



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

CAUSAS Y EFECTOS DE CONDICIONES ANÓXICAS EN ESTANQUES
DE CULTIVO DE *LITOPENAEUS VANNAMEI*

ASTUDILLO MOSCOSO JAIRO STEEVEN
INGENIERO ACUÍCULTOR

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

CAUSAS Y EFECTOS DE CONDICIONES ANÓXICAS EN
ESTANQUES DE CULTIVO DE *LITOPENAEUS VANNAMEI*

ASTUDILLO MOSCOSO JAIRO STEEVEN
INGENIERO ACUÍCULTOR

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

EXAMEN COMPLEXIVO

CAUSAS Y EFECTOS DE CONDICIONES ANÓXICAS EN ESTANQUES DE
CULTIVO DE *LITOPENAEUS VANNAMEI*

ASTUDILLO MOSCOSO JAIRO STEEVEN
INGENIERO ACUÍCULTOR

SANTACRUZ REYES ROBERTO ADRIAN

MACHALA, 26 DE ABRIL DE 2021

MACHALA
26 de abril de 2021

CAUSAS Y EFECTOS DE CONDICIONES ANÓXICAS EN ESTANQUES DE CULTIVO DE Litopenaeus vannamei

por Jairo Astudillo Moscoso

Fecha de entrega: 15-abr-2021 03:55p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1560315609

Nombre del archivo: o_Moscoso_Jairo_Steeven_-_Tesina_-_Documento_final_revision.docx (360.01K)

Total de palabras: 8403

Total de caracteres: 46614

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

El que suscribe, ASTUDILLO MOSCOSO JAIRO STEEVEN, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado CAUSAS Y EFECTOS DE CONDICIONES ANÓXICAS EN ESTANQUES DE CULTIVO DE *Litopenaeus vannamei*, 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, 26 de abril de 2021



ASTUDILLO MOSCOSO JAIRO STEEVEN
0706452067

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico principalmente a Dios, por haberme dado la vida, ser el inspirador y darme la sabiduría para poder culminar mi carrera profesional.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio todos estos años, gracias a ellos he podido culminar mis estudios.

A mis hermanas, cuñado por estar presentes, brindándome el apoyo moral en el transcurso de mis estudios.

A todas las personas que me ayudaron de distintas formas, especialmente aquellos que me brindaron sus conocimientos y consejos.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición y guía pude seguir adelante en mis sueños de ser un profesional.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por abrirme las puertas y permitirme adquirir el conocimiento necesario para desempeñar mi carrera de una manera ética y responsable.

De igual manera mis agradecimientos a mis profesores en especial al Dr. Roberto Santacruz, Ing. Galo Solano, Dr. Colon Velásquez quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

RESUMEN

La producción de camarón blanco del pacífico va a depender directamente de la calidad de agua y sedimento con el que se cuente en la unidad de producción, y de la forma en la que se manejen todas las variables físico – químicas del agua a lo largo de todo el ciclo productivo, ya que el deterioro de la calidad de agua y sedimento traerá consigo consecuencias negativas para la producción de camarón. De todas las variables que se suscitan en el estanque, el oxígeno disuelto (OD) es el factor más crítico, debido a que de este elemento dependen varios procesos que se llevan a cabo en el estanque para la mineralización de la materia orgánica (MO) y además es indispensable para la respiración del organismo en producción. Cuando es nula la concentración de este gas en el agua se producen condiciones anóxicas, lo que dará como resultado la aparición de sustancias reducidas que suelen ser tóxicas para el camarón aun en concentraciones bajas. Los efectos más comunes debido a la baja concentración de OD que se manifiestan en el camarón son menor grado de alimentación, crecimiento y resistencia al ataque de cualquier microorganismo patógeno. Pero cuando la exposición a condiciones de anoxia es muy prolongada se producirán altas mortalidades de camarón diezmado completamente la producción en un lapso corto de tiempo.

Palabras claves: Oxígeno disuelto, materia orgánica, fitoplancton, anoxia, camarón

ABSTRACT

The production of Pacific white shrimp will depend directly on the water and sediment quality that is available in the production unit, and on how all the physical-chemical variables of the water are managed throughout the entire production cycle, since the deterioration of the water and sediment quality will bring negative consequences for shrimp production. Among all of the variables that arise in the pond, dissolved oxygen (DO) is the most critical factor, since several processes for the mineralization of organic matter (OM) that take place in the pond depend on this element, and it is also essential for the respiration of the organisms in production. When the concentration of this gas in the water is zero, anoxic conditions occur, which will result in the formation of reduced substances that are usually toxic to shrimp even at low concentrations. The most common effects due to the low concentration of DO that are manifested by the shrimp are a lower feeding and growth rate, as well as a weak resistance to pathogens. Moreover, when exposure to anoxic conditions is very prolonged, high shrimp mortalities will occur, that can completely diminish the production in a short period of time.

Keywords: Dissolved oxygen, organic matter, phytoplankton, anoxia, shrimp

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Consideraciones sobre calidad de agua en el estanque de acuicultura	6
2.1.1. Oxígeno disuelto.....	7
2.1.2. Salinidad.....	9
2.1.3. Temperatura.....	10
2.1.4. Fotosíntesis y respiración	11
2.1.5. Nitrógeno y fósforo	13
2.1.6. Materia orgánica.....	16
2.2. Sedimentos del fondo y el oxígeno disuelto	17
2.3. Efectos de condiciones anóxicas en el estanque y el camarón	18
3. CONCLUSIÓN	21
4. BIBLIOGRAFÍA	22

1. INTRODUCCIÓN

La actividad acuícola, específicamente la producción de camarón blanco del pacífico *Litopenaeus vannamei* en el Ecuador se ha incrementado drásticamente en los últimos años, el éxito de la producción de este crustáceo bentónico está íntimamente ligado a la calidad de agua y sedimento a lo largo del ciclo productivo. Si la calidad de agua y sustrato se deterioran en el estanque afectará directamente al camarón, manifestándose con altas mortalidades.

Hay que entender que todas las variables de calidad de agua son importantes para el cultivo del camarón, pero la concentración de oxígeno disuelto (OD) es quizás el factor más crítico dentro de la actividad, debido a que bajas concentraciones pueden ocasionar grandes mortalidades rápidamente en el estanque. Al ir decreciendo la concentración de OD en el agua, el camarón comenzará a estresarse, siendo los efectos más comunes, inapetencia, bajo crecimiento y vulnerabilidad al ataque de microorganismos. Por otro lado, si la concentración del OD es muy baja y, además se extiende por prolongados periodos de tiempo, causará la muerte.

El OD en el estanque es consumido mayoritariamente por la respiración del sedimento (mineralización de la materia orgánica - MO) y el fitoplancton durante la noche, mientras que una fracción muy pequeña es captada por el organismo en producción. Cuando existe una concentración elevada de MO y fitoplancton, en el estanque pueden generarse condiciones de anoxia. Además, la solubilidad del OD en el estanque está influenciado por otras variables como son; la temperatura y salinidad, y a medida que se incrementan estos parámetros la solubilidad de este gas en el agua disminuirá.

Si bien la carga bacteriana es sumamente importante para la mineralización y el reciclaje de nutrientes, este proceso consume grandes cantidades de OD más aún cuando la cantidad de MO es elevada, generando condiciones de anoxia en el sedimento, favoreciendo a la formación de compuestos tóxicos o sustancias reducidas, perjudiciales para el camarón.

El fitoplancton viene a ser fundamental para la producción, siempre y cuando se mantenga controlados los blooms, debido a que, si bien proporcionan grandes cantidades de OD al estanque en el día gracias a su proceso fotosintético, en la noche pasarán de productores de OD a consumidores, y si existe una elevada concentración, sumando a la mineralización de la MO, agotarán rápidamente el OD, llevando a condiciones anóxicas, poniendo en peligro a los organismos en producción. Por ende, se debe mantener un equilibrio de las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el agua, debido a que un desequilibrio de estos nutrientes puede llevar a la eutrofización de la misma, o bien a aguas muy claras porque uno de estos dos elementos se encuentra de forma limitada. El fósforo suele ser este nutriente limitante, ya que el sedimento lo capta rápidamente reteniéndolo.

Por lo cual, para tener una óptima producción de camarón o cualquier otra especie acuática, se debe procurar mantener bajos niveles de MO, para que su degradación no consuma grandes cantidades de OD, de igual forma controlar los nutrientes y la productividad primaria para así evitar la eutrofización de las aguas, y de esta manera limitar las condiciones anóxicas dentro de un estanque de producción.

Con lo mencionado previamente el objetivo de la presente investigación es describir los factores que conllevan a que exista la presencia de condiciones anóxicas dentro del estanque de producción, y los efectos que puede traer consigo tanto a los camarones como al estanque.

2. MARCO TEÓRICO

2.1.Consideraciones sobre calidad de agua en el estanque de acuicultura

La calidad del agua está inicialmente dictaminada por la fuente, pero una vez que ya es utilizada dentro de un sistema de producción, su calidad estará influenciada por los procesos biológicos como la fotosíntesis, respiración, y la producción de metabolitos, además de procesos físicos como la acción de la temperatura y el viento. Otra causa que modifica la calidad del agua es de origen antropogénico, ligada al suministro de alimentos artificiales, lo que conlleva a una gran cantidad de sólidos suspendidos y la concentración excesiva de nutrientes, lo que posteriormente da paso a la eutrofización (Van Wyk y Scarpa, 1999).

Para poder lograr una óptima producción de camarón, se debe tener como punto primordial una buena calidad de agua, la cual históricamente se ha logrado mantener mediante la aplicación de numerosos recambios de agua (Otoshi, Arce y Moss, 2003), ya sea para lograr limitar los afloramientos abruptos de fitoplancton que pueden ser perjudiciales, o bien para impedir el deterioro de la calidad de agua dentro del estanque debido a la adición de alimentos artificiales (Burford, Thompson, McIntosh, Bauman y Pearson, 2003).

Boyd (2019) enfatiza que malas condiciones en la calidad de agua y sustrato de un estanque, hacen que el camarón quede completamente vulnerable a cualquier estrés y por ende susceptible a patologías. En este contexto, una de las variables más críticas para los organismos en producción acuícola es la disponibilidad de OD, debido a que es una de las principales causantes de estrés a los organismos cuando se presentan niveles no adecuados, dando como resultado inapetencia, retardado crecimiento y vulnerabilidad a agentes patógenos. Pero cuando se logra mantener óptimas condiciones dentro del estanque, se obtienen resultados positivos, como una alta supervivencia, bajo factor de conversión alimenticia (FCA) y una alta producción (Boyd et al., 2001).

En términos generales, Boyd et al., (2001) indicó que para lograr un óptimo crecimiento y supervivencia de los camarones, es sumamente importante contar con una buena calidad de agua acorde a los requerimientos de la especie.

Entonces la producción de organismos acuáticos va a estar directamente influenciada por la calidad de agua que se tengan en las granjas, debido a que va a estar siempre sujeta a cambios o modificaciones. Cuando se encuentra en óptimas condiciones va a generar una buena producción, pero cuando su calidad ha sido reducida puede llegar a diezmar completamente el cultivo. La calidad del agua va a estar en función de los manejos que se realicen en el estanque, como la fertilización, el alimento suministrado, y otras variables (Egna y Boyd, 1997). De manera similar, la calidad de agua para la producción en las granjas va a depender directamente de donde se encuentre ubicada, y también de la capacidad o eficiencia de bombeo que se tenga frente a la densidad de siembra por unidad de área (Horna y Boyd, 2008).

2.1.1. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto resulta ser la más crítica variable dentro de una producción acuícola, por ende, se debe tener un buen conocimiento de la dinámica del oxígeno dentro de un estanque, debido a que el crecimiento y la resistencia a enfermedades de los organismos se verá afectado por la baja solubilidad y concentración del OD en el agua (Carranza, 2020).

Las fuentes de OD en un estanque son: la difusión del oxígeno atmosférico, la fotosíntesis, los recambios de agua (bombeo) y por último mediante aireación mecánica (Boyd y Tucker, 1998), siendo la proporcionada por la fotosíntesis la más importante dentro de un estanque acuícola (Chien, 1992). La disminución de la presión atmosférica limitará la solubilidad del OD (Boyd y Lichtkoppler, 1979). De igual forma al aumentar la temperatura y la salinidad del agua, la concentración del OD tiende a disminuir por la limitada solubilidad de este gas en función de esas variables. Cuando estos dos factores actúan conjuntamente pueden reducir hasta un 65% la concentración de OD en el agua. Por ende, en la producción acuícola se debe

conocer los requerimientos de oxígeno de la especie cultivada para poder evitar condiciones de anoxia (Boyd, 2015).

La concentración de OD va a influenciar tanto el crecimiento como las diversas actividades que realicen los organismos. Considerando esto, se puede generar un grave problema cuando la concentración de OD en el estanque comienzan a disminuir, siendo los efectos más comunes en el camarón, crecimiento lento, limitada alimentación, aumento de la susceptibilidad a microorganismos patógenos (Supriatna, Marsoedi, Hariati y Mahmudi, 2017), disminución del FCA por el rechazo del alimento y altas mortalidades (Galang et al., 2019).

Por ende, cuando en una operación acuícola se trabaja con muchos organismos, lo más recomendable es hacer uso de aireadores, que van a asegurar que se mantengan concentraciones adecuadas de OD en el agua (Boyd y Tucker, 1998).

Adicionalmente Ulaje (2015) menciona que las bajas concentraciones de OD que se suscitan en un estanque son causadas por sobrealimentación, alta cantidad de MO acumulada y excesiva cantidad de microalgas, lo cual afecta negativamente a los procesos fisiológicos del camarón.

El camarón al ser un organismo bentónico pasará la mayor parte de su ciclo biológico en el fondo del estanque, el cual puede volverse hipóxico e incluso anóxico, debido a que el OD será consumido por la respiración de los camarones, del fitoplancton y la mineralización de la MO acumulada, disminuyendo drásticamente su concentración, e intensificando el problema durante la noche, lo que puede conducir a grandes mortalidades (Jiang, Pan y Fang, 2005). Es por esto que, la intensificación del cultivo está íntimamente ligada a la capacidad de carga del estanque, y está a la vez a la concentración de OD que esté disponible en el estanque. En resumen, se ha podido evidenciar por varios autores que bajas concentraciones de OD, van a incidir en diversos procesos del camarón, como son el crecimiento, muda, osmorregulación, alimentación, sistema inmune y la tasa de supervivencia (McGraw,

Teichert, Rouse y Boyd, 2001; Mugnier y Soyez, 2004; Pérez-Rostro, Racotta y Ibarra, 2004).

Por otra parte, Suárez y Oquendo (2012) mencionan que el consumo de OD en crustáceos está ligado también por el peso del organismo, debido a que cuando tienen un mayor tamaño y peso, la demanda por OD será mayor, a causa del gasto energético para llevar a cabo su proceso metabólico.

Boyd y Tucker (1992) especifican que el consumo o pérdida de oxígeno dentro de un estanque está ligado a tres causas específicas, representando entre el 50 – 55% la tasa de respiración del sedimento, el 40 – 45% consumido por el fitoplancton y finalmente tan solo el 5% es captado por los organismos en producción.

En una investigación publicada por Carranza (2020) se pudo evidenciar que la concentración de OD para *Litopenaeus vannamei* debe estar entre 4 y 7 ppm, ya que a una concentración menor el organismo gastará el 25% de su energía para poder mantener la homeostasis, además no consume alimento, presenta bajo crecimiento, vulnerabilidad al ataque patológico, y estrés fisiológico.

2.1.2. Salinidad

La salinidad hace énfasis en que es la concentración total de diversos elementos que se encuentran disueltos en un cuerpo de agua, y está conformada principalmente de: sodio, magnesio, calcio, potasio, cloruro, sulfato y bicarbonato.

Se estima que el agua de mar posee una salinidad de 34,5 partes por mil (ppt) aproximadamente. En las zonas estuarinas surge una variación de salinidad, la cual va a estar directamente influenciada por el clima, debido a que, durante el invierno donde abundan las lluvias, su salinidad va a ser mucho menor, mientras que cuando existe sequía, la salinidad aumentará. Los estuarios que tienen menor acceso al mar tienden a tener mayor salinidad,

debido a la evaporación que se produce dando como resultado una elevada concentración de iones (Boyd et al., 2001).

A medida que aumenta la salinidad, se incrementa la presión osmótica, y debido a que los organismos acuáticos difieren del grado de soportar dicha presión van a tener diferentes requerimientos de salinidad (Boyd y Lichtkoppler, 1979). Boyd y Tucker (1998) resaltan que cada organismo necesita su grado de salinidad, ya que esta va incidir directamente en su crecimiento, reproducción y supervivencia. En este contexto, se ha podido identificar que en el camarón el factor que incide en la demanda osmorreguladora es la salinidad (Yan, Wang y Cao, 2007). También puede influenciar a otras variables como es el caso de la solubilidad de gases, que es mucho más limitada conforme aumenta la salinidad en el agua (Boyd y Tucker, 1998).

Según el estudio de Arzola, Piña, Nieves y Medina (2013) en el cual se midió el gasto energético en postlarvas de camarón *Litopenaeus vannamei*, se indica que se producirá un menor gasto energético a una salinidad que oscile entre los 15 a 25 ppt conjuntamente a una temperatura en el agua entre los 25 y 30°C. Ya que al encontrarse en un ambiente idóneo tanto en temperatura y salinidad, los organismos lograrán un mejor desarrollo.

2.1.3. Temperatura

Los organismos acuáticos como peces y crustáceos tienen una peculiaridad, la temperatura interna que poseen es prácticamente igual que la del agua, y se los conoce como poiquiloterms. Siendo esta la razón por la cual la temperatura tiene un efecto directo en los procesos bioquímicos al interior de los organismos, ya que afecta directamente a su metabolismo. Los procesos biológicos tienden a duplicarse por cada 10 °C que se incremente la temperatura en el agua. Esto quiere decir, que una especie acuática, en este caso el camarón tendrá un mayor crecimiento y aumento de la tasa respiratoria a 30 °C que a 20 °C (Boyd et al., 2001). El consumo de oxígeno en función de la temperatura aumentará en el estanque hasta, que se alcance un valor máximo de temperatura aún tolerable para los camarones, donde el consumo máximo de OD estará en un rango muy limitado, ya que, al aumentar la

temperatura por encima del punto tolerable, la tasa de respiración del camarón irá decreciendo hasta que el organismo muera (Boyd y Tucker, 1998).

Además, la temperatura puede interactuar con otras variables físico – químicas del estanque; incide directamente en la solubilidad de los gases (siendo el gas más importante el oxígeno disuelto) (Boyd y Tucker, 1998), la velocidad y proceso de muchas reacciones químicas tanto en el sedimento como en el agua (Boyd et al., 2001), y cuando los valores de pH y temperatura son elevados favorecen la formación de amonio no ionizado, pudiendo incrementarse desmesuradamente hasta alcanzar concentraciones que generaran un efecto tóxico a los organismos (Vinatea, 2002).

La luz solar también ejerce un cambio en la temperatura dentro del cuerpo de agua, ya que calienta rápidamente la superficie donde los rayos penetran con una mayor facilidad, en comparación con el fondo. Aquí se produce un fenómeno que se denomina estratificación térmica, debido que al producirse un incremento de la temperatura por encima de los 4°C en el agua superficial (Epilimnion) su densidad disminuirá provocando que sea más ligera, logrando que no se pueda mezclar con el agua que se encuentra en fondo (Hipolimnion) (Boyd y Tucker, 1998).

2.1.4. Fotosíntesis y respiración

Dentro de la actividad acuícola, las comunidades fitoplanctónicas vienen a ser los organismos vegetales más importante dentro del sistema, dado que en ciertos cultivos donde la producción depende de alimento natural, vienen a ser la base de la cadena alimentaria dentro del estanque. Y además son fundamentales aun cuando la producción depende de alimento exógeno, debido a que contribuyen en la producción de OD y a la conservación de buenas condiciones ambientales dentro del estanque dado que forman parte de la comunidad microbiana (Boyd y Tucker, 1998). Además, son indicadores biológicos sobre la calidad de agua del estanque, debido a que son organismos muy sensibles a cambios bruscos que se generen en el agua (Jamshid, Mohsenizadeh y Omid, 2016). Por ende, en los últimos años

se ha establecido un fuerte vínculo entre el fitoplancton y la calidad del agua, ya sea en condiciones naturales o artificiales (Lv et al., 2014; Masmoudi et al., 2015).

Se debe entender la importancia que representa la fotosíntesis dentro de un estanque, ya que es la principal fuente de energía dentro de la producción acuícola, y además contribuye a la producción de grandes cantidades de OD en el sistema y, por último, proporciona una fuente de MO que sirve como alimento en los sistemas acuícolas (Boyd y Tucker, 1998). En la producción de camarón las bacterias se encargan de descomponer el alimento sobrante y los metabolitos producidos por los camarones en nutrientes (Kumar, Roy, Meena y Sarkar, 2016; Tan, Chan, Lee y Goh, 2016), los que posteriormente son usados por la productividad primaria, logrando aumentar su cantidad o biomasa (Burford et al., 2003).

Adicionalmente, la MO disuelta producida por el fitoplancton vivo y las células muertas afectan a las comunidades bacterianas que están dentro del estanque (Landa et al., 2015; Logue et al., 2015; Lucas et al., 2010), ya que la MO que generan puede acumularse en el sedimento, favoreciendo la creación de un sustrato propicio para agentes probióticos o infecciosos durante la cría del camarón, por ende, se debe tener controlada la cantidad de fitoplancton en el estanque (Zhu et al., 2016).

Por otro lado, durante la respiración ocurre todo lo contrario, dado que el carbono que se encuentra en una forma orgánica, es oxidado dando como resultado que se genere CO_2 , agua, y la liberación de energía (Wurts y Durborow, 1992).

Hay que saber que existen grandes fluctuaciones del pH durante el día influenciado directamente por la respiración y la fotosíntesis, debido a que mientras se realiza el proceso fotosintético, se tomará constantemente CO_2 del agua y se generará la liberación de OD y además se incrementará el pH (Boyd y Tucker, 1998). Mientras que, durante la noche por el cese del proceso fotosintético la concentración de OD tiende a disminuir, atribuyéndose esto a la respiración del organismo en producción, el fitoplancton y bacterias aeróbicas que degradan la MO (Espinoza et al., 2015), lo que consecuentemente generará la liberación de

CO₂, que reacciona con el agua, haciendo que se produzca H₂CO₃, causando que el pH disminuya (Wurts y Durborow, 1992).

Si bien el fitoplancton mediante su proceso fotosintético proporciona grandes cantidades de OD, se debe procurar regular durante el día su concentración, ya que al tener una cantidad excesiva generará que por la noche consuman un gran porcentaje de OD del estanque, llegando a causar altas mortalidades en la producción (Ulloa, 2015).

2.1.5. Nitrógeno y fósforo

Estos dos elementos son los de mayor relevancia dentro de un estanque de producción, debido a que la cantidad de fitoplancton estará íntimamente ligada a la concentración de estos elementos en el agua (Boyd, 2018).

La mayor cantidad de nitrógeno que entra en el sistema productivo es aportada por los alimentos balanceados y la fertilización. Se estima que solamente entre el 20 y 40% del nitrógeno suministrado en el alimento balanceado es retenido por el camarón, y el resto es eliminado en forma de NH₄⁺ (Boyd et al., 2001). El material desechado por medio de las heces, puede tener grandes cantidades de nitrógeno dando como resultado grandes afloramientos de fitoplancton y también puede favorecer a la acumulación de compuestos como: NO₂ y amonio no ionizado, que pueden generar problemas de toxicidad a organismos acuáticos aun cuando sus concentraciones son bajas (Boyd y Tucker, 1998).

El nitrógeno en el agua se puede encontrar en diferentes formas, tales como: nitrógeno disuelto, de una forma inorgánica combinado con algunos elementos, y finalmente en una forma orgánica (Boyd y Tucker, 1998).

Los organismos fitoplanctónicos son los principales consumidores del nitrógeno inorgánico que se encuentra disuelto en el agua combinado con otros elementos, siendo el NO₃ y el NH₄⁺ los compuestos principales de donde obtener este elemento. También son capaces de captar el NO₂, pero para poder convertirlo en aminoácidos, es decir a una forma

orgánica tienen que realizar un gran gasto energético. El nitrógeno orgánico que se encuentra presente en la MO es mineralizado por las bacterias, hasta convertirse en amonio (amonificación). Posteriormente este compuesto de igual forma por acción bacteriana puede convertirse en nitrato por un proceso el cual se denomina nitrificación. Para que dicho proceso se pueda llevar a cabo de una forma óptima se debe procurar tener un pH de 6 – 8 y temperatura de 25 – 35 °C (Boyd y Tucker, 1998).

Adicionalmente, se puede estipular que la migración de los nutrientes presente en la interfaz agua – sedimento puede afectar significativamente la concentración y dinámica de nutrientes dentro del estanque (Thibodeau et al., 2010), estando ligada esta interacción con la eutrofización (Hou et al., 2013).

El agua que entra al sistema de producción tiene cierta cantidad de fósforo, ya sea contenido en forma de MO, o bien disuelta como fosfato inorgánico. Por lo general la concentración de fósforo de un cuerpo de agua suele ser relativamente baja, por lo que se debe hacer uso de fertilizantes para poder incrementar su contenido en el estanque, siendo este elemento el nutriente limitante para la productividad primaria, pero a su vez se debe tener en cuenta la cantidad de fósforo que se incorpora al estanque ya que puede generar altas concentraciones de fitoplancton (eutrofización) (Boyd y Tucker, 1998).

Las dos fuentes importantes de entrada de fósforo a un ecosistema productivo son el alimento artificial y la fertilización. La diferencia entre la dinámica del nitrógeno y el fósforo en un estanque es que, el fósforo suele ser retenido fuertemente por el sedimento en compuestos tales como: fosfato de aluminio ($AlPO_4$), calcio $Ca_3(PO_4)$ y hierro ($FePO_4$) resultando escasamente disponible para los organismos acuáticos por lo que se debe suministrar constantemente fósforo al estanque, para tener buena productividad primaria (Boyd y Tucker, 1998).

De todo el fósforo suministrado en un estanque, una parte es tomada velozmente por el fitoplancton, mientras que la otra es rápidamente captada y retenida por el sedimento (Boyd y Musig, 1981). Sumado a esto, muchos de los fertilizantes que usualmente son usados en la

producción acuícola son de una textura granular, disolviéndose escasamente en la columna de agua. Por ende, a los fertilizantes granulares se recomienda inicialmente mezclarlos en un recipiente con agua durante un breve periodo de tiempo antes de ser vertidos al estanque (Boyd, 1981), igualmente a los fertilizantes líquidos (Boyd y Hollerman, 1984).

La concentración de nitrógeno y fósforo presente dentro del cuerpo de agua determinará o influirá drásticamente en la cantidad de productividad primaria que se logre obtener. Una pobre concentración de estos elementos generará baja productividad primaria, lo que dará como resultado una baja concentración de OD y alimento natural. Mientras que una excesiva cantidad conlleva a grandes afloramientos de fitoplancton que, si bien generarán gran cantidad de OD, por la noche lo consumirán, por lo que se debe tener un equilibrio entre N: P (Boyd y Tucker, 1998). También cabe destacar que estos dos nutrientes se utilizan como indicadores de eutrofización, los cuales se correlacionan con la cantidad de fitoplancton en un cuerpo de agua (Balci y Balkis, 2016). Además, aun sabiendo los procesos y efectos que puede traer consigo la eutrofización, no es tan fácil poder estimar o predecir qué efecto logrará tener sobre las comunidades fitoplanctónicas (Schmoker et al., 2016).

Florecimientos abruptos de fitoplancton pueden traer consigo problemas relacionados con toxicidad, dado que ciertas microalgas tiene la facultad de producir toxinas que pueden tener un efecto negativo en la producción de organismos acuáticos (Heisler et al., 2008; O'Neil, Davis, Burford y Gobler, 2011; Paerl y Otten, 2013). Además, el estrés que generan al camarón pueden provocar directa o indirectamente el ataque de alguna patología (Lemonnier et al., 2016; Lucas et al., 2010).

En un estudio realizado por Lemonnier, Hochard, Nakagawa, Courties y Rodier (2017) pudieron denotar que, en un estanque de producción de camarones en aguas tropicales, el fósforo y la luminosidad fueron los factores que limitaron la proliferación de microalgas en estanques donde se presentaba tanto bajo y alto grado de eutrofización.

2.1.6. Materia orgánica

Boyd (2017) menciona que el principal causante del deterioro de la calidad de agua del estanque es la descomposición de la MO, debido a que incrementa la demanda por OD, y además contribuye a grandes liberaciones de amonio, el cual resulta ser un metabolito muy tóxico en un cuerpo de agua, especialmente cuando interacciona con otras variables (temperatura y pH). En todos los tipos de cultivo, sean estos extensivos, semi-intensivos o intensivos, la MO va a sedimentarse y acumularse en el fondo en función de la intensificación de la producción. Por lo tanto, la gran cantidad de alimento suministrado en el cultivo (semi-intensivo e intensivo) y su posterior acumulación, conducirá a condiciones anaeróbicas en el fondo, limitando la producción, situación de mayor interés en el cultivo de camarón debido a su naturaleza bentónica.

El fondo del estanque al tener una alta cantidad de MO se convierte en un lugar propicio para la proliferación de microorganismos, ligados a la mineralización de la MO. Pero si bien el reciclaje de nutrientes y la degradación de MO es importante, este proceso consume gran cantidad de OD, pudiendo favorecer condiciones anóxicas en el sedimento. En un estudio publicado por Allan, Moriarty y Maguire (1995) se pudo observar que en los sedimentos de cultivo de camarón, la cantidad de bacterias y la productividad del mismo era dos veces mayor que en la columna de agua.

La exagerada acumulación de MO en el sustrato va a incidir negativamente en la concentración de OD en la interfaz agua – sedimento (Boyd, 1990; Wellsbury, Herbert y Parkes, 1996), lo que consecuentemente conlleva a la aparición de sustancias que pueden tornarse tóxicas dentro de la producción de camarón, como son el metano, amonio, sulfuro de hidrógeno, nitrito, Fe^{+2} , entre otras (Kassila, 2003). Si bien las condiciones anóxicas pueden limitar la mineralización de la MO, no la detiene, exponiendo así a los camarones a sustancias reducidas que pueden diezmar la producción (Boyd et al., 2001).

La velocidad de sedimentación de la MO que se encuentra suspendida en la columna de agua va a depender de la forma, el tamaño que presenten, la densidad de la partícula y por

último la viscosidad y densidad que presente el agua (Jorgensen y Gromiec, 1989). Hay que enfatizar que los procesos que se dan en el sedimento y en la interfaz agua – sedimento son de vital importancia para el equilibrio del ecosistema y el crecimiento de los organismos en producción. Se debe mantener un equilibrio o no sobrepasar la capacidad de carga del estanque en cuanto a la acumulación de MO, ya que una excesiva acumulación consume gran cantidad de OD, y condiciones anóxicas generan la liberación de sustancias reducidas (Avnimelech, 2003).

Una forma para saber si la capa de sedimento en el fondo del estanque es anóxica, es conocer la reacción del hierro en el agua, debido a que el Fe^{+3} en ausencia del oxígeno se transforma en Fe^{+2} , el cual tiene una coloración oscura, siendo así que las superficies negras indican claramente suelos anóxicos. Mientras que sedimentos que tienen presencia de oxígeno tendrán una tonalidad café (Boyd et al., 2001).

2.2.Sedimentos del fondo y el oxígeno disuelto

Avnimelech (2003) indica que, dentro de un sistema de producción, los sedimentos contienen habitualmente, MO, nutrientes y una densidad de microorganismos mucho mayor que el agua. El proceso de mineralización de MO y la elevada cantidad de sedimentos acumulados en el estanque, conllevan a que el consumo de OD sea mucho mayor que la tasa de renovación del mismo en el agua, direccionando de esta manera a condiciones anóxicas, tanto en el sedimento como en la interfaz agua – sedimento. La anoxia generada dará lugar a la formación de compuestos tóxicos, como ácidos orgánicos, sulfuros, manganeso reducido y compuestos orgánicos de azufre reducidos. El camarón por ser una especie bentónica está expuesto a las condiciones anóxicas que pueden suscitarse en el fondo del estanque. Al exponerse a tales condiciones, se dará como resultado, disminución en el grado de alimentación, limitado crecimiento, aumento de mortalidad y mayor susceptibilidad a patógenos.

De igual manera McMillan, Wheaton, Hochheimer y Soares (2003) enfatizan que los sedimentos con el tiempo tienden a acumular altas cantidades de MO, que demanda grandes

cantidades de OD al ser mineralizada por las bacterias, limitando la disponibilidad del OD para la especie en producción. Además, la MO que se encuentra suspendida en la columna de agua, también suele demandar consumo de OD, aunque en una menor proporción en comparación con la requerida por el sedimento (Boyd, 1984). En este mismo contexto Boyd et al., (2001) indica que el OD solamente logra penetrar unos pocos milímetros la capa del sedimento. De esta manera al disminuir la cantidad de oxígeno, se favorecerán condiciones anóxicas que pueden dar lugar a sustancias reducidas en el sedimento.

Por otro lado, Heras Márquez (2013) afirma que en estanques de producción de camarón, una menor cantidad de MO puede observarse en la parte central del estanque, por la acción del recambio de agua. Pudiendo evidenciar, además, que existe una estrecha relación entre la cantidad de MO acumulada y la tasa de respiración del sedimento. Conforme aumente la MO, la demanda por OD irá creciendo. Siendo mayor la tasa de respiración (consumo de OD) de los sedimentos, específicamente en la entrada y salida de los estanques de producción.

En este contexto se puede decir que, en ambientes acuáticos es de vital importancia tener en cuenta la respiración de los sedimentos, debido a que captan grandes cantidades de OD, consecuentemente pueden rápidamente agotar el OD presente en el agua sobre el sedimento como, en los poros del mismos, dando origen a un microambiente anaeróbico, que favorece a la formación de sustancias reducidas, las cuales se mezclan con el agua del estanque generando un impacto negativo en la producción (Boyd, 1995).

2.3.Efectos de condiciones anóxicas en el estanque y el camarón

Nonwachai et al., (2010) indican que cuando el camarón es sometido a niveles inadecuados de OD se verá afectado su crecimiento, supervivencia y aumentará la vulnerabilidad al ataque de microorganismos. Haciendo énfasis además que a niveles superiores a 4 ppm de OD, el crecimiento y supervivencia es significativamente mayor que a concentraciones inferiores (< 2 ppm). De igual manera, en el ámbito inmunológico la cantidad de hemocitos, la fagocitosis, la respuesta antibacteriana, la actividad fenoloxidasas es mucho mejor a dicha concentración que a 2 ppm, evidenciado de esta manera que cuando

existe un proceso de anoxia o bajas concentraciones de OD se verán comprometidos procesos fisiológicos vitales en el camarón.

De igual forma Jiang et al., (2005) expusieron camarones a diferentes concentraciones de OD (7.5, 5.5, 3.5 y 2.0 ppm) frente a bacterias patógenas del genero *Vibrio spp*, las cuales pudieron mantenerse controladas, cuando la concentración de OD se encontraban entre 5.5 y 7.5 ppm, es decir la cantidad de hemocitos era relativamente alta, mientras que a una concentración de 3.5 y 2.0 ppm de OD la cantidad de hemocitos en los camarones era relativamente baja, dejando de esta forma a los organismos predispuestos o vulnerables al ataque de bacterias patógenas. Es decir, la baja concentración de OD afecta negativamente el recuento total de hemocitos, la capacidad antibacteriana, la fagocitosis y por último la respuesta de la fenoloxidasas. En pocas palabras este efecto negativo que tiene el OD en la cantidad de hemocitos conducirá a que el camarón quede más susceptible a cualquier patógeno, debido a que todo el sistema inmune disminuye conforme decrece la concentración de OD en el agua (Hu, Pan y Jing, 2009). Siendo de esta forma que la cantidad de hemocitos está íntimamente ligada a la concentración de OD.

Además, Pérez-Rostro et al., (2004) pudieron evidenciar que el camarón blanco del pacífico (*Litopenaeus vannamei*) al encontrarse en una concentración de OD de 0, 2 ppm, no puede sobrevivir más de una hora, dejando en claro la acción letal que puede causar la anoxia en un estanque. Mientras que Hopkins et al., (1991) reportaron que la concentración de OD letal para (*Litopenaeus vannamei*) fue de 1 ppm. Claramente se puede observar que las condiciones de anoxia o bajas concentraciones de OD en el estanque se manifestaran con altas mortalidades en la producción de camarón.

Cabe destacar que los camarones del género *Litopenaeus* necesitan una concentración de OD superior a 3 ppm, siendo su punto óptimo 5 ppm, niveles por debajo de la concentración indicada traerán consigo consecuencias negativas para el organismo (Auró y Ocampo, 2006).

De manera similar Ulaje (2015) indica que las bajas concentraciones de OD tienen incidencia directa en el camarón dado que afectan sus actividades fisiológicas y conducta.

Puente Carreón (2009) afirma que para la producción comercial de camarón se deben manejar concentraciones de OD que oscilen entre 4 a 7 ppm. Al disminuir la concentración por debajo del valor mínimo el camarón se estresará, su conducta se alterará, empezando a gastar más energía al bombear más agua a las branquias con el propósito de lograr obtener más OD, descuidando sus otras actividades fisiológicas. Concordando así con los resultados publicados por Rojas, Haws y Cabanillas (2005) en el cual dicen que el ritmo de crecimiento del camarón está estrechamente relacionado con la concentración de OD.

Avnimelech (2003) indica que el proceso de degradación de MO por acción bacteriana, es el responsable de consumir gran cantidad de OD en el estanque, conjuntamente con la respiración por parte del fitoplancton (Boyd, 1990).

Si bien Boyd (1990) afirma que la productividad primaria es responsable de un gran consumo de OD en el estanque, el fitoplancton es un factor clave para poder llevar a cabo la producción acuícola (Mohanty, Ambast, Panigrahi y Mandal, 2017), siempre y cuando se mantengan concentraciones adecuadas, ya que durante la noche consumen gran parte del OD que produjeron durante el día, contribuyendo en cierto punto a condiciones anóxicas (Cunha et al., 2019). Siendo de esta forma importante la regulación de la productividad primaria durante la tarde (Ulloa, 2015).

Además, la exagerada acumulación de MO en el sustrato va a incidir negativamente en la concentración de OD en la interfaz agua – sedimento (Boyd, 1990; Wellsbury et al., 1996). En este contexto Boyd et al.,(2001) indica que conforme va decreciendo la concentración de OD en el agua y sustrato, se favorece a que surjan condiciones anóxicas, dando origen a la aparición de sustancias reducidas, tales como: H_2S , NO_2 , CH_4 , Fe^{+2} , manganeso manganeso y otra serie de compuestos tóxicos para los camarones aun cuando sus concentraciones son bajas.

3. CONCLUSIÓN

Se puede decir que las condiciones de anoxia en un estanque de producción de camarón están íntimamente ligadas a dos causas específicas, que son la respiración de los sedimentos (por la gran acumulación de materia orgánica) y la excesiva cantidad de productividad primaria. Lo que consecuentemente afectará a la dinámica del estanque, contribuyendo a la liberación de compuestos tóxicos por parte del sedimento y además conducirá a que el organismo en producción se estrese, disminuyendo su consumo de alimento, crecimiento, supervivencia, sistema inmune, y por lo tanto dejándolo vulnerable al ataque de microorganismos patógenos. En consecuencia, es de vital importancia tener bajos niveles de materia orgánica y una concentración controlada de microalgas, para limitar el consumo excesivo de oxígeno disuelto, disminuyendo así la probabilidad de que se susciten condiciones anóxicas en el estanque, y por consiguiente de esta forma asegurar una óptima producción.

Además, como una alternativa cuando se sobrepasa la capacidad de carga del estanque, el uso de aireadores mecánicos ayudará a regular o incrementar la concentración de oxígeno disuelto en el agua, limitando las condiciones de anoxia.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Jamshid, K., Mohsenizadeh, F., & Omid, S. (2016). Effects of environmental parameters and nutrients on phytoplankton communities around the shrimp farm complexes in Bushehr Province, in the Persian Gulf. *Iranian Journal of Fisheries Sciences / Iranian Fisheries Research Organization*, 15(3), 1044-1054.
- Allan, G. L., Moriarty, D. J. W., & Maguire, G. B. (1995). Effects of pond preparation and feeding rate on production of *Penaeus monodon* Fabricius, water quality, bacteria and benthos in model farming ponds. *Aquaculture*. 130 (4), 329–349. doi:10.1016/0044-8486(94)00316-g
- Arzola, J., Piña, P., Nieves, M. y Medina, M. (2013). Supervivencia de postlarvas de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* a diferentes salinidades y temperatura. *Revista MVZ Córdoba*, 18, 3618-3625.
- Auró, A. y Ocampo, L. (2006). El libro del camarón. *México, DF*, 83.
- Avnimelech, Y. (2003). Shrimp and fish pond soils: processes and management. *Aquaculture*. 220 (1-4), 549–567. doi:10.1016/s0044-8486(02)00641-5
- Balci, M., & Balkis, N. (2017). Assessment of phytoplankton and environmental variables for water quality and trophic state classification in the Gemlik Gulf, Marmara Sea (Turkey). *Marine Pollution Bulletin*. 115 (1-2), 172–189. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.12.007
- Boyd, C. E., & Hollerman, W. D. (1984). Methods of applying liquid fertilizer to fish ponds. *Proceedings of the Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies*, 35, 525-530.

- Boyd, C., Pillai, V. (1984). Water quality management in Aquaculture. *Central Marine Fisheries Research Institute*. Cochin, India.
- Boyd, C. E., & Lichtkoppler, F. (1979). Water Quality Management In Pond Fish Culture. Research and Development Series No. 22, International Center for Aquaculture, Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, Alabama.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1992). Water Quality and Pond Soil Analysis for Aquaculture. *Auburn University, Auburn, AL, USA*.
- Boyd, Claude E. (1981). Solubility of Granular Inorganic Fertilizers for Fish Ponds. *Transactions of the American Fisheries Society*, 110(3), 451-454. doi: 10.1577/1548-8659(1981)110<451:SOGIFF>2.0.CO;2
- Boyd, Claude E. (1990). *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Auburn University, Alabama Agricultural Experiment Station.
- Boyd, Claude E. (1995). Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture. doi:10.1007/978-1-4615-1785-6
- Boyd, Claude E. (2015). *Water Quality*. doi:10.1007/978-3-319-17446-4
- Boyd, Claude E. (2017). General Relationship Between Water Quality and Aquaculture Performance in Ponds. *Fish Diseases*. 147-166. doi:10.1016/b978-0-12-804564-0.00006-5
- Boyd, Claude E. (2019). *Water Quality: An Introduction*. Springer Nature.
- Boyd, Claude E. (2018). Aquaculture pond fertilization. *CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutri. Nat. Res*, 13, 1–12. doi: 10.1079/PAVSNNR201813002
- Boyd, Claude E., & Musig, Y. (1981). Orthophosphate uptake by phytoplankton and sediment. *Aquaculture*, 22, 165-173. doi:10.1016/0044-8486(81)90142-3

- Boyd, Claude E., Treece, G., Engle, R. C., Valderrama, D., Lightner, D. V. y Pantoja, C. R. (2001). Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón. *Métodos para mejorar la camaronicultura en Centroamérica*.
- Boyd, Claude E., & Tucker, C. S. (1998). Water Quality Requirements. *Pond Aquaculture Water Quality Management*. doi:10.1007/978-1-4615-5407-3_3
- Burford, M. A., Thompson, P. J., McIntosh, R. P., Bauman, R. H., & Pearson, D. C. (2003). Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture*, 219(1), 393-411. doi:10.1016/s0044-8486(02)00575-6
- Carranza, É. O. (2020). Evaluación de la tasa de consumo de oxígeno del *Penaeus vannamei* con relación a la salinidad, temperatura y peso corporal. *Revista Ciencia y Tecnología*, (25), 55-65. doi: <https://doi.org/10.5377/rct.v13i25.10412>
- Chien, Y. (1992). Water quality requirements and management for marine shrimp culture. Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. USA: World Aquaculture Society.
- Cunha, M. E., Quental-Ferreira, H., Parejo, A., Gamito, S., Ribeiro, L., Moreira, M., ... Pousão-Ferreira, P. (2019). Understanding the individual role of fish, oyster, phytoplankton and macroalgae in the ecology of integrated production in earthen ponds. *Aquaculture*, 512, 734297. doi:10.1016/j.aquaculture.2019.734297
- Egna, H. y Boyd, C. (1997). Dynamics of Pond Aquaculture (1st ed.). CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203759028>
- Espinoza, C., Lara, N., Espinoza, A., Rivera, M., Astorga, K., Acedo, E. y Bermudez, M. (2015). Desarrollo de camarón en cultivos intensivos, con nulos recambios de agua. *Acuatic*, 2(43), 1 - 13. doi:1578-4541

- Galang, D. P., Ashari, A. K., Sulmawati, L., Mahasri, G., Prayogo, & Sari, L. A. (2019). The oxygen content and dissolved oxygen consumption level of white shrimp *Litopenaeus vannamei* in the nanobubble cultivation system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 236(1), 012014. doi: 10.1088 / 1755-1315 / 236/1/012014
- Heisler, J., Glibert, P., Burkholder, J., Anderson, D., Cochlan, W., Dennison, W., ... Suddleson, M. (2008). Eutrophication and Harmful Algal Blooms: A Scientific Consensus. *Harmful Algae*, 8(1), 3-13. doi: 10.1016 / j.hal.2008.08.006
- Heras Márquez, N. I. (2013). Evaluación de la respiración de sedimentos en estanques para el cultivo de *Litopenaeus vannamei* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala. Recuperado de <http://186.3.32.121/handle/48000/1974>
- Hopkins, J. S., Stephen Hopkins, J., Stokes, A. D., Browdy, C. L., & Sandifer, P. A. (1991). The relationship between feeding rate, paddlewheel aeration rate and expected dawn dissolved oxygen in intensive shrimp ponds. *Aquacultural Engineering*, 10 (4), 281-290. doi:10.1016/0144-8609(91)90017-e
- Horna, R. y Boyd, C. (2008). Calidad de agua y suelo: Control del olor a choclo y sabor a palo del camarón y peces. Recuperado de: <http://www.engormix.com/MAagricultura/articulos/calidad-agua-suelo-control-t1907/p0.htm>
- Hou, D., He, J., Lü, C., Sun, Y., Zhang, F., & Otgonbayar, K. (2013). Effects of environmental factors on nutrients release at sediment-water interface and assessment of trophic status for a typical shallow lake, northwest China. *TheScientificWorldJournal*, 2013, 1–16. doi: 10.1155 / 2013/716342.

- Hu, F., Pan, L., & Jing, F. (2009). Effects of hypoxia on dopamine concentration and the immune response of White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Ocean University of China*, 8 (1), 77–82. doi:10.1007/s11802-009-0077-x
- Jiang, L.-X., Pan, L.-Q., & Fang-Bo. (2005). Effect of dissolved oxygen on immune parameters of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, 18 (2), 185-188. doi:10.1016/j.fsi.2004.07.001
- Jorgensen, S. E., & Gromiec, M. J. (Eds.). (1989). Mathematical submodels in water quality systems. London, England: Elsevier Science.
- Kassila, J. (2003). Effects of lining and drying on the chemical composition of sediments and influence of organic carbon on carp growth in aquaculture ponds: Chemical composition of sediments in aquaculture ponds. *Aquaculture Research*, 34(4), 333-343. doi: 10.1046 / j.1365-2109.2003.00822.x
- Kumar, V., Roy, S., Meena, D. K., & Sarkar, U. K. (2016). Application of Probiotics in Shrimp Aquaculture: Importance, Mechanisms of Action, and Methods of Administration. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24(4), 342-368. doi: 10.1080 / 23308249.2016.1193841
- Landa, M., Blain, S., Christaki, U., Monchy, S., & Obernosterer, I. (2015). Shifts in bacterial community composition associated with increased carbon cycling in a mosaic of phytoplankton blooms. *The ISME Journal*, 10(1), 39-50. doi: 10.1038 / ismej.2015.105
- Lemonnier, H., Hochard, S., Nakagawa, K., Courties, C., & Rodier, M. (2017). Response of phytoplankton to organic enrichment and shrimp activity in tropical aquaculture ponds: a mesocosm study. *Aquatic Microbial Ecology*, 80, 105-122. doi:10.3354/ame01841

- Lemonnier, Hugues, Lantoine, F., Courties, C., Guillebault, D., Nézan, E., Chomérat, N., ... Laugier, T. (2016). Dynamics of phytoplankton communities in eutrophying tropical shrimp ponds affected by vibriosis. *Marine Pollution Bulletin*, 110(1), 449-459. doi: 10.1016 / j.marpolbul.2016.06.015
- Logue, J. B., Stedmon, C. A., Kellerman, A. M., Nielsen, N. J., Andersson, A. F., Laudon, H., ... Kritzberg, E. S. (2015). Experimental insights into the importance of aquatic bacterial community composition to the degradation of dissolved organic matter. *The ISME Journal*, 10(3), 533-545. doi: 10.1038 / ismej.2015.131
- Lucas, R., Courties, C., Herbland, A., Gouletquer, P., Marteau, A. L., & Lemonnier, H. (2010). Eutrophication in a tropical pond: Understanding the bacterioplankton and phytoplankton dynamics during a vibriosis outbreak using flow cytometric analyses. *Aquaculture* , 310(1), 112-121. doi: 10.1016 / j.aquaculture.2010.10.022
- Lv, H., Yang, J., Liu, L., Yu, X., Yu, Z., & Chiang, P. (2014). Temperature and nutrients are significant drivers of seasonal shift in phytoplankton community from a drinking water reservoir, subtropical China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 21(9), 5917-5928. doi: 10.1007 / s11356-014-2534-3
- Masmoudi, S., Tastard, E., Guermazi, W., Caruso, A., Morant-Manceau, A., & Ayadi, H. (2015). Salinity gradient and nutrients as major structuring factors of the phytoplankton communities in salt marshes. *Aquatic ecology*, 49(1), 1-19.
- McGraw, W., Teichert-Coddington, D. R., Rouse, D. B., & Boyd, C. E. (2001). Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds. *Aquaculture* , 199(3), 311-321. doi: 10.1016 / s0044-8486 (01) 00530-0

- McMillan, J. D., Wheaton, F. W., Hochheimer, J. N., & Soares, J. (2003). Pumping effect on particle sizes in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*, 27 (1), 53–59. doi:10.1016/s0144-8609(02)00038-9
- Mohanty, R. K., Ambast, S. K., Panigrahi, P., & Mandal, K. G. (2017). Water quality suitability and water use indices: Useful management tools in coastal aquaculture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* , 485, 210-219. doi: 10.1016 / j.aquaculture.2017.11.048
- Mugnier, C., & Soyeux, C. (2004). Response of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* to temperature decrease and hypoxia in relation to molt stage. *Aquaculture* , 244(1), 315-322. doi: 10.1016 / j.aquaculture.2004.11.010
- Nonwachai, T., Purivirojkul, W., Limsuwan, C., Chuchird, N., Velasco, M., & Dhar, A. K. (2010). Growth, nonspecific immune characteristics, and survival upon challenge with *Vibrio harveyi* in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) raised on diets containing algal meal. *Fish & Shellfish Immunology*, 29(2), 298–304. doi:10.1016/j.fsi.2010.04.009
- O’Neil, J. M., Davis, T. W., Burford, M. A., & Gobler, C. J. (2011). The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae*, 14, 313–334. doi:10.1016/j.hal.2011.10.027
- Otoshi, C. A., Arce, S. M., & Moss, S. M. (2003). Growth and reproductive performance of broodstock shrimp reared in a biosecure recirculating aquaculture system versus a flow-through pond. *Aquacultural Engineering*, 29(3), 93-107. doi: 10.1016 / s0144-8609 (03) 00048-7
- Paerl, H. W., & Otten, T. G. (2013). Harmful cyanobacterial blooms: causes, consequences, and controls. *Microbial Ecology*, 65(4), 995-1010.

- Pérez-Rostro, C. I., Racotta, I. S., & Ibarra, A. M. (2004). Decreased genetic variation in metabolic variables of *Litopenaeus vannamei* shrimp after exposure to acute hypoxia. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 302(2), 189-200. doi: 10.1016/j.jembe.2003.10.010
- Puente Carreón, E. (2009). Respuestas fisiológicas de juveniles de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, a condiciones oscilantes de oxígeno disuelto y temperatura (Doctorado). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Recuperado de <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/14322>
- Rojas, A A., Haws, M. y Cabanillas, A. (2005). *Buenas prácticas de manejo para el cultivo de camarón*. Recuperado de <http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/handle/123456789/631>
- Schmoker, C., Russo, F., Drillet, G., Trottet, A., Mahjoub, M.-S., Hsiao, S.-H., ... Calbet, A. (2016). Effects of eutrophication on the planktonic food web dynamics of marine coastal ecosystems: The case study of two tropical inlets. *Marine Environmental Research*, 119, 176–188. doi:10.1016/j.marenvres.2016.06.005
- Suárez Álvarez, G., Oquendo Pérez. (2012). Oxygen consumption and critical point in lobsters *Panulirus argus*. *REDVET*, 13(3). Recuperado de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123155952>
- Supriatna, Marsoedi, Hariati, A. M., & Mahmudi, M. (2017). Dissolved oxygen models in intensive culture of whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in East Java, Indonesia. *Cluj-Napoca*, 10(4), 768-778.
- Tan, L. T.-H., Chan, K.-G., Lee, L.-H., & Goh, B.-H. (2016). *Streptomyces* Bacteria as Potential Probiotics in Aquaculture. *Frontiers in Microbiology*, 7, 79. doi: 10.3389/fmicb.2016.00079

- Thibodeau, B., Lehmann, M. F., Kowarzyk, J., Mucci, A., Gélinas, Y., Gilbert, D., ... Alkhatib, M. (2010). Benthic nutrient fluxes along the Laurentian Channel: Impacts on the N budget of the St. Lawrence marine system. *Estuarine, coastal and shelf science*, 90(4), 195-205. doi: 10.1016 / j.ecss.2010.08.015
- Ulaje, S. A. (2015). Relación entre respuestas fisiológicas, contenido bioquímico y expresión del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) ante cambios agudos y crónicos de hipertermia e hipoxia (Tesis de posgrado). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Mexico.
- Ulloa Tello, R. F. (2015). El efecto de dos porcentajes de recirculación de agua en el cultivo de camarón *Litopenaeus vannamei* (Tesis de pregrado). UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador.
- Van Wyk, P., & Scarpa, J. (1999). Water quality requirements and management in farming marine shrimp in recirculating freshwater systems. *Harbor Branch Oceanic Institution. Department of Agriculture and Consumer Services, Florida*, 20.
- Vinatea, L. (2002). Principios químicos de calidad del agua en acuicultura: una revisión para peces y camarones. UAM, Unidad Xochimilco.
- Wellsbury, P., Herbert, R. A., & John Parkes, R. (1996). Bacterial activity and production in near-surface estuarine and freshwater sediments. *FEMS Microbiology Ecology*, 19 (3), 203-214. doi:10.1111/j.1574-6941.1996.tb00213.x
- Wurts, W. A., & Durborow, R. M. (1992). Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds. Recuperado de: <https://appliedecology.cals.ncsu.edu/wp-content/uploads/SRAC-0464.pdf>
- Yan, B., Wang, X., & 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

Zhu, J., Dai, W., Qiu, Q., Dong, C., Zhang, J., & Xiong, J. (2016). Contrasting Ecological Processes and Functional Compositions Between Intestinal Bacterial Community in Healthy and Diseased Shrimp. *Microbial Ecology*, 72(4), 975-985. doi: 10.1007 / s00248-016-0831-8.