



RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD

REVISTA DIGITAL DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA



CENTRO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.

El cobre puede inducir estrés oxidativo en animales y plantas

Lía Celina Méndez- Rodríguez¹, Ramón Gaxiola-Robles^{1,2},
Sara C. Díaz¹, María Esther Puente¹, y Tania Zenteno-Savín^{1*}

Resumen

Las costas de Baja California Sur se consideran como una zona prístina, aunque en el Estado existen depósitos de oro, plata, cobre y fosforita que han sido explotados desde el siglo XIX. El enriquecimiento del cobre ha sido atribuido principalmente a causas naturales de origen geológico (e.g. vulcanismo y movimientos tectónicos) y oceanológico (e.g. corrientes y surgencias). Sin embargo, como resultado de la urbanización, existen fuentes potenciales de contaminación antropogénica en la península, como el establecimiento de marinas y tráfico náutico. El cobre es un micronutriente esencial para la vida pero, debido a que puede catalizar reacciones generadoras de especies reactivas de oxígeno, también puede inducir estrés oxidativo en animales y plantas. La principal ruta por la que el cobre se incorpora a los órganos y tejidos de los animales, incluyendo el hombre, es la dieta. En este trabajo se presentan consideraciones fisiológicas y toxicológicas relacionadas a cobre en organismos marinos y terrestres, incluido el hombre.

Palabras Clave: Antioxidantes, cobre, especies reactivas de oxígeno, estrés oxidativo

Abstract

The coasts of Baja California Sur are considered as a pristine area although deposits of gold, silver, copper, and phosphorite have been exploited since the 19th century in the state. Copper enrichment has been mainly attributed to natural disasters of geological (e.g. volcanism and tectonic movements) and oceanological (e.g. currents and upwelling) origin. However, as a result of urbanization, there are potential sources of anthropogenic pollution in the peninsula, such as the establishment of marine and boat traffic. Copper is an essential micronutrient for life, but since it can catalyze reactions generating reactive oxygen species, it can also induce oxidative stress in animals and plants. The main route by which copper is incorporated to the organs and tissues of animals, including humans, is the diet. This paper discusses physiological and toxicological considerations related to copper in marine and terrestrial organisms, including humans.

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR). Planeación Ambiental y Conservación. Instituto Politécnico Nacional 195. Playa Palo de Santa Rita Sur. C.P. 23096. La Paz, Baja California Sur, México. E-mail: lmendez04@cibnor.mx, sdiaz04@cibnor.mx, epuente@cibnor.mx, tzenteno04@cibnor.mx

²Hospital General de Zona No.1. Instituto Mexicano del Seguro Social. C.P. 23000. La Paz, Baja California Sur, México. r.gaxiolar@gmail.com

*Autor de Correspondencia: Tania Zenteno-Savín, Ph. D., Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Programa de Planeación Ambiental y Conservación Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, C. P. 23096, La Paz, Baja California Sur, México. E-mail: tzenteno04@cibnor.mx, Phone: 52 (612) 123-8502, Fax: 52 (612) 125-3625



Key words: Antioxidants, copper, oxidative stress, reactive oxygen species

Antecedentes

Aunque las costas de Baja California Sur se han considerado como una zona prístina sin mayor alteración ambiental (Kampalath et al., 2006), es una zona con depósitos naturales de oro, plata, cobre y fosforita, los cuales han sido explotados por actividad minera desde el siglo XIX (Shumilin, *et al.* 2000) (Consejo de Recursos Mineros, 1999). El enriquecimiento de elementos traza, como el cobre o el cadmio, ha sido atribuido principalmente a causas naturales de origen geológico (e.g. vulcanismo y movimientos tectónicos) y oceanológico (e.g. corrientes y surgencias) (Martin y Broenkow, 1975; Méndez et al., 1998; Shumilin et al., 2000; 2001; Méndez et al., 2006; Rodríguez-Meza, 2007; Cadena-Cárdenas et al., 2009). Sin embargo, existen diversas fuentes potenciales de contaminación antropogénica en la península como resultado de la urbanización. Se han reportado elevadas concentraciones de cobre en las inmediaciones de poblaciones urbanizadas como resultado de la minería, el establecimiento de marinas y tráfico náutico (Méndez et al., 1998; Shumilin et al., 2000; 2001; Méndez et al., 2006; Cadena-Cárdenas et al., 2009).

Cobre

El cobre es considerado como un micronutriente esencial para la vida. Este metal forma parte de cuproproteínas (cupreínas) y enzimas cobre-dependientes que intervienen en reacciones oxidantes relacionadas con el metabolismo del hierro, de los aminoácidos precursores de neurotransmisores, así como del tejido conectivo (O'Dell et al., 1990; Sandstead, 1995; Weisstaub, et al., 2008). Los efectos biológicos de elementos como el cobre dependerán de su distribución en los órganos, dentro de un tejido determinado, así como de la concentración de otros micronutrientes con los cuales pueden interactuar (Perry et al., 1976; Peraza et al. 1998). Ciertos metales de transición, como el cobre, debido a que pueden actuar como catalizadores en diversas reacciones generadoras de especies reactivas de oxígeno pueden promover estrés oxidativo en animales y plantas (Stohs y Bagchi, 1995; Pinto et al., 2003). El estrés oxidativo es un desequilibrio entre la producción de radicales libres y la capacidad antioxidante de un organismo que lleva a daño oxidativo en los componentes celulares (por ejemplo, peroxidación de lípidos y daño al ADN) (Sies, 1991). El cobre participa en la reacción de Haber-Weiss y cataliza la formación del radical hidroxilo (Halliwell y Gutteridge, 1999). Sin embargo, los antioxidantes y los elementos traza interactúan de diferentes formas. Por ejemplo, la metalotioneína es una proteína con función antioxidante que regula la biodisponibilidad de elementos como cobre (Hodgson, 2004). El cobre y zinc actúan como elementos catalíticos y de estabilidad para la actividad de la enzima antioxidante superóxido dismutasa (SOD) (Gómez y Cuevas, 2008). La metalotioneína y el glutatión se unen al cobre libre evitando que participe en la síntesis de especies reactivas de oxígeno y en la inducción del daño oxidativo (Valko et al., 2005).

Cobre en plantas, pastos marinos y sargazo

La ausencia de cobre en el suelo puede limitar el crecimiento de las plantas, aún cuando los demás nutrientes esenciales estén presentes en cantidades adecuadas (Cobo et al., 2013). La mayoría de las metaloenzimas que contienen cobre participan en reacciones óxido-reducción. Un ejemplo es la enzima SOD que cataliza la dismutación del anión superóxido a peróxido de hidrógeno. Existen tres tipos de esta enzima, de acuerdo al metal (manganeso, cobre y zinc, o hierro) unido al sitio activo (Fridovich, 1986). La SOD dependiente de cobre y zinc está principalmente asociada a los cloroplastos en plantas terrestres superiores (Asada et al., 1977; Fernandez y Henriques, 1991). En consecuencia, bajo condiciones normales, el principal sitio de acumulación de este elemento será en los cloroplastos con una concentración que puede representar del 35 al 90% del cobre foliar (Lastra et al., 1987). El cobre también influye positivamente en el proceso simbiótico para la fijación del nitrógeno atmosférico que se lleva a cabo en las raíces de las leguminosas (Hallsworth 1960). Por lo tanto, cuando las concentraciones de este metal se encuentran por debajo de las requeridas por la planta, puede haber una disminución en la actividad de la citocromo C-oxidasa que llevará al incremento de los niveles de oxígeno en las raíces y con ello a la inhibición de la actividad del complejo enzimático de la nitrogenasa (Lastra et al., 1987, Fernandes y Henriques, 1991). Por lo contrario, un exceso de asimilación de cobre por la planta puede causar un amplio intervalo de efectos bioquímicos y disturbios metabólicos, como la inhibición del crecimiento y anomalías en el desarrollo (Fernandez y Henriques, 1991). Entre las reacciones en las que está involucrado el cobre se encuentran las que favorecen la producción de radicales libres y otras especies reactivas de oxígeno que son dañinos para las plantas debido a que causan estrés oxidativo. Uno de los efectos dañinos de las especies reactivas de oxígeno es la peroxidación de lípidos, incluidos los lípidos de la membrana (Gaete et al., 2010). Este proceso está relacionado con el aumento de la permeabilidad a iones, alteración en las uniones entre lípidos y polipéptidos e inactivación de proteínas, incluyendo enzimas presentes en la membrana. Dependiendo de la concentración del cobre que se acumule en los tejidos, las plantas presentarán una defensa fisiológica encaminada a la reducción de los efectos negativos causados por las especies reactivas de oxígeno. Esta defensa fisiológica está relacionada con el aumento de la actividad antioxidante de distintas enzimas como con la SOD, la catalasa (CAT) y peroxidasas en plantas (Fernandez y Henriques, 1991).

El sargazo en particular presenta una elevada afinidad por cobre, como resultado de la composición bioquímica de su pared celular (Davis et al., 2003). Macías-Zamora et al. (2008) encontraron niveles elevados de metales traza incluyendo cobre en pastos marinos de las lagunas San Ignacio y Ojo de liebre en la costa central del Pacífico de Baja California, México. Los pastos marinos pueden incorporar estos elementos y redireccionarlos hacia otros organismos.

Cobre en animales

La ingesta es la ruta por la que el cobre se incorpora a los órganos y tejidos de los animales, incluyendo el hombre, es absorbido por el intestino y transportado en la sangre por la albumina y la transcupreína, las cuales reducen los efectos oxidativos del cobre divalente (Gupta, 2007). La concentración de cobre es mayor en hígado que en músculo de calamar; las concentraciones de cobre son mayores en la langostilla que en el calamar y el tiburón

azul (Barrera-García, 2013). Los elasmobranchios son susceptibles de acumular en sus tejidos concentraciones importantes de elementos como el cobre y zinc (Lowman et al., 1996). Por lo anterior, los tiburones pueden ser potenciales indicadores de contaminación ambiental (Marcovecchio et al., 1991; Vas, 1991). Las concentraciones de cobre reportadas en el hígado del tiburón martillo se atribuyen a que éste es un elemento esencial y juega un papel importante en el metabolismo de los organismos (Storelli et al., 2003). En peces loros (*Sparus aurata*) y bailarinas (*Carassius auratus*) la presencia de cobre incrementa la actividad de SOD y glutatión S-transferasa) GST, disminuye la actividad de CAT y glutatión peroxidasa (GPx) y, en consecuencia, aumenta la concentración de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) en tejidos como el intestino y las branquias (Lushchak, 2012). McMeans et al. (2007) sugieren que la diferencia en las concentraciones de cobre en el tiburón azul en diferentes localidades se debe a requerimientos fisiológicos específicos de la especie o a que la regulación de este elemento no es eficiente. En el pez bailarina se reportó un decremento en la actividad de las enzimas antioxidantes GPx y CAT ante la exposición a cobre (Liu et al., 2006). En Barrera-García (2013) se reportan diferencias entre sexos y estadios de madurez en la concentración de cobre en el tiburón azul. Las diferencias entre sexos pueden deberse a factores reproductivos. En ratas, cuando las hembras se están preparando para la gestación, incrementa la inducción de la concentración de metalotioneína y, por ende, la capacidad de almacenar elementos esenciales, como el cobre (Suzuki et al., 1990; Chan et al., 1993).



En la tortuga verde, se ha reportado que el cobre reduce la capacidad de unión entre los esteroides sexuales, estradiol (E2) y testosterona (T), y las proteínas plasmáticas y que compiten por dichos sitios de unión, sugiriendo una probable inhibición de la interacción proteína-esteroide en hembras anidantes (Ikonomopoulou et al., 2009). En Labrada-Martagón (2011) la combinación de todos los contaminantes químicos medidos en las tortugas verdes se correlacionó con la concentración de T (en Bahía Magdalena, BMA), glucosa, calcio, ácido

úrico, vitelogenina (VTG), colesterol y la actividad de las enzimas GST y SOD dependiente de cobre y zinc (Cu,Zn-SOD) (en Punta Abreojos, PAO), sugiriendo una sinergia de la mezcla de contaminantes químicos presentes en las tortugas verdes con efectos fisiológicos perjudiciales.



El cobre es necesario para el uso del hierro, interviene también como cofactor en el metabolismo de la glucosa y la síntesis de hemoglobina, tejido conectivo y fosfolípidos, la concentración de cobre en la leche materna es baja, pero no es común encontrar deficiencia de este mineral en infantes alimentados exclusivamente con leche humana (Lonnerdal, 1998). En el suero lácteo se puede encontrar el 80% del cobre, alrededor del 15% se encuentra en la grasa y el resto en la caseína (Casey et al., 1995). Su absorción a partir de la leche humana es de aproximadamente 25% (Lonnerdal, 1997). De los tres tipos de superóxido dismutasa que se han identificado, en la leche materna se ha identificado principalmente la actividad de la SOD dependiente de manganeso (Mn-SOD) (Konisberg, 2008). La actividad de esta enzima es entre 10 y 25 veces mayor en leche que en suero humano (L'Abbe y Friel, 2000), además de que la actividad varía con el tiempo de lactancia, siendo mayor en la etapa de calostro y presentando una disminución después de 4 meses (Kasapović et al., 2005).

Discusión académica

Los efectos biológicos del cobre dependerán de su distribución en órganos y tejidos, de la especie, y de la concentración de otros micronutrientes con los cuales puede interactuar. La ingesta es la ruta por la que el cobre se incorpora a los órganos y tejidos de los animales, incluyendo el hombre. Existen estudios que indican que el incremento en la ingesta de micronutrientes esenciales (como zinc, cobre, manganeso, selenio y hierro) “modulan” la toxicidad de algunos metales y metaloides considerados no esenciales como plomo, cadmio, arsénico y mercurio (Peraza et al., 1998). Estos interactúan a diferentes



niveles dentro del organismo: absorción y excreción de metales tóxicos; transporte de metales; translocación de sitios activos en proteínas, metabolismo y secuestro de metales tóxicos; y finalmente en mecanismos secundarios de toxicidad tales como estrés oxidativo (Peraza et al., 1998; Qi y Su, 2015). Los niveles de cobre que se han detectado en organismos de origen terrestre y marino en Baja California Sur no sugieren procesos de contaminación por este metal que requieran intervención. De igual manera, la evidencia sugiere que la preocupación en cuanto a efectos tóxicos o adversos del cobre por el consumo de productos (incluyendo pescados y mariscos) de la región es mínima.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a N.O. Olguín Monroy, O. Lugo Lugo y B. Acosta por su invaluable asistencia técnica, a todos los colegas y estudiantes de pre- y posgrado que han colaborado en nuestros proyectos, así como al CONACyT (SALUD-CONACyT 140272; SEMARNAT-CONACyT 249423; SEP CONACyT 152784; INFR-2015-01 255795) y a CIBNOR (PC2.0, PC0.05, PC0.10) por el financiamiento y el apoyo a estos proyectos. Los Autores agradecemos al Lic. Gerardo Hernández el diseño gráfico editorial y a la Ms.C. Diana Dorantes la revisión del Idioma Inglés del Abstract.

Bibliografía

- Barrera-García, A.M. 2013. *Elementos traza e indicadores de estrés oxidativo en el tiburón azul (Prionace glauca) de la costa occidental de Baja California Sur, México*. Tesis Doctoral. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Cadena-Cárdenas, L., L. Méndez, T. Zenteno-Savín, J. García-Hernández y B. Acosta-Vargas. 2009. *Heavy metal levels in marine mollusks from areas with or without mining activities along the Gulf of California, Mexico*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 57: 96-102.
- Casey C. E., Smith A., y Zhang P. C. 1995. *Microminerals in human and animal milks*. In: Jensen R. G. (Ed). Handbook of Milk Composition. San Diego: Academic Press; 622-674.
- Chan, H.M., Y. Tamura, M.G. Cherian, y R.A. Goyer. 1993. *Pregnancy-associated changes in plasma metallothionein concentration and renal cadmium accumulation in rats*. Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine. 202(4): 420-427.
- Cobo-Vidal, Y., Angarica-Baró, E., Martín-Gutiérrez, G., Villazón-Gómez, J. A., Serrano-Gutiérrez, A., y Guaro, H. (2013). *Disponibilidad de Cobre, Zinc y Manganeso en suelos de importancia agrícola*. Revista Granma Ciencia. Vol, 17(2).
- Davis, T. A., B. Volesky y A. Mucci. 2003. *A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae*. Water Research, 37: 4311-4330.
- Fernandes, J. C., y Henriques, F. S. 1991. *Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants*. The Botanical Review, 57(3), 246-273.
- Fridovich I. 1986. *Superoxide dismutases*. Advances in Enzymology 58, 61-97.

- Gaete, H., Hidalgo, M. E., Neaman, A., y Ávila, G. 2010. *Evaluación de la toxicidad de cobre en suelos a través de biomarcadores de estrés oxidativo en Eiseniafoetida*. Quimica Nova, 33(3), 566-570.
- Gómez, L.E., y D.B. Cuevas. 2008. *Superóxido Dismutasa*. En: Konigsberg, M. (Ed). Radicales libres y estrés oxidativo: aplicaciones médicas. Manual Moderno. México D.F. pp. 169-182.
- Gupta, R.C. 2007. *Veterinary toxicology: basic and clinical principles*. Academic Press. Primera Edición. New York, N.Y. 1201 p.
- Halliwell, B. y J. M. C. Gutteridge. 1999. *Free radicals in biology and medicine*. Oxford University Press, New York, 936 p.
- Hallsworth, E. G. 1960. *Copper and cobalt in nitrogen fixation*. Nature, 187(4731), 79-80.
- Hodgson, E. 2004. *A Textbook of Modern Toxicology*. John Wiley and Sons Inc. Tercera Edición. New Jersey. 543p.
- Kampalath, R., S. C. Gardner, L. Méndez y J. A. Jay. 2006. *Total and methylmercury in three species of sea turtles of Baja California Sur*. Marine Pollution Bulletin, 52: 1784-1832.
- Kasapović J., Pejić S., Mladenović M., Radlović N., y Pajović S. B. 2005. *Superoxide dismutase activity in colostrum, transitional*. The Turkish Journal of Pediatrics 47: 343-347.
- Konisberg M. (Ed) 2008. *Radicales libres y estrés oxidativo. Aplicaciones médicas*. Ed. Manual moderno.
- Ikonomopoulou, M. P., H. Olzowy, M. Hodge y A. J. Bradley. 2009. *The effect of organochlorines and heavy metals on sex steroid-binding proteins in vitro in the plasma of nesting green turtles, Chelonia mydas*. Journal of comparative Physiology B, 179: 653-662.
- L'Abbe M. R, y Friel J. K. 2000. *Superoxide dismutase and glutathione peroxidase content of human milk from mothers of premature and full-term infants during the first 3 months of lactation*. Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition 31:270-4.
- Labrada-Martagón, V. 2011. *Evaluación del Estado de Salud de la Tortuga Verde del Pacífico Oriental (Chelonia mydas) que Habita en la Costa de Baja California Sur, A Través de Biomarcadores Fisiológicos*. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Lastra, O, A. Chneca, C. Gonz~ez, M. Lachica y J. L. Gorge. 1987. *El cobre como nutriente de la planta*. Anales de Edafología y Agrobiología. 46: 1005-1020.
- Liu, H., W. Wang, J. Zhang, y X. Wang. 2006. *Effects of copper and its ethylenediaminetetraacetate complex on the antioxidant defenses of the goldfish, Carassius auratus*. Ecotoxicology and Environmental Safety 65(3): 350-354.
- Lonnerdal B. 1997. *Effects of milk and milk components on calcium, magnesium, and trace element absorption during infancy*. Physiological Reviews 77:643-669.
- Lonnerdal B. 1998. *Copper nutrition during infancy and childhood*. The American Journal of Clinical Nutrition 67:1046-53.
- Macías-Zamora, J. V., Sánchez, J. L., Ríos, L. M., Ramírez, N., Huerta, M. A., y López, D. 2007. *Trace metals in sediments and Zostera marina of San Ignacio and Ojo de Liebre Lagoons in the Central Pacific Coast of Baja California, Mexico*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 55(2):218-28
- Martin, J. H. y W. W. Broenkow. 1975. *Cadmium in Planckton: Elevated concentrations off Baja California*. Science, 190(4217): 884-885.



- McMeans, B.C., K. Borgå, W.R. Bechtol, D. Higginbotham, y A.T. Fisk. 2007. *Essential and non-essential element concentrations in two sleeper shark species collected in arctic waters*. Environmental Pollution 148(1): 281-290.
- Méndez, L., B. Acosta, S. T. Álvarez-Castañeda y C. H. Lechuga-Devéze. 1998. *Trace metal distribution along the southern coast of Bahía de la Paz (Gulf of California), Mexico*. Environmental Contamination and Toxicology, 61: 616-622.
- Méndez, L., E. Palacios, B. Acosta-Vargas, P. Monsalvo-Spencer y S. T. Alvarez-Castañeda. 2006. *Heavy metals in the clam Megapitaria squalida collected from wild and phosphorite mine-impacted sites in Baja California, Mexico*. Biological Trace Elements Research, 110: 275-287.
- Menéndez AM, Weisstaub AR, Montemerlo HJ, Rusi F, Guidoni ME, Piñeiro A, y Pita Martín de Portela ML. 2007 *Contenido de zinc y cobre en los componentes individuales de las mezclas para fórmulas pediátricas de nutrición parenteral total*. Nutrición Hospitalaria 22 (5):545-51.
- O'Dell BL. *Copper*. In: ML Brown, editor. Present Knowledge in Nutrition. 6a ed. Washington, DC: Nutrition Foundation; 1990. p. 261-7.
- Peraza, M. A., F. Ayala-Fierro, D. S. Barber, E. Casarez y L. T. Rael. 1998. *Effects of micronutrients on metal toxicity*. Environmental Health Perspectives, 106(1): 203-216.
- Perry, H. M., G. S. Thind y A. B. E. F. Perry. 1976. *Biología del cadmio*. En: Burch, R. E. y Sullivan, J. F. (Eds.). Clínicas médicas de Norteamérica. Interamericana, D. F., pp. 759-769.
- Pinto, E., T. C. S. Sigaud-Kutner, M. A. S. Leitão, O. K. Okamoto, D. Morse y P. Colepicolo. 2003. *Heavy metal induced oxidative stress in algae*. Journal of Phycology, 39: 1008-1018.
- Qi, Y., y Du, J. 2015. *Analysis of the content and correlation of 6 trace elements in maternal and fetal blood in Shenyang area*. Biomedical Research, 26 (3): 556-60.
- Richards K. D.; Schott, E. J.; Sharma, Y. K.; Davis, K. R.; y Gardner, R. C. *Aluminum Induces Oxidative Stress Genes in Arabidopsis thaliana*. Plant Physiology 1998, 116, 409418.
- Rodríguez-Meza, D., E. Choumiline, L. Méndez-Rodríguez, B. Acosta-Vargas y D. Sapozhnikov. 2007. In: Funes, R., J. Gómez y R. Palomares (Eds.). *Estudios ecológicos en Bahía Magdalena*. Instituto Politécnico Nacional, D. F., pp. 61-81.
- Sandstead H.H. 1995 *Requirements and toxicity of essential trace elements, illustrated by zinc and copper*. American Journal of Clinical Nutrition 61(Supl.): 621S-4S.
- Shumilin, E. N., G. Rodríguez-Figueroa, O. M. Bermea, E. L. Baturina, E. Hernández y G. D. Rodríguez Meza. 2000b. *Anomalous Trace Element Composition of Coastal Sediments near the Copper Mining District of Santa Rosalía, Peninsula of Baja California, Mexico* Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 65: 261-268.
- Shumilin, E., F. Páez-Osuna, C. Green-Ruiz, D. Sapozhnikov, G. Rodríguez-Meza y L. Godínez-Orta. 2001. *Arsenic, antimony, selenium and other trace elements in sediments of the La Paz lagoon, Peninsula of Baja California, Mexico*. Marine Pollution Bulletin, 42(3): 174-178.
- Sies H. 1991 *Oxidative stress. II. Oxidants and antioxidants*. Academic Press, London
- Stohs, S. J. y D. Bagchi. 1995. *Oxidative mechanisms in the toxicity of metals ions*. Free Radical Biology & Medicine, 18(2): 321-336.

Suzuki, K.T., H. Tamagawa, K. Takahashi, y N. Shimojo. 1990. *Pregnancy-induced mobilization of copper and zinc bound to renal metallothionein in cadmium-loaded rats*. *Toxicology*. 60(3): 199-210.

Valko, M., H. Morris, y M.T.D. Cronin. 2005. *Metals, toxicity and oxidative stress*. *Current Medicinal Chemistry Journal*. 12(10): 1161-1208.

Cita de este artículo

Méndez- Rodríguez, L. C., R. Gaxiola-Robles, S. C. Díaz, M. E. Puente, y T. Zenteno-Savín *. 2015. **El cobre puede inducir estrés oxidativo en animales y plantas**. *Recursos Naturales y Sociedad*, Vol. 1 (25-33): DOI:10.18846/RENAYSOC.2015.01.01.01.0003

Sometido: 18 de septiembre de 2015

Revisado: 19 de noviembre de 2015

Aceptado: 12 de diciembre de 2015

Editor asociado: Dr. Alfredo Ortega Rubio

Idioma Inglés Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández