



Artículo original

# Bioacumulación de cobre en *Chondracanthus chamissoi* de la zona intermareal de Salaverry, Trujillo-Perú.

Copper bioaccumulation in *Chondracanthus chamissoi* from Salaverry, Trujillo-Perú intermareal zone.

Marlene René Rodríguez Espejo

Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú.  
malenrre@hotmail.com

## RESUMEN

Se determinó la bioacumulación de Cobre (Cu) en *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta) recolectado del mar de Salaverry (La Libertad, Perú: de 78°59'30" LW, 8°13'42"LS). Las muestras del alga junto con el agua de mar superficial fueron recolectadas aleatoriamente en la zona intermareal en las estaciones de primavera, verano y otoño. Se determinó la salinidad, pH y temperatura. Los niveles de bioacumulación de cobre se realizaron mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica por triplicado. Se encontró que: (i) la bioacumulación promedio de Cu en *Ch. Chamissoi* presentó el más alto valor en el mes de abril (1,913 ug/g) y el más bajo en el mes de mayo (0.520 ug/g), (ii) el promedio a lo largo del periodo muestral (agosto-mayo) fue de 1.067 ug/g, (iii) la salinidad y el pH influyen en forma inversa y la temperatura no influye significativamente en la bioacumulación de Cu y (iv) existe una relación directamente significativa entre la concentración del cobre total en agua de mar y el presente en los tejidos de la macroalga.

**Palabras clave:** Bioacumulación, cobre, *Chondracanthus chamissoi*

## ABSTRACT

Bioaccumulation of Copper (Cu) in *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta) collected from Salaverry Sea (La Libertad, Peru: 78 ° 59'30 " LW, 8, 13 '42"LS) was determined. Samples of the algae with the surface seawater were randomly collected in the intertidal zone in the seasons of spring, summer and fall. Salinity, pH and temperature were determined. The levels of bioaccumulation of copper were performed by the method of atomic absorption spectrophotometry in triplicate. It was found that: (i) the average bioaccumulation of Cu in *Ch. chamissoi* presented the highest value in April (1.913 ug / g) and lowest in May (0.520 ug / g), (ii ) on average over the sample period (August-May) was 1.067 ug / g, (iii) the salinity and pH influence reverse and temperature does not significantly influence the bioaccumulation of Cu and (iv) there is a significant direct relationship between the concentration of total copper in seawater and present in tissues of macroalgae.

**Keywords:** Bioaccumulación, Copper, *Chondracanthus chamissoi*

## INTRODUCCIÓN

El equilibrio del ecosistema marino se ha visto alterado en las últimas décadas por un marcado aumento de la contaminación por fuentes terrestres entre los que se destacan principalmente los metales pesados, la creciente industrialización y demás actividades antropogénicas que producen una gran diversidad y cantidad de residuos líquidos que, sin ningún tratamiento, son vertidos a los ríos; estos residuos dispersan y trasladan elementos particulados, generalmente orgánicos, en los cuales se encuentran adheridos metales pesados<sup>1</sup>.

Los metales pesados, dentro de los contaminantes, han recibido especial atención debido a sus efectos tóxicos duraderos, ya que en su mayoría no son biodegradables y permanecen en el medio por largos periodos<sup>2,3</sup>. Presentan un peso específico superior a 4 g/cm y una densidad superior a 5 g/cm y se encuentran en el agua como coloides particulados, sólidos en suspensión, o fases disueltas como cationes o iones complejos<sup>3,4</sup>.

La mayoría de metales pesados son bioacumulados en los órganos y tejidos blandos comestibles de peces, moluscos, crustáceos, algas y otros organismos marinos y llegan al hombre a través de la cadena alimenticia y le causan efectos negativos acumulativos, la mayoría de veces irreversibles<sup>5</sup>. En las algas la vía de absorción ocurre a través de las paredes celulares y la tendencia de acumularlos está relacionada por la afinidad hacia los polisacáridos cargados negativamente en la pared celular, como un proceso de intercambio iónico principalmente con alginatos y mucopolisacáridos sulfatados reduciendo así la toxicidad de muchos metales<sup>4,5</sup>.

El cobre es un elemento metálico esencial para la vida humana, pero en altas concentraciones puede causar anemia, daño al hígado, irritación del estómago e intestino<sup>6</sup>; asimismo, es tóxico para muchos organismos acuáticos, incluyendo a las macroalgas, animales marinos los cuales si acumulan elevadas concentraciones se tornan de color verde y adoptan un sabor metálico desagradable<sup>7</sup>.

La generación de estrés oxidativa en la célula es el mecanismo de toxicidad del cobre, el cual junto con otros metales se bioacumulan en diferentes especies, dentro de ellas las macroalgas marinas que, por su abundancia, se han convertido en excelentes bioindicadores de contaminación de los ecosistemas marinos<sup>8,9,10,11,12,13</sup>.

Estudios efectuados en *Ulva rigida*, *Gracilaria verrucosa* y *Pavlova viridis* han permitido determinar que la variación en la concentración de metales pesados, entre ellos el cobre, en los talos algales se encuentra relacionada con la dinámica del crecimiento, su concentración en el ambiente y la edad del tejido<sup>14,15</sup>; asimismo, que *E. compressa* acumula pequeñas cantidades de cobre en condiciones fisiológicas, pero en un estado de estrés crónico, el alga acumula una gran cantidad<sup>8</sup>.

En el Perú se han efectuado algunas investigaciones dirigidas a determinar la bioacumulación de metales pesados en sistemas biológicos, por ejemplo de las playas de Salaverry<sup>16</sup>, en *Artemia* sp.<sup>17</sup> y en concha de abanico, *Argopectum purpuratus*<sup>18</sup>; sin embargo, no se ha utilizado especies algales macroscópicas de procedencia marina para realizar dichos estudios.

En el litoral peruano existe diversidad de flora algológica que se caracterizan por tener importancia económica, dentro de las que destaca *Chondracanthus chamissoi*, conocida con el nombre de “mococho” o “cochayuyo” empleada cotidianamente en la alimentación humana y apreciada en la industria por poseer el carragenato que tiene gran demanda en el mercado internacional por sus múltiples aplicaciones<sup>19</sup>. Esta importancia condujo a realizar una investigación encaminada a determinar los niveles de bioacumulación de Cu en *Ch. Chamissoi* de la zona intermareal del Puerto de Salaverry, Trujillo, Perú, así como, la influencia de los factores del ambiente acuático: salinidad, pH y temperatura en la bioacumulación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Recolección de las macroalgas.

Siguiendo la técnica descrita por Alveal et al.<sup>20</sup> se recolectaron muestras cada mes en el periodo de agosto (invierno) a mayo (otoño) en la zona intermareal del Puerto de Salaverry 78° 59' 30'' W y de 8° 13' 42'' S. Utilizando espátulas se extrajo en forma aleatoria 500 g de individuos adultos de *Ch. Chamissoi*. En cada zona de muestreo se midió la temperatura con un termómetro marca MSZ 13950 graduado a escala 0.1 de 0 a 50 °C, el pH se determinó mediante un pH metro digital Checker-Hanna y la salinidad se midió con el Refractómetro RHS - 10 ATC. Al mismo tiempo, se tomaron muestras de agua superficial para medir la presencia de Cu, en frascos estériles de 650 mL de capacidad debidamente rotulados y sellados con cinta adhesiva los cuales fueron trasladados al laboratorio junto con las muestras de algas donde se los refrigeró hasta sus respectivos análisis.

### Determinación de la bioacumulación de Cu.

Las muestras colectadas fueron lavadas con agua destilada para retirar organismos epifitos y otros elementos asociados como sedimentos depositados en la superficie. Del material algal colectado de cada muestreo se sacaron tres submuestras de 10 g el material se secó en una estufa a 80°C, por 48 horas. Después de pulverizar en un mortero cada muestra, se pesa 2.0 g. y se coloca en tubos de ensayo a los cuales se les agrega 10 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado hasta su digestión total a 110 °C. Luego las muestras fueron filtradas y se aforaron a un volumen final de 20 ml. con HNO<sub>3</sub> al 0.1 N. Los análisis fueron realizados por triplicado<sup>20,21</sup>.

Las concentraciones traza de Cu, tanto en el alga como en el agua de mar, fueron medidas mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica usando el equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica por horno de grafito modelo HGA-800 Perkin Elmer<sup>22</sup>. Los resultados fueron analizados tomando en cuenta los límites máximos permisibles propuestos por la FAO<sup>23</sup>.

### Análisis estadístico.

Los resultados se trataron estadísticamente mediante el programa informático SPSS-15.0 para Windows determinándose el promedio del nivel de bioacumulación de cobre. Asimismo, se realizó un análisis de varianza (ANAVA) y la prueba de Duncan con el fin de determinar diferencias significativas entre los niveles promedios de bioacumulación y un análisis de correlación para determinar la influencia de los parámetros ambientales (temperatura, salinidad y pH) en la bioacumulación de cobre en el alga y su relación con los mismos metales encontrados en agua de mar<sup>24</sup>.

## RESULTADOS

Los niveles promedios mensuales de bioacumulación de Cu a lo largo del periodo muestral mostraron una variación significativa, con una disminución en el mes de octubre a noviembre y posteriormente alcanza el valor más alto de bioacumulación en el mes de abril (1.913 ug/g) y el mínimo seguidamente en el mes de mayo, con 0.520 ug/g (Fig. 2, Tabla 1). En la misma Tabla 1 se aprecia que el promedio de bioacumulación de cobre en los talos del alga *Ch. Chamissoi* a lo largo del periodo muestral fue de 1.067 ug/g. y los promedios alcanzados por los diferentes parámetros fueron de 34.73 ups para la salinidad, 7.89 de pH y 20.19 °C para la temperatura.

Según el análisis de varianza, existe diferencia altamente significativa en el promedio de bioacumulación de Cu en por lo menos un nivel tanto en la salinidad, pH y temperatura ( $p < 0.01$ ). De tal manera, que el nivel promedio de bioacumulación, según la prueba Duncan ( $p < 0.05$ ), aun nivel de salinidad de 35.2 ups

(0.618 ug/g) difiere significativamente del nivel promedio a un nivel de salinidad de 34.9 ups (1.575 ug/g). A pH 7.7 el nivel promedio de bioacumulación es alto (1.597 ug/g) valor que difiere significativamente a pH 8.2 (0.583 ug/g) el cual es bajo, por lo tanto al aumentar el pH a partir de 7.7 el nivel de bioacumulación de dicho elemento disminuye. En cambio, no hubo diferencias significativas en el nivel promedio de bioacumulación de cobre en los rangos de pH de 8.0 (0.700ug/g) a 8.2 (0.583ug/g).

**Tabla 1.** Niveles promedios de bioacumulación de cobre en *Chondracanthus Chamissoi*, y de los factores ambientales (salinidad, pH y temperatura) de la zona intermareal de Salaverry. Trujillo. La Libertad. Perú, durante 10 meses consecutivos.

MESES	Cu (ug/g)	FACTORES AMBIENTALES		
		SALINIDAD (UPS)	pH	TEMPERATURA (°C)
Agosto	1.196	34.13	7.83	19.03
Setiembre	1.303	34.22	7.73	19.30
Octubre	0.646	35.00	8.20	19.33
Noviembre	0.716	35.13	8.00	20.30
Diciembre	1.08	34.30	7.80	21.06
Enero	0.946	35.40	8.10	21.33
Febrero	1.116	34.08	7.90	21.10
Marzo	1.236	34.90	7.80	21.30
Abril	1.913	34.91	7.73	20.10
Mayo	0.520	35.20	7.90	19.00
Promedio	1.067	34.73	7.89	20.19

El nivel promedio de bioacumulación de cobre en *Ch. Chamissoi* a una temperatura de 20.1 °C (1.913 ug/g) difiere significativamente del nivel de bioacumulación de cobre en la macroalga a 20.0 °C (0.5200ug/g), por debajo de 20.1°C los niveles de bioacumulación de cobre disminuyen, así como por encima de dicho nivel de temperatura. El análisis de correlación reportó que existe una relación inversa estadísticamente significativa entre los niveles de salinidad ( $r = -0.371$ ) y pH ( $r = -0.834$ ) con la bioacumulación de cobre en *Ch. Chamissoi*, es decir a mayor nivel de salinidad y pH menor bioacumulación de cobre en *Ch. chamissoi* ( $p < 0.05$ ) y ( $p < 0.01$ ) respectivamente, por otra parte el nivel de salinidad no influye significativamente ( $p > 0.05$ ), en el incremento de cobre a nivel del agua ( $r = -0.179$ ); así mismo el pH tiene una relación moderadamente significativa e inversa ( $p < 0.05$ ) sobre el agua de mar ( $r = -0.429$ ) y no existe una relación significativa entre la temperatura y la concentración de cobre tanto en el alga y agua de mar ( $p > 0.05$ ); la concentración de cobre en *Ch. Chamissoi* y agua de mar mantiene una relación directa estadísticamente significativa.

La concentración de cobre a nivel del agua de mar a lo largo del periodo muestral presento variaciones significativas alcanzando un valor mínimo de 0.01mg/L en el mes de octubre y un valor máximo de (0.061mg/L) en los meses de agosto y febrero (Fig. 3)



Fig. 2. Niveles promedios de bioacumulación de cobre (ug/g) en *Chondracanthus chamissoi* de la zona intermareal de Salaverry. Trujillo. Perú durante 10 meses.

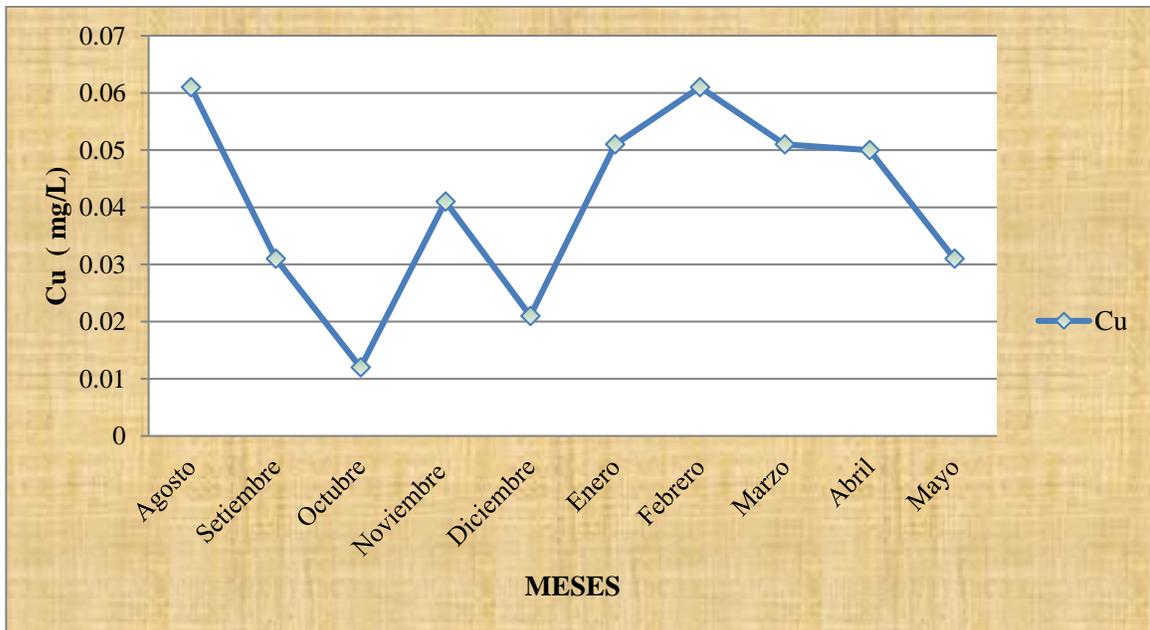


Fig. 3. Niveles promedios de cobre (mg/L) en agua de mar de la zona intermareal de Salaverry. Trujillo. La Libertad. Perú, durante 10 meses.

## DISCUSIÓN

El promedio de bioacumulación de cobre de 1.067 ug/g, a lo largo del periodo muestral, alcanzando el más alto nivel en el mes de abril del 2007 (1.913ug/g), debe considerarse baja si se compara con los resultados obtenidos en investigaciones anteriores en *Gymnogongrus* sp (5.4 ug/g), *Myriogramme mangini* (10.0 ug/g) y *Gracilaria lemaneiformis* (5.93ug/g)<sup>21,25</sup>, lo cual se debería a que las rodofitas, grupo al cual perteneces estas algas, se caracterizan por presentar concentraciones superiores de metales pesados en sus tejidos por presentar grupos polisacáridos, como los carragenanos que se encuentran ligados a la pared celular, los cuales presentan elevada afinidad por elementos metálicos en función de sus cargas y por la estabilidad de sus uniones con los metales pesados<sup>26</sup>.

Los menores valores bioacumulados de cobre por *Ch. chamissoi* en los meses de octubre (0.646 ug/g) y mayo (0.520ug/g), se debería a la reducción en la biodisponibilidad de este metal en la fracción disuelta lo cual indica que la fase disuelta representa la fuente biodisponible principal de metales para los organismos y se encuentra favorecida por un pH bajo, concentración baja de materia orgánica particulada y altas concentraciones de materia orgánica disuelta<sup>27</sup>. Se debería, asimismo, a la poca actividad de trabajo portuario y de desembarque evita la contaminación del Puerto o a que un aumento del caudal de los ríos provocado por las lluvias, ocasiona una dilución de la concentración de los metales y consecuentemente una disminución en la biodisponibilidad de los mismos en el medio acuático<sup>28</sup>.

Los niveles de bioacumulación de cobre encontrados en *Ch. chamissoi* están por debajo del límite máximo permisible reportado por la FAO<sup>23</sup> para productos marinos, valores establecidos por algunos países en el rango de (10 ug/g a 70 ug/g). Asimismo, se puede observar que la variación temporal a lo largo del periodo muestral fue significativa, alcanzando el más alto valor en el mes de abril, lo cual podría estar asociado a problemas sanitarios como evacuación de desperdicios domésticos, residuos industriales, materiales de dragado, descarga de embarcaciones petroleras nacionales e internacionales; estos contaminantes se esparcen en el agua por medio de corrientes y procesos turbulentos de mezcla que afectan según su estado físico<sup>25,28</sup>.

Dentro de los parámetros ambientales la salinidad alcanzo un promedio de 34.73 ups encontrándose entre los valores normales, reportados para los mares (33 ups a 37 ups). Las variaciones de salinidad se deben a factores climáticos, aportes fluviales, a los desechos y cambios estacionales en la temperatura y los iones sodio disminuyen la bioacumulación de cationes metálicos<sup>21,25,28</sup>. El pH del medio oscilo entre los rangos de 7.7 a 8.2, siendo un pH que tiende a la alcalinidad, límites que se encuentran dentro de los establecidos, (6.0 – 8.5) por la Ley General de Aguas D.S. N° 261- 69-AP. Se acelera la biodisponibilidad de un metal cuando el pH es ácido y en pH moderadamente altos se produce su precipitación o permanecen como material particulado en suspensión; dichos resultados fueron casi similares a los encontrados por Marcovecchio<sup>10</sup>. Con respecto a la temperatura (20.2°C), presentó una tendencia poco variable en el tiempo y se encuentra dentro de la clasificación de aguas marinas cálidas que a su vez influye en la disociación de las sales disueltas y en el pH del agua<sup>29</sup>.

En base a las condiciones hidrográficas, el año en el cual se hizo la investigación puede ser considerado como un año cálido aunque con predominancia de aguas costeras frías (ACF) y de mezcla, con presencia de frecuentes afloramientos costeros y esporádicamente influenciada por las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS ) y la presencia de la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC)<sup>30</sup>. La presencia de cobre en el agua de mar tuvo una variación significativa encontrándose en los rangos de 0.012 mg/l - 0.061 mg/L en la etapa muestral, alcanzando un promedio de (0.041 mg/L) valores que se encuentran por debajo de los límites permisibles establecidos por la Ley General de Aguas para la zona de pesca de mariscos y bivalvos (Clase VI). La variación en la concentración de dicho elemento se

debería a fuentes de contaminación antrópicas y también a la suspensión de sólidos transportados por el efluente más cercano como es el río Moche hacia esta zona costera.

La relación de los factores ambientales, salinidad y pH en la bioacumulación de cobre en *Ch. Chamissoi* tuvo una influencia inversamente significativa, pues al aumentar disminuye la bioacumulación, mientras que la temperatura no presentó una relación tan significativa con el contenido de cobre en la macroalga; esto se debería a que la solubilidad de los metales pesados en el agua de mar están controlados por tales parámetros ambientales<sup>27</sup>. La bioacumulación de cobre en *Ch. chamissoi* tiene correlación con la presencia de dicho metal en el agua de mar, a medida que se incrementa el contenido de este elemento en el medio aumenta en el alga. Pues se ha podido establecer que la tasa de absorción de un metal varía con cambios en factores externos medioambientales, sean químicos o físicos como se ha mencionado, o por cambios en las condiciones fisiológicas<sup>31</sup>. Asimismo, las fluctuaciones en la bioacumulación de cobre en los talos algales estaría condicionada con la dinámica del crecimiento, su concentración en el medio, la edad del tejido y la variabilidad estacional<sup>32</sup>.

Por lo tanto, *Ch. chamissoi* puede constituir un recurso bioindicador de encontrarse en un ambiente más contaminado. Alveal et al.<sup>20</sup> consideran que las macroalgas bioacumulan elevadas concentraciones de metales; en consecuencia, son ampliamente utilizadas en diferentes lugares como organismos de vigilancia de contaminación por tolerar altos niveles de metales en sus tejidos.

## CONCLUSIONES

- Los niveles de bioacumulación de cobre en *Ch. chamissoi* procedente del Puerto de Salaverry presentó el valor más alto en el mes de abril equivalente a 1.913 ug/g y el valor más bajo en el mes de mayo (0.520ug/g) del 2007.
- El promedio de bioacumulación de cobre en *Ch. chamissoi* a lo largo del periodo muestral fue de (1.067 ug/g)
- Los factores salinidad y pH tienen una influencia significativamente inversa en la bioacumulación de cobre en *Ch. chamissoi* mientras que la temperatura no influye significativamente
- Existe una relación directamente significativa entre la concentración del cobre total en agua de mar y la presente en los tejidos de la macroalga.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Prokop Z, Vangheleiw M, Sprang P, Janssen C, Holoubek I. Mobility and Toxicity of metals in sandy sediments deposited on land. J Ecotoxicol Environ Safety 2003; 54 (1): 65-73.
2. Carranza R. Medio Ambiente Problemas y Soluciones. Callao, Perú: Edit. Vicerrectorado de Investigación. Universidad Nacional del Callao. 2001.
3. Capo M. Principios de Ecotoxicología. Madrid, España: Mac Graw-Hill-Interamericana. 2002.
4. César C. Uso das macroalgas vermelhas como espécies bioindicadoras da poluição por metais pesados. Mestre en Bioquímica. Universidade Federal de Pernambuco. Brasil. 2006.
5. Nebel B, Wrigth R. Ciencias Ambientales. Ecología y Desarrollo Sustentable. 6ta. Ed. México, DF: Edit. Prentice Hall Hispanoamericana S. A. 1999.
6. Rand C, Petrocelli R. Fundamentals of aquatic Toxicology Hemispher. Washington, DC: Publishing Co. 1995.
7. Rodríguez L, Rivera D. Efecto del cobre y del cadmio en el crecimiento de *Tetraselmis suecica* (kylin) Butcher y *Dunaliella salina* Teodoresco. Estudios Oceanol 1995; 14: 61-74.
8. Alvez J, Cambraia J, Oliva M, Pereira C. Absorción e acumulo de cadmio e sus efeitos sobre o crecimiento relativo de plantas de “aguape” e de “salvinia”. Rev Brasil Fisiol Veg 2000; 12: 3-7
9. Campos N. La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa María. Caribe. Colombiano. Caldasia 1990; 16: 231-244
10. Marcovecchio J. Metal accumulation in tissues of sharks from the Bahía Blanca Estuary, Argentina. Marine Environm Res 1991; 31: 263-274.

11. Nahle C, Ibañez M. Contenido en metales pesados de las especie marinas bentónicas de la Costa de Vasca. Lurr@lde Investigaciones especiales 2001; 4: 53-62
12. Correa J, Castilla J, Ramírez M, Varas M, et al. Copper, copper mine tailings and their effect on marina algae in Northern Chile. J App Phycol 1999; 11(1): 57-67.
13. Robledo D. Cultivo, adaptación morfológica y fisiopatológica de macroalgas marinas de interés industrial. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 1993.
14. Malea P, Haritonides S. Season accumulation of metals by red algae *Gracilaria verrucosa* (Huds) Papens from hermamaidokos, Gulf, Greece. J Tof App Phycol 1999; 11(6): 503-509.
15. Haritonides S, Malea P. Bioaccumulation of metals by green algae, *Ulva rigida*, from Thermaikos Gulf, Greece. J Environm Pollut 1999; 104 (3): 365-372.
16. Correa J, González P, Sánchez P, Muñoz P, Orellana J. Copper-algae Interactions: Inheritance or adaptation. Environm Monitoring & Assesment 1996; 40: 41-54.
17. Vásquez D. Toxicidad de los efluentes de Industrias pesqueras de Salaverry y Puerto Malabrigo sobre *Artemia* sp. durante los meses de Enero a Julio de 1999. Tesis de Biólogo Pesquero. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo Perú. 1999.
18. Maceda S, Sakaguchi T. Accumulation and detoxification of toxic metal elements by algae. In: Introduction to Applied Phycology. Netherlands: Atkatsuka, SpB: Academic Publish. 1990; pp.107-135
19. Acleto C, Zuñiga R. Introducción a las Algas. México, DF: Edit. Escuela Nueva S.A. 1998.
20. Alveal K, Ferrario M, Oliveira E. Manual de Métodos Ficológicos. Universidad de Concepción. Chile. 1995.
21. Karez C, Filho S, Pfeiffer G. Concentración de metales en algas marinas bentónicas de tres regiones del Estado de Río de Janeiro. An Acad brasilera da Ciencias 1994; 66: 205-221.
22. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Metodologías para la Caracterización del Agua. Santiago de Chile: Edit. Partners. Comunicaciones Corporativas. 1996.
23. Nauen C. Compilation of legal limits for hazardous substances in shellfish, fish and fishery products. FAO Fish Circ. 1983; 764:102
24. Steel R, Torrie J. Bioestadística. 2da ed. Colombia: Edit. Macgraw-Hill. 1985.
25. Vodopivec C, Farias S, Smichowski P. Niveles de metales pesados en seis especies de algas marinas de la Península Antártica. Instituto Antártico. Argentino, Buenos Aires. Argentina. 2002.
26. Cástañe P, Topalian M, Cordero R, Salibián A. Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de la toxicidad. Rev Toxicol 2003; 20: 13-18
27. Ansari T, Marr L, Tariq N. Heavy metals in marine pollution perspective - a mini Review. J App Sciences 2004; 4(1): 1-20.
28. Carvalho C, Lacerda V, Gomes D. Metales pesados en la biota de la Bahia de Sepetiba y Angra de Reis. Acta Limnol Brasil 1993; 6: 222-229.
29. Gastañadui H. Evaluación de la Contaminación Ambiental por metales pesados y sustancias orgánicas en playas del Distrito de Salaverry. Tesis de Maestría. Escuela de Postgrado Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú. 2003.
30. Carbajal W, Castañeda J, Castro J, Galán J, et al. Informe Anual 2006. Seguimiento e investigaciones de las pesquerías artesanales. Lambayeque. Instituto del Mar del Perú. 2007.
31. Jacinto M, Aguilar S. Concentraciones traza de metales en especies marinas de la bahía de Huarney, Ancash, Perú. Rev Peruana Biol 2007; 14(2): 307-311
32. Sánchez G, Tupayachi M. Pruebas preliminares sobre toxicidad del cobre en la "concha de abanico" (*Argopecten purpuratus*). En: H. Salzzdwedel y A. Landa (Eds). Recursos y dinámica del ecosistema del afloramiento peruano. Informe del Instituto del Mar. Callao. Perú. 1988.