con el crecimiento de algas que proporcionan el OD necesario para los animales, además sirve como alimento vivo natural, así como sólidos en suspensión como la arcilla, detritus, protozoarios y parásitos que provienen del asentamiento de los desechos orgánicos en el suelo brinda una coloración al agua, no obstante es necesario monitorear las floraciones de microalgas, ya que existen especies que pueden interrumpir el crecimiento de los camarones (Freitas, 2015).

### **Agua subterránea**

La composición química del agua subterránea está determinada por la naturaleza geológica del suelo, ya que el agua se filtra desde la superficie del suelo por transpiración esta puede cambiar radicalmente su composición por las interacciones físicas, químicas y biológicas, y estas interacciones hace que presente diferentes características como la ausencia del oxígeno ya que no hay productividad primaria que genere la fotosíntesis y posteriormente la presencia de oxígeno disuelto, otra de las características es que tiene una turbidez baja y tiene una temperatura y composición química constante, adicionalmente, las aguas subterráneas son bastante puras desde un punto microbiológico (Elango & Kannan, 2007).

El agua subterránea está en constante movimiento, aunque su velocidad suele ser más lenta que la de un río, ya que tiene que pasar por los intrincados pasajes entre las grietas de las rocas. Inicialmente, el agua cae bajo la influencia de la gravedad, también puede moverse hacia arriba porque fluirá desde un área de alta presión hacia un área de baja presión (Brands, Rajagopal, Eleswarapu, & Li, 2017). El flujo de agua subterránea está controlado por dos propiedades de la roca, es decir, el porcentaje del volumen de la roca con vacíos llamados vacíos, y esto determina la cantidad de agua contenida en la roca. Baja porosidad generalmente significa baja permeabilidad, pero alta porosidad no necesariamente significa alta permeabilidad porque puedes tener roca con alta porosidad y baja permeabilidad, pero alta porosidad no necesariamente tiene

alta permeabilidad, puede tener rocas muy porosas con pocas conexiones entre poros (Elango & Kannan, 2007).

En promedio, el agua subterránea tiene una dureza de 200 a 400 mg/L, puesto que el agua que pasa a través de la piedra caliza disolverá compuestos como el calcio y el magnesio, estas aguas también son pobres en oxígeno por la disolución del CO<sub>2</sub> en el agua subterránea (Quituisaca & Arturo, 2016). Por otra parte (Vergara, 2014) nos dice que las aguas subterráneas se encuentran bajo tierra con materia orgánica que contiene alrededor de 12-24 mg de carbono inorgánico por litro de agua.

### **Oxígeno disuelto (OD)**

Este gas es la cantidad de oxígeno (mg/L) gaseoso que se encuentra disuelto en el agua el cual es primordial para la vida, buenos niveles de oxígeno disuelto permiten que se pueda incrementar la densidad de siembra dentro de los estanques, pero hasta cierto punto, los estanques con fitoplancton tienen niveles altos de OD comparado con los que no tienen fitoplancton, asimismo con los que usan aireadores (Hok, et al., 2018), mientras que en otra investigación realizada por (Arboleda, 2006) dice que las altas densidades de fitoplancton hacen que en un ciclo de 24 horas haya demasiada variación en la concentración de oxígeno disuelto que se vuelve estrés para los organismos en cultivo, pero los niveles bajos de fitoplancton no provocan esa variación y el oxígeno disuelto permanece más o menos constante.

El oxígeno es necesario para los organismos aeróbicos porque es el aceptor terminal de electrones en la respiración aeróbica. Los peces y la mayoría de los animales acuáticos respiran a través de branquias que absorben el oxígeno molecular (oxígeno disuelto) del agua en la que viven, la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua depende de la difusión del oxígeno de la atmósfera al agua o del oxígeno liberado en el agua como subproducto de la fotosíntesis de las plantas acuáticas (Boyd, Torrans, & Tucker, 2017).

El bajo nivel de oxígeno disuelto se considera una de las principales causas de estrés, falta de apetito, retraso del crecimiento, susceptibilidad a enfermedades y muerte en la acuicultura. Las concentraciones de oxígeno disuelto pueden ser altas durante la mayor parte de un período de 24 horas, pero la respuesta de las especies cultivadas parece verse afectada principalmente por la concentración más baja de oxígeno disuelto durante la noche (Boyd & Hanson, Dissolved-oxygen concentration in pond aquaculture, 2010).

### **Alcalinidad y dureza totales del agua**

Si se habla de alcalinidad y dureza se debe aclarar que la alcalinidad es la concentración total de bases en el agua, la alcalinidad es expresada en mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , las bases en mención son Hidróxido, Fosfato, Silicato, Borato, Bicarbonato, Carbonato y Amonio, en la mayoría de los estanques de cultivo de camarón los carbonatos y bicarbonatos son los compuestos que más contribuyen a la alcalinidad puesto que se forman grandes cantidades debido a la acción con el  $\text{CO}_2$ , las aguas en ambientes naturales pueden ser alcalinas por las cantidades de hidróxido y carbonato y esto es un indicativo de determinada concentración algal (Claude, Tucker, & Somridhivej, 2016).

Las aguas con una elevada alcalinidad total poseen una excelente capacidad búfer frente a las variaciones de pH producidas por fitoplancton cuando este remueve el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y asimismo poseen mayor número de almacenamiento de carbono aprovechable para el desarrollo de fitoplancton en comparación con aguas que poseen baja alcalinidad total (Furtado, Poersch, & Wasielesky, 2011).

La dureza total es la concentración de cationes divalentes en el agua, también expresada como  $\text{CaCO}_3$ . Es importante señalar que tanto la alcalinidad como la dureza se expresan en las mismas unidades (mg/L como  $\text{CaCO}_3$ ) aunque se refieran a propiedades del agua claramente diferentes. Los cationes divalentes más abundantes cationes divalentes en las aguas naturales son el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y el magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Algunas aguas contienen pequeñas cantidades de estroncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ), y agua anaeróbica o muy ácida puede contener concentraciones medibles de hierro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ). La dureza del agua puede expresarse como la contribución de iones individuales, por ejemplo, la dureza del calcio, y la contribución combinada de todos los iones se denomina dureza total (Boyd C. E., 2017).

La dureza del agua se define por el contenido de Ca y Mg, es un importante parámetro de calidad del agua para la acuicultura, ya que puede afectar a la producción de varias especies, los animales dependen del  $\text{Ca}^{2+}$  para la formación del esqueleto, la coagulación de la sangre y otras funciones celulares. La interacción de la dureza del agua con diferentes parámetros ha sido reportada por varios autores, así como sus efectos en la reducción de la toxicidad del  $\text{NO}_2$ , el calcio juega un papel clave en la regulación de los iones mediante la reducción de la permeabilidad de las membranas biológicas (Neves, Presa, Maltez, Monserrat, & Garcia, 2022).

| Tipo de agua | ppm CaCO <sub>3</sub> |
|--------------|-----------------------|
| Muy blanda   | 1-15                  |
| Blanda       | 16-75                 |
| Semidura     | 76-150                |
| Dura         | 151-300               |
| Muy dura     | >300                  |

Figura 1: Tipos de Aguas.

### Potencial de hidrógeno (pH)

El término “pH” es una transformación matemática de la concentración de iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>); expresa convenientemente la acidez o basicidad del agua. La letra minúscula “p” se refiere a “potencia” o exponente, y el pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno. Cada cambio de una unidad de pH representa un cambio de diez veces en la concentración de iones de hidrógeno. La escala de pH generalmente se representa con un rango de 0 a 14, pero el pH puede extenderse más allá de esos valores. A 25 °C, el pH 7,0 describe el punto neutro del agua en el que las concentraciones de iones de hidrógeno e hidroxilo (OH<sup>-</sup>) son iguales (Tucker & D’Abramo, 2008).

Las condiciones se vuelven más ácidas a medida que el pH disminuye y más básicas a medida que aumenta el pH. En los ecosistemas de agua dulce, el pH puede fluctuar ampliamente dentro de los marcos de tiempo diarios y estacionales, y la mayoría de los animales de agua dulce han evolucionado para tolerar un rango relativamente amplio de pH ambiental. Sin embargo, los animales pueden estresarse o morir cuando se exponen a un pH demasiado alto o cuando el pH cambia rápidamente, incluso cuando el cambio ocurre dentro del rango de pH que normalmente permitido (Tucker & D’Abramo, 2008).

El pH no solo afecta directamente a los animales acuáticos, sino que la concentración de iones de hidrógeno también afecta el equilibrio del agua con respecto al amoníaco, el sulfuro de hidrógeno, el cloro y metales disueltos. La interacción del pH con estas variables suele ser más importante que el efecto directo del pH sobre los organismos acuáticos es por eso que el agua se considera ácida cuando el pH es inferior a 7 y básica cuando el pH está por encima de 7, los valores de pH

pueden variar de 0 a 14, pero el rango de pH recomendado para la acuicultura es de 6,5 a 9,0 (Wurts & Durborow, 1992).

### **Aplicación y tipos de Cal**

Una extensa bibliografía ha aportado evidencias de los éxitos y fracasos del uso de cal en acuicultura a lo largo de los años. Conocido como encalado, esta forma de aplicación se ha utilizado para numerosos propósitos en esta industria. El encalado mejora la productividad del estanque, actúa como remediador para el suelo del fondo, proporciona cationes básicos y mejora la calidad del agua al aumentar la concentración de alcalinidad total y dureza (Fitrani, Wudtisin, & Kaewnern, 2020).

(Boyd C. , 2017) menciona que la cal es un producto que se utiliza comúnmente en la acuicultura para mejorar la calidad de agua o de suelo incrementando el pH ya que estos productos tienen la particularidad de aumentar la alcalinidad característica de las aguas saladas que es donde se practica la mayor parte de los cultivos acuícolas, existe tres tipos de cal los cuales son Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), Oxido de Calcio ( $\text{CaO}$ ) e Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), esta última es el resultante de la hidratación del  $\text{CaO}$ , generando la siguiente reacción en la que interviene el agua y el  $\text{CaO}$ :  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ .

Se debe aplicar cal al agua cuando los valores de alcalinidad total, dureza total y pH son bajos, en aguas salobres de estanques de diferentes especies los valores están por encima de 50 mg/l y los materiales de encalado no se disuelven, el pH presenta valores de 7.5-8.5 y la alcalinidad puede perderse por reacciones en el suelo de estanques con suelos ácidos, pero generalmente esta se repone con el agua que ingresa mediante los recambios de agua (Wurts & Masser, 2013).

(Thunjai, Boyd, & Boonyaratpalin, 2004) sugiere que se debe aplicar cal agrícola al agua durante los primeros 50 a 60 días del cultivo del langostino, porque generalmente existen fluctuaciones del pH del agua durante esta fase lo cual puede alterar el desarrollo de una buena floración de plancton, no obstante en un investigación realizado por (Sá & Boyd, Dissolution rate of calcium carbonate and calcium hydroxide in saline waters and its relevance for aquaculture, 2016) mencionan que los materiales calcáreos añadidos al agua de mar de los estanques de camaronicultura a menudo no se disuelven en su totalidad, puesto que la mayoría de las veces el agua ya se encuentra con niveles altos de alcalinidad total, lo que genera dudas sobre la eficacia de los insumos calcáreos aplicados directos al agua.

Uno de los puntos importantes de la aplicación de cal es que favorece la descomposición de la materia orgánica por las bacterias del fondo, ya que ellas aportan el pH adecuado, la descomposición de la materia orgánica se eleva a un pH de 7,5 a 8,5. En el cultivo de peces, los estanques se dejan secar durante 2 a 4 semanas después de la cosecha para promover la descomposición de la materia orgánica, por lo que el encalado promoverá la actividad microbiana para descomponer los microorganismos (Boyd C. , 2017).

### **CaCO<sub>3</sub>**

El carbonato de calcio de fórmula CaCO<sub>3</sub>, es un compuesto químico de uso común en la acuicultura, es muy utilizado principalmente para el encalado en el campo debido a que este producto calcáreo tiene la capacidad de elevar el nivel de pH, esto quiere decir que tiene la capacidad de volver alcalina tanto al agua como al suelo en el cual se agregue este producto (Queiroz, Nicolella, Wood, & Boyd, 2004). La concentración de CO<sub>3</sub> en medio natural (agua salada) va a depender de su salinidad, pero se puede decir que en agua dulce la concentración de este compuesto es menor, por lo que el pH tiende a ser más ácido, el agua salada comúnmente suele estar cerca a la saturación de carbonato de calcio, y por esta razón, a menudo en los estanques de camarón no hay una correcta disolución de este compuesto cuando es agregado, por consiguiente al no haber una correcta disolución del CaCO<sub>3</sub> el pH no se incrementara drásticamente (Queiroz, Nicolella, Wood, & Boyd, 2004).

### **Ca(OH)<sub>2</sub>**

Según (Boyd, 2003) el hidróxido de calcio o cal apagada es un producto químico utilizado para mejorar la calidad de agua para así obtener cambios de pH en los estanques acuícolas volviéndolos más alcalinos, este producto químico es muy utilizado para realizar los procesos de encalado en los estanques acuícolas, (Crosby, Nerrie, & Gregg, 2020) nos dice que la cal apagada al ser aplicada en el agua puede hacer que esta llegue a pH extremadamente elevados, se considera que agregando 66 kg de Ca(OH)<sub>2</sub> en un estanque con un volumen de agua de 7.500.000 L con un pH 5.5 el pH del agua aumentaría a 11.6 aproximadamente.

El hidróxido de calcio a menudo se usa en bajas concentraciones debido a su potente efecto en los estanques de camarones, pero en muchos casos su adición es esencial porque es necesario



controlar las concentraciones de fitoplancton en los estanques. Lo que este químico produce en el agua es el aumento notorio del pH del agua y los niveles de calcio, lo que en realidad elimina los niveles de fosfato del agua en los estanques de acuicultura (Boyd C., 2017). La solubilidad del  $\text{Ca(OH)}_2$  en el agua es 0.12g/100mL a 30 °C, al ser aplicado directamente en el agua ocurre una disociación de este compuesto químico el cual es:  $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$

### Tratamiento de encalado en acuicultura

Según (Boyd, 2003), el encalado en estanques acuícolas es muy importante ya que tiene diversos beneficios en el estanque, los cuales son incrementar el pH del suelo y del agua con fines de desinfección del estanque o control algal y eliminación de fosfatos en el agua, cuando se realiza un encalado con fines de incrementar el pH (en agua con pH inferior a 7) lo que se busca es regresar a un pH estable o neutral en el agua del estanque y se deben de realizar análisis del mismo para saber qué cantidades aproximadas de cal se debe de aplicar por ha en el estanque de cultivo acuícola.

De esta misma forma (Boyd, 2003), nos da un estándar de kg/ha a aplicar de cal, esto va en función al pH del agua y suelo.

| pH      | Kg/ha de cal |
|---------|--------------|
| >7      | 0            |
| 6.9-6.5 | 500kg        |
| 6.4-6.0 | 1000kg       |
| 5.9-5.5 | 2000kg       |
| 5.4-5.0 | 3000kg       |
| <5      | 5000-10000kg |

Figura 2: Aplicación de cal.

Otro método de encalado utilizado en el campo acuícola es la utilización de cal quemada  $\text{CaO}$  o cal hidratada  $\text{Ca(OH)}_2$  con fines de desinfección del estanque, para tratamiento de desinfectar un

estanque se debe aplicar 1000kg de CaO o 1500kg de Ca(OH)<sub>2</sub>, este método es muy utilizado por su bajo costo y gran eficiencia, ya que de esta forma es posible reducir la posibilidad de que los organismos de cultivo contraigan enfermedades por la presencia de patógenos en el agua y suelo del estanque, se aplican estas dos sustancias antes mencionadas para poder aumentar el pH >10 para de esta forma matar a todos los patógenos presentes en el cultivo (Crosby, Nerrie, & Gregg, 2020).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales y equipos

#### Materiales

- Tachos de plástico (unidad experimental)
- Probeta graduada
- Papel aluminio
- Libreta
- Etiquetas
- Esferos

#### Sustancias

- Carbonato de calcio
- Hidróxido de calcio
- Agua de salada
- Agua dulce
- Agua salobre

#### Equipos

- Balanza
- Gramera
- Ph-metro
- Oxígeno-metro

## Metodología

Para la presente investigación se llevó a cabo la siguiente metodología:

## Ubicación y caracterización del Área Experimental

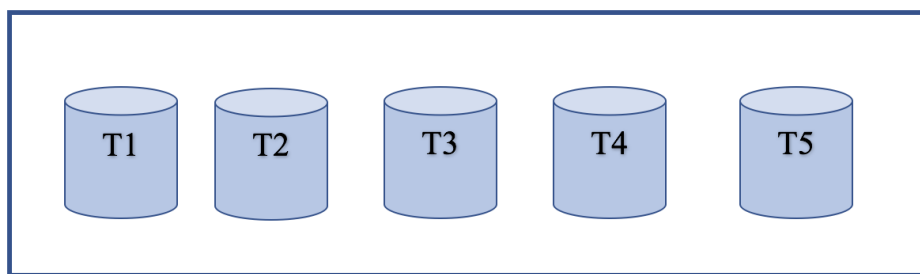
Este proyecto se lo realizó en el laboratorio de “Suelo” a una temperatura de 22 °C, el cual se encuentra ubicado en la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, Av. Panamericana Km. 5 1/2 Vía a Pasaje con coordenadas 3°17'28.1"S 79°54'50.7"W.



**Figura 3:** Lugar donde se realizó el Proyecto.

## Diseño experimental

Se realizó un Experimento Factorial Completamente al Azar, en el cual se utilizaron cinco unidades experimentales, donde una correspondía al control, se trabajó con cuatro factores de estudio el tipo de agua (agua dulce, salada y salobre), el producto calcáreo (carbonato de calcio e hidróxido de calcio), la dosis de producto carbonatado en gramos (0,1; 0,2; 0,4; 0,8) y el tiempo en minutos (0, 10, 30).



**Figura 4:** Unidades Experimentales.

### Especificidad del diseño

Este experimento se lo realizo en una semana y para este ensayo se necesitó 5 tachos de plástico las cuales tenían las siguientes dimensiones de 14 cm de alto con un radio de 6,75 cm, con un volumen total de 1.5 L. La altura de agua que se utilizó en el ensayo es de 9 cm hasta el espejo de agua, con un volumen total de agua de 1 L.

### Tratamientos

Los tratamientos de cada factor de estudio se detallan en la siguiente tabla.

|          |                                    |                     |
|----------|------------------------------------|---------------------|
| Factores | Tipos de agua                      | 1 agua dulce        |
|          |                                    | 2 agua salada       |
|          |                                    | 3 agua salobre      |
|          | Productos calcáreos                | Carbonato de calcio |
|          |                                    | Hidróxido de calcio |
|          | Tiempo (minutos)                   | 0                   |
|          |                                    | 10                  |
|          |                                    | 30                  |
|          | Dosis de producto<br>Calcáreos (g) | 0,1                 |
|          |                                    | 0,2                 |
|          |                                    | 0,4                 |
|          |                                    | 0,8                 |

### Manejo del experimento

En primer lugar, se procedió a limpiar el área de trabajo, ya que se necesitará de un lugar amplio y limpio para realizar el experimento, esto se lo realizó con una franela y cloro. Una vez limpiada el área de trabajo se continuo con la limpieza de los frascos que serán las unidades

experimentales, estos fueron lavados con detergente y abundante agua con la finalidad de que no queden residuos que afecten los resultados del experimento. Luego se procedió a pesar las diferentes dosis de carbonato de calcio e hidróxido de calcio con ayuda de una balanza electrónica, se tomaron dosis de 0,1 g; 0,2 g; 0,4; g y 0,8 g; de cada uno de los productos calcáreos los cuales fueron colocados en láminas de papel para su fácil dosificación a cada uno de los frascos con el tipo de agua.

Posteriormente se utilizó una probeta de vidrio como instrumento para medir 1 litro de agua salada, y de esta forma las mediciones sean exactas. Una vez obtenido 1 litro de agua salada en la probeta se la coloca en el frasco, realizando esta acción con el resto de los frascos. Una vez colocada el agua salada en cada frasco se proceden a colocar las etiquetas, para evitar tener equivocaciones, tomando en cuenta la dosis de producto carbonatado que se va a agregar. Consecutivamente se coloca la dosis correspondiente en cada frasco, el primer tacho correspondía al control del experimento, en el segundo tacho se colocó la dosis de carbonato de calcio de 0,1 gr, en el tercero 0.2 gr, en el cuarto 0,4 gr y en el quinto 0,8 gr. Una vez colocada las dosis se procedió con la medición de pH utilizando un pH-metro y oxígeno disuelto con la ayuda de un oxígeno-metro.

Obtenido los primeros resultados se vuelve a tomar la medida de estas dos variables a los 10 minutos, y luego a los 30 min. Teniendo así los resultados de tres intervalos de tiempo. Finalmente se procede a registrar los datos obtenidos del pH y Oxígeno disuelto en una libreta de apuntes. La misma operación se realizó con los tipos de agua faltante (agua de pozo y agua salobre).

### **Variables que medir**

Para este diseño experimental las variables que se midieron fue pH, y oxígeno disuelto.

### **Procedimiento estadístico**

Para procesar la información de diseño experimental se utilizó el Software SPSS 25 versión de prueba para Windows, mediante la función Modelo general lineal.

## **Caracterización de la distribución de datos**

Para caracterizar la distribución de datos de las variables dependientes, se estimaron las medidas de tendencia, central, de dispersión y curtosis.

## **Verificación de los Requisitos para una Prueba Paramétrica**

Para contrastar las hipótesis de normalidad, estamos dispuestos a aceptar un error del 5 %, es decir limitamos la posibilidad de cometer un error del tipo I, en  $\alpha = 0.05$ .

### ***Verificación de la normalidad de datos***

Planteó que  $H_0$  sigue la distribución similar a la distribución normal y  $H_1$  no sigue la distribución similar a la distribución normal. Se trabajó con un nivel de significancia de 0.05 (5%) y cuando p-valor sea menor a alfa se aceptará  $H_1$ , en caso de ser mayor a alfa se aceptará  $H_0$ .

Para verificar el requisito de normalidad de datos para las variables pH y oxígeno disuelto se utilizó la prueba de normalidad en donde se trabajó con Shapiro-Wilk debido a que las muestras tienen menos de 50 datos (Pagano, 2006).

### ***Verificación de homogeneidad de varianzas***

Planteo que  $H_0$  se asumen la homogeneidad de las varianzas y  $H_1$  no se asumen la homogeneidad de varianzas. Se trabajó con un nivel de significancia de 0.05 (%) y cuando p-valor sea menor que a alfa se aceptará  $H_1$ , en caso de ser mayor a alfa se aceptará a  $H_0$ .

Para verificar el requisito de homogeneidad de varianzas para las variables pH y oxígeno disuelto se utilizó la prueba de homogeneidad de varianzas donde se trabajó con el Test de Levene.

### ***Diferencias significativas o no entre tratamiento en función de la variable dependiente***

Para analizar los datos de los efectos de interacción entre tipo de agua y productos calcáreos, tipo de agua y dosis, tipo de agua y momento se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) factorial intergrupos donde se planteó  $H_0$  no hay interacción entre los tratamientos y  $H_1$  hay interacción entre los tratamientos. Se trabajó con un nivel de significancia de 0.05 (5%) y cuando p-valor sea menor a alfa se aceptará  $H_1$ , en caso de ser mayor a alfa se aceptará  $H_0$ . Al existir interacción entre los tratamientos de los factores de estudio, se llevó a cabo un análisis de los datos de las combinaciones entre los tratamientos de los factores de estudio mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor intra-grupos donde  $H_0$  representa que las medias de las interacciones son

las mismas, en cuanto  $H_1$  indica que al menos una media de las interacciones es distinta. Al no haber interacción entre los tratamientos de los factores de estudio, se realizó un análisis estadístico de los datos del efecto de cada tratamiento del factor de estudio individualmente (Agua, Dosis, Momento o Producto Carbonatado) por medio de ANOVA factorial intra-grupos. Para determinar el mejor tratamiento para las medias de pH y Oxígeno disuelto (mg/L) se realizaron Pruebas Post-Hoc Duncan.

## Resultados

### Estadístico descriptivo

#### Ph del agua

Mediante el análisis de la distribución de datos para el pH de la muestra de agua dulce, fue posible establecer que posee un promedio 8.49 con una desviación estándar de 0.16, además se observó, que posee asimetría positiva, ya que el coeficiente de asimetría fue 0.133, en lo que respecta a la curtosis se observa que la distribución de datos es más apuntada de la normal, corroborando esta hallazgo con un coeficiente de curtosis que obtuvo un valor de 1.24, la tabla 1, resume los estadísticos de esta muestra.

En los que respecta al resumen de los estadísticos de las muestras de pH, para el agua salada y salobre, estos demuestran resultados en medidas de tendencia central similares a la muestra de agua dulce, con una leve disminución de la dispersión y con características de apuntamiento y forma similares. En el anexo (enumerar anexo) se puede corroborar la lista de descriptivos.

**Tabla 1:**Tabla Estadística descriptiva de la variable pH agua dulce.

| Variable | Tipo de Agua |   | Estadístico     | Desv. Error |  |
|----------|--------------|---|-----------------|-------------|--|
| pH       | Dulce        | Media                                       | 8,4867          | ,02950      |  |
|          |              | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 8,4263      |  |
|          |              |   | Límite superior | 8,5470      |  |
|          |              | Media recortada al 5%                       | 8,4881          |             |  |
|          |              | Mediana                                     | 8,4500          |             |  |
|          |              | Varianza                                    | ,026            |             |  |

|  |                    |        |      |
|--|--------------------|--------|------|
|  | Desv. Desviación   | ,16155 |      |
|  | Mínimo             | 8,06   |      |
|  | Máximo             | 8,86   |      |
|  | Rango              | ,80    |      |
|  | Rango intercuartil | ,18    |      |
|  | Asimetría          | ,133   | ,427 |
|  | Curtosis           | 1,238  | ,833 |

### Frecuencia del Oxígeno disuelto del Agua

El oxígeno disuelto en agua dulce muestra un promedio de 6.05 ml/l, con una desviación estándar de 0.3716, además se observó, que posee asimetría positiva, ya que el coeficiente de asimetría fue 0.218, en lo que respecta a la curtosis se observa que la distribución de datos es menos apuntada de la normal, corroborando este hallazgo con un coeficiente de curtosis que obtuvo un valor de -1.74, la tabla 2, resume los estadísticos de esta muestra. En los que respecta al resumen de los estadísticos de las muestras de oxígeno disuelto, para el agua salada y salobre, estos demuestran resultados en medidas de tendencia central y dispersión similares a la muestra de agua dulce, con medidas de forma similares, exceptuando la curtosis que es diferente a la muestra de agua dulce. El anexo(enumerar) se puede corroborar la lista de descriptivos.

**Tabla 2:** Tabla Estadística descriptiva de la variable oxígeno disuelto en el agua(mg/l)

|                         |       |   |                 |       |  |
|-------------------------|-------|---|-----------------|-------|--|
| Oxígeno disuelto (mg/l) | Dulce | Media                                       | 6,051           | ,0678 |  |
|                         |       | 95% de intervalo de confianza para la media | Límite inferior | 5,912 |  |
|                         |       |   | Límite superior | 6,190 |  |
|                         |       | Media recortada al 5%                       | 6,042           |       |  |
|                         |       | Mediana                                     | 6,100           |       |  |
|                         |       | Varianza                                    | ,138            |       |  |
|                         |       | Desv. Desviación                            | ,3716           |       |  |
|                         |       | Mínimo                                      | 5,4             |       |  |
|                         |       | Máximo                                      | 7,0             |       |  |
|                         |       | Rango                                       | 1,6             |       |  |
|                         |       | Rango intercuartil                          | ,6              |       |  |



|  |           |       |      |
|--|-----------|-------|------|
|  | Asimetría | ,218  | ,427 |
|  | Curtosis  | -,174 | ,833 |

## Prueba de normalidad para las muestras de pH y oxígeno disuelto

### pH del Agua

La tabla 3, nos proporciona el resumen de la prueba de normalidad, al tener una muestra inferior a 50 datos, tomaremos la columna para la prueba de Shapiro-Wilk, en ella podemos observar que las muestras de pH para agua dulce y salada no se distribuyen de forma normal ya que presentan un p-valor inferior al nivel alfa asumido 0.05, además el p-valor para la muestra de agua salada es mayor a 0.05 mostrando normalidad en los datos. En la misma tabla 3, se observa que las muestras de oxígeno disuelto para los tres tipos de agua se distribuyen de forma normal ya que en la columna etiquetada con la prueba de Shapiro-Wilk, se observa un p-valor mayor que el nivel de error asumido.

**Tabla 2:** Prueba de normalidad del Tratamiento tipo de agua a las variables pH y Oxígeno disuelto (mg/L).

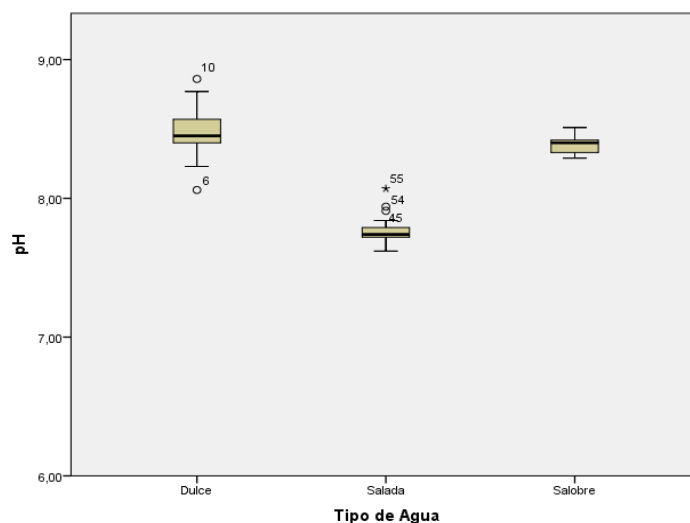
### Pruebas de normalidad

|                         | Tipo de Agua | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|-------------------------|--------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
|                         |              | Estadístico                     | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig. |
| pH                      | Dulce        | ,174                            | 30 | ,020  | ,926         | 30 | ,040 |
|                         | Salada       | ,190                            | 30 | ,007  | ,874         | 30 | ,002 |
|                         | Salobre      | ,096                            | 30 | ,200* | ,943         | 30 | ,106 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | Dulce        | ,122                            | 30 | ,200* | ,951         | 30 | ,179 |
|                         | Salada       | ,141                            | 30 | ,131  | ,944         | 30 | ,114 |
|                         | Salobre      | ,159                            | 30 | ,051  | ,958         | 30 | ,280 |

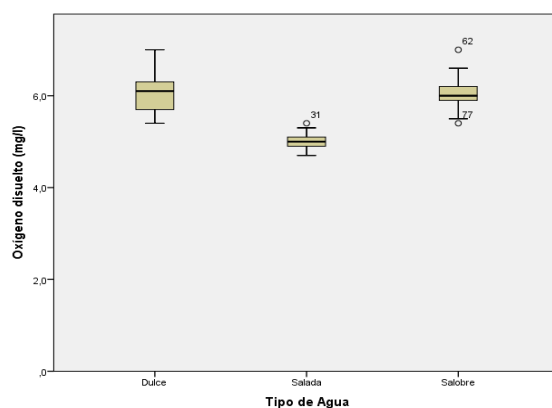
\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Figura 5:** Diagrama de cajas del tratamiento Tipo de Agua en la variable pH



**Figura 6:** Diagrama de cajas del tratamiento tipo de agua con relación a la variable Oxígeno Disuelto.



### Prueba de Homogeneidad de Varianzas muestras de pH y oxígeno disuelto

A partir de los datos observados en la tabla 4, es posible concluir que no se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas para las muestras de pH y oxígeno disuelto, ya que se registra un p-valor para todas las muestras inferior al nivel de error asumido 0.05.

**Tabla 3:** Prueba de normalidad del Tratamiento tipo de agua en la variable pH.

|    |                             | Prueba de Levene de igualdad de varianzas |      |  |
|----|-----------------------------|---|------|--|
|    |                             | F   | Sig. |  |
| pH | Se asumen varianzas iguales | 5,199                                     | ,026 |  |

|                 |                                |        |      |  |
|-----------------|--------------------------------|--------|------|--|
|                 | No se asumen varianzas iguales |        |      |  |
| Oxígeno         | Se asumen varianzas iguales    | 25,093 | ,000 |  |
| disuelto (mg/l) | No se asumen varianzas iguales |        |      |  |

Los resultados de las pruebas de normalidad y homocedasticidad son violados, en para las muestras de pH y oxígeno disuelto, el análisis de varianza es una prueba robusta. Ésta se afecta en forma mínima por las violaciones a la normalidad poblacional. También es relativamente insensible a las violaciones a la homogeneidad de la varianza, siempre que las muestras sean del mismo tamaño (Vallejo, Fernández, & Rojas, 2010).

### Efecto de interacción entre los factores, productos calcáreos y tipos de agua

### Efecto de interacción entre los factores, productos calcáreos y tipo agua en funcion del pH

Obteniendo un p-valor menor al nivel alfa, se demuestra con una confiabilidad del 95% , que existe efecto de interacción de dependencia, entre el tratamiento tipo de agua dulce, salada y salobre con los productos calcáreos  $CaCO_3$  y  $Ca(OH)_2$  sobre la variable pH demostrado en la Tabla 5.

En la tabla 5, se puede apreciar que el promedio para la combinación agua dulce  $Ca(OH)_2(1-2)$ , fue el mejor, dato que se corrobora con los hallazgos (Sá & Boyd, Dissolution rate of calcium carbonate and calcium hydroxide in saline waters and its relevance for aquaculture, 2016)

**Tabla 5:** Análisis de varianza factorial Inter grupo del efecto de interacción entre los tratamientos tipo de agua y productos calcáreos en el pH.

| Origen           | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Cuadrático promedio | F          | Sig. |
|------------------|-------------------------------|----|---------------------|------------|------|
| Modelo corregido | 10,066 <sup>a</sup>           | 23 | ,438                | 52,380     | ,000 |
| Interceptación   | 6068,175                      | 1  | 6068,175            | 726253,168 | ,000 |
| Tipo_Agua *      | ,189                          | 2  | ,095                | 11,314     | ,000 |

|           |  |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|--|
| Productos |  |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|--|

**Tabla 6:** Análisis estadístico de los datos de pH del agua obtenidos por la combinación de los tratamientos tipo de agua y productos calcáreos.

| Descriptivos                                      |    |        |                        |                |   |
|---|----|--------|------------------------|----------------|---|
| pH  |    |        |                        |                |   |
| Tratamiento<br>Tipo de agua-Producto<br>Calcáreos | N  | Media  | Desviación<br>estándar | Error estándar | 95% del<br>intervalo de<br>confianza<br>para la media<br><br>Límite<br>inferior |
| Agua dulce- $CaCO_3$ (1-1)                        | 15 | 8,4060 | ,05804                 | ,01499         | 8,3739  |
| Agua dulce- $Ca(OH)_2$ (1-2)                      | 15 | 8,5673 | ,19170                 | ,04950         | 8,4612  |
| Agua Salada- $CaCO_3$ (2-1)                       | 15 | 7,7587 | ,13346                 | ,03446         | 7,6848  |
| Agua Salada- $Ca(OH)_2$ (2-2)                     | 15 | 7,7527 | ,03081                 | ,00796         | 7,7356  |
| Agua Salobre- $CaCO_3$ (3-1)                      | 15 | 8,4173 | ,06628                 | ,01711         | 8,3806  |
| Agua Salobre- $Ca(OH)_2$ (3-2)                    | 15 | 8,3653 | ,05397                 | ,01393         | 8,3354  |
| Total   | 90 | 8,2112 | ,34540                 | ,03641         | 8,1389  |

### Efecto de interacción entre el tratamiento tipo agua y productos calcáreos en el Oxígeno Disuelto (mg/L) en el Agua

Se puede observar en la tabla 7 que la interacción de los factores tipo de agua vs productos carbonatados en función del oxígeno disuelto, es significativa en consecuencias, podemos concluir con un nivel de confianza del 95% que las variables son dependientes.

**Tabla 7:** Análisis de varianza factorial inter-grupo del efecto de interacción entre los tratamientos tipo de agua y productos calcáreos para el valor de Oxígeno disuelto (mg/L).

| Origen | Tipo III de<br>suma de | gl | Cuadrático<br>promedio | F | Sig. |
|--------|------------------------|----|------------------------|---|------|
|--------|------------------------|----|------------------------|---|------|

|                          | cuadrados           |    |          |           |      |
|--------------------------|---------------------|----|----------|-----------|------|
| Modelo corregido         | 27,534 <sup>a</sup> | 23 | 1,197    | 23,895    | ,000 |
| Interceptación           | 2923,302            | 1  | 2923,302 | 58348,284 | ,000 |
| Tipo Agua *<br>Productos | 3,400               | 2  | 1,700    | 33,928    | ,000 |

Los estadísticos de resumen, para la interacción entre los tratamientos tipo de agua, productos calcáreos en función del Oxígeno disuelto, se pueden visualizar en la tabla 8, la combinación Agua dulce-  $Ca(OH)_2$  (1-2) promedio de oxígeno disuelto de 6.35.

**Tabla 8:** Análisis estadístico de los datos de oxígeno disuelto obtenidos por la combinación de los tratamientos tipo de agua y productos calcáreos.

| Descriptivos                                      |    |       |                        |                |  |  |
|---|----|-------|------------------------|----------------|--|--|
| Oxígeno Disuelto                                  |    |       |                        |                |  |  |
| Tratamiento<br>Tipo de agua-Producto<br>calcáreos | N  | Media | Desviación<br>estándar | Error estándar | 95% del intervalo<br>de confianza para<br>la media |  |
|   |    |       |                        |                | Límite inferior                                    |  |
| Agua dulce- $CaCO_3$ 1-1                          | 15 | 5,749 | ,2114                  | ,0546          | 5,632  |  |
| Agua dulce- $Ca(OH)_2$ 1-2                        | 15 | 6,353 | ,2134                  | ,0551          | 6,235  |  |
| Agua Salada- $CaCO_3$ 2-1                         | 15 | 5,067 | ,1496                  | ,0386          | 4,984  |  |
| Agua Salada- $Ca(OH)_2$ 2-2                       | 15 | 4,913 | ,1246                  | ,0322          | 4,844  |  |
| Agua Salobre- $CaCO_3$ 3-1                        | 15 | 6,193 | ,3105                  | ,0802          | 6,021  |  |
| Agua Salobre- $Ca(OH)_2$ 3-2                      | 15 | 5,920 | ,3364                  | ,0868          | 5,734  |  |
| Total   | 90 | 5,699 | ,5887                  | ,0621          | 5,576  |  |

### Efectos de interacción entre el tratamiento producto calcáreos, tipo de agua en diferentes momentos de medición, en función del oxígeno disuelto

La interacción entre los productos calcáreos, tipo de agua en diferentes momentos de medición, en función del oxígeno disuelto es significativa con p-valor de 0.015, lo cual nos indica que existe una relación entre estas variables, los resultados se pueden observar en la tabla 9.

**Tabla 9:** Análisis de varianza factorial inter-grupo del efecto de interacción entre los productos calcáreos vs oxígeno disuelto.

| <b>Pruebas de efectos inter-sujetos</b> |                         |            |      |
|---|-------------------------|------------|------|
| Origen                                  | Variable dependiente    | F          | Sig. |
| Modelo corregido                        | Oxígeno disuelto (mg/l) | 36,976     | ,000 |
|   | pH                      | 58,114     | ,000 |
| Intersección                            | Oxígeno disuelto (mg/l) | 66406,821  | ,000 |
|   | pH                      | 605774,256 | ,000 |
|   | pH                      | ,448       | ,773 |
| Productos * Tipo_Agua * Momentos        | Oxígeno disuelto (mg/l) | 3,299      | ,015 |
|   | pH                      | 1,532      | ,202 |

En la tabla 10 se puede observar las pruebas post hoc de Bonferroni y HDS Tukey establece que el oxígeno disuelto en el agua dulce es diferente en el agua salada, además no existe diferencias en oxígeno disuelto en agua dulce y salobre, observándose lo contrario entre agua salada y salobre, con relación a los momentos de medición se observa claramente que el oxígeno disuelto en 10 minutos es diferente al observado a los 30 minutos, la tabla 11 resumen el contraste entre los productos calcáreos, los resultados establecen que no existe diferencias observables entre el pH y el oxígeno disuelto en las muestras de agua dulce y salada.

**Tabla 10:** Pruebas post hoc de HSD Tukey y Bonferroni del tratamiento tipo de agua entre oxígeno disuelto.

| Variable dependiente    |            | (I) Tipo de Agua | (J) Tipo de Agua | Desv. Error | Sig.  |
|-------------------------|------------|------------------|------------------|-------------|-------|
| Oxígeno disuelto (mg/l) | HSD Tukey  | Dulce            | Salada           | ,0542       | ,000  |
|                         |            |                  | Salobre          | ,0542       | ,994  |
|                         |            | Salada           | Dulce            | ,0542       | ,000  |
|                         |            |                  | Salobre          | ,0542       | ,000  |
|                         |            | Salobre          | Dulce            | ,0542       | ,994  |
|                         |            |                  | Salada           | ,0542       | ,000  |
|                         | Bonferroni | Dulce            | Salada           | ,0542       | ,000  |
|                         |            |                  | Salobre          | ,0542       | 1,000 |
|                         |            | Salada           | Dulce            | ,0542       | ,000  |
|                         |            |                  | Salobre          | ,0542       | ,000  |
| Salobre                 | Dulce      | ,0542            | 1,000            |             |       |
|                         | Salada     | ,0542            | ,000             |             |       |

**Tabla 11:** Pruebas post hoc de HSD Tukey y Bonferroni del tratamiento oxígeno disuelto y momento de medición.

| Variable dependiente    |            | (I) Momentos de medición | (J) Momentos de medición | Sig. |
|-------------------------|------------|--------------------------|--------------------------|------|
| Oxígeno disuelto (mg/l) | HSD Tukey  | 0 min                    | 10 min                   | ,299 |
|                         |            |                          | 30 min                   | ,348 |
|                         |            | 10 min                   | 0 min                    | ,299 |
|                         |            |                          | 30 min                   | ,014 |
|                         |            | 30 min                   | 0 min                    | ,348 |
|                         |            |                          | 10 min                   | ,014 |
|                         | Bonferroni | 0 min                    | 10 min                   | ,418 |
|                         |            |                          | 30 min                   | ,500 |
|                         |            | 10 min                   | 0 min                    | ,418 |
|                         |            |                          | 30 min                   | ,015 |
|                         |            | 30 min                   | 0 min                    | ,500 |
|                         |            |                          | 10 min                   | ,015 |

### Efecto de interacción entre el tratamiento tipo agua y dosis de los calcáreos

### Efecto de interacción entre el tratamiento tipo agua y dosis de los calcáreos en el pH del agua

El análisis estadístico revela que no hubo significancia estadística entre el contraste tipo de agua vs dosis en función del pH, el resumen de estos resultados son observables en la tabla 11, lo que significa que existe independencia estadística.

**Tabla 11:** Análisis de varianza factorial Inter grupo del efecto de interacción entre los tratamientos tipo de agua y dosis de productos calcáreos en el pH y oxígeno disuelto.

| <b>Pruebas de efectos inter-sujetos</b> |                         |            |      |
|---|-------------------------|------------|------|
| Origen                                  | Variable dependiente    | F          | Sig. |
| Modelo corregido                        | Oxígeno disuelto (mg/l) | 17,102     | ,000 |
|   | pH                      | 61,902     | ,000 |
| Intersección                            | Oxígeno disuelto (mg/l) | 29803,594  | ,000 |
|   | pH                      | 538160,245 | ,000 |
| Tipo_Agua * Dosis                       | Oxígeno disuelto (mg/l) | ,785       | ,617 |
|   | pH                      | ,698       | ,692 |

### Descripción estadística del tratamiento del tipo de agua vs dosis productos calcáreos en función del oxígeno disuelto

Dado el p-valor es mayor que el nivel alfa para el contraste tipo de agua vs dosis en función del oxígeno, se concluye que no podemos rechazar la hipótesis nula, en otras palabras, las variables son independientes, este resultado también lo podemos observar en la tabla 11.

### Discusión

El encalado es una práctica muy común en la mayoría de las piscinas camaroneras del Ecuador, se utilizan estos productos con la finalidad de estabilizar el pH, mejorar la calidad del agua, aumentar la alcalinidad total (AT) y la dureza, sin embargo, (Sá & Boyd, 2017) mencionan que los materiales de encalado tienen una baja solubilidad en el agua y necesitan  $\text{CO}_2$  para acelerar su disolución, por lo que muchas de las veces se hace necesario intervenir en la química del agua para el equilibrio del estanque.

En el presente trabajo realizado se pudo observar que la mejor combinación de tratamiento entre tipo de agua y producto carbonatado fue el agua dulce y el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  donde se observó que el pH se alteró notablemente en comparación del agua salobre y salada, similar a los hallazgos encontrados por (Sá & Boyd, 2016), mencionan en su investigación que el carbonato de calcio no se disuelve en el agua de mar, mientras que en el agua salada a mayor se la cantidad de hidróxido de calcio mayor es el aumento de pH, sin embargo, el aumento del pH del agua es pequeño demostrando ser un proceso ineficiente. De acuerdo con los resultados obtenidos fue posible demostrar en el presente estudio, que los productos calcáreos no provocaron un gran



aumento del pH en las muestras de agua salada, en comparación con el agua dulce y salobre. Al igual que el trabajo realizado por (Sá & Boyd, 2017) donde mencionan que además de la alcalinidad, también debe tenerse en cuenta la salinidad del agua a la hora de decidir el encalado en los estanques acuícolas.

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

Se determinó que existe interacción entre el tipo de agua y el producto calcáreo en función del pH, demostrando que la mejor combinación de tratamiento entre el tipo de agua y el producto calcáreo fue la de Agua dulce-  $\text{Ca(OH)}_2$  con un pH de 8,57 del agua, es decir que los productos calcáreos no provocaron un aumento considerable del pH en las muestras de agua salobre y salada.

En cuanto a la interacción entre producto calcáreo y el tipo de agua en función del oxígeno disuelto se pudo evidenciar que la mejor combinación del tratamiento fue el agua dulce y el  $\text{Ca(OH)}_2$ , mientras que los mejores momentos de medición para el oxígeno disuelto fueron los de 30 y 0 minutos, las medias del oxígeno disuelto en las dosis, 0.1, 0.2, 0.4 y 0.8 son iguales, concluyendo así que el tratamiento de la dosis no va a influir en el resultado de oxígeno disuelto y que los mejores momentos de medición para el pH son 10 y 30 minutos, no demostrando diferencias siendo el pH de 8,23.

### Recomendaciones

- La tasa de encalado de los estanques debe basarse en un análisis de alcalinidad total del agua antes de aplicar material calcáreo como tratamiento para aumentar el pH en el agua.
- Realizar pruebas en aguas salobres y salinas con alcalinidades inferiores a 60-80 mg/L, así mismo, en agua dulce con alcalinidad superior a 80-100 mg/L.
- Se recomienda para futuras investigaciones analizar el efecto de la salinidad del agua sobre la solubilidad de insumos calcáreos en la productividad primaria.

## Referencias

1. Tucker, C. S., & D'Abramo, L. R. (2008). *Managing high pH in freshwater ponds*. Stoneville: Southern Regional Aquaculture Center.
2. Twain, M. (2009). Crónicas del agua. *Vida científica*, 1, 92-105.
3. Perez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 29(3), 3 - 14.
4. Freitas, F. (2015). La calidad del agua y las buenas prácticas en acuicultura. *DIVULGACIÓN ACUÍCOLA*(23), 19-25. Recuperado el 7 de Diciembre de 2019, de <https://www.balnova.com/el-agua-y-la-camaronicultura-parte-iii/>
5. Wurts, W., & Masser, M. (2013). Liming Ponds for Aquaculture. *SRAC*(4100), 1-5.
6. Crosby, D., Nerrie, B., & Gregg, C. (2020). Liming Farm and Recreational Ponds. *Virginia Cooperative Extension*, 1-4.
7. Quituisaca, A., & Arturo, J. (2016). *Caracterización del agua subterránea para uso en actividades productivas y humanas en el cantón Pasaje 2014*. Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Machala, Machala. Recuperado el 7 de Diciembre de 2019, de [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2692/1/CD409\\_TESIS.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2692/1/CD409_TESIS.pdf)
8. Vergara, P. (16 de Marzo de 2014). *Proceso de interacción agua-roca, variaciones geoquímicas de aguas subterráneas en el proyecto Sierra Gorda, Región de Antofagasta*. Tesis, Universidad de Chile.
9. Wurts, W., & Durborow, R. (1992). Interactions of pH, Carbon Dioxide, Alkalinity and Hardness in Fish Ponds. *Southern Regional Aquaculture Center*(464).
10. Boyd, C. E., & Hanson, T. (2010). Dissolved-oxygen concentration in pond aquaculture. *Global aquaculture advocate*, 40-41.
11. Boyd. (2003). Bottom Soil and Water Quality Management in Shrimp Ponds. *Appl. Aquac.*, 13(1-2), 11-33 [http://dx.doi.org/10.1300/J028v13n01\\_02](http://dx.doi.org/10.1300/J028v13n01_02).

12. Poonam, T., Tanushree, B., & Sukalyan, C. (2013). WATER QUALITY INDICES- IMPORTANT TOOLS FOR WATER QUALITY ASSESSMENT: A REVIEW. *International Journal of Advances in Chemistry (IJAC)*, 1(1), 15-28. doi: 10.5121/ijac.2015.1102.
13. Marcus, Y. (2009). Effect of Ions on the Structure of Water: Structure Making and Breaking. *Chemical Reviews*, 109(3), 1346–1370. doi: 10.1021/cr8003828.
14. Alba, F., & Hernández, N. (2015). El agua dulce en el presente y futuro de México. *CESOP*(206), 1-41. doi:10.13140/RG.2.2.10381.33764.
15. Sharp, K. (2001). Water: Structure and Properties. *eLS*, 1-7. doi:10.1038/npg.els.0003116.
16. Jeldres, R., Picerros, E., Valenzuela, J., & Robles, P. (2019). Remoción de Calcio y Magnesio en Agua de Mar para Mejorar la Concentración de Sólidos en la Descarga de Espesadores. *Información tecnológica*, 30(5), 291-298. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500291> .
17. Gómez, H. R., & Escobar, E. A. (2019). *LA CALIDAD DEL AGUA Y LA PRODUCTIVIDAD DE UN ESTANQUE EN ACUICULTURA*. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Acuicultura. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Recuperado el 7 de Diciembre de 2019, de <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34940>
18. Hok, H., Teh, S., Lee, E., Tan, W., Sagathevan, K., & Low, A. (2018). Derivation of optimal fish stocking density via simulation of water quality model E2Algae. *AIP Conference Proceedings*, 1974(1), 020042-7. <https://doi.org/10.1063/1.5041573>.
19. Claude, B., Tucker, C., & Somridhivej, B. (2016). Alkalinity and Hardness: Critical but Elusive Concepts in Aquaculture. *JOURNAL OF THE WORLD AQUACULTURE SOCIETY*, 47(1), 6-41. doi: 10.1111/jwas.12241.
20. Furtado, P., Poersch, L., & Wasielesky, W. (2011). Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems. *Aquaculture*, 321(1-2), 130-135. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.08.034.

21. Fitrani, M., Wudtisin, I., & Kaewnern, M. (2020). The impacts of the single-use of different lime materials on the pond bottom soil with acid sulfate content. *Aquaculture*, 527, 735471. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735471>.
22. Thunjai, T., Boyd, C., & Boonyaratpalin, M. (2004). Quality of liming materials used in aquaculture in Thailand. *Aquaculture International*(12), 161-168. doi:10.1023/B:AQUI.0000032062.89145.5b .
23. Boyd, C. (2017). Use of agricultural limestone and lime in aquaculture. *CAB Reviews*, 12(15), 1-10. doi:10.1079/PAVSNNR201712015. Recuperado el 4 de Febrero de 2020
24. Queiroz, J., Nicolella, G., Wood, C., & Boyd, C. (2004). Lime application methods, water and bottom soil acidity in fresh water fish ponds. *Scientia Agricola*, 61(5), 469-475. doi:10.1590/S0103-90162004000500001 .
25. Arboleda, A. (2006). Limnología aplicada a la acuicultura - (Limnology applied to the aquaculture). *Revista electronica de veterinaria*, 7(11), 1-23. ISSN 1695-7504.
26. Alarcon, S. G., León, J., Fierro, J., Ramírez, J., Fregoso, M., Frías , M., . . . Páez, F. (2021). Water quality, water usage, nutrient use efficiency and growth of shrimp *Litopenaeus vannamei* in an integrated aquaponic system with basil *Ocimum basilicum*. *Aquaculture*, 543, 737023. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737023>.
27. Brands, E., Rajagopal, R., Eleswarapu, U., & Li, P. (2017). Groundwater. *The International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*(1-17. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0677>).
28. Elango, L., & Kannan, R. (2007). Chapter 11 Rock–water interaction and its control on chemical composition of groundwater. *Developments in Environmental Science*, 5, 229-243. [https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(07\)05011-5](https://doi.org/10.1016/S1474-8177(07)05011-5).
29. Pagano, R. R. (2006). *Estadística para las ciencias del comportamiento*. Cengage Learning Editores S.A. de C.V.

30. Shaltami, O., & Bustany, I. (2021). WATER QUALITY – A REVIEW . *International Symposium on Geosciences (ISG2021)* , 56-62.
31. Eisenberg, D., & Kauzmann, W. (2005). *The Structure and Properties of Water*. New York: Oxford University Press.
32. Kim, S.-K., Venkatesan, J., & Sudha, P. (2011). *Marine Cosmeceuticals: Trends and Prospects*. (S.-K. Kim, Ed.) CRC Press.
33. Vallejo, G., Fernández, P., & Rojas, P. (2010). Pruebas robustas para modelos ANOVA de dos factores con varianza heterogéneas . *Psicológica*, 31(1), 129-148. ISSN: 0211-2159.
34. Bhateria, R., & Jain, D. (2016). Water quality assessment of lake water: a review. *Sustainable Water Resources Management*, 2(1), 161-173. doi:10.1007/s40899-015-0014-7.
35. Sá, M. V., & Boyd, C. E. (2017). Role of salinity in the dissolution rates of CaCO<sub>3</sub> and its implications for aquaculture liming. *Aquaculture Research*, 1-6. <https://doi.org/10.1111/are.13489>.
36. Sá, M., & Boyd, C. E. (2016). 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>.
37. Sá, M., & Boyd, C. E. (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>.
38. Boyd, C. E. (2017). Chapter 6 - General Relationship Between Water Quality and Aquaculture Performance in Ponds. *Fish Diseases* , 147-166. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00006-5>.
39. Neves, G., Presa, L. S., Maltez, L. C., Monserrat, J. M., & Garcia, L. (2022). Calcium carbonate addition reduces nitrite toxic effects in pacu *Piaractus mesopotamicus* juveniles. *Aquaculture*, 547, 7347444. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737444>.

40. Nindarwi, D. D., Rochman, A. N., Tsany, M. R., Rachmawati, V., & Masithah, E. D. (2019). STUDY OF CALCIUM HYDROXIDE (Ca(OH)<sub>2</sub>) AND SODIUM BICARBONATE (NaHCO<sub>3</sub>) TREATMENT ON THE DYNAMICS OF pH, COD, N/P RATIO AND PLANKTON ABUNDANC. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 8(2), 72-79. <http://dx.doi.org/10.20473/jafh.v8i2.12428>.
41. Boyd, C. E., Torrans, E., & Tucker, C. S. (2017). Dissolved Oxygen and Aeration in Ictalurid Catfish Aquaculture. *JOURNAL OF THE WORLD AQUACULTURE SOCIETY*, 1(49), 7-70. doi: 10.1111/jwas.12469.
42. Salazar, D. R., Acuña, R. S., Maestre, R. B., & Salazar, A. N. (2021). RECAMBIO DE AGUA, SU EFECTO SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y CRECIMIENTO EN JUVENILES DE TILAPIA ROJA. *ESPAMCIENCIA para el agro*, 12(1), 8-16. ISSN:1390-8103.
43. Prangnell, D. I., & Samocha, T. M. (2019). Disease and Biosecurity. *Sustainable Biofloc Systems for Marine Shrimp*, 219-241. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818040-2.00012-5>.
44. Brooks, B. W., & Conkle, J. L. (2019). Commentary: Perspectives on aquaculture, urbanization and water quality☆. <https://www.sciencedirect.com/journal/comparative-biochemistry-and-physiology-part-c-toxicology-and-pharmacology>, 217, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2018.11.014>.