

ANEXO M Biomarcadores.

Tabla 1. Biomarcadores de exposición y de efecto

BIOMARCADOR	RESPUESTA BIOLÓGICA	CONTAMINANTE	TIEMPO DE RESPUESTA	SEÑAL	BIOMARCADOR EXPOSICIÓN	BIOMARCADOR EFECTO	DESTRUCTIVO	NO DESTRUCTIVO
<i>ALTERACIÓN A NIVEL MOLECULAR</i>								
Rupturas del DNA	Rupturas de la doble hélice	HPAs HAPAs	Rápido	S	Si	Si	Varios tejidos	Sangre, piel
Aductos	Formación de aductos	HPAs HAPAs	Rápido	S, D, P	Si	Si	Varios tejidos	Sangre, piel
SCE	Alteraciones cromosómicas	HPAs HAPAs	Medio	S, D, P	Si	Si	Varios tejidos	Sangre/ Hemolinfa
<i>ALTERACIONES A NIVEL BIOQUÍMICO O CELULAR</i>								
Esterasas	Inducción /inhibición enzimática	POFs, CBs	Rápido	S, D, P	Si	Si (AChE)	Cerebro	Sangre/ Hemolinfa
MFO EROD	Inducción enzimática (Citocromo P450 1a ; CYP1A)	HPAs, HAPAs	Rápido	S, D	Si	Si	Hígado/ Hepatopáncreas y riñones	Piel, mucosa
Proteínas de estrés	Inducción enzimática	Metales pesados, HPAs, HAPAs	Rápido	S	Si	No	Varios tejidos	Sangre Hemolinfa
Metalotioneinas	Inducción enzimática	Metales pesados	Rápido	S, D	Si	No	Varios tejidos	-
ALAD	Inducción enzimática	Metales pesados (Pb)	Rápido	S, D, P	Si	No	-	Sangre/ Hemolinfa
Aductos hemoglobina	Aducto proteico	HPAs, HAPAs	Rápido	S, D	Si	No	-	Sangre/ Hemolinfa
Bioquímica de la sangre	Modificaciones de varias enzimas	Metales pesados, HPAs, HAPAs, POFs	Rápido, Medio	S, D	Si	Si/No	-	Sangre/ Hemolinfa
Hormonas	Cortisol, vitelogenina	Estrógeno ambientales	Rápido	S, D, P	Si	Si	Hígado/ Hepatopáncreas	Sangre./ Hemolinfa
CAF		HPAs	Rápido		Si	No	Bilis	Orina
Estrés oxidativo	Inducción enzimática: catalasa, y Glutación-S-Transferasa	Varios	Rápido	S, P	No	Si	Hígado/ Hepatopáncreas	-
Cambios en sustratos energéticos		Varios	Rápido	S, P	No	Si	-	Organismos
Na ⁺ /K ⁺ ATPasa	Alteración enzimática	Varios	Rápido	-	No	Si	Branquias	-

Tabla 2. Biomarcadores de exposición y de efecto (Continuación)

BIOMARCADOR	RESPUESTA BIOLÓGICA	CONTAMINANTE	TIEMPO DE RESPUESTA	SEÑAL	BIOMARCADOR EXPOSICIÓN	BIOMARCADOR EFECTO	DESTRUCTIVO	NO DESTRUCTIVO
ALTERACIONES DEL SISTEMA INMUNE								
Retinol	Modificaciones a nivel del retinol	HAPAs	Rápido	S	Si	Se desconoce	Hígado	Sangre
Función tiroidea	Alteración de las funciones tiroideas	HAPAs	Medio	S	Si	No	Tiroides	Sangre
Inmunotoxicología	Varias	Metales pesados, HPAs, HAPAs, POFs	Medio, Lento	S	Si	Se desconoce	Células linfáticas	Sangre
ALTERACIONES A NIVEL HISTOLÓGICO								
Daños titulares, Tumores	Alteración de tejidos y órganos	Varios	Medio, Lento	S, P	No	Si	Varios tejidos	-
ALTERACIONES FISIOLÓGICAS								
Osmorregulación	Niveles de Na ⁺ , K ⁺ , CL ⁻ , Mg,	Varios	Rápido, Medio	S	No	Si		Sangre, hemolinfa
Respiración aerobia, Relación O/N (animales)	Consumo de oxígeno	Varios	Rápido	S	No	Si	-	Organismo
Eficiencia fotosintética	Captación de CO ₂	Varios	Rápido	S	No	Si	-	Planta completa u hojas
Desarrollo o crecimiento	Tiempo de desarrollo, Peso húmedo o seco, longitud	Varios	Medio, Lento	S, P	No	Si	-	Organismo
Reproducción	Tiempo de reproducción, número de descendientes, Imposex	Varios	Medio, Lento	S, P	No	Si	-	Organismo
Índices de condición		Varios	Medio, Lento	S, P	No	Si	-	Organismo
Alteraciones bioenergéticas	Campo de crecimiento	Varios	Medio, Lento	S, P	No	Si	-	Organismo
Porfirinas	Desórdenes metabólicos en el ciclo del EME	Metales pesados, HAPAs	Medio	S, D, P	Si	Si	Hígado y riñones	Sangre, heces
ALTERACIONES CONDUCTUALES								
Alteraciones conductuales	Patrones de nado, escape a depredadores, comportamiento migratorio	Varios	Rápido, medio	S, P	No	Si	-	Organismo

Tabla 3. Biomarcadores de exposición y de efecto (Continuación).

BIOMARCADOR	RESPUESTA BIOLÓGICA	CONTAMINANTE	TIEMPO DE RESPUESTA	SEÑAL	BIOMARCADOR EXPOSICIÓN	BIOMARCADOR EFECTO	DESTRUCTIVO	NO DESTRUCTIVO
ALTERACIONES A NIVEL POBLACIONAL								
Estructura	Alteración en la abundancia, distribución, estructura de edades, biomasa	Varios	Lento	S, P	No	Si	-	Poblaciones de organismos
ALTERACIONES A NIVEL COMUNIDAD-ECOSISTEMA								
Estructura	Diversidad de especies, biomasa	Varios	Lento	S, P	No	Si	-	Comunidades
Función	Flujo energético Trama trófica	Varios	Lento	S, P	No	Si	-	Comunidades

Notas:

- CAF: Compuestos aromáticos fluorescentes
 CBs: Carbamatos
 POFs: Plaguicidas organofosforados
 HPAs: Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos
 HAPAs: Hidrocarburos Aromáticos Polialogenados
 Tiempo de respuesta: Rápido horas - días; Medio= días - semanas; Lento= días - meses
 Señal: S= señal de un problema potencial; D= Indicador definitivo de una clase de contaminantes; P= Indicador predictivo de un efecto negativo a largo plazo.

Fuente: Modificado de Fossi *et al*, 1996. Con autorización de la Dra. Cecilia Vanegas y Dra. Cecilia Robles. Facultad de Ciencias, UNAM.

Bibliografía

- Aas, E., J. Beyer y A. Goksoyr. 2000. Fixed wave fluorescence (FF) of bile as a monitoring tool for polyaromatic hydrocarbon exposure in fish: an evaluation of compound specificity, inner filter and signal interpretation. *Biomarkers*. 5: 9-23.
- Adams, M. (ed.). 1990. *Biological Indicators of Stress in Fish*. American Fisheries Symposium 8. Bethesda, Maryland. 191 pp.
- Ariese, F., S. Kok, M. Verkaik, C. Gooijer, N. H. Velhosrst y J. W. Hofstaat. 1993. Synchronous fluorescence spectrometry of fish bile: A rapid screening method for the biomonitoring of PAH exposure. *Aquatic Toxicology*. 26: 273-286.
- Astley, K. N., H. C. Meigh, G. A. Glegg, J. Braven y M. H. Depledge. 1999. Multi-variate analysis of biomarker responses in *Mytilus edulis* and *Carcinus maenas* from the Tees estuary (UK). *Marine Pollution Bulletin*. 39: 145-154.
- Au, D., R. Wu, B. Zhou y P. Lam. 1999. Relationship between ultra-structural changes and EROD activities in liver of fish exposed to Benzo(a)pyrene. *Environmental Pollution*. 104: 235-247.
- Benzie, I. y J. Strain. 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal. Biochemistry*. 239: 70-76.
- Cheung, G.J., A.M.Y. Zheng, B.J. Li y P.K.S. Lam Richardson. 2001. Relationships between tissue concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and antioxidative responses of marine mussels, *Perna viridis*. *Aquatic Toxicology*. 52: 189-203.
- De Pirro, M., G. Chelazzi, F. Borghini y S. Forcadi. 2001. Variations in cardiac activity following acute exposure to copper in three co-occurring but differently zoned Mediterranean limpets. *Marine Pollution Bulletin*. 42: 1390-1396.
- Depledge, M.H., A. Aagaard y P. Gyoerkoes. 1994. Assessment of trace metal toxicity using molecular, physiological and behavioral biomarkers. *Marine Pollution Bulletin*. 31: 1-3
- Depledge, M.H., A. Aagaard y P. Györkös. 1995. Assessment of trace metal toxicity using molecular, physiological and behavioral biomarkers. *Marine Pollution Bulletin*. 31: 19-27.
- Depledge, M.H. y B.B. Andersen. 1990. A computer-aided physiological monitoring system for continuous, long-term recording of cardiac activity in selected invertebrates. *Comparative Biochemistry Physiology*. 96A: 474-477.
- Depledge, M. H. y A. Lundebye. 1996. Physiological monitoring of contaminant effects in individual rock crabs, *Hemigrapsus edwardsi*: the ecotoxicological significance of variability in response. *Comparative Biochemistry Physiology*. 113C: 277-282.
- Depledge, M.H. 1989. The rational basis for detection of the early effects of marine pollutants using physiological indicators. *Ambio*. 18: 301-302.
- Dissanayake, A. 2001. *The evaluation of a multi-biomarker approach in assessing environmental contamination in the field*. Tesis de Maestría, Universidad de Plymouth, Reino Unido. 113 pp.
- Forbes, V.E. y M.H. Depledge. 1996. Environmental stress and the distribution of traits within populations. En: D.J. Baird, L. Maltby, P.W. Greig-Smith y P.E.T. Douben (eds.). *Ecotoxicology: Ecological dimensions*. Chapman & Hall, Londres. pp. 2-86.
- Fossi, M. C., S. Casini, C. Savelli, L. Lari, I. Corsi, J. C. Sánchez-Hernández, N. Mattei, E. Franchi, M. H. Depledge y S. D. Bamber. 1996. Multi-trial biomarker approach using *Carcinus aestuarii* to evaluate toxicological risk due to Mediterranean contaminants: field and experimental studies. *Fresenius Environmental Bulletin*. 5: 706-711.
- Galloway, T. S. N. Millward, M. A. Browne y M. H. Depledge. 2002. Rapid assessment of organophosphorus / carbamate exposure in the bivalve mollusk *Mytilus edulis* using combined esterase activities as biomarkers. *Aquatic Toxicology*. 61: 169-180.
- Galloway, T. S., R. Sanger, K. Smith, G. Fillmann, J. Readman, T. Ford y M. Depledge. 2002. Rapid assessment of marine pollution using multiple biomarkers and chemical immunoassays. *Environmental Science Technology*. 36: 2219-2226.
- Handy, R.D. y M.H. Depledge. 1999. Physiological responses: the measurement and use as environmental biomarkers in ecotoxicology. *Ecotoxicology*. 8: 329-349.
- Lacher, T.E. Jr. y M. Goldstein. 1997. Tropical ecotoxicology: status and needs. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 16: 100-111.
- Legras, S., C. Mouneyrac, J.C. Amiard, C. Amiard-Triquet y P.S. Rainbow. 2000. Changes in metallothionein concentrations in response to variation in natural factors (salinity, sex, weight) and metal contamination in crabs from a metal-rich estuary. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 246: 259-279.
- Levinton, J. 2000. Evolution in metal-contaminated environments. *Comparative Biochemistry and Physiology*, A. Supplement 1, 126: 93.
- Livingstone, D. R. 1998. The fate of organic xenobiotics in aquatic ecosystems: quantitative and qualitative differences in biotransformation by invertebrates and fish. *Comparative Biochemistry and Physiology*, A. 120: 43-49.
-

-
- Lowe, D.M. y R.K. Pipe. 1994. Contaminant induced lysosomal membrane damage in marine mussel digestive cells: an in vitro study. *Aquatic Toxicology*. 30: 357-365.
- Lowe, D.M., N.M. Moore y B.M. Evans. 1992. Contaminant impact on interactions of molecular probes with lysosomes in living hepatocytes from dab *Limanda limanda*. *Marine Ecology Progress Series*. 91: 135-140.
- Lundebye, A. K., T. M. Curtis, J. Braven y M. H. Depledge. 1997. Effects of the organophosphorous pesticide, dimethoate, on cardiac and acetylcholinesterase (AChE) activity in the shore crab *Carcinus maenas*. *Aquatic Toxicology*. 40: 23-26.
- McCarthy, J.F. 1994. The future of non-destructive biomarkers. En: Fossi, M. C., Leonzio, C. (eds.). *Non-destructive biomarkers in vertebrates*. Lewis Publishers, Boca Raton, EE.UU. pp. 313-324.
- Najimi, S., A. Bouhaimi, M. Daubeze, A. Zekhnini, J. Pellerin, J. F. Nerbonne y A. Moukrim. 1997. Use of acetylcholinesterase in *Perna perna* and *Mytilus galloprovincialis* as a biomarker of pollution in Agair Marine Bay (south of Morocco). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 58: 901-908.
- Nicholson, Shaun. 1999. Cytological and physiological biomarker responses from green mussels, *Perna viridis* (L.) transplanted to contaminated sites in Hong Kong coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*. 39: 261-268.
- Ochoa-Izaguirre, M.J., Carballo J.L. y F. Páez-Osuna. 2002. Qualitative changes in macroalgae assemblage under two contrasting climate conditions in a subtropical estuary. *Bot. Marine*. 45: 130-138.
- Pedersen, S. N., A. K. Lundebye y M. H. Depledge. 1997. Field application of methallothionein and stress protein biomarkers in the shore crab (*Carcinus maenas*) exposed to trace metals. *Aquatic Toxicology*. 37: 183-200.
- Pipe, R.K., J.A. Coles y S.R. Farley. 1995. Assays for measuring immune response in the mussel *Mytilus edulis*. *Techniques in Fish Immunology*. 4: 93-100.
- Porte, C., Escartín E., Garcia, L.M., Solé, M. y J. Albaigés. 2000. Xenobiotic metabolizing enzymes and antioxidant defenses in deep-sea: relationship with contaminant body burden. *Marine Ecology Progress Series*. 192: 259-266.
- Prior, R. y G. Cao. 1999. In vivo total antioxidant capacity: comparison of different analytical methods. *Free Radical Biol. Medic.* 27: 1173-1181.
- Rice, J.A. 1990. Bioenergetics modeling approaches to evaluation of stress in fishes. En: Adams, S.M. (ed.). *Biological Indicators of Stress in Fish*. American Fisheries Symposium 8. Bethesda, Maryland pp. 80-92.
- Roesijadi, G. 1992. Metallothioneins in metal regulation and toxicity in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*. 22: 81-114.
- Schlenk, D. 1999. Necessity of defining biomarkers for use in ecological risk assessments. *Marine Pollution Bulletin*. 39: 48-53.
- Smith, E.H. y D.T. Logan. 1997. Linking environmental toxicology, ethology, and conservation. En: Clemmonds, J.R. y Buchholdz, R. (eds.). *Behavioral Approaches to Conservation in the wild*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. pp. 277-302.
- Swartz, R.C., Schults, D. W., Ditsworth, G.R., DeBen, W.A. y F. A. Cole. 1981. Sediment toxicity, contamination, and benthic community structure near ocean disposal site. *Estuaries*. 4: 258.
- Temara, A., I. Gulec y D.A. Holdway. 1999. Oil-induced disruption of foraging behavior of the asteroid keystone predator, *Coscinasterias muricata* (Echinodermata). *Marine Biology*. 133: 501-507.
- Vanegas, R. C. 1996. *Efectos subletales del cadmio y zinc en el camarón blanco Penaeus setiferus*. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 118 pp.
- Walker, C.H. 1995. Biochemical biomarkers in ecotoxicology – some recent developments. *Science Total Environmental*. 171: 189-195.
- Widdows, J., K.A. Burns, N.R. Menon, D.S. Page y S. Soria. 1990. Measurement of physiological energetics (scope for growth) and chemical contaminants in mussel (*Arca zebra*) transplanted along a contamination gradient in Bermuda. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 138: 99-117.
- Zúñiga, L. S. 2002. *Efecto del cadmio en la osmoregulación de juveniles de Litopenaeus setiferus (Crustacea, Decapoda)*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 114 pp.
-

