

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Tesis para optar el Grado Académico de
Maestra en Ecología y Gestión Ambiental

Efectos ecotoxicológicos del cadmio sobre la mortalidad de la concha de
abanico y riesgo ecológico en áreas de la costa peruana

Autora: Bach. Vera Diego, Roselinda Giovanna

Asesor: Dr. Tam Málaga, Jorge

LIMA - PERU

2021

MIEMBROS DEL JURADO EXAMINADOR

Dra. Betty Gaby Millán Salazar
Presidenta

M.Sc. Carlos Alfredo Ugarte Alván
Secretario

M.Sc. Fernando Vásquez Perdomo
Miembro

Dr. Jorge L. Tam Málaga
Asesor

Representante de la EPG

DEDICATORIA

*A Dios, a mis padres, Daniel que desde el cielo nos cuida, y a Rosita
por acompañarnos con su amor y dedicación,*

*A mi esposo y a mis hijos Carla, Shen y
Diana quienes son mi apoyo y mi razón para ser
feliz.*

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Instituto del Mar del Perú (IMARPE), especialmente al personal científico del Laboratorio de Ecotoxicología Acuática por el apoyo para realizar mi trabajo de investigación, al Dr. Jorge Tam del Laboratorio de Modelado Oceanográfico, Ecosistémico y del Cambio Climático del IMARPE, por sus valiosos consejos y orientación profesional. Al personal técnico especialmente al Tec.Quim. Edwin Pinto, Sr. José Ortega y al Sr. José Manuel Fiestas.

Índice de Contenidos

Índice de Tablas y figuras

Resumen

Abstract

Introducción

CAPÍTULO I. Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema general

1.2.2 Problemas específicos

1.3 Importancia y justificación del estudio (aporte, contribución)

1.4 Delimitación del estudio

1.5 Objetivos de la investigación:

1.5.1 Objetivo general

1.5.2 Objetivos específicos

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico

2.1.1 Marco legal

2.2 Investigaciones relacionadas al tema

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio (teorías, modelos)

2.4 Definición de términos básicos

2.5 Fundamentos teóricos que sustenta a las hipótesis (figuras, o mapas

conceptuales)

2.6 Hipótesis:

2.6.1 Hipótesis general

2.6.2 Hipótesis específicas

2.7 Variables (definición y operacionalización de variables: Dimensiones e Indicadores)

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo, método y diseño de la investigación

3.2 Población y muestra (escenario de estudio)

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos (validez y confiabilidad)

3.4 Descripción de procedimientos de análisis

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados

4.2 Análisis de resultados o discusión de resultados

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ANEXOS

Anexo 1: Declaración de autenticidad

Anexo 2: Autorización de consentimiento para realizar la investigación

Anexo 3. Matriz de consistencia

LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Ciclo del cadmio (Fuente: CP 2018).

Figura 2. Anatomía interna del bivalvo *Argopecten* sp. (www.Fao.org)

Figura 3. Curva típica de dosis-respuesta o fracción de organismos afectados en función de la concentración de tóxico (tomado de Blasco et al. 2016).

Figura 4. Diagrama de relación entre variables e indicadores independientes y dependientes.

Figura 5. Ubicación del banco de concha de abanico frente a La Tiza (cuadrado).

Figura 6. Áreas seleccionadas para evaluar el riesgo ecológico.

Figura 7. Acondicionamiento de individuos en laboratorio.

Figura 8. Alimento fitoplanctónico

Figura 9. Prueba ecotoxicológica preliminar o Screening test.

Figura 10. Pruebas ecotoxicológicas definitivas.

Figura 11. Curva dosis-respuesta del cadmio usando concha de abanico juvenil.

Figura 12. Curva dosis-respuesta del cadmio usando concha de abanico adulta.

Figura 13. Ranking de especies según la concentración efectiva media (CE50%).

Figura 14. Concentración efectiva media (CE50%) promedio de cadmio usando concha de abanico y otras especies nativas peruanas. Los bigotes indican límites de confianza al 95%.

Figura 15. Comparación del riesgo ecológico promedio en juveniles (izquierda) y adultos (derecha) de concha de abanico con el punto de referencia de 1.1.

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.

Tabla 2. Condiciones de las pruebas ecotoxicológicas con el metal cadmio usando

Argopecten purpuratus.

Tabla 3. Concentración efectiva media (CE50%) de cadmio usando diferentes especies

marinas peruanas nativas y chilena.

Tabla 4. Riesgo ecológico para juveniles y adultos de concha de abanico en las bahías

seleccionadas de la costa peruana.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la toxicidad del ión cadmio (Cd^{+2}) en el molusco bivalvo *Argopecten purpuratus* “concha de abanico” utilizando las pruebas de ecotoxicidad, con el fin de conocer el efecto negativo que causan estos metales al ser vertidos al mar y el efecto que puede ocasionar a los siguientes niveles tróficos del ecosistema e impactando indirectamente a las actividades humanas como son la pesca artesanal, maricultura, turismo y recreación.

El material biológico para ejecutar las pruebas de toxicidad fue colectado de la concesión de la empresa Mariexport ubicada en Pucusana (Lima), mientras que las diferentes concentraciones del ión cadmio (Cd^{+2}) fueron obtenidas a partir de la sal metálica Cloruro de cadmio preparada en laboratorio. Además, se colectó información adicional de trabajos realizados desde 1997 en la línea de investigación en Ecotoxicología Acuática con este agente tóxico. El trabajo de laboratorio fue realizado en las instalaciones de la Línea de Investigación en Ecotoxicología Acuática del Instituto del Mar del Perú.

El conocimiento de la toxicidad de este metal permitió establecer medidas correctivas como mejorar el tratamiento de los efluentes que son arrojados al mar usando como una herramienta cuantitativa las pruebas de toxicidad o bioensayos, así como determinar el riesgo ecológico de áreas de la costa peruana.

Palabras clave: ecotoxicología, cadmio, concha de abanico, mortalidad, riesgo ecológico.

ABSTRACT

This study aimed to determinate toxicity of the ion cadmium ion (Cd^{+2}) in the bivalve mollusk *Argopecten purpuratus* “concha de abanico” using test of ecotoxicity in order to know the negative effect caused when these metals are dumped into the sea and the effect that cause the following trophic levels of the ecosystem. In addition, directly impacting human health and indirectly human activities such as artisanal fishing, mariculture, tourism and recreation.

The biological material to execute the toxicity tests was collected at the Mariexport Company Concession located in Pucusana (Lima) while the different cadmium ion (Cd^{+2}) concentrations were obtained from the metallic salt cadmium chloride prepared in the laboratory. The additional information was collected on work carried out since 1997 in the research line in Aquatic ecotoxicology. The laboratory work was carried out at the Aquatic Ecotoxicology Research of the Marine Research Institute (IMARPE).

The knowledge of the toxicity of this metal allowed to establish corrective measure such as improving the treatment of effluents that are discharged into the sea using as a quantitative tool the toxicity test or bioassays as well as determining the ecological risk in areas of the Peruvian coast.

Keywords: ecotoxicology, cadmium, scallop, mortality, ecology risk

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de nuestro planeta están siendo alterados por la contaminación de tipo antropogénico, provocando la extinción de especies que habitan aire, suelo y agua, así como la reducción de la calidad de los alimentos que el planeta provee y afectando la salud de los seres humanos.

Uno de los agentes contaminantes más peligrosos y que se necesita controlar pertenece al grupo de los metales pesados. Los metales pesados (Cobre, Plomo, Mercurio, Cadmio, etc.) se utilizan ampliamente en las actividades industriales, mineras, agrícolas entre otras.

El cadmio es uno de los metales que forma parte de rocas y suelos y se encuentra asociado con el Zinc siendo liberado al medio ambiente cerca de 25 000 toneladas (Reyes et al. 2016) y que ésta cifra se acrecienta con la actividad humana. En el mar, este metal pesado está considerado dentro de los parámetros de control en los monitoreos ambientales tanto del bentos, de los organismos que la habitan y de la columna de agua. Además se encuentra legislado en los estándares de calidad en cada país. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció una ingesta de este metal en 7 ug/kg de peso corporal en los humanos, siendo el riñón el órgano diana para controlar la toxicidad y puso énfasis sobre las alteraciones óseas que causa en la ingesta de un alto consumo de mariscos y carnes de organismos marinos (PNUMA, 2010).

En el Perú, se han encontrado valores de cadmio que sobrepasan los estándares en los tejidos de los organismos marinos, especialmente de moluscos (Marín y García, 2015), y en algunos casos en el bentos marino, debido a ello se hace necesario realizar estudios

de causa-efecto con organismos autóctonos o nativos que sirva como base para los programas de evaluación de riesgo ecológico en nuestro país.

El presente estudio utiliza la Ecotoxicología, la cual nace como parte de la toxicología ambiental, y que permite determinar cuantitativamente la toxicidad de los efluentes o agentes contaminantes usando organismos pruebas en sus diferentes etapas de vida (Larraín 1995). La ecotoxicología se focaliza en impactos de contaminantes sobre la vida silvestre, mientras que la toxicología investiga impactos sobre humanos, animales domesticados y cultivos agrícolas (Belden 2020).

Las pruebas ecotoxicológicas en el presente estudio se realizó usando como agente tóxico el ión cadmio Cadmio y como organismo prueba el molusco bivalvo “concha de abanico” por su manejo controlado en laboratorio y su obtención, por su amplia distribución en nuestro litoral, su importancia ecológica y económica y su tolerancia a los cambios ambientales.

Los bioensayos ha permitido dar soporte a las leyes o normas sobre la calidad del agua para proteger a los ecosistemas en diferentes países de América, Asia y Europa; ya que no existe un instrumento u equipo que pueda medir la toxicidad de las sustancias químicas que se vierten al medio acuático (Moledo et al. 1998).

En el capítulo I se describe el problema sobre la contaminación de nuestras costas, determinándose que uno de los contaminantes de alto riesgo es la presencia de metales pesados, hay estudios en el Perú sobre toxicidad de metales en otros niveles tróficos pero no se conoce el efecto del cadmio sobre la mortalidad de la especie nativa *Argopecten purpuratus* “concha de abanico”, ni la sensibilidad con respecto a otras especies peruanas, ni el grado de riesgo ecológico en diferentes bahías de la costa peruana a partir de pruebas de toxicidad. Por lo que se plantearon las preguntas: ¿Cuál es la relación

entre el cadmio y el porcentaje de mortalidad de la concha de abanico?, ¿Cuál es la sensibilidad ecotoxicológica de la concha de abanico al cadmio en comparación a otras especies nativas peruanas? y ¿Cuál es el nivel de riesgo ecológico en diferentes áreas de la costa peruana?.

A partir de estas preguntas se plantearon los objetivos: Evaluar la relación entre el cadmio y el porcentaje de mortalidad de la concha de abanico, evaluar la sensibilidad ecotoxicológica de la concha de abanico al cadmio, respecto a otras especies nativas peruanas y evaluar el riesgo ecológico del cadmio en diferentes áreas de la costa peruana en base a los parámetros ecotoxicológicos. En el capítulo II se presenta el marco histórico de la ecotoxicología dando a conocer las investigaciones realizadas desde la aparición de la toxicología ambiental hasta el desarrollo de la ecotoxicología en América latina y su uso en nuestro país. Se presenta además, el uso de términos básicos para la mejor comprensión de las pruebas de toxicidad y sus resultados, se alcanza a través de un glosario de términos; así como también la formulación de las hipótesis sobre el incremento del porcentaje de mortalidad de la concha de abanico debido al cadmio, la mayor sensibilidad al cadmio de la concha de abanico respecto a otras especies nativas peruanas y el riesgo ecológico medio de las principales bahías de la costa peruana. En el capítulo III se describe la metodología utilizada en las pruebas ecotoxicológicas desde la colecta de los organismos-prueba, la adaptación y mantenimiento en laboratorio de los organismos, la preparación de las soluciones stock del agente tóxico, la exposición de los organismos-prueba al agente tóxico, el registro de parámetros ambientales durante la prueba, el registro e introducción de las respuestas en el programa PROBIT y el cálculo del cociente de peligro utilizando las concentraciones de cadmio en agua de mar encontrados en diversos monitoreos ambientales de otros investigadores peruanos. En

el capítulo IV se alcanzan los resultados obtenidos en las pruebas ecotoxicológicas, así como las condiciones finales de las pruebas, se hace un análisis comparativo con las CE50 de otros organismos prueba utilizados con el agente tóxico (Cd^{+2}), y se discuten los resultados obtenidos.

Finalmente, se alcanzan los aportes de la presente tesis a través de las conclusiones y recomendaciones pertinentes para futuras investigaciones.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Las principales bahías de nuestro país se ven afectadas por la contaminación de efluentes (pesqueros, domésticos, mineros, etc.) que se vierten al mar, debido a que la mayoría de fuentes no han implementado sistemas de tratamiento que permitan reducir los contaminantes que se arrojan en ella, y en algunos casos no se hace uso correcto de la operación del sistema de tratamiento. Uno de los agentes contaminantes que encontramos sea de manera natural o como sustancias de desechos que se vierten al mar, son los metales pesados. Los metales pesados son los más peligrosos, aún en bajas concentraciones porque según Cuizano & Navarro (2008) reúnen cinco características propias de un tóxico: su toxicidad a largo plazo, se puede bioacumular a través de la cadena alimenticia, su transformación a formas más tóxicas bajo ciertas condiciones (i.e.

el mercurio), su persistencia y puede mobilizarse a grandes distancias. Incluso son tóxicos aún en muy bajas concentraciones (desde 0.001 a 0.1 mg/mL). Esto ha llegado a ocasionar el deterioro de la calidad de las aguas marinas, y por ende, la desaparición de la biota que en ella habita, ya que alteran los niveles tróficos del ecosistema, como lo han demostrado Valcárcel *et al.* (1974), Echegaray *et al.* (1989), Sánchez & Hollemweguer (1991), Sánchez *et al.* (1998), Jacinto *et al.* (2008), Guzmán *et al.* (1997), Jacinto & Guzmán (1998), Orozco *et al.* (1999), Cabello *et al.* (1999), Ruiz *et al.* (2013), entre otros. Entre las bahías más afectadas tenemos: Ferrol (Chimbote), Callao, Paracas (Pisco), Chancay, Paita, Ilo, entre otras (Sánchez *et al.* 1998). Además la salud de la población es afectada, ya que los organismos acuáticos de consumo humano se encuentran contaminados con metales pesados como lo demuestran los estudios en nuestro país de Ruiz *et al.* (2013), Marín & García (2015) y Bertolotti & Noé (2018).

La contaminación conlleva también que la pesca de especies marinas se vea afectada, produciéndose una gran pérdida económica para la población que habita en estas zonas y que viven de la pesca artesanal, así como para los maricultores artesanales e industriales.

Otra problemática es la pérdida de los organismos de diferentes niveles tróficos del ecosistema, ocasionando alteraciones y fenómenos que pueden acarrear la muerte a través de la biomagnificación o bioacumulación de diversos agentes tóxicos (Crompton 1997).

Dentro de los metales pesados poco estudiados en el Perú es el cadmio, uno de los metales que se ha encontrado en los diferentes sustratos del fondo marino y en organismos marinos, si bien en bajas concentraciones, es suficiente para causar alguna alteración a nivel fisiológico de los organismos que la consumen.

Por otro lado, el molusco bivalvo *Argopecten purpuratus* “concha de abanico”, es una especie nativa del Pacífico Sur y de gran importancia ecológica y económica. Este bivalvo es un molusco filtrador que posee características ideales para su cultivo ya que presenta una alta productividad, rápido crecimiento, es resistente al manejo y su tecnología de cultivo es conocida. Es uno de los invertebrados comerciales más importantes, cuyo desarrollo poblacional es favorecido por el fenómeno El Niño, pero ha sido afectado por una extracción descontrolada que ha conducido al deterioro de sus bancos naturales. Las medidas de control que permitan conservar los bancos naturales de concha de abanico favorecerán su repoblamiento y producción sostenible (Mendo & Wolff 2002, Kluger et al. 2015). Por ello, es que se necesitan ampliar las investigaciones de esta especie nativa de nuestras costas.

El presente estudio hace uso de la Ecotoxicología, la cual permite determinar cuantitativamente la toxicidad de los efluentes o agentes contaminantes usando organismos marinos en sus diferentes etapas de vida. La agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos (USEPA, 1993) recomienda el uso de los bioensayos, datos biológicos y de hábitat adicionalmente de los datos químicos para evaluar la calidad del agua (Larraín, 1995, Moledo et al. 1998). En países de Sudamérica como Brasil y Chile, estas pruebas con organismos nativos y foráneos son aceptadas legalmente para proteger los ecosistemas acuáticos de los vertimientos de efluentes de diferentes empresas productivas, en nuestro país estas investigaciones aún son limitadas (Sánchez & Vera 2001).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo afectan las trazas de cadmio a la concha de abanico, en comparación a otras especies peruanas, y en diferentes áreas de la costa peruana?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿En qué medida la concentración de cadmio aumentará el porcentaje de mortalidad de la concha de abanico?

¿Cuál es la sensibilidad ecotoxicológica de la concha de abanico al cadmio en comparación a otras especies nativas peruanas?

¿Cuál es el nivel de riesgo ecológico en diferentes áreas de la costa peruana?

1.3. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Justificación ambiental: el creciente impacto ambiental de las actividades humanas, principalmente el vertido de sustancias orgánicas e inorgánicas liberadas al ambiente por procesos productivos, ha favorecido el desarrollo de una disciplina basada en la toxicología y la ecología: la ecotoxicología, la cual ha sido recomendada como herramienta indispensable en las evaluaciones de impacto ambiental y en la obtención de autorizaciones gubernamentales para realizar actividades productivas, tanto por los expertos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (CPPS/PNUMA

1985) así como por la Organización Mundial de la Salud (OMS 1980 en Larraín 1995).

En ese contexto, el objeto de estudio de la presente investigación es la relación entre el cadmio y la concha de abanico. Si bien es cierto que existen estudios más sofisticados, éstos son caros y no se tendría información del mecanismo o de la cantidad de cadmio que puede afectar directamente a una especie de importancia económica en el Perú. Las pruebas de toxicidad cortas nos dan información de la respuesta del organismo ante la exposición a estos metales y sus efectos. Las pruebas son rápidas y no es muy costoso.

Justificación empírica: las pruebas ecotoxicológicas son útiles para numerosos propósitos, entre los que se incluyen: i) adaptaciones de la biota acuática a las condiciones ambientales, ii) factores favorables y desfavorables del ambiente, como la demanda bioquímica de oxígeno, pH, temperatura, salinidad o turbidez; iii) efecto de los factores ambientales sobre la toxicidad de los contaminantes; iv) toxicidad de los contaminantes sobre una determinada especie; v) sensibilidad de los organismos acuáticos ante agentes tóxicos; vi) magnitud que ha de tener el tratamiento de los contaminantes para cumplir con los estándares de calidad del agua; vii) efectividad de los métodos de tratamiento de desechos; viii) tasa de descarga de vertidos permitida; y ix) concordancia entre las normas de calidad del agua, los condicionamientos a los vertidos y los permisos de descarga (APHA 2017).

Justificación social: las pruebas ecotoxicológicas han servido de base para la determinación de los criterios de calidad de tanto de aguas dulces como aguas marinas según su uso para los Estados Unidos de Norteamérica a través de

la Agencia de Protección Ambiental de ese país (U.S.E.P.A.), ya que las pruebas físicas y químicas no resultan suficientes para la valoración de los potenciales efectos sobre la vida acuática (Moledo et al., 1998).

Estas pruebas ecotoxicológicas permiten por ende la protección de nuestras principales bahías que son de uso de la pesca artesanal y de la población costera principalmente. Dentro de diferentes áreas de la costa peruana que se han evaluado para determinar el riesgo ecológico y que tienen información científica debido a que son los principales bancos de concha de abanico se encuentran: bahía de Sechura, playa Conchán y bahía de Paracas. La bahía de Sechura se encuentra ubicada en $5^{\circ} 34' 56''$ S y $80^{\circ} 57' 10''$ W en el departamento de Piura; la Playa Conchán se ubica en $12^{\circ} 16' S$ y $76^{\circ} 58' W$ en el departamento de Lima; la bahía de Paracas se encuentra ubicada en $13^{\circ} 49' 36''$ S y $76^{\circ} 16' 22''$ W en el departamento de Ica; y Punta Mesa se ubica en $18^{\circ} 00' S$ y $70^{\circ} 53' W$ en el departamento de Tacna.

1.4. DELIMITACION DEL ESTUDIO

El estudio estuvo limitado por el número de pruebas ecotoxicológicas realizadas con concha de abanico expuestas a cadmio, que dependió de los recursos biológicos y materiales disponibles en el laboratorio.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la mortalidad, sensibilidad y riesgo ecológico de la “concha de abanico” *Argopecten purpuratus* frente a trazas de cadmio.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la relación entre el cadmio y el porcentaje de mortalidad de la concha de abanico.
- Evaluar la sensibilidad ecotoxicológica de la concha de abanico al cadmio, respecto a otras especies nativas peruanas.
- Evaluar el riesgo ecológico del cadmio en diferentes áreas de la costa peruana en base a los parámetros ecotoxicológicos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO HISTÓRICO

Evolución de las teorías desde la ecotoxicología al análisis de riesgo ecológico.

La relación entre el cadmio y la concha de abanico, objeto de estudio de la presente investigación, está respaldada por la evolución de teorías que van desde la relación toxicológica dosis-respuesta, hasta los enfoques ecotoxicológicos.

Dentro de las evidencias históricas del inicio de las pruebas ecotoxicológicas, Chapman (2000) hace referencia que “desde Aristóteles, quien coleccionaba -gusanos de sangre- (probablemente Chironómidos) de lodos de agua dulce en aguas abajo donde los atenienses descargaban sus aguas residuales, y observaba la respuesta de estos animales colocándolos en agua salada” (p. 3).

Desde ese tiempo los términos y conceptos sobre los tipos de sustancias que existen en la naturaleza han ido evolucionando con las investigaciones hechas por Hipócrates y Galeno. En la Revista Científica de Salud, hacen referencia de ello:

En la época de Hipócrates (460-377 a. C.) los médicos buscaron sustancias que pudieran restablecer la armonía de la naturaleza, explicada mediante el equilibrio de los humores. El conocimiento sobre los fármacos y los venenos llevó a Hipócrates a escribir en su juramento: “No daré a nadie, aunque me lo pida, ningún fármaco letal, ni haré semejante sugerencia”. Siglos después, Galeno (131-201 d. C.) diferencia radicalmente los conceptos fármaco, alimento y veneno”. (Salcedo, 2011, p.6).

Posteriormente, Paracelso (1493-1541) escribe la primera expresión razonada de la relación entre “la dosis y la respuesta”. Lo anterior fue resumido en: *Dosis sola facit venenum* (la dosis hace al veneno. Estos términos mencionados fueron el inicio para el desarrollo de la toxicología dentro de la farmacología durante los siglos XVII y XVIII. Sin embargo, es en el siglo XX donde se desarrollará la toxicología ambiental ya que se desarrollan grandes acontecimientos: la Segunda Guerra Mundial, el desarrollo tecnológico, el crecimiento demográfico, la industrialización y la agricultura tecnificada contribuyeron a que entraran en el ambiente, de manera continua, cantidades crecientes de un gran número de sustancias químicas, cuyas interacciones y efectos adversos, tanto sobre el medio ambiente como sobre los seres vivos se desconocían adecuadamente (Jaramillo et al. 2006).

Debido a ello, muchos fueron los desastres ambientales Vizcarra (2002) explica el caso de la contaminación del metal pesado Mercurio a las aguas de la Bahía de Minamata (Japón) que en los años 50 produjo la muerte de peces, aves, mamíferos y 46 personas, a parte de las que quedaron afectadas a nivel del sistema nervioso central. Otro de los casos conocidos es el producido por la contaminación del metal pesado Cadmio al río Jinzú (Japón) y que produjo la enfermedad ITAI-ITAI (en español significa ay-ay-

ayayay) que consiste en causar la descalcificación con dolor en las articulaciones (osteomalacia) y el deterioro de la función renal hasta llevarlos a la muerte. Estos y otros acontecimientos que suscitaron en otros países como en Estados Unidos y en Europa marcaron el inicio de las investigaciones en ecotoxicología.

La ecotoxicología como disciplina de las ciencias ambientales ha ido asumiendo una comprensión más holística donde no tan solo se estudia los efectos de los agentes contaminantes o xenobióticos de los individuos sino que éste debe relacionarse con su entorno ambiental, esto implica que:

“El campo de la ecotoxicología comprende el ciclo completo de la contaminación, incluyendo el estudio de las fuentes de emisión de contaminantes, su naturaleza, el seguimiento y las transformaciones ambientales de las sustancias (degradación, cambios metabólicos), las interacciones entre ellas y los seres vivos (por ejemplo, la bioacumulación) y por tanto de su impacto ambiental.” (Larraín, 1995, p. 39).

Un gran esfuerzo para describir y registrar los efectos de varias concentraciones de un gran número de sustancias sobre la vida acuática fue hecho por Ellis (1937 en USEPA 1976), quien revisó la existencia de 114 sustancias, y en un documento de 72 páginas listó las concentraciones letales encontradas por varios autores. El autor proveyó una razón fundamental para el uso estándar de animales prueba en procedimientos de bioensayos acuáticos, y usó el goldfish, *Carassius auratus* y el entomostraco, *Daphnia magna*, como especies prueba.

En 1952, el estado de California (U.S.A.) publicó 512 páginas en un libro titulado “Criterios de Calidad del Agua” que contenía 1,369 referencias, luego en 1963 se publicó una segunda edición, la cual incluyó 3, 827 referencias citadas. Finalmente, en 1972, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos alcanzó los resultados de los criterios de calidad del agua para diferentes usos de agua, basados en la ecotoxicología acuática (EPA U.S.A, 1983). Y es en este mismo año que se crearon en muchos países secretarías, ministerios la cual permitió la promulgación de leyes ambientales. En los años 80 se exigió la prohibición de los compuestos orgánicos persistentes ya que perduran por mucho tiempo y son tóxicos (Wright y Welbourn, 2002).

Ya desde 1980 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), estudiaron toxicológicamente 2 mil productos químicos de 63 mil sustancias químicas de uso cotidiano y es debido a la producción de nuevos productos químicos y que son desechados al ambiente que se desarrolló aún más la ecotoxicología.

Larraín (1995) detalla en su publicación el desarrollo de las metodologías en los Estados Unidos:

Las pruebas de toxicidad aguda para peces han sido usadas por la Administración de Alimentos y Drogas (USFDA) y la Agencia de Protección del Medio Ambiente (USEPA) de los Estados Unidos desde 1863 (Jones 1964 en Hunn 1989). Estas metodologías sobre pruebas de toxicidad fueron publicadas y estandarizadas en 1960 (American Public Health Association 1960 en Hunn, 1989), mejoradas en 1975 (Tarzwell 1978 en Hunn 1989) y actualizadas en 1980 (American Society for Testing and Materials 1980 en Hunn 1989). Estas pruebas

han sido utilizadas para establecer la actividad de los químicos en los ciclos biológicos, evaluar la toxicidad de metales y predecir el riesgo ecológico (Hunn, 1989).

En 1985, las pruebas de toxicidad de efluentes fueron formalizadas por la Agencia de Protección del Ambiente (U.S.E.P.A.) con el intento de identificar, caracterizar y eliminar los efectos de las descargas sobre las fuentes acuáticas. Durante más de 15 años se han publicado varios manuales, publicaciones y guías interpretativas (Chapman, 2000).

Las guías para derivar numéricamente el criterio de calidad de agua para la protección de los organismos acuáticos y sus usos están basadas en cuatro tipos posibles de efectos adversos: toxicidad aguda para animales, toxicidad crónica para animales, toxicidad para plantas y bioacumulación. Otros datos como reproducción, crecimiento, comportamiento, etc. pueden ser usados si están disponibles (Russo, 2002).

Debido a la importante información que alcanzan las pruebas ecotoxicológicas no tan solo la EPA, sino también la APHA (2017), la FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO (1987), entre otras, han publicado protocolos de trabajo en detalle, como apoyo para determinar los criterios de la calidad de las aguas en base al uso de organismos acuáticos propios de cada país.

La ecotoxicología si bien es cierto son pruebas orientativas se caracteriza por llevar a cabo un diagnóstico evaluativo, que tiende a la predicción y que según Capó (2002) se fundamenta en tres parámetros: la determinación de la dosis de ambiente, la evaluación de la carga y la predicción del riesgo.

La evaluación del riesgo ecológico o medio ambiental ha permitido determinar los criterios de calidad del agua para los diferentes usos, según Planes & Fuchs (2015) se utilizan dos enfoques para establecer el valor de concentración que no causa efectos sobre los organismos (Calow & Forbes, 2003): el factor de seguridad y la distribución de la sensibilidad de las especies. Existen diversos trabajos donde se utiliza la ecotoxicología como una de las herramientas para evaluar el riesgo ecológico de productos que se pueden verter al medio acuático, como por ejemplo el trabajo de Medina & Ramos (2009) quienes evaluaron el riesgo ambiental de productos veterinarios utilizados en la acuicultura.

2.1.1 MARCO LEGAL

- Constitución Política del Perú (29 de diciembre de 1993)

CAPÍTULO I. Derecho fundamentales de las personas.

En el artículo 2.- Toda persona tiene derecho:

1. A la vida, a su identidad, a su integridad moral, psíquica y física y a su libre desarrollo y bienestar.

CAPÍTULO II. Del Ambiente y recursos naturales

En el artículo 67°.- El Estado determina la Política Nacional del Ambiente.

Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

En el artículo 68°.- El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

- Ley General del Ambiente – Ley No 28611 (15 de octubre 2005)

TÍTULO PRELIMINAR DERECHOS Y PRINCIPIOS

Artículo I.- Del derecho y deber fundamental. Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

- **Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM.** Aprueba la Política Nacional del Ambiente.
- **Decreto Legislativo N° 1013.** Aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.
- **Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.** Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM. Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.
- **Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.** Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.
- **Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.** Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgica.
- **Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.** Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.

Establecen para 0.01 mg.L^{-1} para cadmio en aguas superficiales en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) del cadmio disuelto (mg.L^{-1}) para la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E3: Ecosistemas costeros y marinos, en ambientes Marinos es de 0.0088 mg.L^{-1} .

2.2. INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL TEMA

Las investigaciones sobre ecotoxicología respaldan el objeto de estudio del presente trabajo, ya que establecen la relación entre los tóxicos y los organismos del ecosistema.

La ecotoxicología ha sido una de las disciplinas de las ciencias ambientales ampliamente utilizada en países que han tenido graves problemas de contaminación acuática, casos como en los Estados Unidos, quienes debido a problemas ambientales comenzaron a desarrollar pruebas con organismos acuáticos o bioensayos con el fin de cuantificar la toxicidad de las sustancias orgánicas e inorgánicas que se desechaban al ecosistema acuático, y así establecer medidas de corrección para el establecimiento de normas o leyes que protejan la biota de estos ecosistemas y por ende la salud humana. La Agencia de Protección del Medio ambiente o U.S.E.P.A (United States Environmental Protection Agency) investigó arduamente para establecer de criterios de calidad acuática para diversos tipos de contaminantes orgánicos e inorgánicos utilizando especies de su medio.

La USEPA recomienda el uso de bioensayos, información biológica y hábitat además de datos químicos para evaluar la calidad del agua. (USEPA, 1993).

Investigaciones nacionales

En el Perú los estudios realizados en ecotoxicología son relativamente recientes, principalmente usando organismos de agua dulce (Bustamante 1978, Iannacone et al., 1999a, 1999b, 1999c). Las investigaciones sobre ecotoxicología con organismos marinos son limitados, pero podemos citar a Zambrano (1983), Sánchez & Tupayachi (1988), Alayo & Iannacone (1999), Sánchez & Vera (2001), Tam et al. (2000), Lacma et al. (2007), y Vera et al. (2001a, 2001b, 2009).

Sánchez & Vera (2001) plantearon como objetivo usar organismos nativos peruanos en pruebas ecotoxicológicas, la metodología se describe en un manual de ecotoxicología, los resultados fueron los protocolos para: *Arbacia spatuligera*, *Emerita análoga*, *Argopecten purpuratus* y *Odonthestes regia*, la conclusión fue que es posible usar organismos nativos para pruebas ecotoxicológicas. Tam et al. (2000) plantearon como objetivo de investigación determinar los efectos negativos del cadmio en la población de la microalga *Skeletonema costatum*, la metodología consistió en un modelo poblacional logístico incluyendo un parámetro ecotoxicológico, los resultados mostraron que a mayor cadmio la biomasa se reduce bajo la capacidad de carga, concluyéndose que sí hay efectos negativos del cadmio sobre el crecimiento poblacional de la microalga; Vera et al. (2001a) plantearon como objetivo determinar el efecto inhibitor del cadmio en el crecimiento poblacional de la diatomea *Chaetoceros gracilis* ya que estas células son alimento principal para muchas especies fitoplanctónicas, los resultados mostraron una concentración efectiva media (CE50%) de 591 $\mu\text{g.L}^{-1}$ concluyéndose el efecto inhibitor del cadmio en la especie y la alta sensibilidad de la diatomea lo cual permite ser usado como un organismos prueba en laboratorio; igualmente Vera et al. (2001b) realizaron

pruebas ecotoxicológicas con cadmio y cromo usando las postlarvas del *Odontesthes regia* con el objetivo de comparar la toxicidad entre el cadmio y el cromo, los resultados fueron de 0,648 mg.L⁻¹ de cadmio (a 96 h) y 2,680 mg.L⁻¹ de cromo (a 96 h), concluyéndose la alta toxicidad del cadmio en comparación con el cromo; Lacma et al. (2007) realizaron pruebas ecotoxicológicas con cromo usando el molusco bentónico *Donax obesulus* siendo objetivo determinar el efecto del cromo en la capacidad de enterramiento del molusco y además probar si puede ser utilizado como organismo prueba dentro de la ecotoxicología con sedimento. Los resultados obtenidos en términos de CL50 a 48 h y 96 h para *D. obesulus*, expuestos al cromo, fueron 57.8% y 83.5% menores que el valor guía y efectivamente el cromo presenta un notable efecto subletal en la capacidad de enterramiento y puede ser utilizado como organismo prueba.

En la publicación de Vera et al. (2009) se realizaron pruebas ecotoxicológicas con petróleo crudo, diésel 2 y kerosene usando la microalga *Chaetoceros gracilis* siendo el objetivo determinar el efecto inhibitor de estos hidrocarburos sobre el crecimiento algal, dando como resultados que la solución más tóxica fue la solución Diésel 2 (CI: 90 mg.L⁻¹), seguida de la solución con kerosene (CI: 98 mg.L⁻¹) y la solución con petróleo crudo (CI: 867.5 mg.L⁻¹) y concluyéndose que la solución Diesel es la más inhibitoria en el crecimiento algal.

Recientemente, se han realizado investigaciones sobre la bioacumulación de diversos metales en concha de abanico (e.g. Loaiza et al. 2015, Barriga-Sánchez y Aranda 2018), sin embargo, aún no se ha determinado la concentración efectiva media **ecotoxicológica** del cadmio en *Argopecten purpuratus*, a pesar de su importancia en la evaluación de los riesgos ecológicos.

Investigaciones internacionales

En Sudamérica, encontramos trabajos de Zuñiga et al. (1995), Rodríguez & Rivera (1995), Larraín (1995), Almeida et al. (1985), Malagrino & Almeida (1987). Weber (1993) y Klemm et al. (1994) exponen los protocolos de trabajo para cada especie, lo que ha servido de base para los científicos en otras partes del mundo. Otros investigadores de diferentes nacionalidades como Spehar (1976), Reish & Scott (1978), Larsson et al. (1981), Axiak & Shembri (1982), Aoyama & Okamura (1984), Vymazal (1987), Neff (1987), Bressan & Brunnett (1988), Stauber & Florence (1990), Lee et al. (1993), Cardwell et al. (1999), entre otros realizaron investigaciones de fisiología a partir de las pruebas de toxicidad, por ejemplo, Belcheva et al. (2006) encontraron una correlación positiva entre el contenido de cadmio en la glándula digestiva y el peso de la concha japonesa, la cual puede ser usada para comparar los niveles de cadmio en diferentes áreas.

Fathallah et al. (2011) evaluó la calidad del agua de las costas de Tunisia, a través de pruebas de toxicidad usando los embriones y las larvas del bivalvo *Ruditapes decussatus*.

Bach et al. (2014) investigaron concentraciones de cadmio en la almeja islándica, encontrando mayores concentraciones en el riñón y la glándula digestiva, recomendando eviscerar estos órganos durante el procesamiento para cumplir con las normas sanitarias de consumo humano directo.

Wang et al. (2018) concluyeron que la promoción e inhibición balanceada de factores apoptóticos aseguran la estabilidad de la almeja china al adaptarse a un ambiente con metales pesados como cadmio y plomo.

Algunas investigaciones presentan diseños metodológicos y protocolos para los bioensayos ecotoxicológicos. Sánchez y Vera (2000) ofrecen el primer manual de ecotoxicología marina con los métodos para especies nativas peruanas. Medina & Ramos (2009), plantean una propuesta metodológica que evalúa las implicancias de riesgo ambiental de productos veterinarios utilizados en la acuicultura con el uso de pruebas ecotoxicológicas en Chile.

Para futuras investigaciones, se recomienda evaluar otros estresores además de los metales, en vista de los múltiples efectos que provocará el cambio climático sobre los ecosistemas. Por ejemplo, Benedetti et al. (2016) investigaron el efecto sinérgico de múltiples estresores (cadmio, pH y temperatura) sobre la concha antártica, encontrando mayor efecto en las branquias que en la glándula digestiva. Por otro lado, Nardi et al. (2017) encontraron que la co-exposición a la acidificación y el cadmio aumentó la genotoxicidad y causó daño permanente en el ADN de los hemocitos de choros mediterráneos.

2.3. ESTRUCTURA TEÓRICA Y CIENTÍFICA QUE SUSTENTA EL ESTUDIO

a. Sobre las variables independientes

Teoría sobre contaminación por cadmio

Son numerosas las referencias que abarcan tanto las propiedades del metal pesado cadmio así como su toxicidad. Existen estudios sobre el ciclo del cadmio en el océano (CP 2018, Fig. 1) que incluyen la bioacumulación de metales pesados en organismos (Corrales, 2015; Marín & García, 2015).

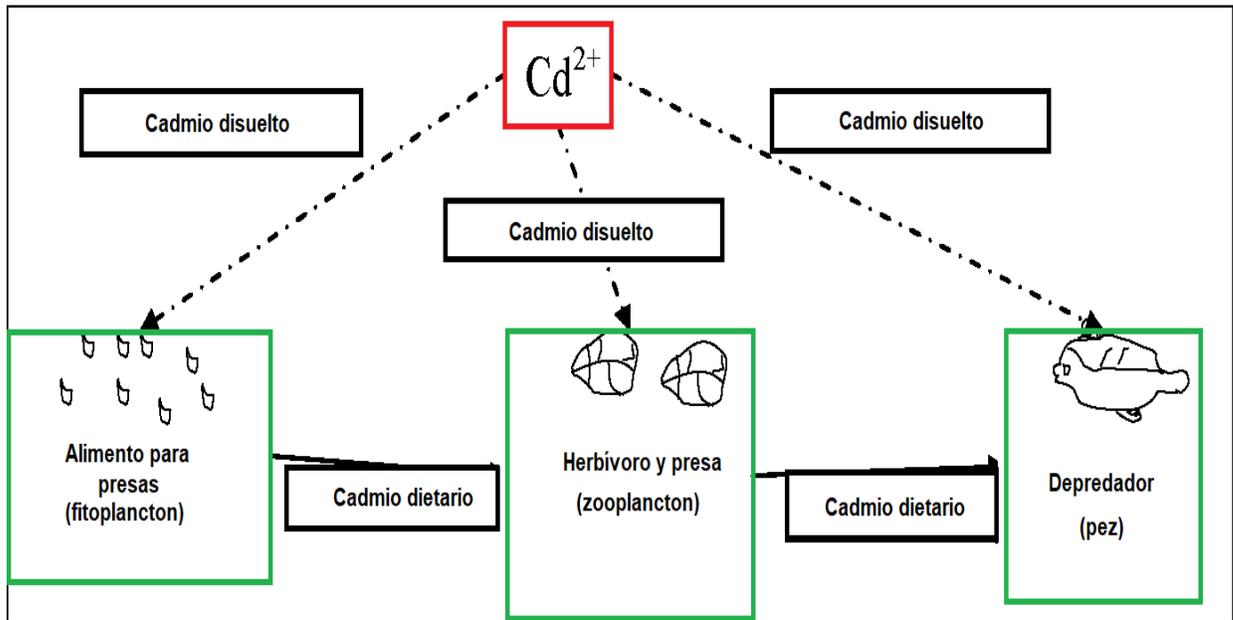


Figura 1. Ciclo del cadmio

Fuente: CP (2018).

El resumen ejecutivo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2010) define al cadmio como un metal de color blanco brillante, dúctil, maleable y resistente a la corrosión. Su densidad es de $8,642 \text{ g/cm}^3$ y sus vapores son 3.88 veces más pesados que el aire. Los usos principales del cadmio se encuentran en las baterías (pilas de níquel con cadmio), pigmentos para plástico, esmaltes y cerámicas, placas de hierro y acero, también como estabilizadores de plástico y conformando aleaciones de cobre, estaño y plomo. La Organización Mundial de la Salud (1992) establecieron un límite máximo de absorción por día de 1 ug/Kg peso corporal/diario.

Análisis. Existen diferentes fuentes contaminantes que hace que no tan solo exista la contaminación del agua, sino de los suelos y el aire, permitiendo su ingesta por diferentes medios en los seres vivos.

Ramírez (2002) señala que la concentración de cadmio en el aire en áreas industriales varía entre 9,1 a 26,7 ug/m³, el tiempo de permanencia del cadmio en suelos es hasta 300 años y el 90% permanece sin transformarse. En el Perú, la contaminación de ecosistemas acuáticos frecuentemente es por efluentes que contienen residuos líquidos y sólidos de plantas hidrometalúrgicas de cadmio. Marín & García (2015) definen al cadmio como un xenobiótico, es decir un metal tóxico y no esencial para el organismo y que se acumula en los tejidos, absorbiéndose por las vías respiratorias y digestivas.

Análisis: la presencia de concentraciones de cadmio (mg/Kg) ha sido encontrada en especies marinas peruanas entre ellas a la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*). Existen publicaciones del Instituto del Mar del Perú referente a la presencia de Cadmio en el sedimento de algunas bahías del Perú en Guzmán (1996), Sánchez et al. (1998), Sánchez et al. (2008) y Jacinto et al. (2008).

Vizcarra (2002) advierte en una de sus publicaciones que hay antecedentes de enfermedades provocadas por la ingesta de cadmio a través de la cadena trófica, es el caso de la enfermedad ITAI-ITAI (Río Jinzú-Japón) que ataca a los huesos, descalcificándolos, provocando dolores intensos.

Análisis: el cadmio puede desplazar fácilmente el calcio de los huesos haciéndolos frágiles, también puede depositarse fácilmente en el hígado y riñones, dos órganos vitales para la nutrición y limpieza de la sangre.

Teoría sobre la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*)

Según Cano (2004) la concha de abanico se clasifica taxonómicamente dentro de:

Clase: Pelecypoda (Bivalvia, Lamelibranchia)

Sub clase: Pteriomorpha

Orden: Pterioidea (Pteroconchida, Isodontida)

Super familia: Pectinacea

Familia: Pectinidae

Especie: *Argopecten purpuratus* (LAMARCK)

Este bivalvo, es un organismo bentónico y filtrador. Su alimentación lo hace a través de filamentos o tentáculos que expone al exterior para atrapar el detritus y el fitoplancton. La presencia de un músculo abductor le permite mantener unidas las valvas al igual que la charnela o bisagra. Tiene un pie que le permite fijarse al sustrato y se moviliza con ayuda del abrir y cerrar de sus valvas. Es hermafrodita. (Fig.2).

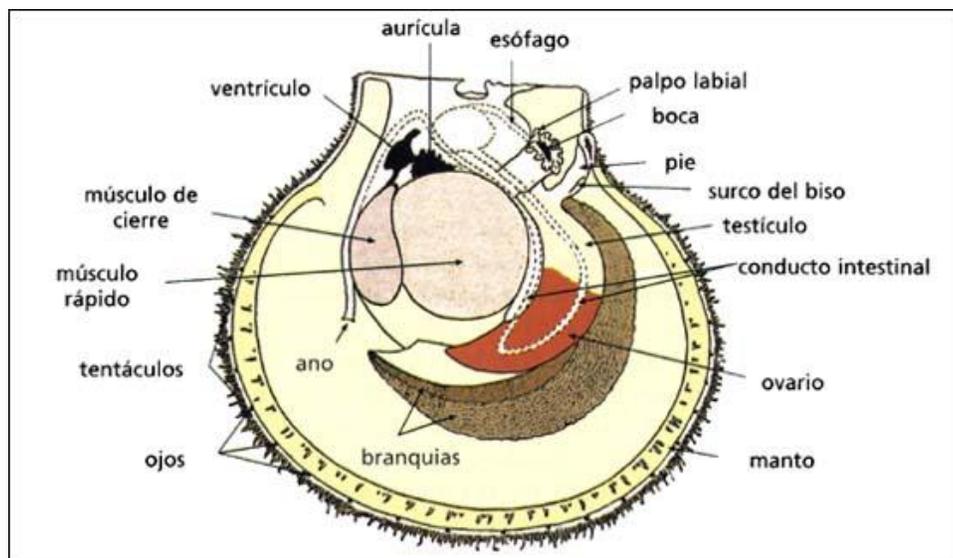


Figura 2. Anatomía interna del bivalvo *Argopecten* sp.

Fuente: www.Fao.org.

Según Arguelles et al. (2011) el hábitat de la concha de abanico se encuentra en la infra litoral areno-pedregoso y algoso y se distribuye desde Paita (Perú) hasta Coquimbo (Chile) y en Perú se distribuye desde bahía Independencia (Paracas-Ica) hasta la bahía Sechura (Piura).

Cisneros et al. (2008) refiere que la concha de abanico peruana *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819), tiene gran importancia económica ya que es una de las doce especies de pectínido que se comercializan en el mercado internacional.

Análisis: la concha de abanico es de alto valor nutritivo y gran aceptación en los Estados Unidos, Japón y Europa, particularmente Francia.

a) Sobre la variable dependiente

Teoría sobre la mortalidad de concha de abanico (Marsden y Cranford 2016).

Todos los moluscos bivalvos tienen la habilidad de acumular grandes cantidades de metales traza en sus tejidos y valvas. Como resultado la exposición de stocks de concha de abanico a metales traza podría hacerlos tóxicos a sus depredadores, incluyendo humanos.

Marsden & Cranford (2016) mencionan que el cadmio es un metal traza no esencial que ocurre en bajas concentraciones en el océano, es reconocido como uno de los más deletéreos contaminantes metálicos y ha dominado las investigaciones de metales traza inorgánicos en conchas de abanico.

Análisis: La entrada oceánica de cadmio de ríos y la atmósfera se cree que viene de origen antropogénico. El cadmio tiende a unirse débilmente a partículas y

mucho de la reserva oceánica es biodisponible. Los pectínidos acumulan cadmio en un mayor grado que otros organismos, indicando la ausencia de un efectivo mecanismo de regulación de las concentraciones tisulares. Hay grandes diferencias en la habilidad de las conchas de abanico de regular las concentraciones de diferentes metales, dependiendo de la especie, tamaño, sexo, estado reproductivo. En la concha de abanico, el cadmio se concentra en mayores niveles en hepatopáncreas, riñones, glándula digestiva.

Teoría ecotoxicológica sobre la Concentración Efectiva Media (Weber 1993)

Experimentos con organismos permiten medir el efecto de uno o más contaminantes en una o más especies de organismos. Las pruebas ecotoxicológicas son conducidas en varios periodos de tiempo, siendo la de 96 horas la prueba más común. El organismo está expuesto a concentraciones incrementadas de un agente tóxico con el objetivo de determinar algunos cambios producidos. Esto se puede evidenciar con la muerte del organismo como criterio de respuesta en pruebas de corta duración. La concentración efectiva media (CE50, LC50, LD50) es la concentración del tóxico a la cual el 50 % de los organismos de prueba son afectados al estar expuestos a la sustancia en un periodo específico. La concentración efectiva media es el parámetro ecotoxicológico más importante, que caracteriza la relación entre la dosis y la respuesta (mortalidad, crecimiento reducido, impedimentos reproductivos, estructura alterada, inestabilidad del ecosistema) (Weber 1993). Cuanto menor sea la CE50, más tóxica será la sustancia.

Teoría sobre el riesgo ecológico (Kolluru et al. 1998)

El riesgo es la posibilidad de que algo indeseable ocurra en un momento determinado. El análisis de riesgo ecológico comprende la evaluación de la exposición, la evaluación de efectos de la toxicidad, la caracterización de riesgos, la administración del riesgo y la comunicación del riesgo. Kolluru et al. (1998) indican que la administración del riesgo implica la asignación de prioridades basadas en riesgos. El proceso de análisis de decisiones es un enfoque práctico que usa la teoría de la preferencia de atributos múltiples cuando existe una incertidumbre importante y grupos de interés muy diferentes.

Análisis: un indicador simple del riesgo es el cociente de peligro, que se define como la relación entre el nivel de exposición, insumo o dosis y la dosis de referencia, por la misma ruta de exposición y el mismo periodo de exposición (crónico o subcrónico).

Teoría sobre manejo de riesgo (Calow 1998)

El manejo de riesgo se ha definido como el proceso de implementar decisiones sobre tolerar o alterar el riesgo. La evaluación de riesgo incluyendo la mitigación, permite estimar el riesgo residual. El manejo de riesgo puede incluir estrategias como: mejores opciones ambientales practicables, ubicación de sitios de operación, controles durante operación y cierre, interrupción de vías de exposición, cierre de la facilidad (Calow 1998).

2.4. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS

Sobre variables independientes:

Cadmio. El cadmio es una sustancia natural en la corteza terrestre. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otras sustancias tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio), o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). Todo tipo de terrenos y rocas, incluso minerales de carbón y abonos minerales, contienen algo de cadmio. La mayor parte del cadmio es extraído durante la producción de otros metales como zinc, plomo y cobre. El cadmio no se oxida fácilmente, y tiene muchos usos incluyendo baterías, pigmentos, revestimientos para metales, y plásticos. (PNUMA, 2010). Es persistente en el ambiente y si es absorbido por el organismo humano puede persistir por décadas antes de ser excretado. En humanos, la exposición prolongada se relaciona con la disfunción renal. También puede llevar a enfermedades pulmonares, se la ha relacionado con el cáncer de pulmón y puede provocar osteoporosis en humanos y animales (Ramírez, 2002).

Dosis. Es la concentración de una sustancia a la cual el organismo está expuesto y en la cual se ha de contabilizar la cantidad de tóxico total por las diferentes vías de entrada. Cualquier efecto tóxico, es proporcional a la dosis (Wright & Welbourn, 2002).

Dosis-respuesta. Pone de manifiesto la correspondencia entre la dosis de exposición y la proporción de individuos, dentro de un grupo de sujetos definido, que presentan un efecto específico con una magnitud determinada. Ambas relaciones, por tanto, pueden representarse de modo gráfico, como curvas dosis-efecto y dosis-respuesta (Wright & Welbourn, 2002).

Concentración letal media o LC50. Es definida como la concentración estimada de contaminante que ocasiona la muerte al 50% de organismos en un periodo de tiempo determinado (e.g. 96 h) (Weber, 1993)

Concentración efectiva media o CE50. Es la concentración estimada de contaminante que causa un efecto específico al 50% de organismos en un periodo de tiempo determinado (e.g. 96 h). Estos experimentos son conducidos bajo condiciones controladas de laboratorio (Weber, 1993)

Concentración de no efecto observado (NOEC). Concentración a la cual no se observa efecto o la más alta concentración de la prueba en la cual no hay una reducción estadísticamente significativa del crecimiento o tasa de crecimiento relativo al control (Weber, 1993)

Concentración mínima efectiva observada (LOEC). Concentración más baja a la cual se observa efecto o es la más baja concentración de una sustancia en una prueba de toxicidad que tiene un efecto adverso sobre la tasa de crecimiento de población expuesta (Weber, 1993)

Metales pesados. Se le llama metales pesados a aquellos que tienen una densidad 5 a 6 veces mayor que la del agua, por ejemplo, el arsénico, berilio, cadmio, cromo, mercurio, plomo, etc. Los metales pesados no se degradan y pueden acumularse en los organismos vivos (Rebaza, 2016)

Tóxico de referencia. Es una sustancia química (e.g. cromo) utilizada en bioensayos de toxicidad, cuyo efecto en los organismos, a determinadas concentraciones, es conocido y por lo tanto, permite establecer el estado de respuesta de los organismos de prueba empleados, así como comparar los resultados intra e inter laboratorios. El uso de estos tóxicos, proporciona también una evaluación general de la precisión (estabilidad y

reproducibilidad) del método a través del tiempo (SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL, 1995).

Sobre variables dependientes:

Concha de abanico. Especie de molusco bivalvo marino, *Argopecten purpuratus*, de importancia comercial (Arguelles et al., 2011)

Efecto agudo. Es el cambio que ocurre después de un tiempo de exposición de 48 o 96 horas. En los bioensayos de toxicidad aguda, se deberá tener especial cuidado en la definición de un criterio para indicar la muerte, considerando que en los ensayos muchas veces existe la dificultad para precisar si los individuos aún tienen señales de vida. (Weber, 1993). El documento UNEP (1988) al respecto señala que "los organismos indicadores tienen una ventaja sobre las muestras de agua, en que integran los niveles de contaminación sobre largos periodos de tiempo". Unos criterios pueden tener más relevancia que otros con respecto al tipo de contaminantes, y éstos generalmente varían desde niveles enzimáticos a ecosistemas.

Efecto crónico. Es el cambio que ocurre después de una exposición a largo plazo (no menor de 7 días), y están relacionados con cambios de apetito, crecimiento, metabolismo, reproducción y aún mutaciones o muerte) (Weber, 1993).

Efecto ecotoxicológico. Es un cambio biológico determinado producido por el tóxico, el cual es observable mediante técnicas biológicas o bioquímicas a nivel celular, tisular, de órgano u organismos (Weber, 1993)

Mortalidad. Medición del efecto biológico sobre el material probado. En las pruebas de toxicidad aguda, esta respuesta habitualmente es la muerte. En las pruebas de bioestimulación es el incremento de la masa biológica (Weber, 1993).

Otros términos:

Aclimatar. Acostumbrar a los organismos a diferentes condiciones ambientales tales como la temperatura, luz y calidad del agua (Weber, 1993).

Control. Organismos expuestos solo al agua de dilución o al agua natural al que están normalmente expuestos, o a ambas (Weber, 1993).

Ecotoxicología. Estudio de la relación entre la exposición, dosis y respuesta a nivel del individuo, población y comunidad (Wright & Welbourn, 2002).

Ensayo de intervalo. Ensayo preliminar destinado a establecer aproximadamente la toxicidad de una solución. El diseño de esta prueba abarca concentraciones múltiples y ampliamente espaciadas con replicados únicos y la exposición de 8 a 24 horas (Weber, 1993).

Ensayo o prueba de selección (“screening”). Destinado a determinar la posibilidad de observar un impacto; el diseño incorpora una concentración, replicados múltiples y exposición de 24 horas (Weber, 1993).

Ensayo o prueba definitiva. Diseñado para establecer la concentración a la que se produce la reacción final buscada. Las exposiciones para estas pruebas son más prolongadas que para la detección o “screening”, incorporando concentraciones múltiples, a intervalos más próximos y replicados múltiples (Weber, 1993).

Estándares de calidad de agua. Son valores máximos o mínimos de algunas características físicas, químicas y biológicas del agua que reflejan las tolerancias y requerimientos de la biota acuática (Thurton *et al.* 1979 en Larraín, 1995) o en forma más específica, concentraciones máximas o niveles máximos de alguna característica que, sobre la base de datos científicos, no causarán efectos apreciables sobre un sistema acuático o sus usuarios. Estos criterios pueden también aplicarse a los diversos usos de

una determinada clasificación del agua. Asimismo, estas definiciones son utilizadas ampliamente en el desarrollo de las actividades tendentes a la determinación de los estándares de calidad acuática (Sprague, 1990 en Larraín, 1995).

Nutriente. Sustancia específica que se necesita para el crecimiento de los organismos (Weber, 1993).

Prueba estática. Prueba en las que las soluciones y los organismos estudiados se colocan en cámaras o acuarios y se mantienen ahí todo el tiempo que dure la prueba. (Weber, 1993)

Programa PROBIT. Se utiliza para las pruebas de toxicidad aguda y proporciona una medida de la concentración letal media (LC50 o CE50) y sus límites de confianza, estimados del promedio (μ) y la desviación estándar (σ) de la distribución de la tolerancia, así como una estadística de heterogeneidad con distribución chi-cuadrado como indicador de la bondad de ajuste (West & Gulley 1996).

Para el análisis de datos, se aplican los programas computacionales como el PROBIT y el DUNNETT, éste último igualmente, permite la obtención de los CEMO (LOEC) y CENO (NOEC), para lo cual es necesario realizar análisis de varianza (ANVA), y una comparación múltiple de tratamiento de las medias del control. El ANVA es usado para obtener el valor de error. Este programa indica cuál de las medias de las concentraciones tóxicas, estadísticamente, es diferente de la media del control a un nivel de significancia del 5 % (Weber, 1993).

Sensibilidad ecotoxicológica. Umbral de tolerancia de las especies a un tóxico, determinada mediante la concentración letal media (LC50) a través de pruebas ecotoxicológicas agudas o crónicas (Posthuma et al. 2002).

Solución stock. Mixtura de agua de mar UV. Filtrada a 0.45um y el agente tóxico (metales) en alta concentración, a partir de la cual son preparadas las soluciones prueba (Weber, 1993).

Solución prueba. Soluciones finales del agente tóxico en las cuales son colocados los organismos prueba (Weber, 1993).

Tasa de crecimiento poblacional. Tasa de incremento en la densidad celular con respecto al tiempo (Weber, 1993).

Tiempo de exposición. Tiempo en que el organismo se encuentra expuesto a la solución en estudio (Weber, 1993).

Toxicidad. Es la capacidad de una sustancia para causar una lesión o alteración del metabolismo en un organismo vivo. Este concepto está ligado a varios aspectos que se debe tener en cuenta, como la cantidad del tóxico, la vía de administración, la dosificación en el tiempo, el tipo y gravedad de efecto producido. Además de las variables como la temperatura y formas químicas (Jaramillo, 2008).

2.5. FUNDAMENTOS TEORICOS QUE SUSTENTAN LA HIPOTESIS

La teoría ecotoxicológica sobre la relación dosis-respuesta (Blasco et al. 2016, Fig. 3) sustenta las hipótesis de un efecto negativo del metal cadmio sobre la mortalidad de la concha de abanico, una mayor sensibilidad de especies a menor concentración efectiva media y un mayor riesgo ecológico a mayor cociente de peligro.

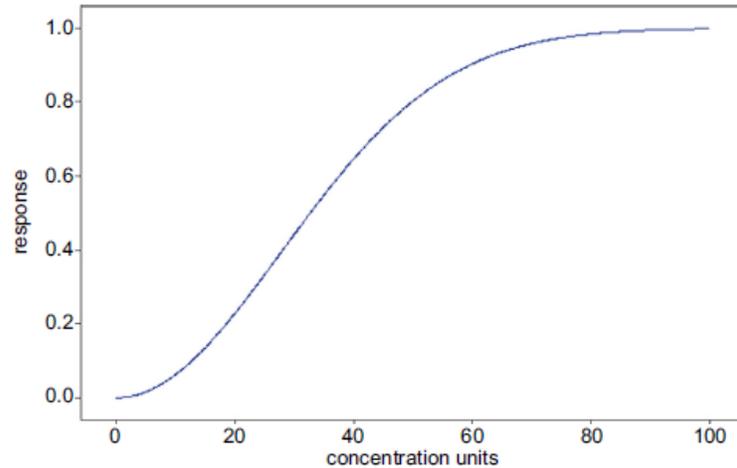


Figura 3. Curva típica de dosis-respuesta o fracción de organismos afectados en función de la concentración de tóxico.

Fuente: Blasco et al. (2016).

2.6. HIPOTESIS

2.6.1. HIPOTESIS GENERAL

El ión cadmio causa mortalidad en el molusco bivalvo “concha de abanico” *Argopecten purpuratus*, debido a su sensibilidad, y genera un riesgo ecológico moderado en diferentes áreas frente a la costa peruana.

2.6.2. HIPOTESIS ESPECÍFICAS

- El cadmio produce un incremento del porcentaje de mortalidad de la concha de abanico, debido a la mayor respuesta letal del organismo prueba frente a la exposición de dosis mayores del ión cadmio.

- La concha de abanico es más sensible al cadmio que otras especies nativas peruanas, debido a su mayor capacidad de absorción de este ión cadmio.
- El riesgo ecológico en diferentes áreas frente a la costa peruana es moderado, posiblemente debido al nivel de contaminación acuática causado por efluentes industriales.

2.7. VARIABLES

La relación dosis-respuesta define como indicadores más importantes de la variable independiente a la concentración de cadmio, la especie objetivo, y las bahías de estudio, mientras que los indicadores más importantes de la variable dependiente son la mortalidad, la concentración efectiva media y el riesgo ecológico. La matriz de variables se presenta en la Tab. 1.

Variable independiente: Concentración (dosis)

Indicador X1: concentración de cadmio

Indicador X2: especies, expuestas al cadmio

Indicador X3: áreas costeras, contaminadas con cadmio

Variable dependiente: Mortalidad (respuesta)

Indicador Y1: porcentaje de mortalidad, de la concha de abanico

Indicador Y2: concentración efectiva media, del cadmio usando la concha de abanico

Indicador Y3: riesgo ecológico, de efecto negativo del cadmio sobre la concha de abanico.

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Puntos de referencia
Variable independiente	Metal cadmio	Concentración de metal cadmio en el agua (mg.L ⁻¹)	ECA de cadmio: 0.0088 mg.L ⁻¹ *
	Tiempo	Duración de la prueba ecotoxicológica aguda (horas)	96 horas
	Espacio	Latitud y longitud de las áreas costeras	Bahía de Sechura, Playa Conchán, Bahía de Paracas, y Punta Mesa.
	Especies	Especies nativas peruanas	
Variable dependiente	Mortalidad	Porcentaje de mortalidad de la concha de abanico (%)	0 - 100%
		Riesgo ecológico (cociente de peligro = concentración actual/concentración inocua) **	Nulo: < 0.1 Bajo: 0.1 - 1.0 Medio: 1.1 - 10 Alto: >10

Fuentes: * MINAM (2017), Subcategoría E3: ecosistemas costeros y marinos.

** Yan et al. (2015).

La relación entre variables e indicadores se muestra en la Fig. 4.

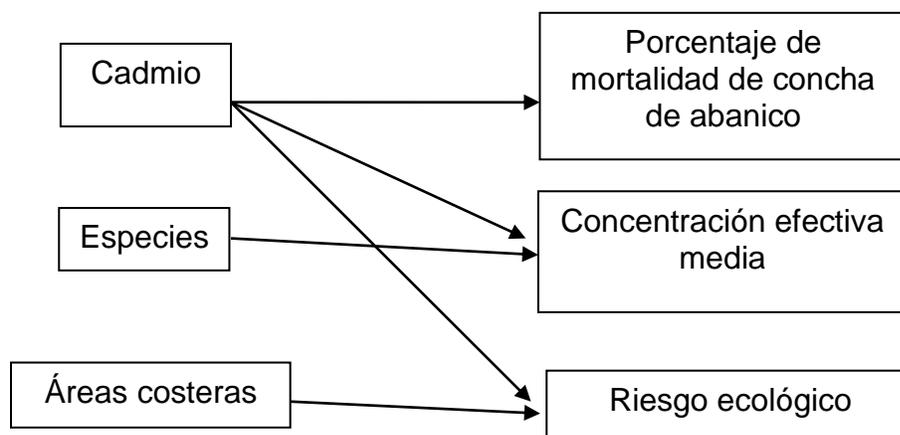


Figura 4. Diagrama de relación entre variables e indicadores independientes y dependientes.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO, MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación: Aplicado.

Método de investigación: Explicativo.

Diseño de la investigación: Experimental

Escala espacial: La colecta de individuos de concha de abanico se realiza de la zona de cultivo de Mariexport frente a La Tiza, Pucusana (Fig. 5). Las concentraciones de cadmio (en organismos o en agua) para evaluar el riesgo ecológico provienen de la Bahía de Sechura, Playa Conchán, Bahía de Paracas y Punta Mesa (Fig. 6). Las pruebas ecotoxicológicas se realizaron en el Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Los análisis de datos se realizaron en el Colegio San José de Cluny – Surquillo.

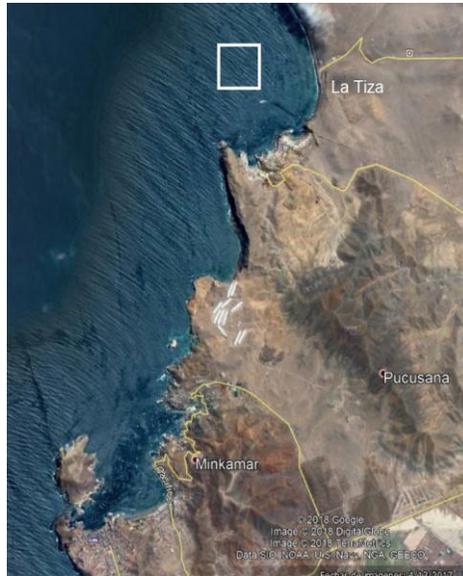


Figura 5. Ubicación del banco de concha de abanico frente a La Tiza (cuadrado).

Fuente: Google earth.



Figura 6. Áreas seleccionadas para evaluar el riesgo ecológico.

Fuente: <https://d-maps.com>.

Escala temporal: La colecta de organismos y las pruebas ecotoxicológicas se realizaron durante el año 2003. El tiempo de acondicionamiento de las conchas de abanico fue de una semana, con recambios diarios de agua y alimento fitoplanctónico. Las pruebas ecotoxicológicas son agudas (96 horas) con renovación de la concentración o dilución al segundo día, con aireación, eliminación periódica de las excretas y alimentación los mismos días de la renovación de la concentración. Los datos de concentraciones de cadmio en tejido y agua se obtuvieron de la literatura (Barriga-Sánchez y Aranda, 2018; Marín 2015; Ibárcena 2007).

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población: Individuos de *Argopecten purpuratus* “concha de abanico” de la concesión de cultivos de la empresa Mariexport, Pucusana.

Muestra: Para el screening test se consideraron 5 niveles de tratamiento y un control, con dos réplicas y para las pruebas definitivas se consideraron 6 niveles de tratamiento con el metal cadmio: un control y cada nivel de tratamiento con 3 réplicas, al igual que el control. Para el acondicionamiento de esta muestra se obtuvieron 300 individuos de *Argopecten purpuratus* "concha de abanico" de la Bahía de Pucusana.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Datos

La información se obtuvo de la base de datos de pruebas ecotoxicológicas de concha de abanico expuestas a metal cadmio realizadas por la tesista en el IMARPE.

Preparación de las soluciones del metal cadmio

Se prepararon inicialmente 5 niveles de tratamiento o diluciones de cloruro de cadmio (CdCl_2) a partir de una solución stock de 61.322 mg de cadmio. L^{-1} . Como agua de dilución se utiliza agua de mar esterilizada con luz U.V. Se realizó una prueba preliminar o "screening test" con valores de 0.1 ppm a 0.9 ppm por el tiempo de 24 horas, obteniéndose los rangos finales de cadmio y las pruebas definitivas tanto para juveniles como para adultos. Para las pruebas definitivas se utilizaron concentraciones de la solución de cadmio de 0.1 ppm a 0.7 ppm para las juveniles y de 0.4 a 0.8 ppm para las conchas adultas.

Material biológico

Los organismos prueba son transportados desde Pucusana hasta el laboratorio del IMARPE en coolers de 200 L, manteniéndose la oxigenación del agua de mar con aireadores a batería. En el laboratorio fueron distribuidas en tanques de 300 L con recambios diarios de agua de mar filtrada durante una semana (Fig. 7). El alimento estuvo constituido de una mezcla de microalgas (*Chaetoceros gracilis*, *Isochrysis galbana* y *Dunaliella tertiolecta*) (Fig. 8).

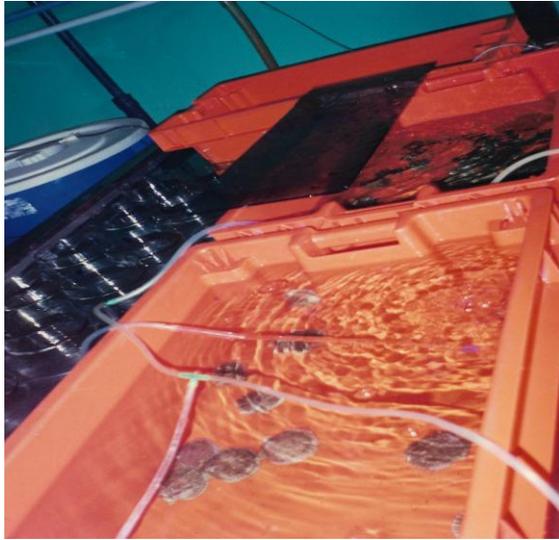


Figura 7. Acondicionamiento de individuos en laboratorio.

Fuente: Laboratorio de Ecotoxicología

Fotografía: propia



Figura 8. Alimento fitoplanctónico.

Fuente: Laboratorio de Ecotoxicología

Fotografía: propia

Pruebas ecotoxicológicas

La técnica para realizar las pruebas ecotoxicológicas con *Argopecten purpuratus* se basan en el Manual Introductorio de Ecotoxicología Acuática (Sánchez y Vera 2001) y en los protocolos de trabajo de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (E.P.A.USA) de WEBER (1993).

Se consideran 2 réplicas para las pruebas preliminares con 3 conchas por acuario de 1 L, considerando el control. Para las pruebas definitivas 3 réplicas por cada concentración, colocando 6 conchas en acuarios de 10 litros, mantenidos en mesas termorregulables, tanto para las pruebas ecotoxicológicas preliminares como las pruebas definitivas (Fig. 9 y 10).



Figura 9. Prueba ecotoxicológica preliminar o Screening test.

Fuente: Laboratorio de Ecotoxicología

Fotografía: Propia



Figura 10. Pruebas ecotoxicológicas definitivas.

Fuente: Laboratorio de Ecotoxicología

Elaboración: Propia

Durante la prueba ecotoxicológica definitiva se evaluó la mortalidad poblacional cada 24 horas hasta el fin del periodo de prueba.

Como indicador de mortalidad se consideró las valvas extremadamente abiertas y sin reacción a los estímulos. Los organismos muertos son extraídos de cada acuario para evitar que se deteriore la calidad del agua.

Factores ambientales

Adicionalmente, se registraron los parámetros ambientales tales como: temperatura ($^{\circ}\text{C}$) con termómetro de mercurio, oxígeno (mg. L^{-1}) con el oxímetro Hanna HI 9143, el pH con un potenciómetro ESD MODEL 60 y la salinidad con un refractómetro SPARTAN A 366 ATC (ups).

3.4. DESCRIPCION DE PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS

Pruebas de hipótesis:

Para probar la primera hipótesis, se elaboró una figura de dosis-respuesta, y se realizó una prueba de significancia del coeficiente de correlación de Spearman (r_s) entre los datos observados y los datos simulados con el modelo Probit (Weber, 1993), de aumento del porcentaje de mortalidad de la concha de abanico a diferentes dosis de cadmio:

$$Y = a + b X$$

$$P = \Phi (Y - 5)$$

$$f = e^{-(y-5)^2/2} / \text{raíz}(2\pi)$$

$$y = Y + p^{-P} / f$$

Donde:

Y: Probit (mortalidad concha abanico)

X: log10 (cadmio)

Para probar la segunda hipótesis, se calculó la concentración efectiva media (CE50%) del cadmio utilizando el programa computacional PROBIT (Weber, 1993): $CE50\% = 10^{(5-a)/b}$, y se elaboró una figura de histograma ordenado de la CE50% de la concha de abanico y de otras especies nativas peruanas encontradas en la literatura. Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro con los datos de CE50%, y la prueba no-paramétrica

bilateral de diferencia de medias de dos muestras de Wilcoxon para evaluar la significancia de la diferencia entre la CE50% del cadmio usando la concha de abanico y usando otras especies.

Para probar la tercera hipótesis, se calculó el riesgo ecológico en diferentes áreas frente a la costa peruana, que se caracterizan por haber albergado bancos naturales de conchas de abanico, y que son utilizadas para su cultivo ya que es un recurso de valor económico importante para la pesquería peruana. Para probar esta hipótesis se realizó la prueba de normalidad de Shapiro con los datos de riesgo ecológico, y la prueba no-paramétrica unilateral de una muestra de Wilcoxon para evaluar la significancia de la diferencia entre el riesgo ecológico promedio de las áreas costeras y el punto de referencia.

El riesgo ecológico se calculó a través del cociente de peligro con la siguiente ecuación (Kolluru et al. 1998):

$$\text{Riesgo ecológico} = CA / CR$$

Donde:

$$CA = \text{Concentración de cadmio en agua (mg.L}^{-1}\text{)} = CT / \text{FTA}$$

$$CR = \text{Concentración de cadmio de referencia (mg.L}^{-1}\text{)} = \text{CE50\%} / \text{FS}$$

FS = Factor de seguridad = 50 (Chapman et al. 1998).

$$CT = \text{Concentración de cadmio en tejido (}\mu\text{g.g}^{-1}\text{)}$$

$$\text{FTA} = \text{Factor Tejido / Agua} = 113.6$$

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. RESULTADOS

Pruebas ecotoxicológicas

Las condiciones generales de las pruebas ecotoxicológicas se presentan en la Tabla 2.

Efecto ecotoxicológico del cadmio sobre el porcentaje de mortalidad de la concha de abanico

Juveniles (39 - 50 mm de longitud)

Las concentraciones de exposición se establecieron entre 0.1 y 0.7 mg. L⁻¹. El número de individuos por concentración fue de 18 organismos prueba. Los datos de mortalidad de las pruebas ecotoxicológicas se ajustaron significativamente al modelo PROBIT ($r_s = 0.954$, $p < 0.00$), resultando en una concentración efectiva media (CE50%) de 0.352 mg. L⁻¹ a un tiempo de exposición de 96 horas (Fig. 11), apoyando la primera hipótesis.

Tabla 2. Condiciones de las pruebas ecotoxicológicas con el metal cadmio usando *Argopecten purpuratus*.

ORGANISMO PRUEBA	<i>Argopecten purpuratus</i> “concha de abanico”
TIPO DE PRUEBA	Renovación parcial cada 48 horas
DURACION DE LA PRUEBA (horas)	96
AGITACION	Ausente
AIREACION	Presente
AGUA DE DILUCION	Agua de mar filtrada, estéril
OXIGENO DISUELTO	5.8 – 7.5 mg.L ⁻¹
Ph	6.49 a 7.53
SALINIDAD (ups)	36
TEMPERATURA (°C)	19 – 20 °C
LUZ (L: O)	11 : 13
TALLA DE LOS ORGANISMOS DE PRUEBA	39 - 50 mm (juvenil) 51 – 79 mm (adulto)
NUMERO DE ORGANISMOS POR ACUARIO	6
NUMERO DE REPLICAS POR CONCENTRACION	3
NUMERO DE ORGANISMOS POR CONCENTRACION	18
ALIMENTACION	<i>Chaetoceros gracilis</i> (a partir de las 48 h)
LIMPIEZA DE LOS ACUARIOS	A las 48 horas
CONCENTRACIONES DE PRUEBA DEFINITIVA	6 y control
RESPUESTA	Mortalidad (%)
CRITERIO DE ACEPTABILIDAD DE LA PRUEBA	90 % o más de supervivencia en los controles.

Elaboración: Propia

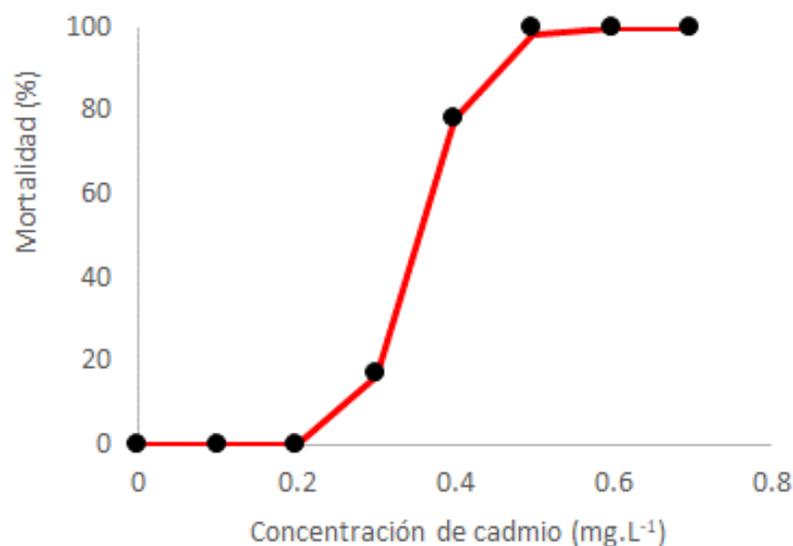


Figura 11. Curva dosis-respuesta del cadmio usando concha de abanico juvenil.

Elaboración: Propia

Adultos (51 - 79 mm de longitud)

Las concentraciones de exposición se establecieron entre 0.4 y 0.8 mg.L⁻¹. El número de individuos por concentración fue de 18 organismos prueba. Los datos de mortalidad de las pruebas ecotoxicológicas se ajustaron significativamente al modelo PROBIT ($r_s = 0.964$, $p < 0.00$), resultando en una concentración efectiva media (CE50%) de 0.545 mg.L⁻¹ a un tiempo de exposición de 96 horas (Fig. 12), apoyando la primera hipótesis.

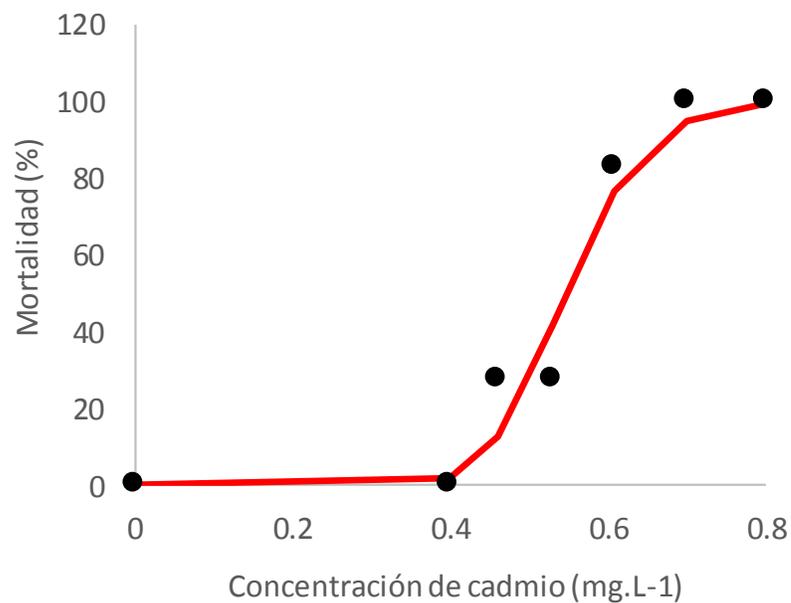


Figura 12. Curva dosis-respuesta del cadmio usando concha de abanico adulta.

Elaboración: Propia

Comparación de la sensibilidad al cadmio de la concha de abanico y otras especies marinas nativas peruanas

Las especies con menor concentración efectiva media (CE50%) de cadmio son más sensibles a este metal. En base a los valores de CE50% de diferentes especies marinas

peruanas nativas (Tab. 3, Fig. 13), se realizó un ranking de sensibilidad al cadmio de mayor a menor, resultando en la siguiente secuencia:

Argopecten purpuratus (juvenil) > *Argopecten purpuratus* (adulto) > *Emerita analoga* (muy muy) > *Chaetoceros gracilis* (diatomea) > *Odontesthes regia regia* (pejerrey) > *Skeletonema costatum* (diatomea).

En promedio, la concha de abanico *Argopecten purpuratus* fue más sensible que otras especies nativas peruanas. Los datos de CE50% no presentaron una distribución normal de acuerdo a la prueba de Shapiro ($p < 0.05$), sin embargo debido a la variabilidad de los valores de CE50% de las otras especies, la prueba bilateral de Wilcoxon resultó no significativa ($p > 0.05$) (Fig. 14).

Tabla 3. Concentración efectiva media (CE50%) de cadmio usando diferentes especies marinas peruanas nativas y chilena.

Especies	Estadio	CE50% (mg.L ⁻¹)	Tiempo de exposición	Autor
<i>Skeletonema costatum</i>	Adultos	1.42	96h	Tam et al. (2000)
<i>Odontesthes regia</i>	Postlarvas	0.648	96h	Vera et al. (2001)
<i>Chaetoceros gracilis</i>	Adultos	0.596	96h	Vera et al. (2001)
<i>Emerita análoga</i>	Zoea	0.585	96h	Sánchez et al. (1998)
<i>Argopecten purpuratus</i> (Chile)	Embrión	1.55	48h	Romero et al. (2018)
<i>Argopecten purpuratus</i> (Chile)	Juveniles	0.48	96h	Romero et al. (2018)
<i>Argopecten ventricosus</i> (México)	Juveniles	0.396	96h	Sobrino-Figueroa et al. (2007)
<i>Argopecten purpuratus</i>	Adultos	0.545	96h	Vera (presente tesis)
<i>Argopecten purpuratus</i>	Juveniles	0.352	96h	Vera (presente tesis)

Elaboración: Propia

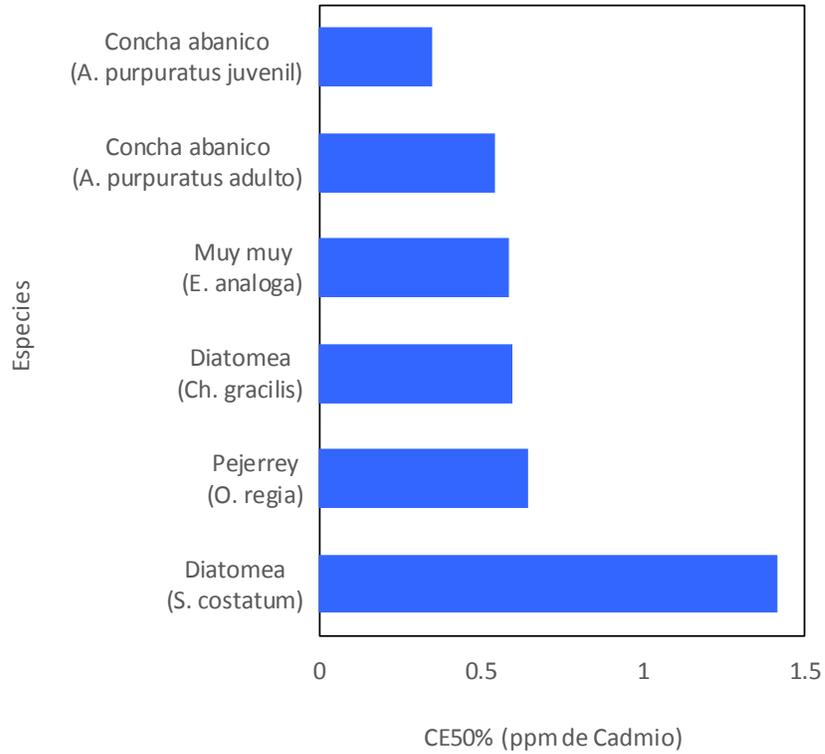


Figura 13. Ranking de especies según la concentración efectiva media (CE50%).

Elaboración: Propia

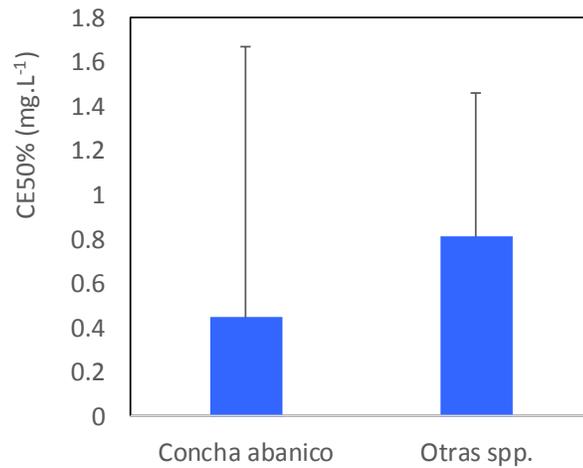


Figura 14. Concentración efectiva media (CE50%) promedio de cadmio usando concha de abanico y otras especies nativas peruanas. Los bigotes indican límites de confianza al 95%.

Elaboración: Propia

Riesgo ecológico del cadmio en diferentes áreas de la costa peruana

El riesgo ecológico se calculó (Tab. 4) usando las concentraciones de cadmio encontradas en tejido de conchas de abanico de la bahía de Sechura ($0.2105 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) (Barriga-Sánchez y Aranda 2018), playa Conchán ($4.0095 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) (Marín 2015), bahía de Paracas ($0.2848 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) (Barriga-Sánchez y Aranda 2018) y la concentración de cadmio en el mar en punta Mesa ($0.00053 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (Ibárcena 2007).

Tabla 4. Riesgo ecológico para juveniles y adultos de concha de abanico en las bahías seleccionadas de la costa peruana.

Estadío	Área	Riesgo ecológico del cadmio para la concha de abanico	Nivel
Juvenil	B. Sechura	0.263	Bajo
	B. Paracas	0.356	Bajo
	P. Conchán	5.000	Medio
	P. Mesa	0.075	Nulo
Adulto	B. Sechura	0.170	Bajo
	B. Paracas	0.230	Bajo
	P. Conchán	3.229	Medio
	P. Mesa	0.049	Nulo
	Promedio	1.172	

Elaboración: Propia

El riesgo ecológico del cadmio en Punta Mesa fue nulo (0.049-0.075), en la bahía de Paracas (0.230 - 0.356) y bahía de Sechura (0.170 - 0.263) fue bajo, mientras que en la playa Conchán (3.229-5.000) fue medio. Cabe resaltar que el riesgo ecológico fue mayor para conchas de abanico juveniles que para adultos. Los datos de riesgo ecológico no presentaron una distribución normal de acuerdo a la prueba de Shapiro ($p < 0.05$), y el riesgo ecológico promedio para juveniles fue medio (1.424) y para adultos fue bajo (0.919), sin embargo, ambos estuvieron cerca al punto de referencia límite de 1.1 establecido por Yan *et al.* (2015), y debido a la variabilidad de los valores de riesgo ecológico las pruebas unilaterales de Wilcoxon resultaron no significativas ($p > 0.05$) (Fig. 15).

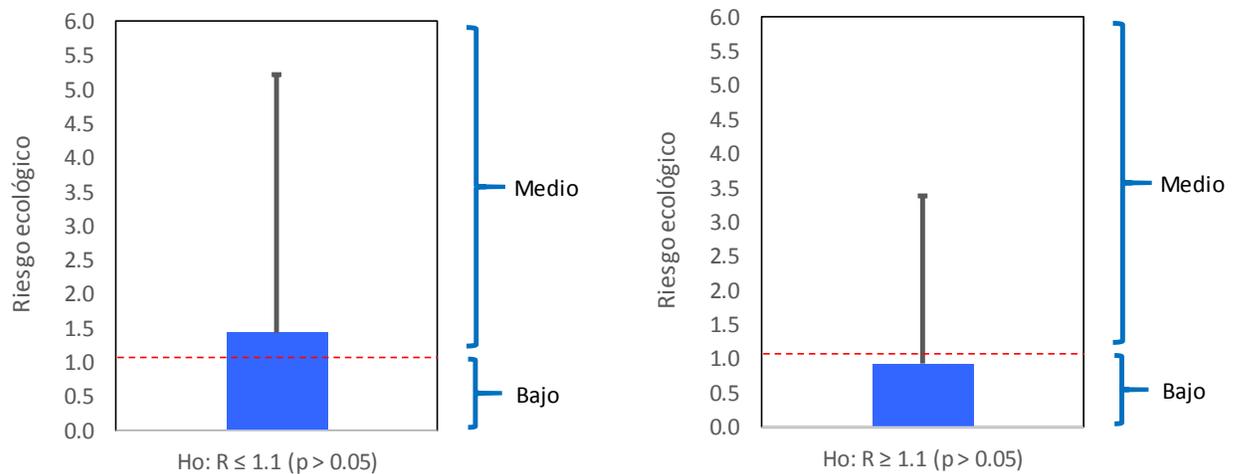


Figura 15. Comparación del riesgo ecológico promedio en juveniles (izquierda) y adultos (derecha) de concha de abanico con el punto de referencia de 1.1.

Elaboración: Propia

4.2. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Efecto ecotoxicológico del cadmio sobre el porcentaje de mortalidad de la concha de abanico

La mortalidad de la concha de abanico aumentó al incrementarse la concentración de Cadmio. Sin embargo, la sobrevivencia de la concha de abanico en los controles fue del 100%, Weber (1993) considera un mínimo de 90% de sobrevivencia en los controles. Esto demuestra una óptima manipulación durante la prueba ecotoxicológica de los parámetros ambientales como la calidad del agua y del alimento, así como las variables fisicoquímicas como el oxígeno, el pH, la temperatura y la salinidad.

Las conchas de abanico juveniles (39 - 50 mm) mostraron mayor sensibilidad al cadmio (CE50% de 0.352 mg.L⁻¹), mientras que las conchas adultas (51 - 79 mm) presentaron una mayor tolerancia ecotoxicológica (CE50% de 0.545 mg.L⁻¹).

Según la Tabla 3 se observa que la especie *Argopecten purpuratus* chilena en su estadio de embrión tiene una Concentración Efectiva Media (CE50%) de cadmio de 1.55 mg.L⁻¹ mientras que los juveniles tienen una CE50% de 0.48 mg.L⁻¹. Romero (2018) explicó que la alta tolerancia de los embriones se debe a la alta inducción de mecanismos de defensa, tal como el de la metalotioneína (MT) producido por la vía materna, que permite proteger a la progenie, por lo que los juveniles presentaron una mayor sensibilidad en comparación a las larvas.

Igualmente se observa la alta sensibilidad al metal cadmio de otra especie del mismo género, *Argopecten ventricosus* del estado de Baja California al sur de México (Sobrino-Figueroa et al. 2007), donde se determinó una CE50% de 0.396 mg.L⁻¹, valor muy semejante al obtenido en el presente trabajo, pero con diferentes condiciones ambientales y de ubicación geográfica de las especies.

Comparación de la sensibilidad al cadmio de la concha de abanico y otras especies marinas nativas peruanas

Los criterios de calidad ambiental debe tener en consideración la tolerancia de las especies sensibles, así como de las especies resistentes, a fin de proteger una mayor proporción de la comunidad acuática (Cardwell et al. 1999). En tal sentido, es necesario conocer la variabilidad y comparar la sensibilidad de especies pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos y niveles tróficos.

En las figuras 12 y 13, se muestran los resultados de los trabajos de investigación realizados por otros investigadores peruanos con especies de diferentes niveles tróficos, donde la especie fitoplanctónica *Skeletonema costatum* obtuvo una mayor tolerancia al cadmio con una CE50% de 1.42 mg.L⁻¹ seguida del pez pejerrey *Odontesthes regia* con 0.648 mg.L⁻¹, la diatomea *Chaetoceros gracilis* con 0.596 mg.L⁻¹ y larvas del crustáceo *Emerita análoga* con 0.585 mg.L⁻¹. La concentración efectiva media (CE50%) de juveniles y adultos de *Argopecten purpuratus* nos demuestra que existen especies con mayor sensibilidad a pesar de la edad de la especie, esta especie es reconocida por su valor económico y ecológico dentro de las cadenas tróficas de nuestro ecosistema peruano ya que forma parte del bentos el cual está en contacto con el sedimento, y si está contaminado por algún metal pesado, la resuspensión puede formar parte del alimento conjuntamente con el fitoplancton que ingiere o filtra. El presente estudio aporta información científica para evaluar los estándares de calidad del agua para la protección de las especies y sus consumidores, así como también para calcular el riesgo ecológico usando especies peruanas.

Riesgo ecológico del cadmio en diferentes áreas costeras

Barriga-Sánchez y Aranda (2018) calcularon un cociente de peligro objetivo, usando como referencia el MRL (Maximum Reference Level) de la Unión Europea, obteniendo valores de riesgo ecológico ligeramente menores a los del presente estudio, ambos estudios corroboran que el riesgo ecológico en las bahías de Paracas y Sechura es bajo, según la escala de Yan *et al.* (2015).

Sin embargo, en la presente investigación las pruebas ecotoxicológicas permitieron estimar niveles de riesgo más precisos, ya que se usaron organismos nativos peruanos (concha de abanico) para calcular los valores de referencia en lugar de usar valores de otros países, y además se usaron diferentes estadios para calcular valores de referencia por separado para juveniles y adultos.

Utilizando un factor de seguridad de 50, el valor de referencia en agua de mar para juveniles es de 0.0070 mg.L^{-1} y para adultos es de 0.0109 mg.L^{-1} . El Estándar de Calidad Ambiental (ECA, MINAM 2017) del cadmio disuelto para la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E3: Ecosistemas costeros y marinos, en ambientes Marinos es de 0.0088 mg.L^{-1} , por lo que el ECA de cadmio fue menor al valor de referencia en agua de mar para adultos y mayor al valor de referencia en agua de mar para juveniles.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La concentración de cadmio produjo un incremento cóncavo del porcentaje de mortalidad de la concha de abanico usando *Argopecten purpuratus*, juvenil y adulta, ajustándose significativamente al modelo PROBIT. La concentración efectiva media de cadmio usando la concha de abanico a un tiempo de exposición de 96 horas, fue de 0.352 mg.L⁻¹ para juveniles y de 0.545 mg.L⁻¹ para adultos, lo cual apoya la primera hipótesis.

La concha de abanico fue más sensible que al cadmio en comparación a otras especies nativas peruanas. La sensibilidad al cadmio de mayor a menor fue: *Argopecten purpuratus* (juvenil) > *Argopecten purpuratus* (adulto) > *Emerita analoga* (muy muy) > *Chaetoceros gracilis* (diatomea) > *Odontesthes regia regia* (pejerrey) > *Skeletonema costatum* (diatomea), lo cual apoya la segunda hipótesis.

El riesgo ecológico del cadmio para la concha de abanico para diferentes áreas de la costa peruana en promedio fue medio para juveniles y fue bajo para adultos, lo cual apoya parcialmente la tercera hipótesis.

RECOMENDACIONES

La concha de abanico, *Argopecten purpuratus* presentó mayor sensibilidad al cadmio que los peces por lo que se recomienda usar esta especie como organismo representativo del grupo de los invertebrados acuáticos en las pruebas ecotoxicológicas y para pruebas de bioconcentración o bioacumulación de metales.

Se recomienda estudiar los mecanismos de detoxificación de metales de los bivalvos bioacumuladores, ya que la proteína que ayuda a esta detoxificación es la metalotioneína, y cuando este mecanismo es afectado por la alta concentración del metal en el medio, el tiempo de exposición y la baja velocidad de la excreción de los metales se produce la bioacumulación de estos metales en los diferentes órganos tales como los riñones, hígado, gónadas, entre otros.

También se recomienda investigar otros bivalvos de consumo humano directo para determinar su Concentración efectiva media (CE50%) como: los choros (*Aulacomya atra*), machas (*Mesodesma donacium*) y las almejas (*Gari solida*), ya que en estas especies se han encontrado concentraciones de cadmio sumamente más altas que en *Argopecten purpuratus* (Marín & García, 2016). También podemos investigar a las especies donde se han encontrado altas concentraciones del metal cadmio en la bahía de Sechura no tan sólo en la concha de abanico sino también en el bivalvo la navajuela o pico de pato (*Tagelus dombeii*) y las palabritas (*Donax sp*) (Rebaza, 2015).

Otra de las recomendaciones es establecer un Programa de monitoreo de metales pesados en los 3 niveles del ecosistema: agua, sedimento y organismos bioacumuladores, especialmente en los bancos naturales de bivalvos. Por lo tanto, se recomienda realizar pruebas de toxicidad en sedimentos para realizar un mapeo toxicológico de las zonas que requieren más control y supervisión de las descargas de residuos industriales en estas áreas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alayo, M., & Iannacone J. (1999). La microalga marina *Skeletonema costatum* como bioensayo alternativo para la evaluación del cromo. VIII congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, 17 – 21 de Octubre. Trujillo – Perú.
- Almeida, A., Pereira N., & Malagrino W. (1985). Efeitos de baixas concentracoes de detergentes anionicos sobre o habito de escavacao de *Tivela mactroides* (BORN, 1778), Bivalvia, Veneridae. *Rev. Dae. Vol 45*, N° 142. pp. 313-315.
- Aoyama, I., & Okamura H. (1984). Toxicity evaluation of Heavy metals in Phytoplankton. Toxicity screening Procedures using Bacterial systems. pp 433-443.
- American Public Health Association. (1989). Métodos Estandarizados para el Análisis de aguas potables y residuales. Parte 800. Métodos de prueba de toxicidad para organismos acuáticos. 151 p.
- APHA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Baird, R. B., A. D. Eaton and E.W. Rice. 23rd edition.
- Arguelles, J., Aguilar, A., Alfaro, S., De la Cruz, J., Donayre, S., Flores, D., Galindo, O., Ostía, P., Ramirez, A., Taípe, A., Tejada, A., Sanjinez, M., Torres, E., Ordinola, E., & Yamashiro, C. (2011). Protocolo para la evaluación de concha de abanico *Argopecten purpuratus* (LAMARCK, 1819). Informe IMARPE vol.38 (4):359-371.
- Axiak V. & Schembri, J. (1982). Effects of temperature on the toxicity of mercury and cadmium to the littoral gastropod *Monodonta turbinata*. *Marine Pollution Bulletin*. 13(11):383-386.

- Bach, L., Sonne, Ch., Rigét, F., Dietz, R., Asmund, G. (2014). A simple method to reduce the risk of cadmium exposure from consumption of Iceland scallops (*Chlamys islandica*) fished in Greenland Environment International. 69:100–103.
- Barriga-Sánchez, M., & Aranda Pariasca, D. (2018). Bioaccumulation of lead, cadmium and mercury in *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) and *Aulacomya ater* (Molina, 1782), commercial species from Peru, and risk assessment. *Ecología Aplicada*, 17(1):53-60.
- Belcheva, N. N., Zakhartsev, M., Silina, A. V., Slinko, E. N., & Chelomin. V. P. (2006). Relationship between shell weight and cadmium content in whole digestive gland of the Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* (Jay). *Marine Environmental Research*. 61:396–409-
- Belden, J. (2020). Chapter 28 - Introduction to ecotoxicology. p. 381-393. In: Pope, C. N. and Liu, J. (eds.). *An Introduction to Interdisciplinary Toxicology. From Molecules to Man*.
- Benedetti, M., Lanzoni, I., Nardi, A., Giuseppe d'Errico, di Carlo, M., Fattorini, D., Nigro, M., & Regoli, F. (2016). Oxidative responsiveness to multiple stressors in the key Antarctic species, *Adamussium colbecki*: interactions between temperature, acidification and cadmium exposure, *Marine Environmental Research*. 121:20-30.
- Bertolotti, F., & Moccetti, N. (2018). Concentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash-Perú. *Salud Tecnología Veterinaria* Vol 1: 35-41. doi:<https://doi.org/10.20453/stv.v6il.3376>.

- Blasco, J., Chapman, P. M., Campana, O., & Hampel, M. (2016). Marine ecotoxicology. Current knowledge and future issues. Elsevier. 326 p.
- Bressan M., & Brunett, R. (1988). The effects of Nitroacetic acid, Cd and Hg On the Marine algae *Dunaliella tertiolecta* and *Isochrysis galbana*. *Water Research*. Vol.22, N°5, pp.553-555.
- Bustamante, F. (1978). Bioensayos de contaminantes metálicos hídricos y su efecto en el camarón juvenil *Cryphiops caementarius*. Tesis Ing. Pesquera, Univ. Nac. Agraria La Molina, Lima, Perú. 91 p.
- Cabello, R., Fierro, C., & Vásquez, L. (1999). Evaluación de la calidad acuática en el área costera del Callao, agosto 1999. *Inf. Prog. Inst. Mar Peru*. (125):24 p.
- Calow, P. (1998). Handbook of Environmental Risk Assessment and Management. Blackwell Publishing Ltd.
- Calow, P., & Forbes, V. E. (2003). Peer Reviewed: Does Ecotoxicology Inform Ecological Risk Assessment? *Environ. Sci. Technol.* 2003, 37, 7, 146A-151A.
- Campos, H. (1987). Los metales pesados, su contaminación y sus efectos tóxicos. *Contaminación Ambiental*, Medellín, Colombia. 9(17):63-70.
- Cano, L.A. (2004). Análisis biológico y económico del engorde de concha de abanico *Argopecten purpuratus* en cultivo suspendido a diferentes densidades en la zona de Casma. Tesis para optar el título de Ingeniero pesquero.95p.
- Capó, M. A. (2007). Principios de ecotoxicología. Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. España. McGraw-Hill.
- Cardwell, R. D., Brancato, M. S., Toll, J., De Forest D., & Tear, L. (1999). Aquatic ecological risks posed by tributyltin in United States surface waters: pre-1989 to 1996 data. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 18:567-577.

- Cisneros, R., Bautista J., & Arguelles, J. (2008). Crecimiento comparativo de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en sistema suspendido. *Ecología Aplicada*, 7(1,2):81-87.
- Corrales, M. (2015). Acumulación de metales pesados en bivalvos y sus efectos tóxicos en la salud humana: Perspectivas para el estudio en Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*. Vol.15-Nº 25.
- Cuizano, N., & Navarro, A. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Revista Química y Medio Ambiente*, 104 (2): 120-125.
- Chapman, P., Fairbrother, A., & Brown, D. (1998). A critical evaluation of safety (uncertainty) factors for ecological risk assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 17, No. 1, pp. 99–108.
- Chapman, P. (2000). Whole effluent toxicity testing-usefulness level of Protection, and Risk Assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19(1):3-13.
- CP (Crankshaft Publishing). (2018). Toxicity of Dietary Cadmium to Aquatic Organisms. Recuperado de: <http://what-when-how.com>.
- Crompton, T. R. (1997). Toxicants in the Aqueous Ecosystem John Wiley & Sons, Ltd. (UK).
- Echegaray, M., Guerin, C., Hinojosa, I., Zambrano W., & y Taype, L. (1989). Vigilancia de la contaminación marina por metales pesados en áreas críticas (moluscos bivalvos como indicadores). Memorias del Simposium Internacional de los Recursos Vivos y las Pesquerías en el Pacífico Sudeste. Viña del Mar, 9-13 mayo 1988. CPPS. Rev. Pacífico Sur (Número Especial).

- Fathallah, S., Néjib, M., Medhioub, A., & Mejjeddine, M. (2011). *Ruditapes decussatus* embryo larval toxicity bioassay for assessment of Tunisian coastal water contamination. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. Vol. 3 (11), pp.277-285.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1987). Manual of methods in aquatic environment research. *Fisheries Technical Paper. Part.10- Short-term static bioassays*. 62 p.
- Guzmán, M. (1996). Trazas de metales en sedimentos superficiales en la bahía del Callao-Ventailla durante 1994. Convenio CORDE Callao/IMARPE. *Inf.Prog.Inst.Mar Perú (37)*: 3-20.
- Guzmán, M., Morón, O., Delgado, E., & Flores, G. (1997). Evaluación de la Calidad del Medio Marino en la Bahía del Callao, 06 al 08 de agosto 1996. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú. (70)*: 3-28.
- Hallegraef, G. M., Anderson, D.M., Cembella, A. D., & Enevoldsen, H.O. (1995). Manual on harmful marine microalgae. *IOC Manuals and Guides (33)*:551 p.
- Hunn, J. (1989). History of acute toxicity test with fish, 1863 - 1987. *Investigations in Fish Control. (98)*:10.
- Iannacone, J., Alvarino, L., & Gutierrez, A. (1999a). Cinco ensayos ecotoxicológicos para evaluar metales pesados en el agua dulce. *Bol. Soc. Quími. Perú. 65*:30-43.
- Iannacone, J., & Alvarino, L. (1999b). Ecotoxicidad aguda de metales pesados empleando juveniles del caracol de agua dulce *Physa venustula* (GOULD, 1847) (Mollusca). *Gayana 63*(2):101-110.
- Iannacone, J. & Alvarino, L. (1999c). Protocolo de bioensayo ecotoxicológico para evaluar metales pesados contaminantes de agua dulce con *Chironomus*

- calligraphus (Diptera: Chironomidae) y *Moina macrocopa* (Crustacea: Cladocera), en el Río Rimac. *Rev.per.Ent.41*: 111-120.
- Ibárcena, W. (2007) Estudio de la contaminación por metales pesados en las costas de Tacna-Perú. *Rev. Ciencia y Desarrollo I*: 113 -118.
- Jacinto, M. E. & Gúzman, M. (1998). Análisis comparativo del contenido metálico en sedimentos y organismos en bahías con fuerte influencia antropogénica. Resúmenes del Seminario Internacional sobre el Estado del Medio Ambiente Marino y Costero en el Pacífico Sudeste. Ecuador.
- Jacinto, M.E., Domínguez, N., & Orozco, R. (2008). Bahía de Huarmey, Ancash, Perú. Evaluación ambiental en abril 2003. *Informe Inst. Mar Perú. 35* (1)-5.
- Jaramillo, F., Rincón, A., & Rico, R. (2008). Toxicología ambiental. México. 395 p.
- Klemm, D., Morrison, G., Norberg-King, T., Peltier, W., & Heber, M. (1994). Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving water to marine and Estuarine Organisms. EPA/600/4-91/003. 483 p.
- Kluger, L., M. H. Taylor, J. Mendo, J. Tam, M. Wolff. 2015. Carrying capacity simulations as a tool for ecosystem-based management of a scallop aquaculture system. *Ecol. Mod.* 331:44-55.
- Kolluru, R., Bartell, S., Pitblado, R., & Stricoff, R. (1998). Manual de evaluación y administración de riesgos. McGraw Hill. México.
- Lacma, J., Iannacone, J., & Vera, G. (2007). Toxicidad del cromo en sedimento usando *Donax obesulus* Reeve 1854 (pelecypoda: donacidae). *Ecol. Aplic.*, 6:94-99.
- Larraín, A. (1995). Criterios ecotoxicológicos para evaluar alteraciones ambientales y establecer parámetros de control: importancia de los bioensayos de toxicidad. *Cien. Tecn. Mar CONA. (NºEsp.)*:39-47.

- Larsson, A., Bengtsson, B., & Haux, C. (1981). Disturbed ion balance in flounder, *Platichthys flesus* L. exposed to sublethal levels of cadmium. *Aquatic Toxicology*. 1:19-35.
- Lee, S., Freitag D., & Steinberg, C. (1993). Effect of dissolved humic materials on acute toxicity of some organic chemicals to aquatic organisms. *Wat. Res.* 27(2):199-203.
- Loaiza, I., Hurtado, D., Miglio, M., Orrego, H., & Mendo, J. (2015). Tissue-specific Cd and Pb accumulation in Peruvian scallop (*Argopecten purpuratus*) transplanted to a suspended and bottom culture at Sechura Bay, Peru. *Marine Pollution Bulletin*. 91:429-440.
- Malagrino, W., & Almeida, A. (1987). Estudo comparativo da acao toxica de um detergente biodegradavel sobre *Poecilia reticulata* e *Poecilia vivipara* (Pisces: Poecilidade). *Rev. Dae.* 47(148):86-91.
- Marín, G., & García, M. (2015). Contaminación por cadmio en alimentos marinos. *Ciencia e Investigación* 19(1): 24-28.
- Marsden, I., & Cranford, P.J. (2016). Scallops and Marine Contaminants. P. 567-584. In: SHUMWAY, S. E. AND G. J. PARSONS. (Eds.). Scallops: biology, ecology, aquaculture, and fisheries. *Developments in aquaculture and fisheries science*. 40.
- Medina, M., & Ramos, R. (2009). Direcciones futuras de la ecotoxicología en Chile: implicancias para la evaluación de riesgo ambiental de productos veterinarios utilizados en acuicultura. *Revista Chilena de Historia Natural* 82: 443-457.
- Mendo, J., & Wolff, M. (2002). Pesquería y manejo de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la Bahía Independencia. p.188-194. En: Mendo, J. y

- Wolf (eds.). Bases ecológicas y socioeconómicas para el manejo de los recursos vivos de la Reserva Nacional de Paracas.
- Minam. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. D. S. 004-2017-MINAM. El Peruano. 7 jun:10-19.
- Moledo, D., Abessa, S., Ceci, E., Moreira, P., & Tommasi, L. (1998). Considerações sobre o emprego da triade de qualidade de sedimento no estudo da contaminação marinha. *Relat. Tec. Inst. Oceanogr. (44)*:1-12.
- Nardi, A., Mincarelli, L.F., Benedetti, M., Fattorini, D., d'Errico, G., & Regoli, F. (2017). Indirect effects of climate changes on cadmium bioavailability and biological effects in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Chemosphere 169*:493-502.
- Neff, J. (1987). Biological Effects of Oil in the Marine Environment. *Chemical Engineering Progress, November*. P.27-33.
- Orozco, R., Castillo, S., Fernández, E., Fierro, C., Morón, O., Solís, J., & Flores, G. (1999). Contaminación sobre el ecosistema marino del Callao en abril y setiembre 1997. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú. (103)*: 3-36.
- Paredes, Ch., & Miglio, M.C. (2018). Evaluación del riesgo ecológico de la Barita (BaSO₄) empleando pruebas ecotoxicológicas con doce organismos. *Ecología Aplicada, 17*(1).doi:10.21704/rea.v17i1.1170
- Parodi, D. (2016). Evaluación de la ecotoxicidad del agua y sedimento en la zona interna del estuario de Bahía Blanca. 2015-2016. Recuperada de <https://www.bahia.gob.ar/subidos/cte/informes/Informe-FINAL-Ecotoxicidad-2015-2016.pdf>

- Planes, E., & Fuchs, J. (2015). Cuáles son los aportes de la ecotoxicología a las regulaciones ambientales. *Revista Ciencia e investigación* - TOMO 65 N° 2 – 2015. Recuperada de <http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/RevistasCeI/tomo65-2/5-Planes-cei65-2-5.pdf>
- Posthuma, L., G. W. Suter II, T. P. Traas. (2002). *Species Sensitivity Distributions in Ecotoxicology*. Lewis Publishers. USA.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2010). Análisis de flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe. 216 p.
- Ramírez, Augusto (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina UNMSM*. Vol.63, No1, p. 51-64.
- Rebaza, Rosa (2016). Evaluación de la contaminación por bioacumulación de cadmio, plomo y mercurio en moluscos bivalvos en la zona de amortiguamiento de la bahía de Sechura durante agosto a diciembre de 2015. Tesis de la Universidad de Trujillo. Facultad de Ingeniería Química. 84p.
- Reish, D., & Scott, R. (1978). The effect of heavy metals on the survival, reproduction, development, and life cycles for two species of polychaetus annelids. *Marine Pollution Bulletin*. 91:24-27.
- Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O.E., Díaz-Lagos, M., & González, E.E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16 (2), pp. 66-77

- Rodríguez M. A., & Jaramillo, F. (2006). Introducción a la toxicología. En Jaramillo et al., Toxicología básica (pp. 13-14). México: Textos universitarios.
- Rodríguez, L., & Rivera, D. (1995). Efecto del Cobre y cadmio en el crecimiento de *Tetraselmis suecica* (KLIN) BUTCHER y *Dunaliella salina* TEODORESCO *Estudios Oceanológicos* 14:61-74.
- Ruiz, B., Rodríguez R., & Ipanaqué, J. (2013). Determinación de la acumulación de metales pesados en agua, sedimento y biota del Humedal el Paraíso. Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. Universidad Nacional José Faustino Carrión. 7p.
- Russo, R. (2002). Development of marine water quality criteria for the USA. *Marine Pollution Bulletin* 45 :84-91.
- SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL (1995). Análisis de agua - Evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia magna* Straus (Crustacea - Cladocera). NMX-AA-087-1995-SCFI.
- Salcedo, A. (2011). Editorial. Revista de Ciencias en la Salud 10 (Especial): 5-7.
- Sánchez, G., & Tupayachi, M. (1988). Pruebas preliminares sobre toxicidad aguda del cobre en la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*). 191-194 p. En: Salzwedel, H. y A. Landa (Eds.). Recursos y dinámica del ecosistema de afloramiento peruano. *Bol. Ext. Inst. Mar Perú – Callao*.
- Sánchez, G., & Hollemwegger, E. (1991). Research and Monitoring of Marine Pollution in Peru: 1984 - 1988. Regional Cooperation on Environmental Protection of Marine and Coastal areas of the Pacific Basin, UNEP. *Regional Seas Reports and Studies* 134: 35 - 41.

- Sánchez, G., Orozco, R., & Jacinto, M. (1998). Estado de la Contaminación Marina en el Litoral Peruano en 1994 y 1995. *Informe Inst. Mar Perú*. (36):7-22.
- Sánchez, G., Orozco, R., & Guzmán, M. (2008). Bahía del Callao, Perú. Evaluación ambiental en marzo 2002. . *Informe Inst. Mar Perú*. 35 (1).
- Sánchez, G., & Vera, G. (2001). Manual introductorio de Ecotoxicología Acuática. *Informe Inst. Mar Perú (161)*, 40p.
- Sobrino-Figueroa, A., Caceres-Martinez, C., Botello, A., & Nuñez-Nogueira, G. (2007). Effect of cadmium, chromium, lead and metal mixtures on survival and growth of juveniles of the scallops *Argopecten ventricosus* (Sowerby II, 1842). *Journal of environmental Science and Health Part A. Vol 42*, 1443-1447. doi:<https://doi.org/10.1080/10934520701480821>.
- Spehar, R. (1976). Cadmium and zinc toxicity to flagfish, *Jordanella floridae*. *J. Fish. Res. Board Can.* 33:1939-1945.
- Stauber, J., & Florence, T.M. (1990). Mechanism of Toxicity of Zinc to the marine diatom *Nitzschia closterium*. *Marine Biology* 105, 519-52
- Tam, J., Vera, G., Pinto E., & Melgar, R. (2000). Modelo de simulación de los efectos ecotoxicológicos del cadmio sobre el crecimiento de la microalga *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve. *Inf.Progresivo IMARPE N°132*. 12p.
- UNEP. (1988). Co-operation for environmental protection in the Pacific Oceans and Coastal Areas Programme Activity Centre. *UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 97*.
- USEPA. (1976). Quality criteria for water. EPA 440-9-76-023.
- USEPA. (1983). Water quality standards handbook. Office of Water Regulations and Standards, Washington, DC.

- USEPA. (1991). Water Quality Criteria Summary. Office of Science and Technology. Poster.
- USEPA. (1993). Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms, 4th ed., EPA/600/4-90/027F, Office of Research and Development, Washington, D.C.
- Valcárcel, G., Valdez, F., & Vernal, R. (1974). Investigación sobre la contaminación de las aguas en el litoral peruano. Min. Pesquería del Perú. Dir. Gen. Invest. *Científica y Tecnológica* (16):249.
- Vera, G., Tam, J., Vera, V., & Pinto, E. (2001a). Pruebas ecotoxicológicas con cadmio y cromo usando postlarvas del pejerrey *Odontesthes (Austromenidia) regia regia* HILDEBRAND. *Rev. Peru. biol.* 8(2):125-135.
- Vera, G., Tam, J., Pinto, E., & Angulo, J. (2001b). Efectos del cadmio sobre el crecimiento poblacional de la diatomea marina *Chaetoceros gracilis* SHUTT. *Rev. Peru. Biol.* 8(1):45-52.
- Vera, G., Tam, J., & Pinto, E. (2009). Efectos ecotoxicológicos del petróleo crudo, diesel 2 y kerosene sobre el crecimiento poblacional de la microalga *Chaetoceros gracilis* Schutt. *Ecol. Aplic.* 8:1-7.
- Vizcarra, M.A. (2002). *Ecosfera. La ciencia ambiental y los desastres ecológicos*. Lima: ARS.SAC.
- Vymazal, J. (1987). Toxicity and accumulation of cadmium with respect to algae and cyanobacteria: a review. *Toxicity Assessment: An International Quarterly.* 2:287-415.
- Wang, Z., Shao Y., Li, C., Zhang, W., Duan, X., Zhao, X., Qiu, Q., & Jin, C. (2016). RNA-seq analysis revealed ROS-mediated related genes involved in cadmium

- detoxification in the razor clam *Sinonovacula constricta*. *Fish and Shellfish Immunology*. 57:350-361.
- Weber, C. I. (1993). Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. EPA600/490/027F. 293 p.
- West, Inc. & Gulley, D.D. (1996). Toxstat®, Release 3.5. University of Wyoming, Cheyenne, Wyoming.
- Wright, D.A., & Welbourn, P. (2002). Environmental Toxicology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Yan, Z., Wang, W., Zhou, J., Yi, X., Zhang, J., Wang, X., & Liu, Z. (2015). Screening of high phytotoxicity priority pollutants and their ecological risk assessment in China's surface waters. *Chemosphere*. 128:28–35.
- Zambrano, A. W. (1983). Evaluación biológica del comportamiento de la lisa *Mugil cephalus* frente al metanol utilizando metales radioquímicos. Contribución a la Toxicología Marina. Tesis Ing. Pesquero. Universidad Federico Villarreal, 90 p.
- Zuñiga, M., Roa, R., & Larraín, A. (1995). Cell bioassays with the sea urchin *Arbacia spatuligera* on samples from two polluted chilean coastal sites. *Marine Pollution Bulletin* 30(5):313-319.

Anexos

Anexo 1: Declaración de autenticidad

1. Declaración de Autenticidad



UNIVERSIDAD
RICARDO PALMA

Escuela de Posgrado

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y NO PLAGIO

DECLARACIÓN DEL GRADUANDO

Por el presente, el graduando: (Apellidos y nombres)

VERA DIEGO ROSELINDA GIOVANNA

en condición de egresado del Programa de Posgrado:

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

deja constancia que ha elaborado la tesis intitulada:

Efectos ecotoxicológicos del cadmio sobre la mortalidad de la concha de abanico y riesgo ecológico en áreas de la costa peruana

Declara que el presente trabajo de tesis ha sido elaborado por el mismo y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso o similar) presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica, de investigación, profesional o similar.

Deja constancia que la cita de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no ha asumido como suyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de la Internet.

Asimismo, ratifica que esplenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asume la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento y esconsciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, el graduando se somete a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y los dispositivos legales vigentes.


Firma del graduando

06-07-2020
Fecha

Anexo 2: Autorización de consentimiento para realizar la investigación



Escuela de Posgrado

AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DEL RESPONSABLE DEL AREA O DEPENDENCIA DONDE SE REALIZARA LA INVESTIGACIÓN

Dejo constancia que el área o dependencia que dirijo, ha tomado conocimiento del proyecto de tesis titulado:

EFFECTOS ECOTOXICOLÓGICOS DEL CADMIO SOBRE LA MORTALIDAD DE LA
CONCHA DE ABANICO Y RIESGO ECOLÓGICO EN ÁREAS DE LA COSTA PERUANA

el mismo que es realizado por el Sr./Srta. Estudiante (Apellidos y nombres):

VERA DIEGO. ROSELINDA GIOVANNA

, en condición de estudiante - Investigador del Programa de:

MAESTRIA EN ECOLOGIA Y GESTION AMBIENTAL

Así mismo señalamos, que según nuestra normativa interna procederemos con el apoyo al desarrollo del proyecto de investigación, dando las facilidades del caso para aplicación de los instrumentos de recolección de datos.

En razón de lo expresado doy mi consentimiento para el uso de la información y/o la aplicación de los instrumentos de recolección de datos:

Nombre de la empresa: INSTITUTO DEL MAR DEL PERU	Autorización para el uso del nombre de la Empresa en el informe Final	<input checked="" type="checkbox"/> NO
Apellidos y Nombres del Jefe/Responsable del área: TAM MÁLAGA, JORGE LARRY	Cargo del Jefe/Responsable del área: RESPONSABLE DEL LABORATORIO	
Teléfono fijo (Incluyendo anexo) y/o celular: 2088667	Correo electrónico de la empresa: jtam@imarpe.gob.pe	

10/08/20

Firma

Fecha



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
ESCUELA DE POSGRADO
Oficina de Grados Académicos

Surco, 13 de noviembre del 2019.

Oficio N° 984-2019-EPG-SA-OGA

Bach.
ROSALINDA GIOVANNA VEGA DIEGO
Presente.-

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted para comunicarle que habiéndose recibido los informes de los miembros del Jurado Revisor que han evaluado su Proyecto de Tesis " **EFFECTOS TOXICOLÓGICOS DEL CADMIO SOBRE LA MORTALIDAD DEL MOLUSCO *Argopecten purpuratus*, CONCHA DE ABANICO**", para obtener el Grado Académico de Maestra en Ecología y Gestión Ambiental. Se le autoriza a presentar cuatro copias anilladas del borrador de su Tesis, adjuntando una carta de conformidad de su asesor.

Se le informa además, que según lo establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de Segunda Especialidad de la EPG, usted dispone de un plazo de seis meses contados a partir de la emisión de este oficio, para presentar las copias del borrador de su Tesis.

Sin otro particular y reiterándole mi estima personal,

Atentamente,



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA


DRA. ELENA MAISCH MOLINA
Jefa Grados Académicos

Anexo 3. Matriz de consistencia

Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis	Variables	Métodos
Se desconoce el efecto del cadmio en el porcentaje de mortalidad de la concha de abanico.	Determinar el efecto ecotoxicológico del cadmio sobre el porcentaje de mortalidad de la concha de abanico.	El cadmio produce un aumento convexo en el porcentaje de mortalidad de la concha de abanico.	V. Independiente (Concentración de cadmio) V. Dependiente (Mortalidad de concha de abanico)	Método de curva dosis-respuesta. Prueba de correlación Spearman.
No hay información sobre la sensibilidad ecotoxicológica de la concha de abanico al cadmio respecto a otras especies nativas peruanas.	Comparar la sensibilidad de la concha de abanico al cadmio, respecto a otras especies nativas peruanas.	La concha de abanico es más sensible al cadmio que otras especies nativas peruanas.	V. Dependiente (Concentración efectiva media)	Método Probit. Prueba bilateral Wilcoxon.
Existe incertidumbre sobre el nivel de riesgo ecológico de las bahías de Sechura, playa Conchán, bahía de Paracas y Punta Mesa.	Calcular el riesgo ecológico del cadmio en la bahía de Sechura, playa Conchán, bahía de Paracas y Punta Mesa en base a los parámetros ecotoxicológicos.	La bahía de Sechura, Playa Conchán, bahía de Paracas y Punta Mesa presentan un riesgo ecológico medio.	V. Dependiente (Riesgo ecológico)	Método de cociente de peligro. Prueba unilateral Wilcoxon.