



UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS GEOLÓGICAS

Departamento de Ingeniería Química

Magister en Aplicaciones de Ingeniería Ambiental

**BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS (Cu, Pb Y Zn), EN ORGANISMOS
FILTRADORES DE LA BAHÍA DE SAN JORGE, ANTOFAGASTA, CHILE**

KAREN ALEJANDRA CHANG CLAROT

Profesor Guía: Nelson Alarcón P. Ph.D

Antofagasta, Chile

2013

No te rindas que la vida es eso
Continuar el viaje
Perseguir tus sueños
Destruir el tiempo
Correr los escombros
Y destapar el cielo.

Mario Benedetti

RESUMEN

En los casi 70 kilómetros de costa que posee la región de Antofagasta, podemos encontrar algunos tunicados filtradores como *Pyura Preaputialis* y *Perumytilus Pupuratus*, - especies que se encuentran confinadas específicamente en la Bahía San Jorge– en que una de las características principales de estas especies es la bioacumulación de metales pesados, debido a que están expuestos constantemente a los descargos mineros e industriales, zona particularmente dedicada a la actividad minera.

Por esta razón, es que en esta revisión bibliográfica se presentarán estudios y teorías de diversos científicos y autores enfocados a la bioacumulación de metales pesados, especialmente Cu-Pb y Zn, dentro de organismos filtradores como los mencionados en un principio localizados en la región.

El motivo de estudio se debe a que en la zona que habitamos hay una gran cantidad de actividad industrial y minera, las que pueden llegar a contaminar grave y significativamente las costas de la región. Esta es la motivación principal para realizar esta investigación que dará pruebas concluyentes explicadas con más detalle en el cuerpo de este trabajo.

Finalmente, es posible decir que la distribución de Cu, Pb y Zn dentro de la bahía San Jorge – en Antofagasta - sugiere que las actividades antrópicas desarrolladas en la zona costera tienen claramente un impacto sobre el contenido de metales en los sedimentos marinos. Así mismo se concluye que los puertos de embarque de mineral revisten un riesgo para las comunidades de organismos bentónicos.

Sin embargo, es importante señalar que bajo un punto de vista ecotoxicológico, hasta ahora se desconoce realmente si la bioacumulación de estos metales en las comunidades de *Pyura preaputialis* (Piure) y *Perumitylus purpuratus* (Chorito maico) han tenido efectos cuantificables en la población, como por ejemplo, en la abundancia y distribución.

ABSTRACT

In the nearly 70 miles of coastline that is the Antofagasta region, there are filter feeders tunicates such as *Perumytilus Preaputialis* and *Pyura Pupuratus*. These species are specifically found in the San Jorge bay, where one of the of the main characteristics of these species is the bioaccumulation of heavy metals. This bioaccumulation is due to the fact that they are located in the San Jorge bay which is a mining unload and industrial area.

For this reason, in this literature review we will present studies and theories of various scientists and authors focused on the bioaccumulation of heavy metals, particularly Pb and Cu-Zn within filtering organisms as the ones mentioned initially and localized in the region.

The reason for the study is due to the large volume of industrial and mining activities in our region, which may eventually cause severe and significant contamination in coasts of the region. This is the main motivation for this study which will give proof that will then be explained in the body of this work.

Finally, it is possible to say that the distribution of Cu, Pb and Zn in the San Jorge bay-Antofagasta - suggests that the development of human activities in coastal zone clearly have an impact on the content of metals in the marine sediment. So it is concluded that ore shipping ports are a risk to the communities of benthic organisms.

However, it is important to note that under an ecotoxicological point of view, it is not currently known if the bioaccumulation of these metals in the preaputialis *Pyura* communities (*Piure*) and *Perumytilus purpuratus* (*Chorito maico*) have had measurable effects on the population, for example, in abundance and distribution.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
3.IMPACTO DE LA MINERÍA E INDUSTRIAS EN AMBIENTES COSTEROS	5
4. BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS	8
4.1. ASPECTOS ECOTOXICOLOGICOS.	8
4.2. BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN SEDIMENTO Y AGUA	9
5. VISIÓN GENERAL Y PANORAMA MUNDIAL	11
6. PYURA PREAPUTIALIS.	17
6.1. INFORMACIÓN GENERAL.	17
6.2. CARACTERÍSTICAS.	18
6.3. BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN PYURA PREAPUTIALIS	19
7. PERUMITYLUS PURPURATUS	20
7.1. INFORMACIÓN GENERAL.	20
7.2. CARASTERÍTICAS.	21
8. ASPECTOS GENERALES DE LA BIOACUMULACIÓN EN CHILE.	23
8.1. SEDIMENTOS	24
8.2. AGUA.	25

9. ORGANISMOS BIOINDICADORES.	27
9.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ORGANISMOS FILTRADORES.	27
10. CARACTERÍSTICAS Y BIOACUMULACIÓN EN LA BAHÍA DE SAN JORGE.	29
10.1. INFLUENCIA DE LAS CORRIENTES MARINAS EN LA BAHÍA DE SAN JORGE.	30
10.2. PYURA PREAPUTUALIS EN LA BAHÍA DE SAN JORGE	32
10.3. BIOACUMULACIÓN EN PERUMITYLUS PURPURATUS	34
11. CONCLUSIÓN	38
12. BIBLIOGRAFÍA	40
13. GLOSARIO	45

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras frecuentemente son el depósito final de residuos orgánicos e inorgánicos asociados a las actividades industriales y urbanas que se desarrollan en su entorno. En zonas industrializadas y portuarias los residuos, de dicha actividad usualmente contienen una alta carga de metales pesados, lo que, eventualmente, puede modificar sus concentraciones naturales en los ambientes marinos (Calderón y col. 2012).

A pesar de que diversos metales participan de diversos procesos metabólicos, un aumento de sus concentraciones, puede resultar en efectos tóxicos, para las comunidades de organismos marinos y, eventualmente, para población humana (IBID, 2012).

El conocimiento de la distribución de los metales en los sedimentos, permite determinar su disponibilidad en el sistema marino, ya que su inclusión en esta matriz ambiental representa un importante reservorio de metales que, eventualmente pueden retornar a la columna de agua por procesos de difusión y mezcla, actividad de los organismos bentónicos y resuspensión (IBID, 2012).

Adicionalmente, la biodisponibilidad de metales en los sedimentos tiene una acción directa sobre algunas especies acuáticas, muchas de las cuales acumulan altas concentraciones con efectos crónicos en sus poblaciones (IBID, 2012).

La contaminación por metales pesados presenta uno de los mayores factores de riesgo. Todos los organismos que participan en la cadena trófica- especialmente los marinos se encuentran expuestos a ellos por efecto de las descargas de efluentes industriales y urbanos en la bahía. Esto ha determinado que los metales pesados sean uno de los principales grupos de sustancias presentes en el ambiente, cuya abundancia ha sido ampliamente estudiada, ya sea por su toxicidad o por sus aportes antropogénicos que pueden superar los aportes naturales (Salamanca y Col, 2004).

Por otra parte, se debe tener en consideración que muchos de estos metales participan en los ciclos biológicos de diferentes grupos de organismos, lo que afecta su distribución y abundancia. (Salamanca y Col, 2004).

La concentración de metales pesados en el litoral chileno: La minería, industria, en particular la extracción y procesamiento de cobre frecuentemente son alteradas por residuos, tanto orgánicos como inorgánicos asociados a las actividades industriales y urbanas que se desarrollan en su entorno. Estas alteraciones afectan la distribución, el número y composición de dichos compuestos en estas áreas. (Vásquez y Col, 1996).

Lo anterior ha llevado a la realización de estudios tanto mundiales, nacionales, como también regionales con el fin de evaluar el afecto de los compuestos eliminados por actividades antropogénicas; principalmente midiendo su concentración en el agua, sedimentos y organismos.

En este contexto, los *tunicados, han sido ampliamente utilizados como bioindicadores de contaminación de sistemas costeros- tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos- ya que por su carácter de organismos *sésiles, están permanentemente expuestos a los efectos de estas sustancias, por lo que han sido utilizados como biomonitores. (Salamanca y Col, 2004)

Por otra parte, los estudios regionales a lo largo de la zona costera en Chile han demostrado que existe una clara señal de contribución de metales, indicando alteración de los procesos de aporte natural de estas. (Salamanca y Col, 2000)

De éstos los más abundantes corresponden a las especies *Perumitylus purpuratus* (chorito maico o mejillones) y *Pyura praeputialis* (piure de Antofagasta), puesto que se encuentran distribuido ampliamente a lo largo de la zona intermareal de la Bahía de Antofagasta, con altos aportes naturales de metales, a lo que se debe sumar la existencia de varias descargas industriales y municipales. (Salamanca y Col, 2000)

Debido al impacto que ha provocado la industria minera por sus vertidos desechados en el mar, induciendo una mayor concentración de Cobre, Plomo y Zinc (Cu, Pb y Zn) en los organismos marinos y en todo su hábitat, es que se espera que los objetivos expuestos en

este trabajo permitan continuar con la cooperación de conocimientos acerca de la contaminación por metales. Especialmente de cobre, plomo y zinc las especies típicas del ecosistema costero de la región de Antofagasta.

Por todo lo anterior, es la importancia de esta recopilación bibliográfica, ya que apunta a conocer los estudios existentes en el tema, con que en un futuro pudieran diseñarse programas de biomonitoreos a largo plazo en la bahía de San Jorge, relacionada con la bioacumulación de Cu, Pb, Zn.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

2.1.1 Recopilar información sobre la bioacumulación de los metales pesados (Cu, Pb y Zn), en organismos bioindicadores, tales como *Pyura praeputialis* y *Perumitylus purpuratus* del intermareal rocoso en la Bahía de San Jorge, Antofagasta, Chile

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

2.2.1 Recopilar y analizar la información existente sobre los efectos de la contaminación por metales pesados Cu, Pb y Zn, en sedimentos, agua y bioacumulación en organismos intermareales (mundial, nacional y regional).

2.2.2 Describir las características generales de la Bahía de San Jorge, y el rol que cumple en la contaminación por metales pesados en organismos bioindicadores presentes en la franja intermareal.

2.2.3 Recopilar y analizar la información existente sobre bioacumulación de metales pesados Cu, Pb y Zn, en organismos filtradores presentes en la franja intermareal en la Bahía de San Jorge, Antofagasta, Chile.

3.- IMPACTO DE LA MINERÍA E INDUSTRIAS EN AMBIENTES COSTEROS.

De acuerdo a Marín, 2007 Las actividades mineras son conocidas mundialmente por causar importantes efectos adversos al medio ambiente asociados principalmente con el depósito de grandes volúmenes de residuos con altas concentraciones de metales pesados en zonas cercanas a donde se desarrollan estas actividades.

En Chile, una de las actividades productivas de mayor repercusión en las comunidades biológicas terrestres y marinas ha sido la actividad minera, generando perturbaciones significativas y emblemáticas, principalmente en el norte del país.

En el comprendido entre Tocopilla y Coquimbo, se concentra la mayor actividad minera relacionada con la elaboración, tratamiento, transformación y embarque del producto de la actividad industrial minera, constituyendo más del 60% del producto geográfico bruto (PGB). Entre la Primera y la Cuarta Región, existen extraordinarios yacimientos que concentran más del 25% de las reservas mundiales de cobre, el 40% de las reservas mundiales de molibdeno y el 30 % de las reservas mundiales de litio. Además, en esta zona se encuentran importantes yacimientos de oro, hierro, plata, manganeso, cobalto, mercurio, plomo y zinc. (Buschmann y Col, 2005)

En relación a la actividad minera en el año 2011, el equipo investigador de Hedoin y Col (2011), determinaron las capacidades de bioacumulación y la retención de algunos contaminantes (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni y Zn) claves y locales de la laguna de Nueva Caledonia (20° 24' 43" S, 164° 33' 59") cercano a los arrecifes de corales del Pacífico sur en la ostra *Isognomon isognomon* y la almeja comestible *Gafrarium tumidum*.

En una primera serie de experimentos -ostras y almejas de un sitio limpio se trasplantaron a sitios contaminados- la cinética de captación determinada en el campo indicó que para Cr y Cu en las ostras y Co, Ni y Zn en las almejas, las concentraciones en los bivalvos trasplantados alcanzó los organismos residentes después 100 días, mientras que para el resto de elementos, se requeriría más tiempo para bivalvos trasplantados para llegar a los mismos niveles que en las poblaciones residentes (por ejemplo, de hasta 3 años para Cd). (Marín, 2007)

Sin embargo, la lenta tasa de absorción para metales observados en el último trasplante, está relacionada más bien, con la baja biodisponibilidad de los metales en los sitios contaminados con la mengua eficiencia de bioacumulación de los organismos. De hecho, los resultados de un segundo experimento de trasplante en dos estaciones altamente contaminadas, indicaron una bioacumulación de los metales más rápida en ambos bivalvos. Los resultados de ambos trasplantes señala que la almeja *G. tumidum* es un bioindicador más eficaz para la contaminación de la minería que *I. Isognomon*, ya que es capaz de bioacumular contaminantes en un grado mayor.

No obstante la capacidad de retención de metal, indicó para la mayoría de elementos, que los organismos procedentes de sitios contaminados no sería adecuado para el seguimiento de las zonas de menor contaminación. Por lo tanto, la procedencia geográfica de los animales para ser trasplantados en una perspectiva de monitoreo debe ser cuidadosamente seleccionada. (Hédouin, L y col. 2011).

Complementario a lo anterior, se señala que la extracción de estos recursos no renovables produce severas modificaciones significativas en los ecosistemas terrestres y marinos por la remoción de materiales, el uso de aguas superficiales y subterráneas, la ocupación de terrenos y la descarga de residuos sólidos y líquidos. Cuando no se depositan en tranques, estos residuos se arrojan al mar, produciendo perturbaciones catastróficas en la biota marina. Por otra parte, en el análisis sistematizado realizado por científicos, se da como resultado que la reducción de la diversidad orgánica de las comunidades marinas litorales, por la actividad minera, es uno de los problemas de mayor relevancia desde la II hasta la IV regiones de Chile. (Edding y Col, 2006)

Sin perjuicio de lo anterior, es importante señalar que la contaminación por metales traza representa uno de los mayores factores de riesgo para los organismos marinos costeros, los que se encuentran expuestos a ellos por efecto de las descargas de efluentes industriales y urbanos en bahías y estuarios, además muchos de estos metales participan en ciclos biológicos de diferentes organismos lo que afecta su distribución y abundancia.

Se puede señalar que los estudios científicos han llegado a determinar de manera concreta que la actividad minera e industrial producen alteraciones de diversos tipos en las

zonas costeras -siendo de un gran impacto para los ecosistemas en su totalidad- no sólo en sedimento, sino también en el agua y los organismos marinos; producidos generalmente por la poca consciencia de los seres humanos al actuar en nuestro planeta.

4.- BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS.

4.1 Aspectos Ecotoxicológicos

La ecotoxicología es una ciencia que estudia el origen de los contaminantes y su transporte entre los distintos compartimientos ambientales, las transformaciones que sufren dichos contaminantes y, finalmente, los efectos que estos producen sobre los ecosistemas. Por lo tanto estudia los efectos perniciosos de los elementos químicos dentro de un contexto ecológico.

Para estudiarla, se hace necesario establecer relaciones causa- efecto entre las perturbaciones ambientales causadas por el hombre y los efectos observados en sistemas naturales, tomando en cuenta que es una tarea difícil debido a la existencia de múltiples factores intrínsecos y, especialmente porque no hay un enfoque único y ampliamente aceptado para la determinación de estas relaciones causa efecto.

La habilidad de establecer relaciones causa- efecto entre factores estresantes derivados de la actividad humana y los efectos ecológico es particularmente importante en la política ambiental ya que afecta a aspectos tales como la regulación de los vertidos, la preservación de espacios protegidos, la biorremediación de ecosistemas y otros aspectos ambientales y legislativos.(Marín,2007)

Los organismos han desarrollado mecanismos evolutivos para la captación, transporte, utilización y tolerancia de estos iones metálicos; una vez que la capacidad de asimilación es excedida, ya sea por un exceso del ión o por presencia inusual de altos niveles de metales no esenciales como Ag, Cd, Hg y Pb, pueden ocurrir numerosos y deletéreos efectos en los organismos expuestos. (Edding y Col, 2006).

4.2 Bioacumulación de metales pesados en sedimento y agua.

El año 2012 el equipo de investigación de Calderon y Valdés de la Universidad de Antofagasta, Chile analizó el contenido de Cu, Zn y Pb en sedimentos, y de Cu y Zn en organismos bentónicos en 7 sectores de la costa de la bahía San Jorge, para evaluar el impacto de la actividad antrópica sobre el ecosistema marino.

Se encontró que la mayor concentración de metales pesados en sedimentos correspondió al sector del Puerto de Antofagasta. De acuerdo a la concentración de Cu medida en 14 especies de organismos bentónicos, en la bahía se distinguen dos sectores, el sector sur con niveles altos de Cu y el sector norte con niveles bajos.

El Zn presentó concentraciones altas, específicamente en el sector del Puerto. En general, la distribución de estos 3 metales dentro de la bahía San Jorge sugiere que las actividades antrópicas desarrolladas en la zona costera tienen un impacto sobre el contenido de metales en los sedimentos marinos, y que los puertos de embarque de mineral revisten un riesgo para las comunidades de organismos bentónicos.

Por otro lado, señalaron que en zonas industrializadas y portuarias, los residuos de dicha actividad usualmente contienen una alta carga de metales pesados, lo que eventualmente, puede modificar sus concentraciones naturales en los ambientes marinos.

No obstante diversos metales participan de diferentes procesos metabólicos, un aumento de sus concentraciones puede resultar en efectos tóxicos para las comunidades de organismos marinos y, eventualmente, para la población humana.

Es por esta razón que, Calderon y Col, 2012 hicieron notar que la biodisponibilidad de metales en los sedimentos tiene una acción directa sobre algunas especies acuáticas, muchas de las cuales acumulan altas concentraciones con efectos crónicos en sus poblaciones.

Vale destacar que Los metales pesados son parte fundamental de las fuentes antropogénicas provenientes de desechos domésticos, agrícolas e industriales; que a su vez son peligrosos para la *biota marina, el hombre y el ambiente en general. Bajo este escenario, los sedimentos- uno de los principales reservorios de estos elementos- actúan como recursos secundarios de contaminación en el medio ambiente marino. (Castro y Col, 2012).

Es por ello que Es necesario tener en cuenta que los autores especializados en esta materia han tenido visiones diferentes, pero complementarias en cuanto a lo que el impacto real de la minería trae en los ambientes costeros.

En consecuencia, en el año 2006, Edding y Col., sostuvieron que la mayor debilidad de la sociedad contemporánea ha sido la falencia en utilizar los principios ecológicos para minimizar los impactos negativos de las actividades humanas. Es por esto que ellos colocan énfasis en tener una claridad sobre el desarrollo de procedimientos que aseguren la protección y la conservación de los recursos vivos, en lugares donde la actividad antrópica genera los mayores impactos sobre las comunidades biológicas.

Es preciso señalar que la mayoría de los metales anteriormente mencionados son componentes frecuentes de los desechos mineros en el norte de Chile. Según lo investigado por Vásquez & Guerra (1996), recientemente 17 elementos químicos derivados de los procesos de reducción de Cu y Fe han sido reportados en 14 especies de macroalgas en el norte de Chile; Sin embargo, la mayoría de estos metales son también resultante de *procesos orogénicos, de actividad volcánica y de eventos climáticos locales, por consiguiente, y dada las especiales condiciones de la costa de Chile, no es fácil definir su origen. (Edding y Col, 2006).

5.-VISIÓN GENERAL Y PANORAMA MUNDIAL.

El estudio acerca de la bioacumulación de metales pesados en organismos marinos, ha sido una constante preocupación y se ha utilizado como forma de monitoreo de actividades antrópicas y sus efectos en el ecosistema marino, es así como, mediante ella, se ha estudiado ampliamente en las zonas costeras de ciudades cuyas actividades industriales representa un efecto negativo en el medio ambiente. (Baird, 2001).

Para entender completamente, Lennetch (2012) definió que el término “metal pesado” se refiere a cualquier elemento químico metálico que tiene una densidad relativamente alta y es tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Ejemplos de metales pesados incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl) y plomo (Pb). Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre. No pueden ser degradados o destruidos. En una pequeña medida entran al cuerpo humano a través de alimentos, agua potable y aire. Como *oligoelementos, algunos metales pesados (por ejemplo, cobre, selenio, zinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas, pueden conducir a la intoxicación con metales pesados que puede ser provocada, en ciertos casos, por la contaminación del agua potable (por ejemplo, las tuberías de plomo), el aire que se encuentre en el mismo punto de las fuentes de emisión, o, en otros casos, la ingesta a través de la misma cadena alimentaria. Es necesario señalar que los metales pesados son considerados peligrosos porque tienden a aumentar su concentración en los organismos biológicos, tal como fue explicado anteriormente. Estos metales se acumulan en los seres vivos a través de las tres vías principales, orales, cutáneas y respiratorias, en cualquier momento ya que son captados y almacenados más rápidamente de lo que se descomponen (metabolizados) o excretados. Provocando enfermedades como anemia, daños al hígado y a los riñones, irritación del estómago e intestino, efectos en el sistema nervioso.

Además hay que tomar en cuenta que, algunas áreas del mundo como la costa del Pacífico Sur Oriental, presentan altos niveles naturales de metales pesados. Esta región del Pacífico, posee en su conformación geológica, ambientes altamente adecuados para la *metalogénesis.

Por otra parte, Baird (2001) agregó que algunas sustancias presentan el fenómeno de la biomagnificación: sus concentraciones aumentan progresivamente a lo largo de una cadena trófica. No obstante, muchos organismos acuáticos bioconcentran metales pesados.

Aún así, las concentraciones de muchos metales pesados que encontramos en el agua de consumo son, habitualmente pequeñas y no causan problemas directos de salud. Sin embargo, ocurren excepciones que se tratarán más adelante; como es el caso de los compuestos orgánicos tóxicos; en el que las cantidades de metales que ingerimos a través de los alimentos son mucho más preocupantes que las atribuidas al agua de consumo.

La extensión en la que una sustancia se acumula en un ser humano o en otro organismo depende de la velocidad, a la que es ingerido de la fuente, por ejemplo, el alimento, y del mecanismo por el que es eliminado, es decir, su sumidero.

Hay que enfatizar que muchos metales pesados se encuentran naturalmente en ambientes marinos; algunos de ellos se describen como contaminantes cuando se encuentran en cantidades suficientes para producir efectos nefastos en algunas características del sistema ecológico.

Los organismos se pueden utilizar como los biomonitores más eficientes del impacto de la contaminación ambiental. Algunos como los moluscos bivalvos, son bien conocidos por su actividad biológica y reacciones características, así como por las concentraciones de metales pesados y otras sustancias en sus tejidos.

Como se expresó con anterioridad, las ostras y los mejillones pueden acumular Cd en sus tejidos en niveles de hasta 100.000 veces superior a los observados en el agua que habitan, además altas concentraciones de metales traza se han detectado en varias especies de bivalvos marinos en muchas partes del mundo, tal como señalaron Avelar y col. (2000) e Ikuta y col (1991).

En las últimas décadas, los enfoques comparativos de la fisiología y la bioquímica han jugado un papel importante en la comprensión de la complejidad de la bioacumulación de metales en las especies acuáticas. Tal enfoque comparativo es ahora ayudado aún más

por la otra visión de modelado biocinético que puede ser usado para predecir las tasas y rutas de bioacumulación de metales y ayudar en la interpretación de la bioacumulación de concentraciones de cuerpos metálicos de los animales acuáticos.

Se destaca en los estudios, como los encontrados en Wang y col. (2008), los diferentes patrones de acumulación de metales en diferentes especies de invertebrados y peces, y entre los distintos sistemas acuáticos (agua dulce y marinos). La biocinética comparativa de metales pueden explicar las diferencias en la bioacumulación de metales entre los *bivalvos; aunque todavía es difícil de explicar la base evolutiva de las diferentes concentraciones de metales acumulados del cuerpo (por ejemplo, por qué algunas especies tienen altas concentraciones de metales).

Ambas respuestas fisiológicas / bioquímicas y geoquímica del metal son responsables de las diferencias en las concentraciones de metales observados en diferentes poblaciones de especies acuáticas, o entre el agua dulce y especies marinas.

Un enfoque comparativo es especialmente importante para la investigación de la biología de los metales pesados, debido a la manipulación fisiológica muy complicada y potencialmente variable de los metales durante su bioacumulación, la retención, distribución y eliminación de especies acuáticas diferentes, o entre diferentes sistemas acuáticos.

El mejillón o chorito silvestre *Mytilus galloprovincialis* del Golfo Sarónico de Grecia se utiliza para vigilar la contaminación por metales pesados en sitios contaminados en la zona y en un sitio no contaminado. Wang y col. (2008).

Para tener una visión más global de la situación, es importante señalar que en la región de Auckland, Nueva Zelanda, los metales pesados, cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) son los contaminantes de sedimentos de primera preocupación. Investigaciones han revelado efectos adversos de Cu y Zn, pero no de Pb, en fauna de estuarios y una sensibilidad más alta el alimento depositado del bivalvo *Macomona Liliana*, que en el alimento en suspensión el bivalvo *Austrovenus stutchburyi* en relación a estos metales.

Todo este estudio podría estar relacionado con un estudio eco-toxicológico, con el fin de examinar más la biodisponibilidad de Cu, Pb y/o Zn y sus efectos interactivos. La bioacumulación de Cu, Pb y Zn se midió en *M. lilliana* y *A. stutchburyi* después de 10 días de exposición a estos metales en el laboratorio, ambos bivalvos acumulado Pb y Zn, mientras que la bioacumulación de Cu sólo ocurrió en *A. stutchburyi* en presencia de Zn.

Hubo algunas pruebas de que la presencia de Pb podría aumentar la bioacumulación de Zn. La bioacumulación fue en general mucho más alto en *M. lilliana* que en *A. stutchburyi*, potencialmente sugiriendo sus mayores tasas de absorción de metales y lo que explica la mayor sensibilidad de *M. lilliana* para estos metales pesados.

La bioacumulación de plomo en los bivalvos y su influencia potencial sobre la biodisponibilidad de otros metales indicó que, a pesar de la falta de pruebas de toxicidad aguda de Pb en los estudios anteriores, se podría plantear una amenaza ambiental potencialmente importante (Fukunaga y col., 2011).

Este estudio fortalece la idea de investigar el tema de la bioacumulación de metales pesados, tales como Cu, Pb y Zn utilizando organismos filtradores bivalvos que en el caso de la Bahía San Jorge, por su abundancia y distribución podría corresponder a *Perumitylus purpuratus*.

Paralelamente Tao y Col., 2012, en el Lago Taihu – en China – se tomaron organismos acuáticos de diferentes niveles tróficos. Se midieron Metales pesados (Cu, Zn, Cr, Ni, Cd, Pb) en el fitoplancton, zooplancton, en dos especies de *zoobentos, y en ocho especies de peces, así como en la columna de agua y sedimentos del fondo.

Los resultados mostraron que la concentración de Cu y Zn para todos los organismos era mucho mayor que para otros metales, y Cd fue el más bajo en todas las especies. Generalmente, las concentraciones de metales pesados en el fitoplancton fueron más altos que en el zooplancton.

En zoobentos, la concentración en *Bellamya sp.* (Caracol comestible humano) fue mayor que en *Corbiculidae* (bivalvos). Las concentraciones de metales no tuvo diferencias

significativas entre las especies de peces, pero tendió a ser mayor en los peces depredadores, como *Coilia ectenes* y *Erythroculter ilishaeformis* que en los peces herbívoros.

El nivel de metales medidos en los peces del Lago Taihu fue moderado a bajo en comparación con la de los peces de agua dulce de los resultados internacionales. Especialmente, las concentraciones de metales en los organismos fueron mayores en el noreste del lago Taihu, pero menor en el sureste del lago y esto parece estar relacionado con los aportes fluviales que están fuertemente influenciadas por las actividades antropogénicas.

El factor de bioconcentración (FBC) representa la relación de equilibrio de la concentración de un compuesto químico específico en un organismo relativo a la concentración del compuesto disuelto en agua (Baird, 2001), el cual dice relación con el proceso por el que los organismos- especialmente los acuáticos- pueden absorber y concentrar sustancias como los plaguicidas, directamente del medio que los rodea, a través de su superficie respiratoria y de su piel.

Asimismo Baird, 2001 señaló que, para todos los organismos acuáticos en la cadena alimentaria, indicó que era generalmente más alto en el plancton, seguido por zoobentos, y más bajo en el pescado.

Una evaluación de riesgos para la salud y la comparación con los estándares nacionales e internacionales mostraron que el consumo de productos acuáticos en el lago fue en general seguro, pero los pescadores eran un grupo de mayor riesgo, especialmente a través de la ingesta dietética de *Bellamyia sp.* (Tao y col, 2012). Este estudio aún más reciente abala también investigar en la Bahía de San Jorge la bioacumulación en organismos de gran abundancia local.

Por otro lado El Nemr y Col. 2012 en Egipto realizaron una evaluación de la contaminación marina de ocho metales pesados (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) a lo largo de la costa egipcia del Mediterráneo.

Se investigó además, la probabilidad de riesgo debido a la contaminación de metales pesados en bivalvos. Las muestras de bivalvos se recogieron en abril de 2007, en nueve puntos de muestreo desde El-Mex y terminó en Port-Said a lo largo de la costa mediterránea.

Las concentraciones registradas promedio de Al, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn fueron $137,8 \pm 147,4$, $0,09 \pm 0,04$, $2,45 \pm 1,29$, $8,49 \pm 5,19$, $3,82 \pm 2,21$, $10,28 \pm 4,09$, $0,24 \pm 0,15$, y $21,87 \pm 21,38$ mg g⁻¹ peso seco, respectivamente. (El Nemr y col. 2012).

6.- PYURA PREAPUTIALIS.

6.1 Información General

En este caso, hay que establecer los conceptos básicos para tener un entendimiento de esta materia. Ávila (1991) definió que los tunicados son criaturas que cuando emergen de los huevos y pasan de estado larval, desarrollan la estratificación de sus sistemas axiales principales (lo que constituye unas características de los cordados); esto es, que la larva pierde sus huesos en un cierto periodo de la vida natatoria libre. Por ende, son considerados organismos que se encuentran clasificados en la frontera de los vertebrados e invertebrados (por algunos clasificados como invertebrados superiores), y evolutivamente considerados como nuestros antecesores primitivos.

Brito y col. (1982) perfeccionaron los datos agregando que, en cuanto a sus orígenes, se sospecha que se remonta a 500 millones de años, aspecto del cual no solamente tiene que ver con la *posición filogenético del animal, sino que también- en el caso de las especies concentradoras de vanadio- con el problema de la génesis del vanadio (V) encontrado en carbones y petróleos, en los que se encuentra como un *complejo V, sacando como conclusión que esta especie siempre ha sido un bioacumulador por su forma genética.

La clasificación taxonómica de la especie es la siguiente:

- *Filo: Cordados.
- *Sub-filo: tunicado.
- *Clase: Ascidiacea.
- *Orden: Stolidobranchiata
- *Familia: Pyuridae.
- *Género: Pyura.
- *Especia: Pyura Praeputialis.

Camus en el 2005, señaló que muchas especies que son introducidas tienen efectos negativos sobre las especies nativas, no obstante algunos desarrollan interacciones positivas con las especies nativas y otros invasores.

Bajo este punto es importante señalar que, según lo dicho por Herrera (2002), *Pyura praeputialis* es uno de los organismos, que se ha introducido a través del agua de lastre, o por una colonia incrustada en alguna parte de una nave. En definitiva, derivó de la evolución de alguna especie común que permaneció desde la separación de los continentes.

6.2 Características

Ahora, ¿qué cosas importantes podemos rescatar de lo que diversos autores han dicho respecto a las características de este organismo? En este ámbito, es posible encontrar diversos aportes que nos permiten establecer las características del piure.

En primera instancia se debe exponer que Castilla y col. (2002) dijeron que el gran sésil tunicado, *Pyura stolonifera* (Pleurogona: Stolibranchiata: Pyuridae), ha sido considerado como un complejo taxón con distribuciones disjuntas, en Australia (*Pyura stolonifera praeputialis*), Sudáfrica (*Pyura stolonifera stolonifera*) y Sudamérica, específicamente Antofagasta, Chile (*Pyura praeputialis*).

Por otro lado, investigaciones realizadas concluyeron que la especie está presente en la costa sudeste de Australia: New South Wales, Victoria y Tasmania; citándosele indistintamente como *Pyura praeputialis* o *Pyura stolonifera*. Esta especie, según Cerda y col. (2001) ha sido ampliamente relacionada con *P. Stolonifera*, habitada a lo largo de miles de kilómetros en la zona intermareal inferior entre Ciudad del Cabo y Natal en Sudáfrica, y las de África del Sur (*P. Stolonifera*).

El mismo autor, señaló que en Sudamérica se ha citado bajo al menos cinco combinaciones taxonómicas. El "piure de Antofagasta" es una especie competitivamente dominante en hábitats intermareales rocosos y muestra un rango geográfico limitado (60-70 km) exclusivamente dentro de la Bahía de Antofagasta.

Estas múltiples investigaciones y conclusiones nos permitieron entender con mayor claridad las características de *Pyura praeputialis*.

6.3.-Bioacumulación de metales pesados en *Pyura praeputialis*

Se monitorearon las concentraciones totales de Cr, Cu, Zn, Cd, Pb, As, Hg y la concentración de la especie química Cr+6 [Cr (VI)]. Las correspondientes mediciones se hicieron después de que las muestras fueron apropiadamente mineralizada por vía húmeda y el Cr (VI) fuera selectivamente extraído (Román y col, 2007).

Tanto el Cu como el Zn se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica con llama, con navecilla atrapa átomos si es necesario (FAAS; FFAAS); arsénico y plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica de generación de hidruros (HGAAS); mercurio mediante espectrofotometría de absorción atómica de generación de vapor frío (CVAAS); cromo y cadmio mediante espectrofotometría de absorción atómica con nebulización hidráulica de alto rendimiento (HHPN – AAS) y Cr(VI) mediante espectrofotometría de absorción atómica con nebulización hidráulica de alto rendimiento (HHPN – AAS), previo pretratamiento con TMAH (hidróxido de tetrametilamonio) y regulación del pH para preconcentración selectiva con DDTC / MIBK. (MEL, 2008)

7. PERUMITYLUS PURPURATUS.

7.1 Información General

Como datos generales, es posible apoyarse en lo encontrado y desarrollado por Prado y col. (2006), quienes señalaron que el mejillón *Perumytilus purpuratus* se distribuye desde Ecuador hasta el Estrecho de Magallanes, en la costa del Pacífico, y también se extiende a lo largo de la costa del Atlántico hasta La Lobería, Argentina.

La especie forma densas matrices tridimensionales que constituyen un microhábitat para una amplia variedad de organismos. Aquí probamos la hipótesis de que los factores que determinan la complejidad del hábitat estructural y la heterogeneidad ambiental de *Perumytilus* matrices tienen efectos significativos en la comunidad de macrofauna asociada.

En total se encontraron 92 taxones de invertebrados en *P. purpuratus* matrices. El número de capas (estratificación) en la matriz tuvo un efecto significativo sobre lisura: cuanto mayor es la estratificación, menor es el índice de uniformidad retención de sedimentos por las matrices en los sectores protegidos tuvo un efecto significativo sobre la regularidad: una mayor retención de sedimentos traducido en una menor uniformidad.

Retención de sedimentos también determinó diferencias significativas en los ensambles de macrofauna. En matrices sin retención de sedimentos, capas mejillón y la presencia de algas en las conchas de *P. purpuratus* determinó diferencias significativas macrofauna.

Como competidor dominante, *P. purpuratus* juega un papel importante en las costas intermareales rocosas en las que está presente, la estructuración de las comunidades y la determinación de la biodiversidad local. Si bien es cierto esta información es trascendental, también es importante señalar sus características, las cuales serán expuestas a continuación.

7.2 Características

Dentro de sus principales características, es necesario señalar en primer lugar que es conocida con el nombre de "chorito" o "chorito maico", y es una especie pequeña que presenta una concha mitiliforme, con un grueso periostraco en tono púrpura oscuro y una escultura externa con estrías radiales que se hacen más notorias en el extremo ventral, existiendo, además, finas estrías concéntricas de crecimiento.

Su charnela está formada por varios dientecillos de similar tamaño que se ubican hacia el borde ventral. Internamente es de color blanco, con una marcada línea paleal y un pequeño músculo aductor.

Fuera de esta línea, el color de la concha es en tonos púrpura brillante, es una especie que presenta dimorfismo sexual, la hembra tiene un manto de color café mientras que en el macho es de color amarillo. Es muy común encontrar poblaciones de esta especie en zonas rocosas formando un ancho cinturón que ocupa el horizonte medio de la zona litoral, lo que los deja expuestos en las bajas mareas, lo anterior señalado por Guzmán (1998).

Perumitylus purpuratus, conocido comúnmente como chorito maico (Chile) o choro (Perú), habita regularmente en la zona media del intermareal rocoso de la costa de Chile, y se distribuye desde el Ecuador hasta el Estrecho de Magallanes en el Océano Pacífico y continuando por la costa atlántica argentina hasta Santa Cruz. (Oyarzún, 2010)

Esta especie se encuentra formando densas matrices tridimensionales en la franja media intermareal para incrementar su protección frente al efecto mecánico de las olas, convirtiéndose en un competidor dominante del sustrato primario en la zona central rocosa de Chile. (IBÍD, 2010)

Desde el punto de vista reproductivo, importante es el aporte que nos dejaron quienes señalaron que *P. purpuratus* ha sido descrita como una especie gonocórica, que exhibe fecundación externa y cuyos ovocitos son los de mayor tamaño (128 + 9 µm), entre los mitílidos chilenos; además presenta una larva presuntamente planctotrófica de 14 días.

Sin embargo, se comprobó la *lecitotrofia larval en esta especie de forma experimental. (IBÍD, 2010)

¿Cómo es su estructura, entonces? La concha es bivalva, gruesa *mitiliforme, angulosa en su porción anterior. Los umbos son redondeados, frecuentemente erosionados. La superficie externa tiene estrías radiales muy marcadas en el extremo dorsoventral y estrías concéntricas de crecimiento.

La charnela posee dientes pequeños y de igual tamaño, que se ubican hacia el lado ventral. El *periostraco es grueso, de color violáceo, negro o negro purpúreo. Internamente es de color blanco, con una marcada línea paleal y un pequeño músculo aductor. Fuera de esta línea el color es de tonos plateados, púrpura brillante. El margen anterior es crenulado. De tamaño generalmente pequeño, la talla máxima controlada es de 31 mm. (Osorio, 2002).

Clasificación taxonómica

Phylum: Mollusca

Clase: Bivalvia

Orden: Mytiloida

Familia: Mytilidae

Género: *Perumytilus*

Nombre científico: *Perumytilus purpuratus*

8.- ASPECTOS RELEVANTES DE LA BIOACUMULACIÓN EN CHILE

En el norte de Chile es común la presencia de *cinturones metalogénicos de Fe en la costa, de Cu-Mo y Ag-Pb-Zn en la zona central y de cinturones de Sn-Sb-Bi-W en los Andes. Si se acepta que el proceso de metalogénesis no es un fenómeno reciente en la escala geológica, podemos inferir que los organismos debieran estar adaptados a este tipo de ambientes. En la costa norte de Chile los valores de Cu, Ni, As, Ag en el agua de mar y organismos marinos son inusualmente altos, (en este estudio los autores no informan análisis realizados en otros metales como Pb y Zn, en comparación con otros lugares del mundo y comparativamente mayores que en el resto del país. (Edding y Col, 2006).

Adicionalmente, Chile carece de una normativa de calidad de sedimentos acuáticos y organismos marinos de consumo humano, lo que impide una aplicación eficiente de medidas de control de la actividad antrópica desarrollada en los ambientes costeros. Esta situación genera la necesidad de realizar estudios permanentes y sistemáticos del medio marino con el propósito de asegurar un crecimiento de la actividad productiva de la región, dentro de un marco de responsabilidad ambiental.

Estos estudios sugieren que existe una clara señal de contribución de metales en la zona costera asociada a los diversos tipos de actividades humanas desarrolladas en estas costas. Sin embargo, gran parte de esta información está parcelada espacial y temporalmente, lo que dificulta su integración y la correcta utilización para caracterizar los ambientes costeros de una de las bahías más pobladas del norte de Chile. Adicionalmente, Chile carece de una normativa de calidad de sedimentos acuáticos y organismos marinos de consumo humano, lo que impide una aplicación eficiente de medidas de control de la actividad antrópica desarrollada en los ambientes costeros. Esta situación genera la necesidad de realizar estudios permanentes y sistemáticos del medio marino con el propósito de asegurar un crecimiento de la actividad productiva de la región, dentro de un marco de responsabilidad ambiental, según lo expuesto por Calderón y Col (2012).

Dado que en Chile no existe una normativa respecto de la calidad de los sedimentos acuáticos y que la norma sanitaria no detalla los riesgos para la salud humana, en el caso del contenido de metales en organismos marinos, se hace necesario avanzar en este tipo de

estudios que permitan, al menos, mantener informada a la comunidad respecto del estado de salud ambiental de los sistemas costeros de Chile.

8.1 Sedimentos

Respecto a los sedimentos, un gran referente para analizar esta problemática son las conclusiones de estudios realizadas en la región de Aysén, Chile, por Ahumada y col. (2004), quienes dijeron que los sitios sedimentarios durante su formación se ordenan en estratos superpuestos, dejando un registro de los compuestos químicos que entran a los ambientes acuáticos.

Cualquier entrada adicional de metales a la columna de agua quedará registrada en los sedimentos. A través de la fracción de metales que reacciona con el material particulado y coloidal al sedimentar. Asimismo, los metales traza contenidos en los sedimentos marinos provienen de desechos de mineras, industriales, residuos domiciliarios de la erosión de las fases detríticas del basamento rocoso de la región. A través de los aportes fluviales y atmosféricos. La actividad antropogénica modifica la concentración natural a escala local.

Debido a lo anterior, es consecuente señalar que los estudios de abundancia de metales en sedimentos marinos realizados hasta ahora en la zona costera, estaban referidos al contenido total de algunos metales.

La extracción secuencial es un método que se utiliza para estudiar la especiación de los metales en el sedimento, y permite cuantificar la biodisponibilidad de los contaminantes asociados a sedimentos o suelos, estimar el comportamiento de los elementos trazas involucrados en los procesos autogénicos y establecer las tasas de removilización durante la diagénesis temprana o resuspensión de los elementos depositados en los sedimentos.

Esta técnica se ha usado también para establecer la dinámica de los procesos químicos geoquímicos que ocurren en la interfase agua, sedimento, *neoformación de minerales, removilización de metales traza y/o para modelar el comportamiento de distintas especies químicas. (Ahumada y col., 2004)

8.2 Agua

El rápido desarrollo industrial ha originado una fuerte degradación de los ecosistemas marinos, incluyendo los recursos pesqueros, de los cuales dependen las comunidades humanas ubicadas en las zonas litorales.

Los bioensayos de toxicidad constituyen un mecanismo para evaluar la calidad de las aguas superficiales afectadas por las descargas de agentes contaminantes, principalmente por compuestos metálicos que causan fuertes impactos en los ecosistemas acuáticos.

Estas pruebas se han desarrollado y estandarizados por agencias internacionales de protección ambiental. Los organismos más utilizados en este tipo de estudios, bajo condiciones controladas de laboratorio, son moluscos bivalvos y organismos filtradores, principalmente los choritos, ostras, almejas, ostiones, piures, algas, etc. Los cuales se han descrito como bioindicadores estándares de contaminación. (Acosta y Col, 2004).

Ahora, ¿qué conclusiones pueden establecerse de estas pruebas? Gracias a estas y otras investigaciones y estudios pueden definirse tres estados químicos de un metal pesado en el agua de mar: partículas, estado coloidal y estado disuelto. Las concentraciones de plomo.

A diferencia de las de otros metales pesados, se han alterado en vastas extensiones de las aguas costeras, como resultado del consumo de derivados del plomo utilizados como aditivos antidetonantes en los motores de combustión interna. El plomo es introducido por el hombre en el ciclo sedimentario en cantidades comparables a las de los procesos naturales. Todo lo anteriormente señalado fue expuesto por Vásquez y Col. (2004) y reafirmado en el año 2012 por Calderón y Valdés.

De acuerdo a los estudios anteriormente descritos, en consecuencia, ¿qué zonas de nuestro país son afectadas por contaminantes? Fariña y Col. (2000) explicaron que las zonas intermareales de localidades de la costa norte de Chile son las afectadas principalmente por contaminantes derivados de la minería del cobre, ya que el cobre (Cu) es

un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de los organismos; sin embargo las concentraciones de este metal se han incrementado en el ambiente marino, debido a fuentes antropogénicas, efectos deletéreos en la biota. Estos efectos se han evaluado mediante el empleo de bioensayos de laboratorio.

Chile se caracteriza por ser un país esencialmente de actividad minera, especialmente de la primera a la tercera región, sin embargo en ésta última especialmente faltan estudios relacionados específicamente con el impacto ambiental de los relaves de la actividad minera.

9.- ORGANISMOS BIOINDICADORES.

Un organismo bioindicador es un organismo vivo que presenta una respuesta ante la presencia de un contaminante; las características de estos organismos vivos son muy diferentes puesto que su origen también es muy diverso. Entre otras características debe poseer:

1. El organismo debe ser sensible a los factores ambientales o materiales en cuestión.
2. Su distribución debe ser amplia y su disponibilidad en cantidades suficiente para los fines de investigación y debe mantenerse presente todo el año.
3. Debe ser importante desde el punto de vista económico, recreativo o ecológico tanto a nivel local como nacional.
4. Se debe poder cultivar fácilmente en los laboratorios.
5. Debe encontrarse en buenas condiciones, libre de parásitos o enfermedades.
6. Deben ser compatibles con las técnicas de bioensayo. (Capó, 2007)

9.1 Características de los organismos filtradores

Estudios regionales a lo largo de la zona costera en Chile han demostrado que existe una clara señal de contribución de metales en concentraciones traza a la zona costera, indicando alteración de los aportes naturales de éstos.

Para evaluar el impacto de éstos aportes, se ha estudiado también otro organismo que comparte nicho con *Pyura praeputialis* y *Perumitylus purpuratus* que han sido señalados como organismos bioindicadores de áreas costeras perturbadas por actividades antropológicas, y es por esta razón que la investigación en este campo la realizamos apoyándonos en lo anteriormente dicho por Salamanca y Col. (2004).

No obstante, para tener otras perspectivas, es que se recurrió a estudios acerca de la resistencia a metales pesados en bacterias en la bahía de Iquique, las cuales constituyen grandes actividades industriales en su borde costero, ya que la mayor parte de estas industrias descargan sus RILES en ella.

Estos efluentes, junto a los residuos municipales, llevan gran cantidad y variedades de contaminantes, desconociéndose el real impacto que éstos pudiesen tener sobre las comunidades microbianas presente en las aguas colindantes a la actividad portuaria (Moraga y Col, 2003).

Estudios como estos demuestran que efectos de la contaminación por metales pesados no sólo afecta organismos como *Pyura praeputialis* y *Perumitylus purpuratus*, sino también a comunidades microbianas marinas.

Bajo esta misma lógica, es que la misma investigación ha señalado que la presencia de metales pesados en el medio ambiente ejerce una fuerte presión de selección natural de los organismos que allí habitan, un incremento en su concentración puede ejercer una presión selectiva capaz de modificar la flora microbiana, los niveles de productividad y con ello, toda la cadena y trama trófica.

Es importante la observación que Muñoz y Col. 2005 hicieron; durante muchos años se tuvo la errónea idea de que se podía arrojar al mar toda clase de desperdicios, incluyendo los radiactivos, sin que provocara ningún daño; el hombre lo consideraba un panteón acuático. Pero en la actualidad se está tomando conciencia de que la utilización de ríos y lagos como vertederos industriales amenaza la potabilidad de las aguas y presagia graves daños para la fauna fluvial, marina.

Existen numerosos trabajos que discuten la posibilidad de conocer la calidad de las aguas costeras a partir del análisis de contaminantes en organismos filtradores tales como los bivalvos, filtradores y las esponjas que son capaces de acumularlos tanto por sus hábitos alimenticios como por su condición sedentaria, observación realizada por Osuna y Col., en 1988. Se ha encontrado concentraciones variables de metales pesados en varias matrices ambientales (aguas, organismos y sedimentos superficiales). (Muñoz, 1989).

Complementario a lo anterior, nos encontramos con el estudio realiza por Jiménez y Col. (2006), quienes sostuvieron que ciertos organismos son especialmente susceptibles a un determinado contaminante. Por ejemplo, los crustáceos reaccionan desfavorablemente a concentraciones de partes por billón de los hidrocarburos halogenados más pesados.

En niveles más elevados de la cadena alimenticia, la reproducción de las aves que se alimentan de peces marinos puede sufrir perturbaciones debidas a la ingestión de residuos de DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano).

Aunque no pueda identificarse la especie más sensible a un contaminante dado, puede encontrarse especies que son afectadas de una manera u otra por concentraciones marinas posibles, mediante programas sistemáticos de ensayo en el laboratorio. La sensibilidad puede adoptar la forma de una modificación del comportamiento, una inhibición del crecimiento, trastornos de la reproducción u otros tipos de difusión.

10.- CARACTERÍSTICAS Y BIOACUMULACIÓN EN LA BAHÍA DE SAN JORGE

Las corrientes marinas son grandes masas de aguas que se desplazan en los océanos. Aunque antiguamente, se creía que estas corrientes sólo eran superficiales (una especie de ríos salados que recorrían la superficie del mar y que permitían navegar a los barcos), desde hace unas décadas se sabe que la estructura de las corrientes marinas es tridimensional, con movimientos horizontales de los que es responsable el viento, y movimientos verticales en los que la densidad del agua es la fuerza impulsora.

Las corrientes superficiales están unidas por *movimientos convectivos del agua, a corrientes profundas con gran importancia oceánica y climática. La anchura y profundidad de las corrientes marinas son, a veces, considerables llegando a alcanzar esta última centenares de metro en algunos casos.

El sentido en el que avanzan es diferente en ambos hemisferios. Algunas corrientes pasan de uno a otro hemisferio, otras se originan, avanzan, se mueven y se diluyen o mueren en el mismo hemisferio en el que nacen. La densidad del agua es la fuerza impulsora de las corrientes la variación de la salinidad depende de manera directa de la temperatura ya que un enfriamiento del agua da lugar a una contracción térmica que hace que el agua aumente de densidad y se hunda dejando espacio en la superficie a la llegada de nuevas masas de agua a mayor temperatura. (Ruiz y Col, 2009).

10.1 Influencia de las corrientes marinas en la Bahía de San Jorge

Dentro de lo que respecta a las influencias de las corrientes marinas en la Bahía de San Jorge, en primera instancia es posible señalar los datos aportados por Valdés y Col. (2001), en donde se señaló que en las costas de Chile y Perú existe el sistema de corriente de Humboldt - que se divide en dos ramas, la corriente costera que se mueve muy cerca de la costa, y la corriente oceánica, más alejada.

Ambas se inician en los 40°-45° S de latitud y transportan hacia el norte agua fría, de baja salinidad y riqueza en nutrientes. Este sistema de Humboldt emergería principalmente en áreas de surgencia, siendo estas áreas de alta productividad primaria.

En esta misma línea investigativa, se debe señalar que un evento anormal, como el fenómeno del Niño, aguas cálidas estarán invadiendo estas zonas, provocando que no exista mezcla entre masa de agua cálida y la masa de agua emergente rica en nutrientes, por lo cual no habría fotosíntesis y la productividad será mucho menor, afectando fuertemente a toda la trama trófica, tal como lo señaló Muñoz y Col. (2005).

En el caso de la zona de Antofagasta, Escribano y Col. En el 2001, dijeron que a través de imágenes satelitales se evidencia la presencia de agua fría de *surgencia muy localizadas frente al borde costero de Antofagasta. Posiblemente fertilizando área expuesta, así como semicerradas; de las cuales la bahía de Antofagasta podría directamente ser influenciada y enriquecida por el desarrollo de una activa mezcla de masa de agua, y cambios en las corrientes como resultados de la interacción de cuatro flujos mayores: la contracorriente superficial Perú – Chile, dirigida al polo, la corriente Chile – Perú hacia el Ecuador, la corriente subsuperficial de Gunther hacia el polo que se aproxima hacia la costa en la zona norte de Chile, y la corriente costera chilena la cual es altamente variable en sentido e intensidad.

Este autor enfatizó que como resultado de lo anterior, la bahía de Antofagasta debería estar sujeta a un flujo variable sur – norte paralelo a la costa, derivado de la corriente costera chilena.

Sin embargo, su orientación hacia el sur y su morfología costera, sumada a una forzante de vientos predominantes del sur y suroeste en la zona, sugieren la existencia de un giro en su interior. En tal condición, se puede generar una zona inercial de baja energía que favorecería enormemente la retención de agua, este punto es de gran importancia para el estudio ya que según la ubicación y la forma de la bahía hacen que las corrientes descritas no influyan en la dilución o más bien provocan un proceso inverso al detener el flujo de las aguas, esto sería otra agravante para tomar en consideración el problema de la contaminación de la bahía.

A pesar de lo anterior, no hay evidencias de bioacumulación en los organismos analizados en este estudio, ya que tan solo *Argopecten purpuratus* encontrado en el sector del Puerto de Antofagasta sobrepasó el límite de contenido de Zn sugerido por la normativa de salud chilena. (Calderon y Col, 2012).

Es imperioso señalar que la bahía San Jorge (23,3°S) constituye uno de los pocos ambientes de Chile que se orienta hacia el sur, y en donde las actividades portuaria y minera son el principal sustento económico-productivo de la región. Desde el punto de vista oceanográfico, su orientación hacia el sur y su morfología costera sumada a un forzante de vientos sur u suroeste sugieren la existencia de un flujo variable sur-norte paralelo a la costa y un giro en el interior de la bahía lo que genera una zona inercial de baja energía que favorece la retención de aguas. (Calderon y Col, 2012).

Desde la década de los 80's en la Bahía San Jorge, los estudios ambientales se han focalizado en la cuantificación y distribución de metales en la columna de agua, sedimentos y algunos organismos del sector de Punta Coloso (Castilla 1983; Ahumada 1995; Lepez y Col, 2001; Salamanca et al. 2004; Valdés y Col, 2010, 2011).

Estos estudios sugieren que existe una clara señal de contribución de metales en la zona costera asociada a los diversos tipos de actividades humanas desarrolladas en esta bahía. Sin embargo, gran parte de esta información está parcelada espacial y temporalmente, lo que dificulta su integración y la correcta utilización para caracterizar los ambientes costeros de una de las bahías más pobladas del norte de Chile.

Los resultados de Calderón y Valdés para el contenido promedio de Cu en organismos mostraron un promedio de $7,2 \pm 4,4$ mg kg⁻¹, con la máxima concentración en el Puerto y la mínima en La Rinconada.

Los resultados del estudio de Calderón y Valdés en el año 2012 permiten concluir que la distribución y concentración de Cu, Zn y Pb dentro de la bahía San Jorge está influenciada por las actividades entrópicas desarrolladas en la zona costera, y que particularmente los sectores en donde se ubican puertos de embarque, revisten un riesgo para las comunidades de organismos bentónicos.

10.2 *Pyura praeputialis* en la Bahía de San Jorge

Estudios realizados en mantos intermareales de *P. praeputialis* de Antofagasta sugieren que ellos cumplen el rol de especie bio-ingeniera ecosistémica, a través de la generación de bio-hábitat, ya que en las superficies de las túnicas de los piures e intersticios del manto se generaría una alta diversidad especies de algas y macro-invertebrados. (Castilla y col, 1998)

Sin embargo, en Chile no existen antecedentes sobre la riqueza de las especies de macro-vertebrados que se encuentran en este hábitat. Por otra parte, en Sudáfrica, se ha descrito la presencia de varias decenas de especies de macro-invertebrados en los mantos de *P. stolonifera*. (Cerdeña y col, 2001).

En el caso del intermareal rocoso de Antofagasta (Norte de Chile) se caracteriza por la presencia de abundantes mantos monoespecíficos del tunicado *Pyura praeputialis* (Tunicata, Pyuridae), expresado por Herrera (2002).

La especie es conocida localmente como "piure de Antofagasta", estos tunicados forman mantos tridimensionales en el intermareal medio-bajo y en el submareal somero hasta 5-10 m. En Chile la distribución geográfica de *P. praeputialis* está restringida casi exclusivamente al interior de la Bahía de Antofagasta, a lo largo de aproximadamente 70 km. de costa.

Castilla y col. (2000) dan algunas razones por las que existen morfotipos contrastantes de piures (“achataados” y “alargados”) que inicialmente fueron considerados como formas ambientalmente modulada, los cuales no son influyentes en el estudio.

Los piures achatados son de coloración amarilla y están restringidos a zonas estuarinas protegidas del oleaje, mientras que los piures alargados son de color café y de más amplia distribución geográfica, siendo frecuentes en roqueros expuestos al oleaje.

A lo antepuesto, Astorga y col. (2002) notaron que en el área de la Bahía de Antofagasta se ha observado morfotipos alargados como achatados de color café rojizo en *P. praeputialis* (Fig. 1) con una mayor proporción de los últimos en sitios de mayor exposición al oleaje.

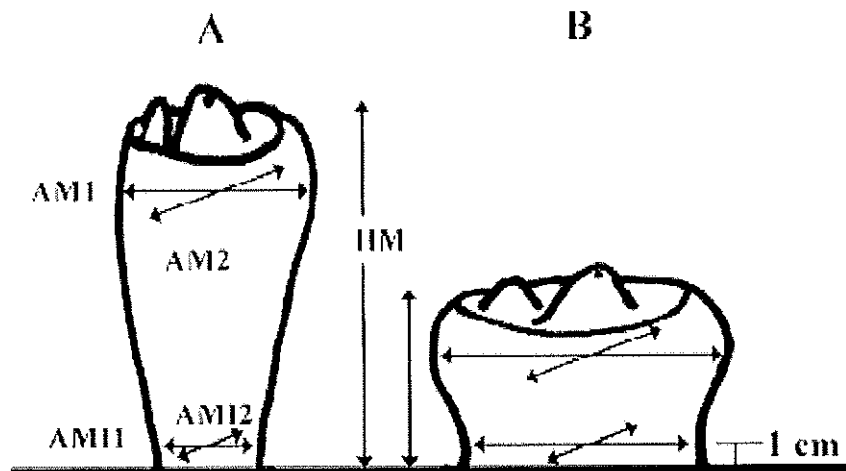


Figura 1: Representación de los morfotipos (A) alargados y (B) achatados. (Astorga y col., 2002).

El cobre es un tóxico común en los ambientes marinos a pesar de que en concentraciones trazas es un metal esencial presente en los organismos vivos e involucrados en sus procesos metabólicos claves, tales como el transporte de electrones en la fotosíntesis y en la operación de varios sistemas enzimáticos. (Acosta y Col, 2004).

Respecto a lo anterior, en la zona norte de Chile, con un gran desarrollo de la minería del cobre, se ha sugerido e identificado la existencia de ecosistemas costeros impactados negativamente por la presencia de altas concentraciones de este metal producto de los relaves mineros, como por ejemplo los casos de Puerto de Chañaral y Taltal o en puertos de carga y descarga del mineral, como es el caso del Puerto de Antofagasta (Bahía San Jorge). (Salamanca et al. 2004).

Adicionalmente, la contaminación por metales puede también ocurrir en la forma de pinturas 'antifouling', residuos y descargas domésticas, industriales y mineras, corrosión de cañerías y basuras metabólicas. (Acevedo y col, 2010)

10.3. Bioacumulación en *Perumytilus purpuratus*

Es un hecho reconocido que la contaminación por metales traza representa uno de los mayores factores de riesgo para los organismos marinos costeros, los que se encuentran expuestos a ellos por efecto de las descargas de efluentes industriales y urbanos en bahías y estuarios, además muchos de estos metales participan en ciclos biológicos de diferentes organismos lo que afecta su distribución y abundancia.

Paralelamente, se han realizado varios estudios para evaluar el efecto de los compuestos eliminados por actividades antropogénicas midiendo su concentración en agua, sedimentos y organismos. En este contexto, los bivalvos han sido ampliamente utilizados como indicadores de contaminación de sistemas costeros, ya que por su carácter de organismos sésiles están permanentemente expuestos a los efectos de estas sustancias, por lo que han sido utilizados como biomonitores.

Considerando que *Perumytilus purpuratus* se encuentra distribuido ampliamente a lo largo de la zona intermareal de Bahía San Jorge, (II Región) y la existencia de varias descargas industriales y municipales provenientes de la ciudad de Antofagasta, en este trabajo se ha utilizado este mitilido como organismo monitor para evaluar los cambios en las concentraciones de metales en la columna de agua de la bahía, lo que se puede reflejar en el contenido de metales en él, en relación a la cercanía de las potenciales fuentes de metales.(Salamanca,2004).

Acevedo y col. (2010) señaló, ahondando en lo expuesto con anterioridad, que la contaminación por cobre sobre la macrofauna asociada a las matrices de *P. purpuratus* sobre la base es parte de un experimento piloto in situ (norte de Chile), de pequeña escala aplicando una técnica modificada de administración de cobre.

El experimento se implementó usando un diseño experimental bifactorial de bloques aleatorios, con tres tratamientos de suministro de cobre, (Control, Continuo (PRESS) y por Pulsos (PULSE).

Los resultados mostraron la presencia de una fauna de 46 taxa asociados a la matrices de *P. purpuratus* no se detectó efectos significativos de los tratamientos de cobre sobre la densidad, longitud máxima y número de estratos de los mitilidos, ni de la riqueza de especies (S) y la uniformidad (J). Sin embargo, se observó efectos marginalmente significativos de los tratamientos de cobre sobre el índice de diversidad.

El análisis de la composición faunística mediante escalamiento multidimensional métrico mostró diferencias significativas entre los tratamientos PRESS y PULSE, con un comportamiento divergente con respecto al control. Esto permite demostrar que el cobre y su modo de administración puede producir cambios observables en la macrofauna asociada a *P. purpuratus*, lo que permite proponer la utilización de la fauna asociada a este ingeniero ecosistémico, como un centinela o un bioindicador comunitario para el seguimiento de los efectos del cobre y de otros metales pesados.

A esto, Salamanca (2004) agregó nuevamente que la distribución espacial de la concentración promedio de Cu, Pb y Zn en agua, de los cuatro meses muestreados, a lo largo de la zona intermareal de Bahía San Jorge varía de acuerdo al metal considerado.

De los tres metales estudiados, el Cu muestra una clara distribución espacial de la concentración, con un gradiente positivo de sur a norte, presentando altas concentraciones entre los límites de la ciudad de Antofagasta y el sector norte de la bahía. Por otra parte, las concentraciones de Pb y Zn, en esta agua, no muestran la misma distribución que el Cu, dado que no existe un gradiente espacial al considerar las desviaciones estándar de las concentraciones promedio.

Prosiguió señalando que el contenido promedio de Cu, Pb y Zn en *P. purpuratus*, en los cuatro períodos estudiados, no muestra diferencias significativas entre machos y hembras (Test-t, $p < 0.05$). Por esta razón, los análisis posteriores utilizan la muestra total de organismo.

En ésta se aprecia claramente el aumento de Cu en *P. purpuratus* en la Estación N° 5, que corresponde a la descarga Puerto de Antofagasta Industrial (P.A.I). En el resto de las localidades no se observa diferencias significativas, considerando las desviaciones estándar de los promedios de las concentraciones.

En el caso del Zn, tampoco se distinguen diferencias entre las concentraciones promedio en las localidades estudiadas. Finalmente, para Pb en general no hay grandes diferencias entre las concentraciones de este metal en *P. purpuratus*, a pesar de que en las estaciones 4 y 5 (Puerto de Antofagasta y Descarga P.A.I., respectivamente) se observan las mayores concentraciones promedio.

Calderón (2012) agregó más datos a esta investigación y señaló que las concentraciones en organismos mostraron un promedio de $7,2 \pm 4,4$ mg kg⁻¹, con la máxima concentración en el Puerto y la mínima en La Rinconada.

En Coloso y el Puerto, las especies que presentaron las mayores concentraciones de Cu fueron *Crassilabrum crassilabrum* y *Priene* sp. con un promedio de $14,84 \pm 2,16$ y $15,40 \pm 1,63$ mg kg⁻¹, respectivamente. Por otra parte, *Oliva peruviana* tuvo la menor concentración de Cu, $0,72 \pm 0,41$ mg kg⁻¹.

A lo anterior agregó que las mayores concentraciones de Zn en los sedimentos se registraron en el Puerto, con un promedio de $361,03 \pm 38,19$ mg kg⁻¹. En los organismos, la concentración de Zn fluctuó entre 0 y 398,01 mg kg⁻¹. La especie *Priene* sp. presentó la mayor concentración de Zn en el Puerto, con un promedio de $173,97 \pm 194,78$ mg kg⁻¹, y *Thais chocolata* tuvo la menor concentración en La Chimba.

A su vez notó que la distribución de Pb a lo largo de la línea de costa de la bahía San Jorge muestra que la mayor concentración se encontró en el Puerto con $16,57 \pm 1,87$ mg kg⁻¹, mientras que el valor mínimo se observó en La Rinconada con $8,63 \pm 0,62$ mg kg⁻¹.

Y en una última instancia detectó que las diferencias significativas en las concentraciones de Cu, Zn y Pb en los sedimentos entre los 7 sectores analizados, mientras que el Cu y Zn en organismos carnívoros también presentó diferencias demostrativas entre los sectores; las mayores concentraciones de ambos metales fueron encontradas en Priene sp. en el Puerto de Antofagasta.

En general, los ciclo reproductivos de los invertebrados marinos son afectados por factores ambientales tales como la latitud, temperatura del agua, salinidad, fotoperíodo y la disponibilidad de alimento. (Oyarzun, 2010)

Como resultado de la variación de algunos de los factores antes mencionados se pueden producir ciclos gametogénicos anuales, semianuales, o continuos (Sastry 1979); aunque no está completamente clara la forma en que dichos factores regulan la sincronización del desarrollo gametogénico de las especies. (Oyarzun, 2010)

Evidencias aportadas por Giese (1959) indican que las especies que habitan en latitudes altas presentan ciclos reproductivos anuales con desoves principalmente durante primavera-verano, mientras que en latitudes bajas los periodos de desove son largos y pueden ocurrir de forma semianual o continua.

De acuerdo a estas evidencias, las especies cuyas poblaciones habitan en la zona norte de Chile, debieran exhibir un ciclo reproductivo semianual o continuo mientras que aquellas ubicadas en la zona sur-austral debieran reproducirse de manera estacional y solo una vez en el año. Esta idea desarrollada por Giese (1959) puede ser puesta a prueba mediante el estudio del ciclo reproductivo de una especie en localidades diferentes ubicadas a cierta distancia una de otra. (Oyarzun, 2010).

11. CONCLUSIÓN

Los estudios científicos han determinado que la actividad minera produce alteraciones de diversos tipos en sectores costeros, lo que se traduce en un impacto importante para los ecosistemas. La región de Antofagasta es un caso importante al ser una zona de gran actividad minera y poseer clima templado que favorece el desarrollo de la bioacumulación.

La distribución de Cu, Pb y Zn dentro de la bahía San Jorge – en Antofagasta – sugiere que las actividades antrópicas desarrolladas en la zona costera tienen claramente un impacto sobre el contenido de metales en los sedimentos marinos. Así mismo se concluye que los puertos de embarque de mineral revisten un riesgo para las comunidades de organismos bentónicos.

Sin embargo, es importante señalar que bajo un punto de vista ecotoxicológico, hasta ahora se desconoce realmente si la bioacumulación de estos metales en las comunidades de *Pyura preaputialis* (Piure) y *Perumitylus purpuratus* (Chorito maico) han tenido efectos cuantificables en la población, como por ejemplo, en la abundancia y distribución.

Comprender lo que sucede con la biodiversidad de nuestro norte grande es necesario para poder establecer parámetros duraderos y efectivos que permitan regulaciones concretas en esta materia.

Es imperativo indicar que los resultados son concluyentes y se deben realizar los esfuerzos para que en un futuro no exista un alto impacto, en lo posible, en los ecosistemas de esta zona del país.

Según lo expuesto por escribano, se puede concluir que debido a la masa de agua retenida, que se le ha nominado como "sombra de surgencia", las corrientes descritas no influyen en la dilución o más bien, que provoque un proceso inverso al detener el flujo de las aguas. Esto sería de gran importancia ya que podría agravar más el problema de contaminación.

Como conclusión, se puede señalar que los bivalvos (mejillones o choritos) se utilizan como organismos centinelas y bioindicadores para evaluar los efectos tóxicos de los contaminantes químicos en los organismos marinos- especialmente metales pesados- lo que representa una herramienta importante para el biomonitoreo de la contaminación ambiental en las zonas costeras.

Las investigaciones son efectivas si otorgan resultados, pues cada evaluación es necesaria para transformar los procesos y, sobre los resultados obtenidos, mejorar aquellas cosas que no se están haciendo bien y lograr en un futuro un equilibrio entre el hombre y su necesidad económica y los organismos que en comunión viven con él.

La necesidad de realizar nuevas investigaciones para actualizar los datos existentes es necesaria y de vital importancia, debido a que la mayoría de los estudios realizados datan de muchos años atrás.

Según los objetivos planteados al inicio de esta investigación, es necesario señalar que tanto investigar sobre la bioacumulación de metales y como estos afectan a una población determinada del borde costero de la región, se llevó a cabo de manera detallada. Se extrae que la investigación sobre este fenómeno no es algo nuevo, y que la industria minera y todas las consecuencias tanto positivas como negativas han sido de interés de muchos autores, y es que su desarrollo en ciertas zonas no ocurre de forma ajena al medio ambiente.

12.- BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, V.; LODEIROS, C. 2004. Efecto del cobre en juveniles de bivalvos (tivelas mactroides) provenientes de ambientes con diferentes niveles de contaminación. Departamento de Biología, escuela de ciencias. Universidad de Oriente. P 61-92
- ACEVEDO, J; ORELLANA, F; GUIÑEZ, R.2010. Evaluación experimental de la toxicidad de cobre in situ sobre la fauna asociada a *Perumitylus purpuratus* (Bivalvia: Mytilidae), un ingeniero ecosistémico. Revista de Biología Marina y Oceanografía. Vol, N°3: 497-505.
- AHUMADA R. 1995. Programa de vigilancia del contenido de metales traza (As, Cd, Hg, Mo, Pb, Se, y Zn) en los sedimentos marinos en Caleta Coloso. Ciencia y Tecnología del Mar, Número Especial: 89-100.
- AHUMADA, R.; GONZALEZ., E.; NEIRA, J. 2004. Zinc speciation in marine sediments of aysen fjord. Investigation Mar. Vol 32 n° 1, p. 03-10
- ASTORGA, M. ; GUIÑEZ, R.; ORTIZ, J.; CASTILLA, J. 2002. Variación fenotípica y genética en el tunicado *Pyura Praeputialis* (Séller 1878) en el área norte de la Bahía de Antofagasta. Chile. Revista Chilena de Historia Natural. Vol 75: p 515-526.
- AVELAR, W.E.P., MANTELATTO, F.L.M., TOMAZELLI, A.C., SILVA, D.M.L., SHUHAMA, T., LOPES, J.L.C.: The marine mussel *Perna perna* (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) as an indicator of contamination by heavy metals in the Ubatuba bay, Sao Paula, Brazil. Water, Air and Soil Poll., 2000; 118: 65-72.
- ÁVILA, J. 1991. Química Bioinorganica de tunicados IV metaloquímica preliminar del plasma sanguíneo de *Pyura Praeputialis* (Heller 1878). Departamento de Química Facultad de Ciencia Biológicas. Universidad de Antofagasta, p 1-44.
- BAIRD, C.2001. Química Ambiental. Introducción a la Química de los polímeros. Ed. Reverté. 2001. Barcelona, España. Pág 394-396.
- BRITO, I.; ESPEJO, C. 1982. Química Bioinorgánica preliminar de tunicados II genero *Pyura*. Departamento Química. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Antofagasta, p 30-34.
- BUSCHMANN, A.; FORTT, A. 2005. Industria y Contaminación Marina. oCEANA. Documento 19 / Diciembre

- CAMUS, P. 2005. Introduction of species in Chilean marine environments. Not only exotic, not always evident. *Revista Chilena de Historia Natural*. Vol 78 n°1, p 155-159.
- CAPÓ, M. 2007. Principios de ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. Ed. Tebar. Pag. 148-152.
- CASTILLA JC. 1983. Environmental impact in sandy beaches of copper minetailings at Chañaral, Chile. *Marine Pollution Bulletin* 14: 459-464.
- CASTILLA, J.; STEIMILLER, D.; PACHECO, C. 1998. Quantifying wave exposure daily and hourly on the intertidal rock shore of central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. Vol 71; p 93-101.
- CASTILLA, J.; GUIÑEZ, R. 2000. Disjoint geographical distribution of intertidal and nearshore benthic invertebrates in the southern hemisphere. *Revista Chilena de Historia Natural*. Vol 73; p 234-256.
- CASTILLA, J.; COLLINS, A.; MEYER, P.; GUIÑEZ, R.; LINDBERG, D. 2002. Recent introduction of the dominant tunicate, *Pyura praeputialis* (Urochordata, Pyuridae) to Antofagasta, Chile. *Molecular ecology*, 11, 1579-1584
- CASTRO G, J VALDÉS. 2012. Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23°S, norte de Chile. *Ambiental de playas artificiales Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(2): 267-281.
- CALDERON, C; VALDÉS, J. 2012. Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. Vol. 47, N°1: 121-133.
- CERDA, J.; CASTILLA, J. 2001. Diversidad y biomasa de macro-invertebrado en matrices intermareales del tunicado *Pyura praeputialis* (Heller 1878) en la Bahía de Antofagasta. Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. Vol. 74; p 841-853.
- EDDING M, F TALA, J VÁSQUEZ. 2006. Fotosíntesis, productividad y algas marinas, fisiología vegetal cap. 11. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile.
- EL NEMR, A.; KHALED, A.; MONEER, A.; EL SIKAILY, A. Risk probability due to heavy metals in bivalve from Egyptian Mediterranean coast. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. National Institute of Oceanography and Fisheries. (2012). Article in Press.
- FARIÑA, J.; ALDONA, M.; OGALDE. 2000. Trophic ecology of *Girella laevis* (pisces: kyphosidae) in rocky intertidal zones of northern Chile affected and non-affected by Koper mine tailings. *Revista Chilena de Historia Natural*. 73 (1). 139-149.

- FUKUNAGA, A.; ANDERSON, M. Bioaccumulation of copper, lead and zinc by the bivalves *Macomona liliana* and *Austrovenus stutchburyi*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 396, Issue 2, 1 January 2011, Pages 244-252.
- GUZMÁN, N.; SAA, S.; ORTRIEB, L. 1998. Catálogo descriptivo de los moluscos litorales (gastropoda y pelecypoda) de la zona de antofagasta, 23°s (Chile). *Estud. Oceanol.* 17: 17-86.
- HERRERA, M. 2002. Dirección General del territorio marítimo y de marina mercante. Directemar. Gestión de las aguas lastres. P 34-52.
- HÉDOUIN, L.; PRINGAULT, O.; BUSTAMANTE, P.; FICHEZ, R.; WARNAU, M. Validation of two tropical marine bivalves as bioindication experiments *Water Research*, Vol 45, Issue 2, January 2011, Pag. 483-496.
- IKUTA, K. Estimates for depuration periods of copper, cadmium and zinc in a pacific oyster under field condition. *Bull. Fac. Agr. Miyazaki Univ.*, 1991; 38:1-12.
- JIMÉNEZ, J.; GELABERT, R.; BRITO, R. 2006. Efecto tóxico de Niquel y el Zinc en *Artemia Franciscana*. *Universidad y Ciencia*, p 63-75.
- JIMÉNEZ, J.; DELIBES, M.; CALLEJO, A. 2006. Método de muestreo y discusión del mismo. Ministerio de Medio Ambiente. P 1-5.
- LENNTech, 2012, EN WEBPAGE. <http://www.lenntech.com/processes/heavy/heavy-metals/heavy-metals.htm>.
- LEPEZ I, L FURET & O ARACENA. 2001. Población de *Emerita analoga* en playas Amarilla y Rinconada, Antofagasta: aspectos abióticos, bióticos y concentración de cobre. *Gayana* 65(1): 58-67.
- MEL, 2008. Informe consolidado de la evaluación de impacto ambiental, cap.8. Plan de seguimiento ambiental. Arcadis Geotermia. Pág. 8-1; 8-11
- MORAGA, R.; MERINO, C.; MONDACA, M. 2003. Resistencia a metales en bacterias aisladas de la Bahía de Iquique. *Investigación del Mar*. Vol. 31; p 91-95.
- MUÑOZ L. 1989. Contaminación por metales pesados en el litoral de la región del Bio-Bio, Concepción, Chile; en el caso del mercurio y del cadmio. *Ambiental y Des.* Vol 5; p 137-145.
- MUÑOZ, M.; PIRAUD, F.; SMIDT, A.; FARIAS, D.; CISTERNA, B.; CHRISTIE, C.; GACIAS, P.; HERMOSILLA, R.; 2005. Explorando los sistemas acuáticos y sus problemáticas medio ambientales. Programa Bicentenario de ciencia y Tecnología. Laboratorio Costero Calfuco. Universidad Austral de Chile P 1-23.

- OSUNA, F; GODOY, R; FIERRO, G. 1988. Metales pesados en organismos filtradores. Laboratorio de Microbiología química. Contaminación Ambiental. Vol 4; p 31 – 41.
- OSORIO, C. 2002. Moluscos marinos en Chile. Especies de importancia económica. Editorial Salesiano, Santiago Chile
- OYARZÚN, P; TORO, J; JARAMILLO, R; GUIÑEZ, R; BRIONES, C; ASTORGA, M. 2010. Análisis comparativo del ciclo gametogénico de *Perumytilus purpuratus* (Bivalvia: Mytilidae), en las localidades de Taltal y Huasco, norte de Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía. Vol. 45 n° 1.
- PACHECO, C; CASTILLA, J. 2000. Ecología trófica de los osteros *Hamastopus palliatus* (Murphy 1925) y *Haematopus ater* (Vieillot et oudart 1825) en mantos tunicado *Pyura Praeputialis* (Heller 1878) en la Bahía de Antofagasta. Chile. Revista Chilena de Historia Natural Vol 73.
- PRADO, L; CASTILLA, J. 2006. The bioengineer *Perumytilus purpuratus* (Mollusca: Bivalvia) in central Chile: biodiversity, structural complexity and heterogeneity. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 86: 417-421.
- ROMÁN, D. A. Y RIVERA, L. 2007. Protocolo de metodologías de química analítica marina a aplicar en los monitoreos del ecosistema de coloso. Minera Escondida Ltda. pp. 40.
- RUIZ, J; RAMOS ; P, RAMOS; SANCHEZ, G; SANZ, C; SANCHEZ, A; LIZANA, M; BRAVO, C; SALAZAR, J; RUEDA, S; MARQUEZ, M; GOMEZ, R; REDONDO, O; FERNANDEZ, J; GALLASTEGUI, C; POZO, A; BALLESTEROS, M. 2009. Cambio Climático, un desafío a nuestro alcance¿?. 1ª ed. Salamanca, España. Pág. 259.
- SALAMANCA, M; JARA, B; RODRIGUEZ, T. 2004. Niveles de Cu, Pb, Zn, en agua y *Perumytilus Purpuratus* en Bahía San Jorge. Norte de Chile. Gayana Concepción. Vol 68; p 53-62.
- TAO, Y; YUAN, Z; XIAONA, H; WEI, M. 2012. Distribution and bioaccumulation of heavy metals in aquatic organisms of different trophic levels and potential health risk assessment from Taihu lake, China. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol 81, 1 July 2012, pag. 55-64.
- VALDÉS, J; ORTILIEB, L. 2001. Paleoxigenación subsuperficial de la columna de agua en la Bahía de Mejillones del sur (23°S); Indicadores geoquímicas en testigos de sedimentos marino. Vol. 29.
- VASQUEZ, J; GUERRA, N. 1996. The use of weeds as bioindicators of natural and anthropogenic contaminants in northern Chile.

VASQUEZ, F; SHARMA. V. 2004. Major and trace elements in sediments of the campeche sound, southeast Gulf of México. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 48 p. 87-90.

VALDÉS J, D ROMÁN, M GUIÑEZ, L RIVERA, T MORALES, J ÁVILA & P CORTÉS. 2010. Distribution and temporal variation of trace metal enrichment in surface sediments of San Jorge Bay, Chile. *Environmental Monitoring and Assessment* 167: 185-197.

VALDÉS J, D ROMÁN, L RIVERA, J ÁVILA & P CORTÉS. 2011. Metal contents in coastal waters of San Jorge Bay, Antofagasta, northern Chile: a base line for establishing seawater quality guidelines. *Environmental Monitoring and Assessment* 183: 231-242.

13.- GLOSARIO

- 1.- **Biota Marina:** Se dice BIOTA, a todos los organismos vivos que ocupen un área determinada, en este caso se dice BIOTA MARINA haciendo referencia a los que se encuentran en mares y océanos.
- 2.- **Bivalvos:** Clase de moluscos cuya concha está formada por dos valvas unidas entre sí por una articulación con dientes, también llamados pelecípodos o lamelibranquios.
- 3.- **Borde Costero:** Franja del territorio de hasta 80 mts. De ancho que comprende los terrenos de playas fiscales situados en el litoral, la playa, las bahías, mar territorial de la república que se encuentra sujeta al control, fiscalización y supervigilancia del ministerio de defensa nacional subsecretaría de marina.
- 4.- **Cinturones Metalogénicos:** Es un área caracterizada por una agrupación de depósitos minerales o por uno o más tipos característicos de depósitos.
- 5.- **Complejo V:** es un proceso metabólico que utiliza energía liberada por la oxidación de nutrientes para producir adenosin trifosfato (ATP). Se le llama así para distinguirla de otras rutas que producen ATP con menor rendimiento, llamadas "a nivel de sustrato". Se calcula que hasta el 90% de la energía celular en forma de ATP es producida de esta forma
- 6.- **Clase:** Conjunto de elementos con características comunes que resulta de una clasificación basada en criterios como la calidad, condición, etc.
- 7.- **Especie:** Cepas de microorganismo que poseen características en común, como por ejemplo las mismas reacciones o pruebas bioquímicas.
- 8.- **Familia:** Se incluyen Géneros estrechamente relacionados o tribus. La familia es la categoría taxonómica más importante luego de las de género y especie
- 9.- **Filogénica:** Estudio de las relaciones evolutivas entre diferentes grupos de organismos, utilizando matrices de información de moléculas de ADN y de morfología.

- 10.- **Filo:** El filo es la subdivisión básica del Reino animal y puede definirse como una agrupación de animales basada en su plan general de organización. Así, animales tan diversos como las almejas, los caracoles o los pulpos pueden agruparse en el filo Mollusca al presentar un plan básico de organización común
- 11.- **Género:** Es un grupo de organismos que a su vez puede dividirse en varias especies (existen algunos géneros que son monoespecíficos, es decir, contienen una sola especie).
- 12.- **Lecitotrofia Larval:** Estrategia de alimentación utilizada por las larvas de muchos organismos en la cual no buscan su alimento en el medio externo sino que utilizan las reservas de vitelo (de su saco vitelino) que llevan consigo desde su nacimiento.
- 13.- **Metalogénesis:** formación de los yacimientos metalíferos
- 14.- **Mitílido:** Se recolecta en su ambiente natural y también se cultiva, para el consumo humano.
- 15.- **Mitiliforme:** Con forma de mitílido, grupo al que pertenecen los choros. Forma de pera, extremo anterior aguzado y posterior ancho. Ej. *Mytilus*.
- 16.- **Movimientos Convectivos:** La convección es la transmisión de calor por movimiento real de las moléculas de una sustancia. Este fenómeno sólo podrá producirse en fluidos en los que por movimiento natural (diferencia de densidades) o circulación forzada (con ayuda de ventiladores, bomba, etc.) puedan las partículas desplazarse transportando el calor sin interrumpir la continuidad física del cuerpo
- 17.- **Neoformación:** Aparición de una nueva estructura orgánica en sustitución de otra anterior
- 18.- **Orden:** Comprende un grupo de Familias emparentadas.
- 19.- **Organismos Centinelas:** Son organismos que muestran efectos de un contaminante antes de que los seres humanos debido a su tamaño, su tasa de reproducción, o su mayor exposición al contaminante. Estos organismos son muy útiles al medio ambiente porque ayudan con la detección de gases tóxicos, contaminación y peligro en general, cabe resaltar que también ayudan al ser humano en la prevención de enfermedades causadas por estos peligros.
- 20.- **Organismos Sésiles:** Organismo acuático que crece adherido, agarrado o arraigado en su sustrato, del que no se separa y sobre el que no se desliza.

21.- **Oligoelementos:** Elemento químico que representa un porcentaje ínfimo en los organismos vivos, pero cuya presencia es indispensable para la vida y el crecimiento de los animales y plantas.

22.- **Periostraco:** Es un fino recubrimiento orgánico que se encuentra en la capa mas externa de la concha de muchos animales.

23.- **Procesos Orogénicos:** Se trata de un movimiento iniciado hace 65 millones de años y que aún persiste; de hecho, la Cordillera continúa ascendiendo, en promedio, un centímetro por año. Este proceso orogénico, además, transformó la mayoría de los relieves preexistentes.

24.- **Sub- filo:** Son los individuos de un filo que se organizan en subfilos.

25.- **Surgencia:** La surgencia, (en inglés, upwelling), es un desplazamiento ascendente de aguas marinas, si bien el fenómeno ocurre también en lagos y embalse de agua dulce. Por el efecto de la *fuerza de Coriolis*, originada en la rotación de la Tierra. De esta manera un viento que sople sobre la costa puede provocar un desplazamiento de aguas superficiales hacia mar adentro, compensado por un lento movimiento ascendente de aguas profundas en dirección a la costa, llamado surgencia o afloramiento de aguas.

26.- **Taxonomía:** Ciencia que estudia la identificación, nomenclatura y clasificación de los seres vivos. La taxonomía clásica agrupa los seres vivos en cinco grandes grupos (taxones) a los que da la categoría de *reino* (mónera, protistas, hongos, plantas o vegetales y animales).

27.- **Tunicado:** Clase de animales procordados con cuerpo blando, de aspectos gelatinosos y rodeados de una membrana o túnica constituida principalmente por una sustancia del tipo de la celulosa.

28.- **Zoobento:** A la comunidad formada por los organismos que habitan el fondo de los ecosistemas acuáticos.