



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERACIONES FISIOLÓGICAS EN
LITOPENAEUS VANNAMEI PRODUCIDAS POR HÁBITATS
CONTAMINADOS CON METALES PESADOS

LANCHE OBACO JORGE VICENTE
INGENIERO ACUÍCULTOR

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERACIONES FISIOLÓGICAS EN
LITOPENAEUS VANNAMEI PRODUCIDAS POR HÁBITATS
CONTAMINADOS CON METALES PESADOS

LANCHE OBACO JORGE VICENTE
INGENIERO ACUÍCULTOR

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

EXAMEN COMPLEXIVO

IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERACIONES FISIOLÓGICAS EN *LITOPENAEUS VANNAMEI* PRODUCIDAS POR HÁBITATS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS

LANCHE OBACO JORGE VICENTE
INGENIERO ACUÍCULTOR

SANCHEZ ROMERO OMAR ROGERIO

MACHALA, 14 DE FEBRERO DE 2022

MACHALA
14 de febrero de 2022

Trabajo complejo

por Jorge Vicente Lanche

Fecha de entrega: 31-ene-2022 07:16p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1752346905

Nombre del archivo: TRABAJO_FINAL_J._VICENTE_LANCHE_COMPLEXIVO.docx (659.79K)

Total de palabras: 3516

Total de caracteres: 18893

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

El que suscribe, LANCHE OBACO JORGE VICENTE, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Identificación de las alteraciones fisiológicas en *Litopenaeus vannamei* producidas por hábitats contaminados con metales pesados, 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.

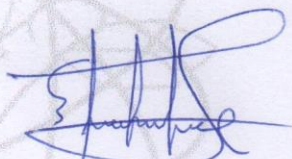
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

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, 14 de febrero de 2022



LANCHE OBACO JORGE VICENTE
0706906435

Resumen

El cultivo de camarón *Litopenaeus vannamei* representa un importante rubro económico para el Ecuador, por tal razón es importante contar con las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de los organismos en los cultivos. Los estanques utilizados para la producción contienen diversos componentes químicos y algunos pueden resultar nocivos para la salud de los organismos. Esta revisión bibliográfica se enfoca en la descripción de los principales metales pesados (cadmio, cobre, plomo y mercurio) que pueden encontrarse en las aguas utilizadas para el cultivo acuícola y como su presencia produce alteraciones fisiológicas en los camarones. Entre los efectos nocivos producidos por los metales pesados están las alteraciones a nivel histológico, a nivel de ADN, además de ser capaces de influir de manera negativa en procesos biológicos como la respiración y el crecimiento. Las exportaciones son un sector que también resulta afectado, esto debido a que los productos que contengan residuos de metales pesados no son capaces de superar los controles establecidos por los diferentes mercados internacionales, generando pérdidas para el sector productivo y la economía del país. Las afectaciones a la salud humana también son un aspecto relevante, los metales pesados pueden estar presentes en los alimentos y en el ambiente, al entrar en contacto con las personas pueden causar intoxicaciones y dar pasó al desarrollo de patologías que incluso pueden desembocar en la muerte.

Palabras clave: Metales pesados, *Litopenaeus vannamei*, cultivo, plomo, arsénico, mercurio, cadmio.

Summary

Litopenaeus vannamei shrimp farming is an important economic activity for Ecuador, and for this reason it is important to have adequate environmental conditions for the development of the organisms in the farms. The ponds used for production contain various chemical components, some of which can be harmful to the health of the organisms. This bibliographic review focuses on the description of the main heavy metals (cadmium, copper, lead and mercury) that can be found in the water used for aquaculture and how their presence produces physiological alterations in shrimp. Among the harmful effects produced by heavy metals are alterations at the histological and DNA levels, in addition to being able to negatively influence biological processes such as respiration and growth. Exports are a sector that is also affected, since products containing heavy metal residues are not able to pass the controls established by the different international markets, generating losses for the productive sector and the country's economy. Heavy metals can be present in food and in the environment, and when they come into contact with people they can cause intoxication and lead to the development of pathologies that can even result in death.

Key words: Heavy metals, *Litopenaeus vannamei*, culture, lead, arsenic, mercury, cadmium.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. DESARROLLO	6
2.1. El camarón <i>Litopenaeus vannamei</i> (Boone, 1931)	6
2.2. Taxonomía	6
2.3. Rasgos Biológicos	7
2.4. Ciclo de reproducción del Camarón	7
2.5. Sistemas de Cultivo	7
2.6. Metales pesados	8
2.6.1. Cadmio	8
2.6.2. Cobre	9
2.6.3. Plomo	9
2.6.4. Mercurio	9
2.7. Efectos de los metales en camarones	10
2.7.1. Alteraciones a nivel histológico	11
2.7.2. Alteraciones a nivel de ADN	13
2.7.3. Alteraciones en la tasa de respiración	14
2.7.4. Alteraciones en el crecimiento	14
2.8. Afectaciones a las exportaciones	14
2.9. Afectaciones a la salud humana	16
3. CONCLUSIÓN	17
4. BIBLIOGRAFÍA	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Camarón blanco (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	9
Figura 2. Efectos en los camarones a la exposición con metales	14
Figura 3. Túbulos del hepatopáncreas de <i>Litopenaeus vannamei</i>	15
Figura 4. Lamelas secundarias de <i>L. vannamei</i>	16
Figura 5. Exportaciones de Camarón Ecuatoriano - octubre 2020 a noviembre 2021	18

1. INTRODUCCIÓN

La producción en cautiverio del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* es una actividad económica importante a nivel mundial, esta especie proporciona excelentes tasas de crecimiento y reproducción en estanques de cultivo. Sin embargo, como en toda empresa, también existen contratiempos, así vemos que asociado al crecimiento de esta industria se desarrollan diversas afectaciones que condicionan seriamente las poblaciones y algunas de ellas generadas como consecuencia de actividades humanas (Maciel *et al.*, 2018).

La camaronicultura se ve afectada por diversas enfermedades que generan considerables pérdidas para los productores, sumado a esto el ambiente en el que los organismos se desarrollan pueden estar contaminados con diversos componentes químicos que afectan gravemente la supervivencia de la producción, entre los residuos más peligrosos que se puede encontrar en los ecosistemas acuáticos están los metales pesados. El origen de los metales pesados en los cultivos puede ser variado, entre los más probables están los que provienen de desechos industriales, actividades mineras, descargas de aguas residuales o también pueden surgir de forma natural a través de la erosión de los suelos o actividades volcánicas (Boada *et al.*, 2007).

Este trabajo se enfoca en el estudio de diversos metales pesados que están presentes en los ecosistemas acuáticos y que afectan tanto a la economía, como a la salud humana. Además de revisar su incidencia en el cultivo de *Litopenaeus vannamei*, ya que pueden originar diferentes alteraciones fisiológicas en los organismos y esto puede causar considerables pérdidas dentro del sector camaronero, lo que preocupa de sobremanera a quienes se dedican a esta actividad ya que en varios países representa un gran porcentaje de su economía.

2. DESARROLLO

2.1.El camarón *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)

Según (Briggs *et al.*, 2005) la especie *Litopenaeus vannamei* es originaria del océano pacífico y se encuentra distribuida desde el sur de norteamérica hasta la costa norte del Perú. Es considerada como una especie de gran relevancia económica debido a su adaptación a diversos sistemas de cultivo, su resistencia a fluctuaciones de temperatura en el ambiente, su elevada tasa de crecimiento y supervivencia, además de considerarse como un producto de buen valor en los mercados internacionales (Valdez *et al.*, 2008).



Figura 1. Camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*)

Fuente: (Morales & Cuéllar, 2014)

2.2.Taxonomía

Tabla 1. Taxonomía de *Litopenaeus vannamei*

Reino	Animalia
Subreino	Bilateria
Filo	Arthropoda
Clase	Malacostraca (Latreille, 1802)
Orden	Decapoda (Latreille, 1802)
Familia	Penaeidae (Rafinesque, 1815)
Género	<i>Litopenaeus</i>
Especie	<i>L. vannamei</i> (Boone, 1931)

Es importante destacar las etapas de desarrollo del camarón los cuales son: nauplio, protozoa, mysis y postlarvas. En relación al desarrollo de las larvas del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) el aporte nutricional para su adecuado crecimiento debe ser cubierto con dietas artificiales y alimento natural (plancton), promoviendo de esta forma mayor peso en menor tiempo, además debe contar con nutrientes que permitan el desarrollo óptimo entre estadios y fases de cultivo (Alonso & Hernández, 2011).

2.3.Rasgos Biológicos

En el *L. vannamei* podemos observar un rostrum relativamente largo, el cual posee de 7 a 10 dientes dorsales y de 2 a 4 ventrales. Se puede observar un petasma simétrico y semi abierto en los machos maduros, en la hembra se observa un télico abierto. Esta especie se desarrolla a través de varias etapas en las cuales adquiere características distintivas que le ayudan a su supervivencia: cinco etapas de nauplio, tres de protozoa y tres de mysis. Generalmente las hembras se caracterizan por tener un mayor tamaño al crecer de manera más acelerada (Moncayo, 2020).

2.4.Ciclo de reproducción del Camarón

El ciclo de vida del camarón blanco empieza desde su desove en mar abierto, estos huevecillos se van hacia el fondo y comienza el desarrollo larval, en las primeras etapas el camarón es planctónico, luego se desplaza hacia esteros, marismas y bahías para el desarrollo postlarval. Cuando alcanza la edad adulta inicia nuevamente el proceso desplazándose hacia mar abierto influenciado por las mareas y la luna (Ceballos *et al.*, 2008).

2.5.Sistemas de Cultivo

Según Sacasqui (2017) los principales sistemas de cultivo para *Litopenaeus vannamei* son:

1. **Sistemas Extensivos:** este tipo de cultivos son más frecuentes en América Latina, el área donde se realiza suele ser grande, alrededor de 5 ha, inclusive pueden llegar hasta 100 ha, en estos sistemas se puede obtener producciones de 150 hasta 500 kg/ha y se suelen realizar entre una o dos cosechas por año. La alimentación se realiza a través de la estimulación de la producción natural mediante la utilización de fertilizantes, generalmente aplicando una dosis diaria.
2. **Sistemas semi-intensivos:** en este sistema podemos observar una diferencia en cuanto a la extensión en el área de producción en comparación al sistema extensivo, el área de los sistemas semi-intensivos va desde 1 a 20 ha. La alimentación también se la realiza a través de la producción de alimento natural mediante la aplicación de productos

fertilizantes, generalmente aplicándose entre dos a tres dosis diarias. En este sistema podemos obtener una producción que oscila entre los 500 a 5.000 kg/ha.

3. **Sistemas intensivos:** en este sistema se utilizan estanques pequeños que van desde 0,1 a 2 ha, los mismos que tienen la capacidad de drenarse, se realizan periódicos recambios de agua, se debe tener una aireación constante, protocolos de fertilización y se utilizan alimentos suplementarios. En este tipo de sistema pueden obtenerse producciones de 800 a 15.000 kg/ha.
4. **Sistemas super-intensivos:** en este sistema de cultivo se utilizan generalmente estanques pequeños tipo invernadero de 282 m², estos pueden ser de plástico o concreto, los recambios de agua son reducidos para no interrumpir la acción de microorganismos que se encargan de la remoción del nitrógeno inorgánico, debido a la utilización de la biomasa bacteriana el porcentaje de alimentación artificial se reduce. Por otra parte, hay que detallar que los costos de operación de este sistema son altos ya que se requiere mano de obra especializada y numerosa. En este sistema se puede obtener una producción de 28.000 a 68.000 kg/ha por cada ciclo productivo.

2.6. Metales pesados

Entre las principales características de este grupo de metales se destaca que poseen una densidad igual o mayor a 5 g/cm³, además exceptuando los metales alcalinos y alcalinotérreos, tienen un número atómico mayor a 20 (Vardanyan & Ingole, 2006). Hay que señalar desde un punto biológico que algunos metales se consideran nutrientes esenciales indispensables en el desarrollo de los organismos, entre los cuales destacan el zinc y el cobre, pero también hay que mencionar que algunos metales pueden generar alteraciones fisiológicas en los organismos ya que resultan tóxicos en concentraciones elevadas como es el caso del plomo, mercurio y cadmio. Entre las características que se destacan en los metales pesados se observa una alta resistencia en el medio, biomagnificación, además estos pueden llegar a provocar severos daños ambientales cuando la concentración en el medio es elevada (Miras, 2009).

2.6.1. Cadmio

Este metal lo podemos encontrar en la naturaleza asociado a otros minerales, al procesar otros metales como zinc (Zn), plomo (Pb) o cobre (Cu) obtenemos este metal como subproducto. El cadmio se puede acumular en el ambiente como consecuencia de diversas actividades industriales que generan una amplia contaminación de origen antropogénico, como resultado de estas actividades, la contaminación de acuíferos y suelo ha ido incrementando a lo largo de los años (Martínez *et al.*, 2013).

Un gran porcentaje de cadmio que se encuentra en el ambiente es producto del desgaste y erosión de las rocas, y que posteriormente se desplaza hacia los océanos en grandes cantidades. Hay que destacar que la mayor fuente de cadmio natural que se libera en la atmósfera se genera a través de las actividades volcánicas incluyendo las submarinas (Barrón, 2016).

2.6.2. Cobre

De acuerdo a Espinosa (2001), el cobre es considerado un metal no ferroso, además es uno de los metales traza con mayor presencia en el ambiente, es un mineral relevante para la mayoría de organismos ya que es un importante micronutriente. Al ser un metal de gran abundancia en el mundo, sus propiedades químicas, eléctricas y físicas son utilizadas por diversas industrias.

El sulfato de cobre es utilizado por la industria agropecuaria, principalmente en la fabricación de fungicidas, pesticidas y alguicidas. Entre las afectaciones producidas al ser humano debido a la exposición al sulfato de cobre, se señala que su ingesta podría causar necrosis hepática y por consiguiente la muerte (Lodoño *et al.*, 2016).

2.6.3. Plomo

El plomo es un elemento que podemos encontrar en la corteza terrestre en pequeñas cantidades. Este metal es utilizado en la fabricación de barnices, pinturas, cerámicas y materiales de relleno. Al ser un elemento altamente tóxico se trata de reducir al mínimo su utilización en la fabricación de estos productos, ya que se considera nocivo para la salud humana. El plomo logra entrar en los suelos a través del viento que arrastra sus partículas, se puede filtrar a través de las aguas residuales, y también por el riego de los cultivos con aguas que puedan tener pequeñas fracciones de plomo y a través de escorrentías provenientes de zonas geológicas que contienen cargas de estos elementos (Acosta & Montilla, 2018).

2.6.4. Mercurio

Este es un metal altamente tóxico y bioacumulativo, el cual es capaz de biomagnificarse en la cadena trófica. Se puede encontrar este elemento en la naturaleza en pequeñas concentraciones, no obstante, su presencia en el ambiente se ha ido incrementando en las últimas décadas, esto debido a la acción humana, ya que este metal es utilizado en los combustibles fósiles, en la minería y en la fundición de metales, además, también es producto de la antitécnica disposición de desechos y quema de basura. En los ecosistemas acuáticos se encuentra en forma metálica como mercurio iónico, además es capaz de formar compuestos organometálicos. El mercurio inorgánico que llega a los ecosistemas acuáticos es llevado principalmente por los sedimentos, ya que este tiene una gran atracción por el material particulado (Roux *et al.*, 2001).

Un punto importante que hay que destacar es que los sedimentos son considerados sumideros de mercurio, debido a que transforman este elemento en compuestos organometálicos, esencialmente metilmercurio, esto mediante la acción de bacterias que reducen los sulfatos, las mismas que se encuentran en abundancia en los sedimentos superficiales (Gilmour *et al.*, 1998).

2.7. Efectos de los metales en camarones

La toxicidad de los metales esenciales (Cu, Zn, Mn) y no esenciales (Cd, Pb, Hg), estará relacionado con el grado de exposición que tienen los organismos en el ambiente (Frías *et al.*, 2011). De acuerdo a Bainy (2000), hay que tener en cuenta otros factores que también influyen en la reacción o respuesta de los microorganismos a los metales pesados, estos son:

1. Aspectos biológicos: como el sexo, la edad, su nutrición y su estado de salud.
2. Aspectos ambientales: como temperatura, pH, salinidad y oxígeno disuelto.

La acumulación de todos estos metales pesados en el ambiente, conlleva un efecto negativo en los cultivos de camarón, ya que generan alteraciones en diversos procesos metabólicos y fisiológicos de los organismos, este fenómeno suele ocurrir cuando las especies no son capaces de regular las concentraciones extremas de estos metales, debido a que sus mecanismos de desintoxicación y reducción de minerales tóxicos no son efectivos a niveles tan altos (Lacerda *et al.*, 2006).

Los cultivos pueden estar expuestos a diferentes niveles de concentración de estos metales, los cuáles podrían ser letales o subletales para los organismos y de acuerdo a esta exposición reaccionan de una manera específica (Figura 2). Un ejemplo claro es que a concentraciones subletales de metales pesados, se observa reacciones bioquímicas-enzimáticas que provocan daños en los organelos celulares, esto se traduce en afectaciones a nivel histológico y también en diversos procesos fisiológicos.

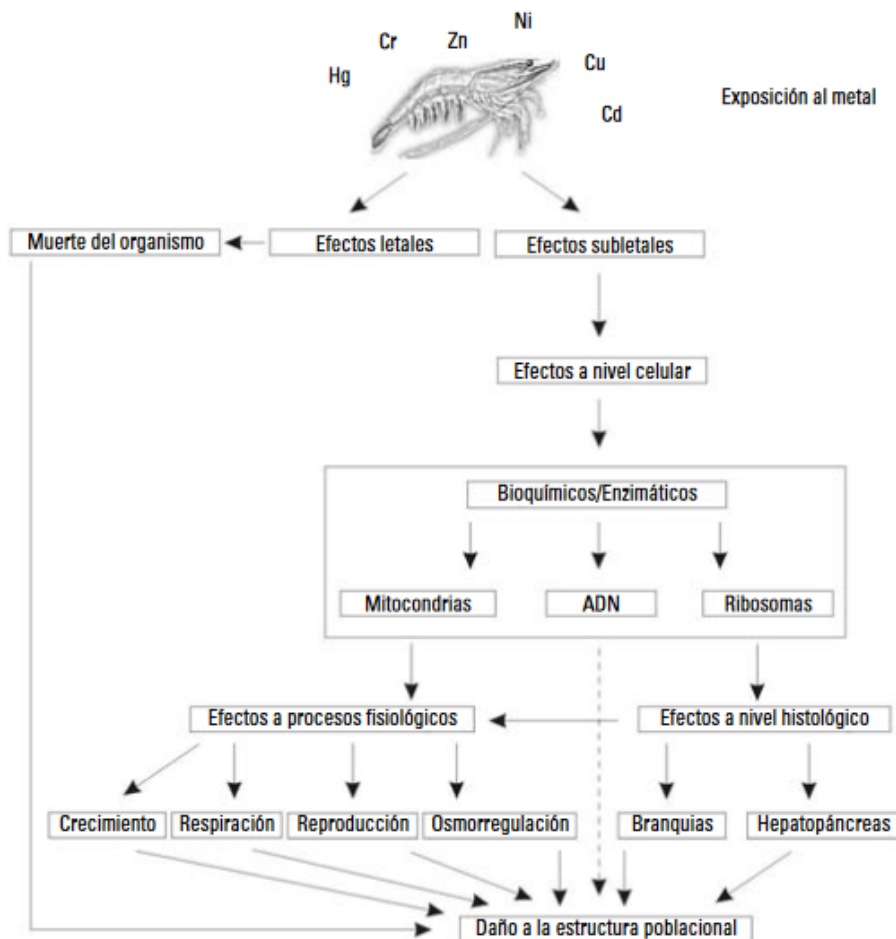


Figura 2. Efectos en los camarones a la exposición con metales

Fuente: (Frías *et al.*, 2011)

La exposición de los organismos en los cultivos a altas concentraciones de metales pesados incrementa su vulnerabilidad ante la presencia de patógenos, por lo que una recomendación importante es realizar estudios que permitan establecer las condiciones ambientales en los que se encuentra el estanque (Liao *et al.*, 2006).

2.7.1. Alteraciones a nivel histológico

En un estudio realizado por Frías *et al.* (2008), se evaluó el efecto que producen concentraciones subletales de Cu en *Litopenaeus vannamei*, al realizar la exposición en concentraciones altas (3,512; 1,756 y 0,878 mg/L) se pudo observar necrosis, pérdida de la estructura normal que componen las lamelas secundarias de las branquias, atrofia y necrosis del hepatopáncreas, infiltración hemocítica, así como también se observó una estructura tubular irregular. En el mismo estudio también se evaluó el efecto en concentraciones de 0,101 mg/L, valores que podemos encontrar comúnmente en los cultivos acuícolas, aquí se observó que los

organismos desarrollan un cuadro inflamatorio de branquias, el hepatopáncreas también se ve afectado ya que se observa separación del mioepitelio y epitelio tubular.

Los camarones al ser considerados como organismos eurihalinos son capaces de ser cultivados en aguas de baja salinidad (3-8 ups). Estos ambientes les genera un estrés hipo-osmótico, relacionado a la baja salinidad se incrementa la proporción de cobre como ion libre en los estanques acuícolas, este mineral se considera altamente tóxico para estas especies (Frías *et al.*, 2011).

En una publicación realizada por Abad *et al.*, (2010) evaluaron el efecto de la salinidad en la concentración de sulfato de cobre. Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron juveniles de *Litopenaeus vannamei* los mismos que fueron expuestos a 0,101 mg/L de sulfato de cobre en ambientes con salinidades de 1, 5 y 10 ups durante 25 días, como resultado se registraron afectaciones en el hepatopáncreas donde se observó desprendimiento de las células epiteliales de los túbulos, infiltración hemolítica y también una considerable reducción de las células R & B, todo esto en 1 ups de salinidad a partir de 10 días desde que se realizó la exposición (Figura 3). En salinidades de 5 y 10 ups se registraron similares alteraciones en los organismos, pero con la diferencia que aparecieron a partir de 20 días después de iniciada la exposición y con una afectación menor en comparación al primero tratamiento.

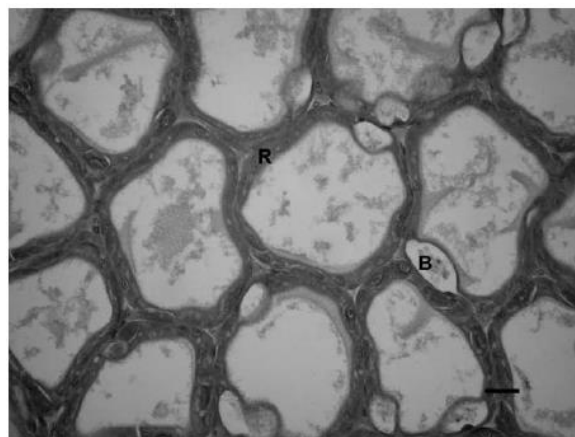


Figura 3. Túbulos del hepatopáncreas de *Litopenaeus vannamei* expuestos 10 días a 0.101 mg/L de Cu y 1ups.. Escala=20 micras

Fuente: (Frías *et al.*, 2011)

Un punto importante a tomar en cuenta es que los cultivos no solo están expuestos a un metal, sino que el ambiente alberga diversos componentes químicos generando un efecto sinérgico que causa alteraciones a los organismos en concentraciones menores a las que se consideraba como seguras para la supervivencia de los camarones (Frías *et al.*, 2011).

En un estudio realizado por Frías *et al.*, (2008) se evidenció que existe una relación entre la concentración de 7 metales combinados (Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) y la respuesta de los juveniles de *Litopenaeus vannamei*, se puede evidenciar una afectación importante en el hepatopáncreas, branquias e intestino medio. Entre las afectaciones que se observaron en el hepatopáncreas están la pérdida de células R, desprendimiento celular y atrofia de los túbulos. En las branquias se registró una dilatación anormal de las lagunas de las lamelas secundarias, en los epipoditos se localizaron diversos nódulos melanizados y en el intestino se evidenció una infiltración hemocítica severa.

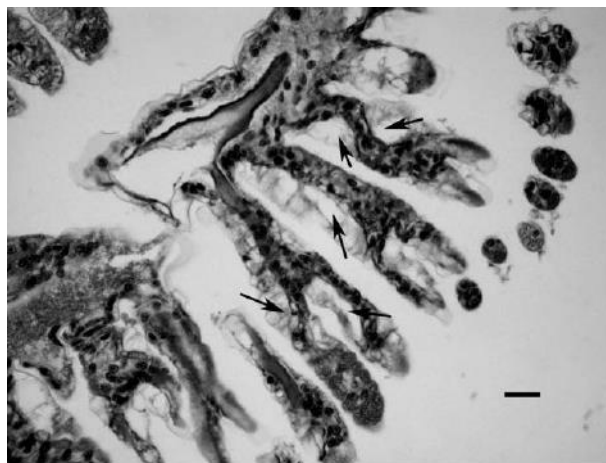


Figura 4. Lamelas secundarias de *L. vannamei* a 21 días de exposición a la mezcla de 7 metales. Escala = 20 micras

Fuente: (Frías *et al.*, 2011)

2.7.2. Alteraciones a nivel de ADN

Según Everaarts (1995), la molécula de ADN se considera un bioindicador ante la presencia de contaminantes en el ambiente, destacando además posibles riesgos en la estructura del material genético. Por esta razón es muy relevante un análisis de las condiciones del ADN por medio de técnicas especializadas (Dhawan *et al.*, 2009).

La técnica de electroforesis en gel de una sola célula (ensayo cometa) es utilizada como una herramienta molecular para identificar el daño que se produce en el material genético de la célula. La técnica consiste en la impregnación de células utilizando un gel de agarosa, las mismas que se someten a diversos procesos que permite romper sus membranas celulares, luego son sometidas a un campo eléctrico que contribuye a exponer el ADN que se encuentra en el núcleo de la célula (Ostling & Johanson, 1984).

En un estudio realizado por Frías *et al.*, (2011) se utilizó esta técnica para la evaluación de los hemocitos de *Litopenaeus vannamei* y determinar el daño producido en el material genético, el

cual fue expuesto a diferentes concentraciones de cobre (Cu), de esta manera poder confirmar que este metal es un elemento altamente tóxico para el ADN en esta especie. Un punto importante que hay que tomar en cuenta es que la exposición a metales pesados puede afectar considerablemente la variabilidad genética de las especies, aspecto que es muy importante en la práctica acuícola debido a la selección de los mejores organismos para la reproducción (Frías *et al.*, 2011).

2.7.3. Alteraciones en la tasa de respiración

El consumo de oxígeno se considera como un indicador importante para determinar el estrés que sufre un organismo como resultado de su exposición a contaminantes como los metales pesados, una forma de producir energía y enfrentar el estrés en el ambiente es incrementando el consumo de oxígeno (Frías *et al.*, 2011).

De acuerdo a Chinni *et al.*, (2000) se produce un daño citológico debido al bajo consumo de oxígeno ya que el principal órgano que se ve afectado por los metales son las branquias. Entre las afectaciones que se observan están los cambios en el patrón de la hemolinfa de las branquias, disminución en el grosor del epitelio bronquial, aumentando la vacuolización y deteniendo la perfusión de la hemolinfa. En otro estudio realizado por (Wu & Chen, 2004) se concluyó que el cadmio y el zinc también son los culpables de reducir el consumo de oxígeno en *Litopenaeus vannamei*. De acuerdo a lo expuesto es indispensable un mayor estudio en camarones ya que así se podrá conocer con mayor precisión las respuestas de los organismos en los cultivos ante la presencia de metales pesados.

2.7.4. Alteraciones en el crecimiento

En un estudio realizado por Frías *et al.*, (2009) se evaluó la reacción de las postlarvas de camarón *Litopenaeus vannamei* ante la exposición de diferentes concentraciones de metales (Cu, Cd, Mn, Hg, Fe, Pb y Zn) administradas de acuerdo a sus respectivos CL₅₀. Como resultado de este estudio se observó que las postlarvas redujeron considerablemente su crecimiento, dejando en evidencia una clara influencia de la mezcla de metales pesados en el desarrollo de los organismos, esta reducción en el crecimiento se atribuye a que los camarones usan una gran proporción de energía metabólica para poder proteger sus células de los efectos tóxicos que producen los metales pesados.

2.8. Afectaciones a las exportaciones

Según registros del Banco Central del Ecuador en el año 2020 el camarón constituyó un 26% de las exportaciones del país, además de convertirse en el principal producto de exportación no

petrolera, generando USD 3.824 millones. Durante los meses de enero a agosto del 2021 el camarón siguió manteniéndose como el principal producto de exportación, llegando principalmente a los mercados de China, EE.UU., Unión Europea, Rusia, entre otros, lo que representó para el país USD 3.175 millones en ingresos (BCE, 2021).

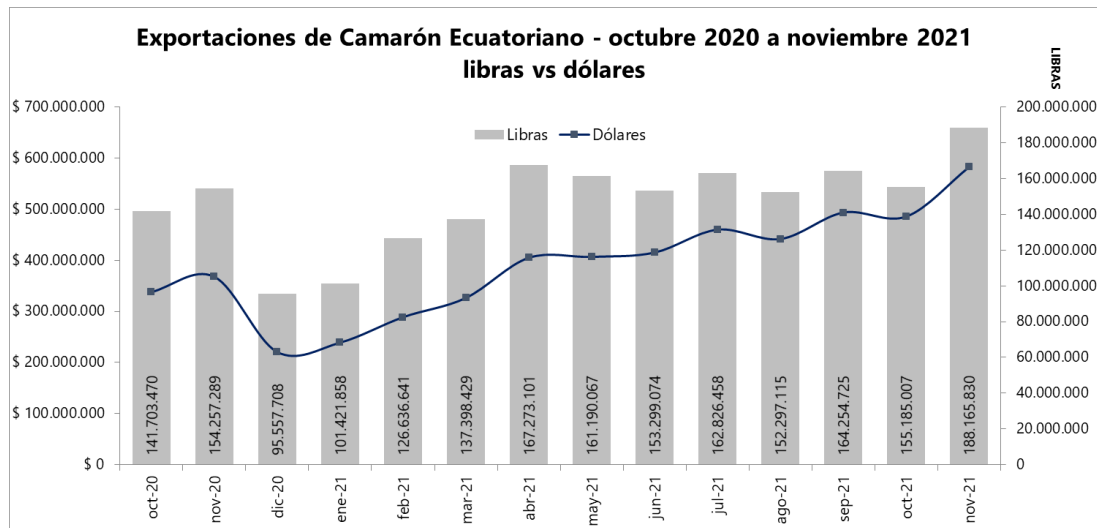


Figura 5. Exportaciones de Camarón Ecuatoriano - octubre 2020 a noviembre 2021

Fuente: (CNA, 2022)

Un aspecto relevante para que las exportaciones puedan crecer progresivamente es tomar en cuenta las afectaciones que generan los metales pesados en la productividad acuícola, actualmente existe normativas de carácter internacional que establecen tolerancias y que pueden rechazar productos que contienen residuos de metales pesados, hay que señalar también que este tipo de controles no se encuentran implementados en toda la cadena acuícola de manera sistemática. Por significar un sector de gran importancia en la economía del país es necesario estar conscientes de las reales dimensiones que conllevan estos problemas para las exportaciones de camarón. Además, es importante desarrollar e incorporar cronogramas que permitan la capacitación, control y prevención de metales pesados durante toda la cadena productiva (Varsavsky & Fernández, 2021).

En la actualidad se han desarrollado tecnologías que permiten de una manera automática y sistemática realizar la trazabilidad de los productos, un claro ejemplo es la implementación en el sector acuícola ecuatoriano del Sistema Integrado de Acuicultura y Pesca (SIAP) que buscan reducir los errores producidos por la manipulación humana, de esta forma poder generar de manera eficaz una respuesta por parte de los organismos de control de inocuidad, calidad y legalidad en todos los productos acuícolas de exportación (CNA, 2021).

2.9. Afectaciones a la salud humana

Según Bravo & Quispe (2018) los metales considerados como los más tóxicos o nocivos para la salud humana son el plomo, arsénico, mercurio y cadmio. Los metales pesados pueden estar presentes en los alimentos y en el ambiente, esto genera intoxicaciones y daños irreversibles en la salud humana y animal. Las altas concentraciones de metales pesados en el organismo provocan alteraciones en los procesos fisiológicos y bioquímicos de los seres humanos, originando una diversidad de complicaciones y enfermedades que comprometen seriamente la salud humana, pueden desarrollar patologías como el cáncer e incluso pueden llegar a causar la muerte (Lodoño et al., 2016).

Cada metal posee su característico modo de actuar y de acumularse en los organismos. El plomo por ejemplo actúa atacando el sistema nervioso, lo que degrada las neuronas de manera progresiva. El plomo también ataca la médula ósea y los riñones. Otro metal muy peligroso para la salud humana es el cadmio, el cual ataca de manera agresiva los riñones. Las afectaciones son diversas dependiendo del metal que pueda originar la intoxicación, pero generalmente la lesión celular se observa en todos los organismos expuestos a metales pesados. El plomo también puede ser causante de diversas patologías, como por ejemplo la esclerosis, también se caracteriza por la presencia de fatiga y parestesias ya que atacan al sistema nervioso. Se ha identificado que el plomo tiene relación con las pérdidas de habilidades cognitivas y retraso mental en seres humanos, además de provocar un daño renal irreversible (Romero, 2009).

3. CONCLUSIÓN

De acuerdo a la información recopilada en este trabajo, la exposición de camarones *Litopenaeus vannamei* a concentraciones altas de metales pesados provocan diversas alteraciones fisiológicas que generan pérdidas significativas en los cultivos, ya que afectan directamente a órganos importantes como las branquias o el hepatopáncreas, lo que se traduce en un deterioro en la salud de los animales, una reducción significativa de la población en los cultivos y por ende una menor rentabilidad para los productores.

Actualmente es necesaria una mayor investigación acerca de las condiciones en las que se encuentra el ambiente donde se desarrollan los cultivos de camarones, ya que un conocimiento previo significará un detalle importante a la hora de iniciar el ciclo productivo y de esta manera lograr obtener las mejores condiciones en el estanque para el desarrollo de los organismos.

4. BIBLIOGRAFÍA

1. Abad-Rosales, S. M., Frías-Espericueta, M. G., Inzunza-Rojas, A., Osuna-López, I., Páez-Osuna, F., Lozano-Olvera, R., & Voltolina, D. (2010). Efectos histológicos del Cu²⁺ en juveniles del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Crustacea: Decapoda) a bajas salinidades. *Revista de biología marina y oceanografía*, 45(1), 99-105.
2. Acosta De Armas, M. M., & Montilla Peña, J. X. (2018). Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo, y sedimento y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río Balsillas afluyente del río Bogotá. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1139702>
3. Alonso Castillo, L. A., & Hernández Fernández, A. J. (2011). Crecimiento del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* cultivado en dos densidades de siembra en estanques de concreto con aeración [PhD Thesis].
4. Bainy, A. C. D. (2000). Biochemical responses in penaeids caused by contaminants. *Aquaculture*, 191(1), 163-168. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00432-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00432-4)
5. Barrón, G. S. (2016). Ecotoxicología del cadmio. 23.
6. BCE. (2021). Banco Central del Ecuador-Información Estadística Mensual. <https://contenido.bce.fin.ec/home1/estadisticas/bolmensual/IEMensual.jsp>
7. Boada, M., Moreno, M. A., Gil, H., Marcano, J., & Maza, J. (2007). Metales pesados (cu+2, cd+2, pb+2, zn+2) en músculo y cefalotórax de camarones silvestres *litopenaeus schmitti*, *farfantepenaeus subtilis*, f. *Notialis* y f. *Brasiliensis* de la región oriental de venezuela. *Revista Científica*, 17(2), 186-192.
8. Bravo, C. P., & Quispe, L. S. (2018). Metales pesados: Fuentes y su toxicidad sobre la salud humana. *Ciencias*, 2(1), 20-36. <https://doi.org/10.33326/27066320.2018.1.842>
9. Briggs, M., Funge, S., Subasinghe, R., & Phillips, M. (2005). Introducciones Y Movimiento De Dos Especies De Camarones Peneidos En Asia Y El Pacifico. *Food & Agriculture Org.*
10. Chinni, S., Khan, R. N., & Yallapragada, P. R. (2000). Oxygen consumption, ammonia-N excretion, and metal accumulation in *Penaeus indicus* postlarvae exposed to lead. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 64(1), 144-151.
11. CNA. (2021). Cámara Nacional de Acuicultura – Gestión Acuícola. Presentación del sistema integrado de acuicultura y pesca. <https://www.cna-ecuador.com/>
12. CNA. (2022). Estadísticas – Cámara Nacional de Acuicultura. <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>

13. Dhawan, A., Bajpayee, M., & Parmar, D. (2009). Comet assay: A reliable tool for the assessment of DNA damage in different models. *Cell biology and toxicology*, 25(1), 5-32.
14. Espinosa, A. J. F. (2001). Especiación química y física de metales en la materia particulada atmosférica: Aplicación al estudio de la contaminación ambiental de la ciudad de Sevilla. Universidad de Sevilla.
15. Everaarts, J. M. (1995). DNA integrity as a biomarker of marine pollution: Strand breaks in seastar (*Asterias rubens*) and dab (*Limanda limanda*). *Marine Pollution Bulletin*, 31(4-12), 431-438.
16. Frías-Espericueta, M. G., Abad-Rosales, S., Nevárez-Velázquez, A. C., Osuna-López, I., Páez-Osuna, F., Lozano-Olvera, R., & Voltolina, D. (2008). Histological effects of a combination of heavy metals on Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquatic Toxicology*, 89(3), 152-157.
17. Frías-Espericueta, M. G., Aguilar-Juárez, M., Osuna-López, I., Abad-Rosales, S., Izaguirre-Fierro, G., & Voltolina, D. (2011). Los metales y la camaronicultura en México. *Hidrobiológica*, 21(3), 217-228.
18. Frías-Espericueta, M. G., Aguilar-Juárez, M., Voltolina, D., & Paniagua-Chávez, C. (2011). Effect of Cu on hemocytic DNA of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, assessed by the comet assay. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(4), 586-590.
19. Frías-Espericueta, M. G., Castro-Longoria, R., Barrón-Gallardo, G. J., Osuna-López, J. I., Abad-Rosales, S. M., Páez-Osuna, F., & Voltolina, D. (2008). Histological changes and survival of *Litopenaeus vannamei* juveniles with different copper concentrations. *Aquaculture*, 278(1-4), 97-100.
20. Frías-Espericueta, M. G., Voltolina, D., Osuna-López, I., & Izaguirre-Fierro, G. (2009). Toxicity of metal mixtures to the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Marine environmental research*, 68(5), 223-226.
21. Gilmour, C. C., Riedel, G. S., Ederington, M. C., Bell, J. T., Gill, G. A., & Stordal, M. C. (1998). Methylmercury concentrations and production rates across a trophic gradient in the northern Everglades. *Biogeochemistry*, 40(2), 327-345. <https://doi.org/10.1023/A:1005972708616>
22. Jaime-Ceballos, B., Galindo-López, J., Laria-Lamela, E., Cupul-Magaña, F., & Vega-Villasante, F. (2008). Traslado de postlarvas de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) a diferentes tiempos, salinidades y densidades y su efecto en la supervivencia y algunos marcadores bioquímicos. *Revista de biología marina y oceanografía*, 43(3), 681-686. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572008000300027>

23. Lacerda, L. D., Santos, J. A., & Madrid, R. M. (2006). Copper emission factors from intensive shrimp aquaculture. *Marine Pollution Bulletin*, 52(12), 1823-1826.
24. Liao, C.-M., Chang, C.-F., Yeh, C.-H., Chen, S.-C., Chiang, K.-C., Chio, C.-P., Chou, B. Y.-H., Jou, L.-J., Lien, G.-W., & Lin, C.-M. (2006). Metal stresses affect the population dynamics of disease transmission in aquaculture species. *Aquaculture*, 257(1-4), 321-332.
25. Lodoño, L. F. L., Muñoz, P. T. L., & Garcia, F. G. M. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
26. Maciel, J. C., Francisco, C. J., & Miranda-Filho, K. C. (2018). Compensatory growth and feed restriction in marine shrimp production, with emphasis on biofloc technology. *Aquaculture International*, 26(1), 203-212. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0209-z>
27. Martínez Flores, K., Souza Arroyo, V., Bucio Ortiz, L., Gómez Quiroz, L. E., & Gutiérrez Ruiz, M. C. (2013). Cadmio: Efectos sobre la salud. *Respuesta celular y molecular. Acta toxicológica argentina*, 21(1), 33-49.
28. Miras, J. J. R. (2009). Estudio de la contaminación por metales pesados y otros procesos de degradación química en los suelos en los invernaderos del poniente almeriense. Universidad Almería.
29. Moncayo Vera, D. J. (2020). “Medición de variables zootécnicas en el cultivo de camarón blanco (*Litopenaeus Vannamei*), alimentados con dietas balanceadas con inclusión de *Espirulina*”. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6151>
30. Morales, V., & Cuéllar-Anjel, J. (2014). Guía Técnica de Patología e Inmunología de Camarones. OIRSA, Panamá, República de Panamá.
31. Ostling, 65O, & Johanson, K. J. (1984). Microelectrophoretic study of radiation-induced DNA damages in individual mammalian cells. *Biochemical and biophysical research communications*, 123(1), 291-298.
32. Romero Ledezma, K. P. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12(1), 45-46.
33. Roux, S. M. L., Turner, A., E. Millward, G., Ebdon, L., & Appriou, P. (2001). Partitioning of mercury onto suspended sediments in estuaries Presented at the Whistler 2000 Speciation Symposium, Whistler Resort, BC, Canada, June 25–July 1, 2000. *Journal of Environmental Monitoring*, 3(1), 37-42. <https://doi.org/10.1039/B007093I>
34. Sacasqui Huaito, M. R. (2017). Control avanzado sobre un sistema de aireación durante el cultivo de langostinos (*Litopenaeus vannamei*), usando modelos matemáticos para la

predicción de oxígeno disuelto en acuicultura. Universidad de Piura.
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3013>

35. Valdez, G., Díaz, F., Re, A. D., & Sierra, E. (2008). Efecto de la salinidad sobre la fisiología energética del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Hidrobiológica*, 18(2), 105-115.
36. Vardanyan, L. G., & Ingole, B. S. (2006). Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. *Environment International*, 32(2), 208-218. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.08.013>
37. Varsavsky, A. I., & Fernández, D. (2021, febrero 9). Acuicultura y metales pesados. Engormix. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/acuicultura-metales-pesados-t46680.htm>
38. Wu, J. P., & Chen, H.-C. (2004). Effects of cadmium and zinc on oxygen consumption, ammonium excretion, and osmoregulation of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Chemosphere*, 57(11), 1591-1598.