



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA-CHILE**

VARIACIÓN INTERESPECÍFICA EN LA BIOACUMULACIÓN Y EFECTOS DE Hg Y PAHs EN EL ESTUARIO DE LENGUA: UNA APROXIMACIÓN MÚLTIPLE MEDIANTE EL USO DE INVERTEBRADOS COMO BIOMONITORES DE CONTAMINACIÓN EN ESTUARIOS DEL CENTRO SUR DE CHILE.

(Interspecific variability on bioaccumulation and effects of Hg and PAHs in Lengua estuary: A multiple approach using invertebrates as biomonitors of south central Chilean estuaries)



MAURICIO JAVIER DÍAZ JARAMILLO

Tesis presentada a:

Dirección de Postgrado de la Universidad de Concepción

Para optar al Grado de:

Doctor en Ciencias Ambientales con mención en Sistemas Acuáticos Continentales

Enero 2012

RESUMEN

La necesidad de profundizar el conocimiento para la conservación de los humedales en conjunto a que muchos de estos ecosistemas son representados por ambientes estuarinos de una gran variabilidad natural, proponen un reto importante a la hora de evaluar los efectos de la actividad humana sobre ellos. Asimismo, los humedales estuarinos representan ambientes de alto valor debido a la cantidad de servicios ecosistémicos que brindan y su importancia en la sustentabilidad de zonas costeras. Sin embargo, la evaluación ambiental por medio de herramientas clásicas (det. parámetros agua, índices de diversidad, reducido número de contaminantes a medir, etc.) ha sido cuestionada debido a la dificultad de detectar un estrés antropogénico en zonas naturalmente estresadas que presentan especies tolerantes a las condiciones imperantes. El uso de invertebrados bentónicos estuarinos como biomonitores representa una serie de ventajas debido al papel que éstos cumplen en los ciclos biogeoquímicos y en la cadena alimenticia. Además su alta densidad y movilidad limitada son de utilidad a la hora de determinar respuestas sitio-específicas relacionadas con el sedimento. Asimismo, la evaluación ambiental mediante respuestas a diferente nivel de organización biológica y por consiguiente, diferente relevancia ecológica representa un adecuado complemento a la hora de determinar mecanismos de defensa y/o detoxificación como igualmente el costo fisiológico para los organismos asociado a la tolerancia. En este sentido, los estuarios del centro sur de Chile están inmersos en zonas con actividad humana bajo o nula así como en zonas sujetas a una presión antropogénica alta. Esta situación permite evaluar comparativamente respuestas biológicas bajo diferentes condiciones (presiones antrópicas) en ambientes similares, pudiendo determinar herramientas adecuadas para el diseño de planes de monitoreo ambiental de los estuarios. Los estuarios de Lenga y Tubul-Raqui, son representativos de estos dos extremos. En Lenga, estudios previos han reportado la depositación y persistencia de altos niveles de Mercurio (Hg) e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs) en sedimentos y biota, mientras que Tubul-Raqui se encuentra inmerso en zonas de baja densidad poblacional y ha sido utilizado como un sitio de referencia adecuado.

El presente estudio planteó como hipótesis que “El estuario de Lenga presenta altos niveles de PAHs y Hg en sedimentos, los que afectan a diferentes niveles de organización biológica de invertebrados bentónicos con mayor nivel trófico o fuentes mixtas de incorporación”. El objetivo principal fue determinar la bioacumulación, exposición y efectos de PAHs y Hg en diferentes especies de invertebrados bentónicos mediante la medición de las concentraciones en tejido y/o sedimentos y estudiar respuestas a diferentes niveles de organización biológica en comparación con sitios de referencia. De este modo, mediante diferentes herramientas de análisis se pretende contribuir al conocimiento de la biología de invertebrados estuarinos en conjunto con la aplicación de esta información a la evaluación ambiental de los estuarios del centro sur de Chile.

Se evaluaron respuestas bioquímicas antioxidantes y de estrés oxidativo en la especie *Perinereis gualpensis* en estuarios con diferente presión antropogénica, indicando la efectividad de Glutathion S-transferasa (GST), Glutathion reducida (GSH), Glutamato Cisteína Ligasa (GCL) y Capacidad Antioxidante Total (ACAP) como eventuales respuestas indicadoras de cambio. Además se estableció la importancia del uso de variables alométricas de peso/talla a la hora de comparar diferentes sitios mediante este tipo de respuestas. Por lo tanto, se recomienda comparar individuos con tamaño/peso similar, o bien la estandarización de estas respuestas cuando no se dispone de individuos de similar tamaño.

La comparación de los niveles de Hg y PAHs en sedimentos de Lengua y Tubul-Raqui se evaluó en zonas de condiciones físico-química de agua y sedimentos similares. La evaluación de estos contaminantes mostró importantes diferencias de los niveles encontrados en Lengua con respecto a los otros estuarios. Los mayores niveles de Hg en sedimentos se relacionaron con la cercanía a la fuente de emisión, a diferencia de los PAHs que estuvieron mayormente relacionados a las características de adsorción del sedimento (% carbono orgánico). La comparación con guías de calidad de sedimento evidenciaron el riesgo toxicológico de los niveles de Hg en sedimento a diferencia de los niveles de PAHs, que si bien mostraron un aumento con respecto a estudios anteriores representarían un menor riesgo de acuerdo a los valores de referencia existente. De este modo se establece al Hg como un contaminante modelo para catalogar al estuario de Lengua como sitio contaminado y determinar posibles relaciones causa efecto con las respuestas encontradas en invertebrados.

El estudio de diferencias interespecíficas de acumulación de Hg en 4 especies de invertebrados bentónicos considerando variaciones estacionales (invierno-verano) mostró que la proporción de Hg orgánico respecto al Hg total en conjunto con la diferenciada señal isotópica de [¹³C] indica diferencias en las fuentes de incorporación de carbono entre las especies de invertebrados en estudio. Se destacaron los niveles de Hg orgánico (>%Hg orgánico) en quelas de *Hemigrapsus crenulatus* y las respuestas sitio-específicas de *Perinereis gualpensis* al gradiente de concentración de Hg en el sedimento de Lengua. Debido a estas características, en conjunto con la mayor distribución dentro del estuario de estas a diferencia de *Neotrypaea uncinata* y *Elminius kingii*, de distribución más limitada, se evaluaron respuestas a diferentes niveles de organización biológica en *H.crenulatus* y *P. gualpensis* en sitios previamente caracterizados.

La sensibilidad de respuestas bioquímicas como GST, ACAP y Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS) como método para evidenciar peroxidación lipídica en *H. crenulatus* de un estuario multicontaminado como Lengua se reflejó principalmente en el hepatopáncreas de machos durante el verano. Asimismo, la determinación de índices cefalotórax/hepatopáncreas (CHI) en cangrejos estuarinos permitió evidenciar de una forma rápida el estatus fisiológico del individuo. La comparación de individuos de diferentes zonas estuarinas con CHI similares, permitió determinar de mejor forma respuestas bioquímicas asociadas a la condición contaminada, disminuyendo factores de confusión. A diferencia de *H. crenulatus*, el poliqueto *P. gualpensis* (principalmente la zona posterior del cuerpo) mostró respuestas más consistentes y estables durante el tiempo en relación a la condición contaminada de los sedimentos, validando el uso de la mayoría respuestas antioxidantes y de estrés oxidativo en conjunto con respuestas relacionadas al estrés osmótico como Na⁺, K⁺-ATPasas (NKA) como biomarcadores de exposición a contaminantes. Asimismo, el costo asociado a la tolerancia a contaminantes fue evidenciada en los índices reproductivos (proporción ovocitaria) y poblacionales (frecuencia de tallas mediante L3) en *P.gualpensis*, en donde se estableció una menor densidad poblacional, periodos de reclutamiento reducidos a ciertos periodos y una menor proporción de ovocitaria durante el año. A diferencia de las zonas contaminadas, en el estuario Tubul-Raqui, es posible observar densidades sobre los 3000 ind/m², periodos de reclutamiento y proporción ovocitaria constante durante casi todo el año.

Los experimentos de traslocación y enjaulamiento realizado con individuos de *P. gualpensis* para validar respuestas bioquímicas (GST, GSH, ACAP y TBARS) en conjunto con la capacidad de enterramiento de los individuos como respuestas de comportamiento y de importancia en los ciclos biogeoquímicos. En este sentido se validó la actividad GST como un biomarcador de exposición

adecuado; la determinación de 7 días exposición como periodo de aclimatación; y la incorporación de la frecuencia de enterramiento de individuos en los diferentes estratos de sedimento como una herramienta promisorio a la hora de determinar efectos de mayor relevancia ecológica. Asimismo, se evidenció la capacidad de utilizar a *P. gualpensis* como especie adecuada para realizar bioensayos en condiciones controladas de laboratorio mediante el uso de respuestas subletales a nivel suborgánsmico frente a la exposición de contaminantes emergentes como nanopartículas de carbono (C₆₀).

Los resultados indicaron que *P. gualpensis* es un biomonitor efectivo para el estudio de la bioacumulación y de efectos de contaminantes en sedimentos estuarinos impactados a diferente nivel de organización biológica y frente a diferentes condiciones de ensayo. Estos resultados permiten recomendar a *P. gualpensis* y a las respuestas como GST, ACAP, TBARS, NKA, proporción ovocitaria y frecuencia de tallas mediante L3, como herramientas efectivas para la evaluación ambiental de los ecosistemas estuarinos y posterior toma de decisiones por parte de la autoridades competentes.

Palabras Clave: Estuarios, Chile, Mercurio, Invertebrados, Isotopos, PAHs, Biomarcadores, *Perinereis gualpensis*.

