



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA VARIACIÓN ESPACIAL DE LA
CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN ESTANQUES
ACUÍCOLAS EN ÉPOCA FRÍA

CELI FREIRE HAROLD SELVIT
INGENIERO ACUÍCULTOR

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA VARIACIÓN ESPACIAL
DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN
ESTANQUES ACUÍCOLAS EN ÉPOCA FRÍA

CELI FREIRE HAROLD SELVIT
INGENIERO ACUÍCULTOR

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

EXAMEN COMPLEXIVO

FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA VARIACIÓN ESPACIAL DE LA
CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTTO EN ESTANQUES ACUÍCOLAS EN
ÉPOCA FRÍA

CELI FREIRE HAROLD SELVIT
INGENIERO ACUÍCULTOR

SANTACRUZ REYES ROBERTO ADRIAN

MACHALA, 20 DE SEPTIEMBRE DE 2021

MACHALA
20 de septiembre de 2021

Trabajo de titulación

por Harold Celi

Fecha de entrega: 25-ago-2021 11:22a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1635823573

Nombre del archivo: CELI_FREIRE_HAROLD_SELVIT_turnitin.docx (660.25K)

Total de palabras: 6681

Total de caracteres: 36226

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

El que suscribe, CELI FREIRE HAROLD SELVIT, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA VARIACIÓN ESPACIAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN ESTANQUES ACUÍCOLAS EN ÉPOCA FRÍA, otorga 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 tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara 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.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume 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.

Machala, 20 de septiembre de 2021



CELI FREIRE HAROLD SELVIT
3040022158

RESUMEN

El incremento de la producción acuícola ha sido tal, que hoy en día más de la mitad de los mariscos provienen de esta industria. Sin embargo, este incremento en la producción ha supuesto la aparición de problemas en el cultivo debido a la sobreexplotación, contaminación, mayor susceptibilidad a enfermedades provocadas por microorganismos patógenos y malas prácticas de la actividad, que provocan alteraciones en los factores físico-químicos del hábitat. Un problema común son las fluctuaciones de oxígeno disuelto en el estanque, provocadas por el uso indiscriminado de fertilizantes, sobrealimentación, capacidad de carga superada y mal manejo de los protocolos de calidad de agua. Aunque estos problemas son frecuentes durante la época de calor, existen ocasiones durante la época fría donde se pueden presentar reducciones drásticas de oxígeno disuelto, debido a la falta de luminosidad y nubosidad propias de esta estación del año, prolongando la respiración del fitoplancton. La falta de oxígeno en los estanques puede afectar gravemente a los organismos, ya que provoca la disminución en la ingesta de alimento, aumento de uso de energía en procesos fisiológicos para sobrevivir, reducción del crecimiento, debilitación del sistema inmune y posteriormente la muerte. Las estrategias para combatir las disminuciones de oxígeno durante la época de frío se basan en modificar los protocolos de producción, teniendo en cuenta el factor climático. Además, es importante gestionar antes del cambio de clima la densidad de siembra, implementar aireadores mecánicos, así como controlar la tasa de alimentación y de recambio de agua.

Palabras clave: temperatura, oxígeno disuelto, época fría, producción acuícola, estanques.

ABSTRACT

The increase in aquaculture production has been such that today more than half of the seafood comes from this industry. However, this increase in production has led to the appearance of problems in the crop due to overexploitation, greater susceptibility to diseases caused by pathogenic microorganisms and bad management practices, which cause alterations in the physical-chemical factors of the aquaculture environment. A common problem is the fluctuation of oxygen in the ponds, caused among other reasons by the indiscriminate use of fertilizers, overfeeding, the pond's exceeded carrying capacity and poor management of water quality. Although these problems are frequent during the hot season, there are occasions during the cold season where drastic reductions in dissolved oxygen can occur, due to the lack of luminosity and cloudiness typical of this season of the year, which extends the respiration of the phytoplankton. The lack of oxygen in the aquaculture ponds can seriously affect the culture organisms, because it causes: a decrease in feed intake, an increase in the use of energy spent in surviving, a reduction in growth, a weakening of the immune system and finally death. The strategies to overcome the decrease of oxygen in aquaculture ponds during the cold season are based on modifying production protocols, taking into consideration the climatic factor. In addition, it is important to manage the stocking density before the climate change, to install mechanical aerators, as well as a more strict control on the feeding rate and water exchange rate in the ponds.

Keywords: temperature; dissolved oxygen; cold season; aquaculture production; ponds

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. DESARROLLO.....	7
2.1. IMPORTANCIA DEL OXÍGENO DISUELTO EN ESTANQUES ACUÍCOLAS.....	7
2.2. FUENTES DE OXÍGENO.....	8
2.2.1. Difusión de oxígeno atmosférico.....	8
2.2.2. Fotosíntesis.....	9
2.2.3. Aireación mecánica.....	10
2.2.4. Recambio de agua.....	11
2.3. CONSUMO DE OXÍGENO.....	11
2.3.1. Animales de cultivo.....	11
2.3.2. Plancton.....	12
2.3.3. Mineralización de la materia orgánica.....	13
2.3.4. Sobrealimentación.....	14
2.4. FACTORES QUE AFECTAN A LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO.....	15
2.4.1. pH.....	15
2.4.2. Turbidez.....	16
2.4.3. Clima.....	17
2.4.4. Salinidad.....	17
2.4.5. Temperatura.....	17
2.5. CONSECUENCIAS DE LA CONCENTRACIÓN BAJA DE OXÍGENO EN ANIMALES DE CULTIVO.....	18
3. CONCLUSIÓN.....	21

4. BIBLIOGRAFÍA.....23

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1: Transferencia de un gas que no está en equilibrio.	10
Figura 2: Comportamiento del oxígeno disuelto en relación a la biomasa de fitoplancton.....	10
Figura 3: Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en relación a la cantidad de fitoplancton.....	14
Figura 4: Origen de la materia orgánica en un estanque acuícola.....	14
Figura 5: Ciclo de nutrientes en un estanque acuícola.....	16
Tabla 1: Rangos óptimos para la trucha <i>Oncorhynchus mykiss</i>.....	8
Tabla 2: Efecto de la concentración de oxígeno en camarones <i>Litopenaeus vannamei</i>....	20

1. INTRODUCCIÓN

Gracias a la experiencia, la necesidad, las pruebas y los errores de las personas que se dedican a cultivar especies acuáticas, la acuicultura ha ido evolucionando a pasos agigantados durante las últimas décadas. Este desarrollo en el campo acuícola ha provocado un impacto positivo tanto a nivel social como a nivel económico y cultural, haciendo que hoy en día la acuicultura provea más de la mitad del pescado a nivel mundial.

Para ofrecer mayor cantidad de productos acuícolas, es necesario optar por incrementar las densidades de siembra u optimizar los sistemas de producción actuales. Sin embargo, al referirnos a la producción en estanques, hay que considerar que poco o nada se puede controlar este ambiente de cultivo, por lo que prácticamente estos sistemas quedan a expensas de las condiciones ambientales de la zona en la que se encuentra. Durante el manejo de una producción en estanque, es posible encontrarse con diversos problemas como presencia de materia orgánica, fluctuaciones marcadas en los parámetros físico-químicos, susceptibilidad a enfermedades, así como también el incremento en la frecuencia de concentraciones bajas de oxígeno disuelto, entre otros. A pesar de que este tipo de contratiempos se presentan con mayor frecuencia durante la época de calor por el motivo de la influencia de la temperatura sobre todos los organismos ya que acelera su metabolismo, en algunas ocasiones se puede observar repentinas disminuciones de oxígeno en el transcurso de la época de frío.

Al estudiar el problema durante la época de frío, surgen diferentes teorías sobre los posibles causantes de dicho inconveniente, dejando así a un lado la posibilidad de que el principal problema sea la temperatura elevada. Es por ello que el objetivo del presente trabajo es investigar las posibles causas por las que la concentración de oxígeno disuelto disminuye excesivamente en la época de frío y proponer posibles soluciones o decisiones preventivas para minimizar los problemas en los estanques de producción. Para ello se realizó una investigación tomando información de tesis doctorales, artículos científicos, y otros documentos con bases contundentes donde respaldar la información presentada en este trabajo.

2. DESARROLLO

2.1. IMPORTANCIA DEL OXÍGENO DISUELTO EN ESTANQUES ACUÍCOLAS

El oxígeno es de vital importancia para la mayoría de organismos vivos tanto terrestres como acuáticos. Sarmiento (2006) menciona que existen especies que necesitan altas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua como la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss*, la cual requiere mínimo 5 ppm de oxígeno, sin embargo, su rango óptimo es de 6 a 8 ppm, y una temperatura de entre 10 a 18°C; además, Carranza (2020) indica que el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* requiere de un intervalo de oxígeno disuelto de 4 a 7 ppm. Por otro lado, también existen especies que requieren poca o casi nula presencia de oxígeno disuelto. Es importante recalcar el rol que desempeña la temperatura en la concentración de oxígeno disuelto en el agua, tanto en los animales como en los microorganismos.

PARAMETRO	NIVEL ACEPTABLE
Temperatura ideal	10 a 18 °C
Oxígeno Disuelto	>5 mg por litro
PH	6.7 a 9.0 unidades
Alcalinidad	20 a 200 mg/l (como CaCO ₃)
Dióxido de Carbono	<2 mg/l
Calcio	>52 mg/l
Zinc	<0.04 mg/l a un pH de 7.6
Cobre	<0.006 mg/l en agua blanda <0.3 mg/l en agua dura
Hierro	<1.0 mg/l
Amoniac (NH ₃)	<0.012 mg/l
Nitritos (NO ₂)	<0.55 mg/l
Nitratos (NO ₃)	<1.0 mg/l
Nitrógeno	<110% de saturación total
Sólidos en suspensión	<80 mg/l
Sólidos disueltos	<500 mg/l
Sulfuro de hidrógeno	<0.002 mg/l

Tabla 1: Rangos óptimos para la trucha *Oncorhynchus mykiss*. (Sarmiento, 2006).

En todos los ecosistemas acuáticos, encontramos diversos parámetros físico-químicos, en donde resalta la concentración de oxígeno disuelto por su importancia, no solo para la respiración de los animales, sino también porque influye en varios procesos como la mineralización de la materia orgánica y actividad microbiana (Carranza, 2020). El poder tener oxígeno disuelto disponible para poder realizar los procesos metabólicos o no, deriva en una gran diferencia. Una disminución de 1 ppm en la concentración de oxígeno puede llegar a

resultar en una reducción de energía empleada para la producción de biomasa de un 25%, es decir, un 25% menos de crecimiento durante el tiempo en donde el oxígeno se mantenga bajo (Puente, 2009), llegando incluso a provocar la muerte.

2.2. FUENTES DE OXÍGENO

El oxígeno disuelto es el factor con mayor repercusión en los organismos vivos ya que regula el metabolismo de los animales. Este papel es otorgado debido a su participación directa en la fosforilación oxidativa, proceso de obtención de energía a partir de la respiración. Dentro de este mecanismo, el último aceptor de electrones de la cadena respiratoria es el oxígeno, haciendo capaz a todos los animales aerobios de aprovechar de mejor manera la energía que los enlaces de carbono liberan mediante el ciclo de Krebs (Puente, 2009).

En estanques acuícolas, el oxígeno disuelto puede ingresar de diversas formas; de manera natural la fotosíntesis y difusión de oxígeno atmosférico, por otro lado, el ser humano puede hacer que la concentración de oxígeno en el agua aumente con ayuda de aireación mecánica y con la apertura y cierre de compuertas para el recambio de agua en un estanque (Boyd y Tucker, 1998).

2.2.1. Difusión de oxígeno atmosférico

La transferencia de gas ocurre cuando existe contacto de una masa de gas en dirección a una solución, siendo condición indispensable que la superficie líquida y la masa de gas estén en desequilibrio (Casey, 1997). Para ello es importante entender el término de solubilidad, ya que este modifica su capacidad por diversos factores en el agua. Según Estrada *et al.* (2007) la solubilidad es definida como la composición analítica de una disolución la cual se encuentra saturada de uno de los componentes de esta mezcla. Cabe destacar que existen diversos factores que influyen en la solubilidad de los gases en el agua, entre los que se encuentran la presión del gas, naturaleza química del gas, concentración de sólidos disueltos, sin embargo, el más conocido es la temperatura del agua (Mallqui, 2019).

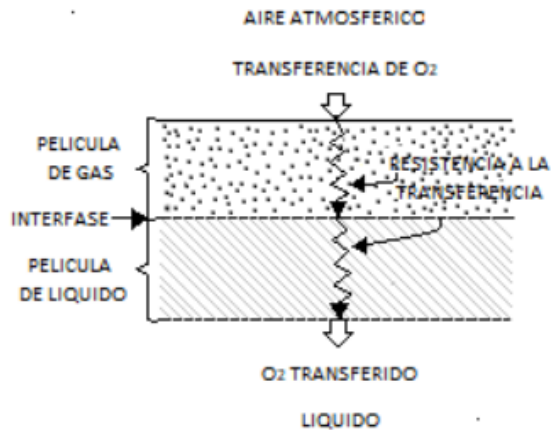


Figura 1: Transferencia de un gas que no está en equilibrio. (Mallqui, 2019).

2.2.2. Fotosíntesis

El fitoplancton existente en el agua produce oxígeno y consume dióxido de carbono durante el día, sin embargo, en la noche las microalgas respiran al igual que los demás organismos. Estas células fitoplanctónicas son responsables de la producción de la mayoría del oxígeno disuelto en el agua, aunque también existen otras fuentes, pero en menor proporción (Cabrera y Lara, 2014). Si bien se podría pensar que a mayor cantidad de microalgas presentes en el agua debería ser mayor la concentración de oxígeno, esta afirmación no es del todo cierta ya que de la misma manera que durante el día producen mucho oxígeno, durante la noche respiran excesivamente también, sin olvidarnos del proceso de respiración de los otros organismos durante las 24 horas del día como los peces, camarones o moluscos, y toda la comunidad microbiana (Carchipulla, 2018).

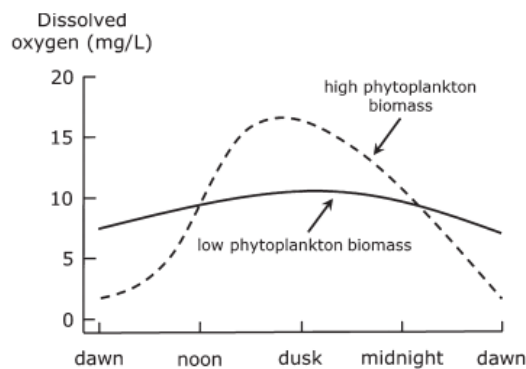


Figura 2: Comportamiento del oxígeno disuelto en relación a la biomasa de fitoplancton. (Boyd *et al.* 2018).

2.2.3. Aireación mecánica

Otra forma de ingreso de oxígeno en el agua es el uso de aireación mecánica durante las horas de la madrugada y la mañana, ya que es el lapso de tiempo durante las 24 horas del día donde la concentración de oxígeno es menor (Oberle *et al.*, 2019). Este método es empleado para lograr mantener la concentración de oxígeno disuelto por encima de 3 mg/L, debido a que en caso de que la concentración se redujera en exceso, se alcanzaría niveles críticos para ciertas especies de cultivo produciendo diversos problemas e incluso la muerte (Boyd *et al.*, 2018). Existen varios tipos de aireadores con fines acuícolas, por ejemplo, los aireadores flotantes con bomba sumergible, también se utilizan burbujeadores, bombas centrífugas y aireadores con paletas, entre otros (Jimbo y Roa, 2011).

Un aireador con bomba de hélice vertical de 3/4 de caballos de fuerza posee una tasa de transferencia de oxígeno de 1,9 libras de oxígeno por hora y una tasa de eficiencia de aireación de 2,5 libras de oxígeno por caballo de fuerza. Un blower o compresor de aire con 3/4 de caballos de fuerza pueden inyectar aproximadamente 0,16 metros cúbicos de aire al agua, sin embargo, por su lento proceso para disolverse las burbujas en el agua, este blower únicamente tiene una tasa de transferencia de oxígeno de 1,4 libras por hora y una tasa de eficiencia de aireación de 1,9 libras de oxígeno por caballo de fuerza. Los aireadores de ruedas de paletas flotan en la superficie y se encuentran conectados a una fuente de energía por medio de un cable impermeable. Las paletas mezclan el aire con el agua y alejan dicha agua oxigenada hacia el estanque creando de esta manera un patrón de circulación de agua. Un aireador de paletas con un motor de 2 hp posee una tasa de transferencia de oxígeno de 5,4 libras de oxígeno por hora y una tasa de eficiencia de aireación de 2,7 libras de oxígeno por hp por hora (Burtle, 2014).

Boyd (1989) indica que el uso de aireación suplementaria en estanques acuícolas puede ser necesaria con frecuencia en cultivos donde la alimentación diaria sea superior a 40 kg / ha. Este dato respalda la información proporcionada por Wyban *et al.* (1989) donde afirma que se puede producir un promedio de 2852 kg / ha de camarón llegando a aplicar una dosis de alimentación máxima en los últimos días de cultivo de 70 kg / ha / día utilizando una aireación total de 5 hp por hectárea.

2.2.4. Recambio de agua

El recambio de agua es una práctica bastante común en los cultivos acuícolas de estanques; dichos recambios de agua oscilan entre el 5 y el 30% diariamente de la capacidad total de los estanques. Uno de los principales beneficios es la mejora en la calidad de agua del estanque, cuando la concentración de oxígeno disuelto en el estanque de cultivo es baja y el agua del canal o reservorio tiene una concentración de oxígeno disuelto mayor, al ingresar el agua mejora la concentración de oxígeno en el estanque (Boyd y Fast, 1992). Asimismo, al evacuar parte del agua del estanque y agregar agua nueva del reservorio o canal; la cantidad de nutrientes, plancton y metabolitos tóxicos disminuye notablemente. Es importante que la compuerta de entrada de agua y la compuerta de salida estén en lados opuestos del estanque para que exista buena circulación de agua (Boyd y Fast, 1992).

2.3. CONSUMO DE OXÍGENO

La demanda de oxígeno en estanques acuícolas suele ser menor que la producción de oxígeno cuando las poblaciones se gestionan adecuadamente, los nutrientes son limitados y el alimento de los organismos se aplica con moderación. El agotamiento de oxígeno inicia cuando los organismos del estanque, ya sea peces o camarones, además de los microorganismos, consumen el oxígeno de manera más acelerada de lo que las algas y la difusión pueden producirlo (Burtle, 2014).

2.3.1. Animales de cultivo

Los camarones de la especie *Litopenaeus vannamei* manifiestan una tendencia disminuyente del consumo de oxígeno conforme van creciendo. Esto se debe a la disminución en la velocidad de su metabolismo el cual se va ralentizando con el paso del tiempo. Sin embargo, el consumo total de oxígeno aumenta debido al tamaño de los individuos necesitando una mayor cantidad de oxígeno (Re *et al.*, 2004). Además, existen otros factores que provocan un aumento en su consumo de oxígeno. La elevación de la temperatura, por ejemplo, provoca un incremento del consumo de oxígeno por parte de los organismos debido a la aceleración de su ritmo metabólico (Re *et al.*, 2004).

Valenzuela *et al.*, (2011) menciona que a una temperatura de 20°C y salinidad de 15 UPS y a una temperatura de 25°C con una salinidad de 45 UPS ocurre un mayor gasto energético en comparación a una temperatura de 30°C y salinidad de 15 UPS, debido al uso de energía para sus procesos de regulación. Esto nos indica que el *Litopenaeus vannamei* alcanza el punto isosmótico a una temperatura cercana a los 30°C y una salinidad próxima a 15 UPS. Por otro lado, Mohammad (2016) indica que la carpa dorada *Carassius auratus* aumenta su tasa de consumo de oxígeno conforme aumenta la temperatura debido a la aceleración de su metabolismo, mencionando que a una temperatura de 13°C la tasa de consumo de oxígeno es de 2 ppm / hora menos que a una temperatura de 18°C.

2.3.2. Plankton

La turbidez hace mención a todo el material que se encuentra suspendido en la columna de agua y restringe el paso de los rayos solares hacia las zonas más profundas. El nivel óptimo aproximado de lectura de un disco secchi debe ser de 30 cm. En caso de que el disco secchi indique una menor transparencia, significa que existe una excesiva cantidad de fitoplancton y por consiguiente durante las noches existirá una mayor respiración disminuyendo la cantidad de oxígeno para los organismos de cultivo (Haws *et al.*, 2001). Asimismo, en los estanques, lagos o cualquier otro ecosistema acuático que no posea mucha circulación de agua, existe la posibilidad de que se produzca un aumento progresivo en la concentración de células fitoplanctónicas debido a la presencia de materia orgánica (Torres, 2020).

Basándonos en el párrafo anterior, es necesario regular y normalizar un rango de concentración de fitoplancton durante todo el ciclo de cultivo, ya que, si bien durante el día producen mucho oxígeno, durante la noche lo consumen, causando un problema especialmente en las zonas más profundas del estanque y provocando la aparición de zonas de hipoxia total desplazando a los animales y mermando su área de distribución (Oberle *et al.*, 2019).

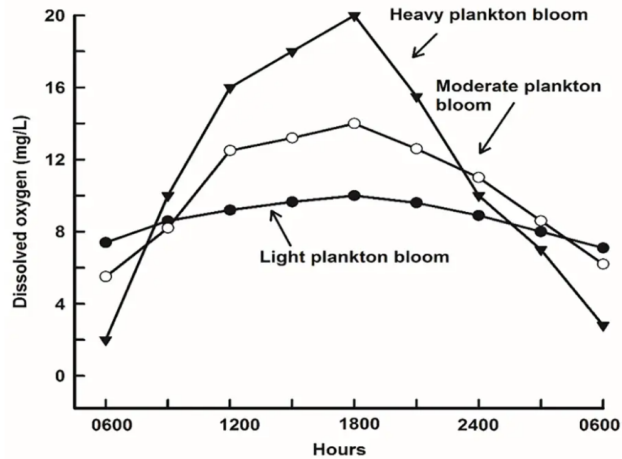


Figura 3: Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en relación a la cantidad de fitoplancton. (Boyd, 2018).

2.3.3. Mineralización de materia orgánica

El agua de los estanques acuícolas generalmente se encuentra cargada de una excesiva concentración de nutrientes y materia orgánica, ricas en carbono, nitrógeno y fósforo; que contribuyen a la reducción del oxígeno disuelto. Los principales motivos por los que se da una elevación en la cantidad de nutrientes disponibles en el agua son la alimentación exógena y la fertilización (Rivas *et al.*, 2009).

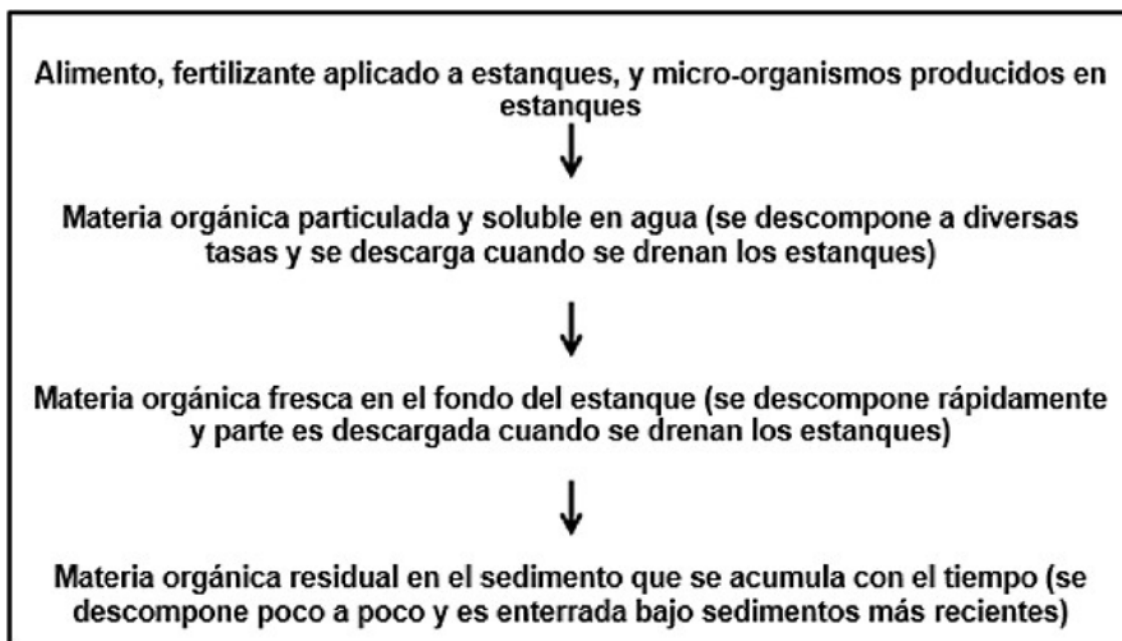


Figura 4: Origen de la materia orgánica en un estanque acuícola. Boyd (2016).

La descomposición orgánica es un grupo de procesos conformado por la digestión, asimilación y metabolización de todo tipo de materia orgánica, ya sea de origen vegetal o animal. Dicho proceso es ejecutado por bacterias, protozoos, hongos y otros microorganismos presentes en el ecosistema (Rivas *et al.*, 2009). Los nutrientes de la materia orgánica no pueden ser absorbidos por las microalgas de manera inmediata, primero deben ser degradados a formas menos complejas a través de un proceso llamado mineralización. Los microorganismos que se encuentran en el suelo también hacen uso de estos nutrientes desdoblados como alimento para formar su biomasa y realizar sus procesos metabólicos (Barattini y Hepp, 2019).

Un rango común de respiración del suelo se encuentra entre 10 y 100 kgCO₂/ha/día, sin embargo, Bowman y Delfino (1980) pudieron observar tasas de respiración entre 275 y 400 kgCO₂/ha/día manteniendo aireación constante. Cuando el oxígeno es consumido en su totalidad, inicia el proceso de desnitrificación, donde las bacterias, en ausencia del mencionado gas, degradan la materia orgánica de manera mucho más lenta liberando compuestos tóxicos para los animales (Torres *et al.*, 2006).

2.3.4. Sobrealimentación

El suministro de alimento artificial altera el ecosistema de cultivo incrementando la concentración de nitrógeno amoniacal, dióxido de carbono y fosfato, y consumiendo parte del oxígeno disuelto debido a los procesos químicos para mineralizar dicha materia orgánica (Boyd *et al.*, 2018). En estanques acuícolas donde se agrega alimento balanceado, no más del 10% del carbono orgánico y del 30% de nitrógeno serán utilizados para crear biomasa, los porcentajes restantes acabarán en el fondo de los estanques, ya sea por lixiviación o por proceso de digestión (Boyd, 2008). La demanda biológica de oxígeno es un parámetro de medición para saber la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para transformar el carbono orgánico en dióxido de carbono y el nitrógeno amoniacal en nitrato (Boyd, 2008).

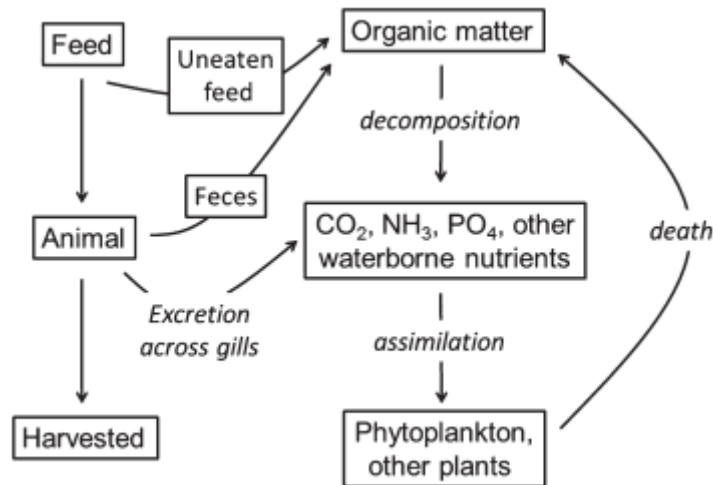


Figura 5: Ciclo de nutrientes en un estanque acuícola. (Boyd *et al.*, 2018)

La cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para mineralizar la materia orgánica proveniente del alimento balanceado dependerá de la composición de cada tipo de alimento según la marca. Por ejemplo, Boyd (2008) menciona que para mineralizar 1 kilogramo de alimento con 6% de contenido de nitrógeno y 45% de carbono es requerido 1.245 kg de oxígeno; comparándolo con otro alimento balanceado en donde su composición era de 45% carbono y 4.5% de nitrógeno, para mineralizar 1 kilogramos de dicho balanceado se requiere de 1.176 kg de oxígeno, mientras que otro con el mismo porcentaje de carbono pero con 7% de nitrógeno la cantidad de oxígeno necesaria para mineralizar 1 kilogramo es 1.290 kg de oxígeno.

2.4. FACTORES QUE AFECTAN A LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO

La concentración de oxígeno en el agua está en constante cambio debido al comportamiento que toma en relación a varios factores como pH, cantidad de fitoplancton, nubosidad, temperatura, salinidad, etc. Estos factores influyen en la variación de la concentración de oxígeno disuelto provocando efectos negativos cuando se acerca a rangos críticos en cada uno de los factores mencionados (Puente, 2009).

2.4.1. pH

El pH es un parámetro que no se toma muy en cuenta a la hora de cultivar organismos acuáticos, pero tiene un efecto importante sobre la concentración de oxígeno disuelto (Krebs,

2003). El pH ideal para la actividad microbiana es de 7 a 8, aunque cada especie de microorganismo posee un rango de pH óptimo diferente (Boyd, 1995). Boyd y Pippopinyo (1994) indican que, al agregar hidróxido de calcio al suelo acuícola, la respiración bacteriana aumenta ya que el pH se eleva por encima de 7. Sin embargo, no es recomendable elevar por encima de 8,5 el pH debido a que ralentiza la descomposición orgánica.

2.4.2. Turbidez

No todos los rayos solares que llegan a la superficie de nuestro planeta son absorbidos y utilizados como fuente de energía, una parte de ellos es reflejada. La disminución en la cantidad de luz solar en la columna de agua se encuentra influenciada por las propiedades de la columna de agua, la presencia de sólidos en suspensión, materia orgánica disuelta y cantidad de pigmentos fotosintéticos (Franklin y Foster, 1998). Normalmente los rayos solares penetran a mayor profundidad en los océanos que en los ecosistemas costeros debido a una menor cantidad de sólidos suspendidos (Edding *et al.*, 2006).

Se debe tener en cuenta que conforme la profundidad de un ecosistema acuático va aumentando, el oxígeno disuelto va disminuyendo debido a la incapacidad de los rayos solares para llegar a zonas más profundas. La zona de compensación es la profundidad en la columna de agua en donde la cantidad de oxígeno producido por las microalgas es igual a la cantidad de oxígeno consumido por los organismos de ese estanque (Moreta, 2008). Por otro lado, Noriega (1979) menciona que en los estanques acuícolas es común que la zona de compensación sea a los 70 centímetros de profundidad, pero que este dato puede verse alterado por factores específicos como la concentración de fitoplancton o disponibilidad de nutrientes.

Las aguas costeras tienden a ser más turbias por la cercanía de los ríos, depositando una mayor cantidad de nutrientes disponibles para la microbiota y fitoplancton (Morón y Marquina, 1997). Como se mencionó previamente, el exceso de nutrientes en el agua es aprovechado por las microalgas aumentando su velocidad de reproducción. El fitoplancton consume dichos nutrientes liberados por el proceso de mineralización, habiendo ocasiones en las que termina creándose una capa de grumos en la superficie que impide la penetración de los rayos solares, disminuyendo así la concentración de oxígeno disuelto (Milstein, 2012).

2.4.3. Clima

Cuando las algas y plantas tienen una alta cantidad de horas de luz durante el día pueden suministrar suficiente oxígeno al agua mediante la fotosíntesis, además de la difusión de oxígeno atmosférico en la superficie. Por lo general, durante el día las microalgas producen oxígeno y durante la noche lo respiran como los demás organismos. Sin embargo, cuando se encadenan varios días seguidos con nubosidad donde los rayos solares apenas hacen contacto con el agua, la concentración de oxígeno en el agua disminuye a niveles más bajos de los habituales ya que las horas de respiración celular se prolongan (Burtle, 2014).

2.4.4. Salinidad

La salinidad influye en la demanda de energía para regular los procesos de ósmosis del animal. Además, la salinidad y la concentración de oxígeno tienen una relación inversamente proporcional ya que al aumentar la salinidad del agua se reduce la concentración de oxígeno disuelto (Yan *et al.*, 2007) debido a que cuanto mayor es la cantidad de minerales presentes en el agua, más se reduce la solubilidad de dicho gas ya que las sales ocupan los espacios intermoleculares restringiendo el espacio para el oxígeno (Carchipulla, 2018). Cuando la salinidad y la temperatura del agua son elevadas pueden llegar a reducir la concentración de oxígeno disuelto hasta en un 65% (Boyd, 2014).

2.4.5. Temperatura

La temperatura es uno de los factores que mayor impacto provoca en la concentración de oxígeno disuelto, la disminución o elevación de esta, repercute de manera directa en la composición química del agua, y a su vez genera un impacto en los organismos vivos que habitan este lugar (Carchipulla, 2018).

Un incremento de la temperatura en el agua de 10°C (de 20 a 30°C), duplica el crecimiento de los organismos y a su vez, el consumo de oxígeno, siendo la época caliente del año mucho más crítica que la época fría (Boyd, 2001). A su vez, Carranza (2020) hizo un proyecto en donde quiso medir la cantidad de oxígeno disuelto que respiraban los camarones *Litopenaeus vannamei* a diferentes temperaturas sin usar aireación externa. Luego de unos

minutos pudo observar que los camarones que estaban a una temperatura de 31°C consumían más oxígeno que los que estaban a 27°C.

Además, es posible percatarnos del importante rol que desempeña la temperatura en el agua, pues esta está relacionada con posibles problemas cuando se eleva en demasía como estrés metabólico, no ingesta de alimento, enfermedad, o la muerte de los organismos de cultivo. Asimismo, también influye en el comportamiento metabólico de flora, fauna y microbiota que se encuentran en el mismo ecosistema, acelerando procesos fisiológicos como la respiración, entre otros (Rondón, 2020).

Por otro lado, cabe recalcar que cuando la temperatura ingresa al cuerpo de agua, se calienta la parte superficial haciendo que esta parte se torne más ligera e impida la mezcla del agua debido a la diferencia en la densidad, por lo que el agua a medida que se encuentre a una mayor profundidad, será más fría. Este proceso en el cual las masas de agua no se logran mezclar verticalmente, se conoce como estratificación térmica, proceso el cual va desapareciendo a lo largo de la noche unificando la temperatura en toda la masa de agua (López *et al.*, 2017). Sin embargo, Gattorno (2019) indica que en ecosistemas con poco flujo de agua en climas tropicales el área donde se estabiliza la temperatura en el agua, conocido como termoclina, se da a los 0,75 metros aproximadamente, y que superando una profundidad de 1.50 metros puede llegar a existir una estratificación térmica prolongada, por lo que una salida de agua (en forma de compuerta) puede ser la solución para romper la estratificación e incrementar la calidad del agua, enfocándonos en la concentración de oxígeno disuelto.

2.5. CONSECUENCIAS DE LA CONCENTRACIÓN BAJA DE OXÍGENO EN ANIMALES DE CULTIVO

Normalmente se tiene la idea de que los animales acuáticos que viven en su ecosistema natural no presentan dificultades para sobrevivir, pero la realidad es que se encuentran en hábitats hostiles. La gran mayoría de organismos acuáticos están rodeados de agua con una cantidad de sales mayores a la que necesitan, además de que existen fluctuaciones drásticas de temperatura y oxígeno disuelto. Los cambios agresivos en los parámetros físico-químicos podrían dañar gravemente las células, tejidos y órganos de los

animales, sin embargo, las compensaciones fisiológicas de control cumplen con la función de mantener el interior de los organismos en condiciones estables (Puente, 2009).

Para el camarón *Litopenaeus vannamei* el rango óptimo de oxígeno disuelto es de 4 a 7 mg/L. Cuando el camarón se encuentra en aguas con una concentración de oxígeno menor a la mencionada, comenzará a gastar más energía haciendo pasar una mayor cantidad de agua por sus branquias, lo que disminuirá la cantidad de energía empleada en el crecimiento, además de una reducción en la ingesta de alimento y conversión alimenticia, reducción en la frecuencia de los procesos de muda y mayor riesgo de ser infectados por microorganismos patógenos llegando a causarles la muerte (Seidman y Lawrence, 1985), incluso, en casos más agravados, se desplazan a la superficie donde la concentración de oxígeno es mayor produciendo un hacinamiento que en lugar de beneficiar, les afecta de manera negativa (Oberle *et al.*, 2019) (Wu, 2002). Si la concentración de oxígeno disuelto se encuentra por encima de 7 mg/L puede ocurrir un trastorno como burbujas en la hemolinfa, lo que provocará un menor crecimiento llegando a la muerte (Martinez, 1999).

Concentración de oxígeno disuelto	Efecto
Menor de 1 o 2 mg/L	Letal si la exposición dura más que unas horas
2 -5 mg/L	Crecimiento será lento si la baja de oxígeno disuelto se prolonga
5 mg/L – saturación	Mejor condición para crecimiento adecuado
Supersaturación	Puede ser dañino, si las condiciones existen por todo el estanque. Generalmente no hay problema

Tabla 2: Efecto de la concentración de oxígeno en camarones *Litopenaeus vannamei*. Tabla tomada de Boyd (2001).

De manera similar, Jiang *et al.* (2005) hicieron un estudio donde dividieron en varios grupos a unos individuos de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y los sometieron a diferentes concentraciones de oxígeno disuelto (7.5, 5.5, 3.5 y 2.0 mg/L) pudiendo manifestar que en las concentraciones de 3.5 y 2.0 mg/L la cantidad de hemocitos en la hemolinfa (células encargadas de eliminar cuerpos extraños del organismo en invertebrados) disminuye de forma considerable y que la actividad de la fenoloxidasa (enzima encargada de la síntesis

del pigmento melanina) aumenta significativamente, indicando que los animales se inmunodeprimen y se sienten en peligro a causa de la falta de oxígeno disuelto en el medio.

El rango óptimo de oxígeno disuelto de la trucha *Oncorhynchus mykiss* es de 6 a 8 mg/L (Sarmiento, 2006), teniendo este dato en cuenta, Valenzuela *et al.* (2002) mencionan que gran cantidad de peces están adaptados a disminuciones en la concentración de oxígeno de corta duración, combatiéndolas con ajustes respiratorios y cardiovasculares donde ralentizan su metabolismo y su requerimiento de oxígeno. Sin embargo, cuando se encuentran en condiciones de hipoxia, las truchas reaccionan ralentizando su respiración y produciendo más cantidad de eritrocitos (células encargadas del transporte de oxígeno), pero este proceso no resulta lo útil que debería ya que, estas células son poco funcionales debido a que sus niveles de hemoglobina son demasiado bajos lo que resulta en una no optimización de la captura de oxígeno.

3. CONCLUSIÓN

Cuando ocurre una pérdida de biomasa importante por una disminución de oxígeno, se obtiene un detrimento económico significativo desde diversos puntos de vista; ya que se deja de cosechar una gran cantidad de producto, y, por otro lado, se deteriora la calidad del suelo y del agua, lo que requiere un gasto económico adicional para subsanar dicho problema. Considerando esto, el oxígeno disuelto es uno de los factores más importantes en la gestión de estanques de acuicultura para evitar mortalidades excesivas. Las condiciones de agotamiento de oxígeno provocan alto estrés, inmunodepresión y mortalidad en los organismos de cultivo, por lo cual es recomendable siempre mantener los niveles de oxígeno por encima del nivel crítico de la especie que se esté cultivando.

Mencionando la importancia del oxígeno disuelto en los estanques, para realizar cualquier modificación previa o durante la época de frío, el factor decisivo que no se puede controlar es el clima, teniendo que contrarrestar el efecto de las pocas horas durante el día donde aparece el sol. Como posibles decisiones preventivas se deberían programar los ciclos de cultivo para que, durante la época de transición de calor a frío los estanques se encuentren secos o con pocos días de haber iniciado el nuevo ciclo, de esta manera se puede aclimatar y reforzar el sistema inmunológico de los animales cultivados. Asimismo, se debe disminuir la densidad de siembra para no exceder la capacidad de carga de los estanques y reducir el alimento exógeno aplicado, asegurando así que la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de la materia orgánica sea menor.

Por otro lado, el encalado en estanques acuícolas es importante por sus múltiples beneficios, sin embargo, se debe tomar en cuenta que eleva el pH del medio, acelerando el metabolismo de la microbiota y la tasa de descomposición de la materia orgánica, provocando así un mayor consumo de oxígeno por parte de los microorganismos. Si durante la época fría no se realizan los procesos necesarios para seguir inyectando oxígeno al medio, este disminuirá hasta agotarse.

Cuando la demanda de oxígeno es mayor a la cantidad de oxígeno producida de manera natural, es necesario colocar aireación mecánica para compensar y suplir este déficit de oxígeno en el estanque. También es de vital importancia el recambio de agua ya que

además de oxigenar el estanque con la mezcla de aire y agua, permite evacuar parte de la materia orgánica, nutrientes y fitoplancton, que como se ha mencionado anteriormente durante la época fría consume más oxígeno del que produce.

Abarcando otro importante tema, en el fondo de los estanques siempre va a haber menor concentración de oxígeno que en la superficie, de este modo, el proceso de mineralización de la materia orgánica el cual ocurre en la parte inferior de los estanques será un proceso lento. Cuando se cosecha el estanque, queda expuesto el suelo a la intemperie, lo que provoca un contacto directo de éste con el oxígeno atmosférico y con los rayos solares, cuando la nubosidad lo permite. Esto acelera el proceso de descomposición de la materia orgánica por lo que sería recomendable dejar los estanques secar durante varios días, ya que cuando no se le da el tiempo suficiente a este proceso y se vuelve a llenar de agua, se inicia un nuevo ciclo con materia orgánica que no se ha mineralizado y que, en conjunto con la materia orgánica que se formará en el nuevo ciclo de producción, consumirá aún más oxígeno dentro del estanque de cultivo.

4. BIBLIOGRAFÍA

Barattini, P. y Hepp, C. (2019). Mineralización de materia orgánica en suelos de la Patagonia. *Informativo INIA Tamel Aike*. 41: 1-4.

Bowman, G y Delfino, J. (1980). Sediment oxygen demand techniques: a review and comparison of laboratory and *in situ* systems. *Water Research*, 14(5), 491-499.

Boyd, C. E. (2018). Dinámica del oxígeno disuelto. Global Aquaculture Alliance. Recuperado en 27/07/2021. Obtenido de:
<https://www.aquaculturealliance.org/advocate/dinamica-del-oxigeno-disuelto/>

Boyd, C. E. (2016). Descomposición y acumulación de materia orgánica en estanques. Global Aquaculture Alliance. Recuperado en 21/07/2021. Obtenido de:
<https://www.aquaculturealliance.org/advocate/descomposicion-y-acumulacion-de-materia-org-anica-en-estanques/>

Boyd, C. E. (2014). *Water Quality An Introduction* (2° ed.). Auburn, Alabama, USA: Springer International Publishing Switzerland 2000. doi: 10.1007/978-3-319-17446-4

Boyd, C. E. (2008). Calculating the Feed Oxygen Demand (FOD) of Aquafeeds. *Journal of Fisheries and Environment*, 32(3), 26-35.

Boyd, C. E. (2001). Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo, en cultivos de camarón. En “Métodos para mejorar la Camaronicultura en Centroamérica” UCA.

Boyd, C. E. (1995). *Bottom soils, sediment and pond aquaculture*. Chapman and Hall, New York, New York, EE.UU: Springer.

Boyd, C. E. (1989). *Water quality management and aeration in shrimp farming* (Fisheries and Allied Aquacultures Department Series No. 2). Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, Alabama.

Boyd, C. E., Torrans, E.L. and Tucker, C. S. (2018). Dissolved Oxygen and Aeration in Ictalurid Catfish Aquaculture. *J World Aquacult Soc*, 49: 7-70. Obtenido de: <https://doi.org/10.1111/jwas.12469>

Boyd, C. E., y Pippopinyo, S. (1994). Factors affecting respiration in dry pond bottom soils. *Aquaculture*, 120(3-4), 283-293.

Boyd, C. E. y Fast, A. W. (1992). Pond monitoring and management. *In*: Fast A.W. and Lester L.J. (Ed). *Marine shrimp culture: principles and practices. Developments in aquaculture and fisheries science, volume 23.* Elsevier Science Publisher B.V., The Netherlands.

Boyd, C. E., y Tucker, C. S. (1998). Water Quality Requirements. *Pond Aquaculture Water Quality Management.* (pp. 87-153) doi:10.1007/978-1-4615-5407-3_3

Burtle, G. (2014). Oxygen Depletion in Ponds. *UGA Extension Circular*, 1048.

Cabrera, S., y Lara, S. (2014). Comparación del crecimiento de post-larvas de camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*, sometidas a dos condiciones experimentales: una alimentada con alimento comercial más biofloc y la otra sin biofloc (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua.

Carchipulla, V. (2018). Importancia del oxígeno disuelto para mejorar la calidad de agua en estanques de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.

Carranza, É. (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*, 13(25), 55-65.

Casey, T. J. (1997). *Unit treatment processes in water and wastewater engineering* (pp. 166-170). Chichester: Wiley.

Edding, M., Tala, F. y Vásquez, J. (2006). Fotosíntesis, productividad y algas marinas. *Fisiología Vegetal. Ediciones Universidad de La Serena*, 1-39.

Estrada, E., Delgado, E. J., y Simón-Manso, Y. (2007). *Modeling the Solubility in Water of Environmentally Important Organic Compounds. Thermodynamics, Solubility and Environmental Issues*, 17–31. doi:10.1016/b978-044452707-3/50004-5

Franklin, L., y Forster, R. (1998). The changing irradiance environment: Consequences for marine macrophyte physiology, productivity and ecology. *Oceanographic Literature Review*, 3(45), 522.

Gattorno, J. (2019). Comportamiento de la estratificación térmica en una laguna de estabilización facultativa. *Revista Científica Agua, Saneamiento y Ambiente*, 14(1).

Haws, M., Boyd, C. E. y Green, B. (2001). Buenas Prácticas de Manejo en el Cultivo de Camarón en Honduras. Honduras.

Jiang, L., Pan, L. y Fang, B. (2005). Effect of dissolved oxygen on immune parameters of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, 18(2), 185-188.

Jimbo, O. y Roa, J. (2011). Diseño y construcción de un sistema prototipo para oxigenación de agua mediante energía solar para la Laguna Daniel Álvarez de la Ciudad de Loja (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

Krebs, L. (2003). Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono (Tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

López, M., Jurado, G., Páez, I., y Madroñero, S. (2017). Estructura térmica del Lago Guamués, un lago tropical de alta montaña. *Revista Luna Azul (On Line)*, (44), 94-119.

Mallqui, E. A. (2019). Evaluación de la velocidad de transferencia de oxígeno, en un sistema de aireación de agua (Tesis de maestría). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Martínez, L. (1999). Cultivo de camarones peneidos: Principios y prácticas. México D. F., México: AGT Editor.

Milstein, A. (2012). Pond Ecology. En Mischke, C. (Ed.), *Aquaculture pond fertilization: Impacts of nutrient input on production* (pp. 23-32). Stoneville, Mississippi, USA: Wiley-Blackwell.

Mohammad, X. (2016). Efecto de la ración de alimento y la temperatura sobre el metabolismo de la carpa dorada (Tesis de pregrado). Universidad del País Vasco, Bilbao, España.

Moreta, J. (2008). La eutrofización de los lagos y sus consecuencias (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Moron, O. y Marquina, R. (1997). Peruvian sea oceanographical aspects during pelagic resources survey from Callao to Paita, Cr. RV Humboldt 9704, Informe Instituto del Mar del Perú, Callao, Perú 127: 31-39.

Noriega, P. (1979). Primary productivity and related fish yield in intensely manured fishponds. *Aquaculture*, 17(4), 335-344.

Oberle, M., Salomon, S., Ehrmaier, B., Richter, P., Lebert, M., & Strauch, S. M. (2019). *Diurnal stratification of oxygen in shallow aquaculture ponds in central Europe and recommendations for optimal aeration. Aquaculture*, 501, 482–487. doi:10.1016/j.aquaculture.2018.12.005

Puente, E. (2009). Respuestas fisiológicas de juveniles de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, a condiciones oscilantes de oxígeno disuelto y temperatura (Tesis doctoral) Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Bolivia.

Re, A., Díaz, F., Sierra, E., y Gómez, S. (2004). Consumo de oxígeno, excreción de amonio y capacidad osmorreguladora de *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson) expuesto a diferentes combinaciones de temperatura y salinidad. *Ciencias marinas*, 30(3), 443-453.

Rivas, Z., Sánchez, J., Troncone, F., Márquez, R., Ledo de Medina, H., Colina, M. y Gutiérrez, E. (2009). Nitrógeno y fósforo totales de los ríos tributarios al sistema Lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*, 34(5), 308-314.

Rondón, D. (2020). Relación entre lo ambiental y lo fisicoquímico. El caso del oxígeno disuelto (Tesis de pregrado). Universidad Pedagógica Nacional, Ciudad de México, México.

Sarmiento, E. (2006). Modelo de un cultivo intensivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Revista electrónica de ingeniería en producción acuícola. Vol. 2(2), 1-3. Obtenido de: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1600>

Seidman, E. y Lawrence, A. (1985). Growth, feed digestibility, and proximate body composition of juvenile *Penaeus vannamei* and *Penaeus monodon* grown at different and dissolved oxygen levels. *J. World Maricul. Soc.* 16: 333-346.

Torres, R. (2020). Estudio de microalgas del sistema lagunario del sur de Tamaulipas (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México.

Torres, M., Fernández, F., Barriga, I. y Ramírez, F. (2006). Dinámica de las bacterias anaeróbicas en las fases terminales de la mineralización de la materia orgánica en el sedimento de los ecosistemas Carretas-Pereyra y Chantuto-Panzacola. *Hidrobiológica*, 16(2), 183-195.

Valenzuela, W., Rodríguez, G., Ponce, J., y Esparza, H. (2011). Efecto de diferentes combinaciones de temperatura y salinidad sobre el consumo específico de oxígeno en el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. *Revista de biología marina y oceanografía*, 46(3), 303-311.

Wu, R. (2002). Hypoxia: From molecular responses to ecosystem responses. *Marine Pollution Bulletin*, 45(1-12), 35-45.

Wyban, J. A., Pruder, G. D. & Leber, K. M. (1989). Paddlewheel effects on shrimp growth, production and crop value in commercial earthen ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 20 (1), 18-23.

Yan, B., Wang, X., y Cao, M. (2007). Effects of salinity and temperature on survival, growth, and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Shellfish Research*, 26(1), 141-146. doi: 10.2983/0730-8000(2007)26[141:EOSATO]2.0.CO;2