

ANÁLISIS DE LA FORMA DE LA CONCHA DE *Anadara tuberculosa* COMO INDICADOR DE CONTAMINACIÓN EN MANGLARES

Sánchez Aldás Ana¹, Rodríguez-Grimón René^{1*}, Moreno Juan², Chollet-Villalpando Jorge Guillermo^{3,4}

¹Universidad Espíritu Santo – Ecuador, Km. 2,5 Vía Puntilla-Samborondón, Guayas, Ecuador. ²Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, Guayas, Ecuador. ³Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), beca Postdoctoral. ⁴Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Departamento de Pesquerías y Biología Marina, Colección Ictiológica, Avenida Instituto Politécnico Nacional s/n, Colonia Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, México, 23096. *Autor de correspondencia: rodriguez@uees.edu.ec

RESUMEN. Los manglares son ecosistemas altamente productivos y esenciales para numerosas especies. Sin embargo, han sufrido importantes pérdidas debido a la ocupación de espacios con fines industriales, tales como la acuicultura y agricultura. El objetivo fue determinar si la variación en la forma de la concha de *Anadara tuberculosa* está relacionada con la concentración de Cd y Pb en el tejido blando. Se recolectaron ejemplares en tres localidades de manglar del Ecuador continental. La localidad Esmeraldas se utilizó como sitio control debido a su bajo índice de contaminación en contraste con los sitios Guayas y El Oro, dos provincias con antecedentes de contaminación por metales pesados. Utilizamos coordenadas cartesianas y métodos de morfometría geométrica para analizar la variación y variabilidad de la forma de la valva derecha de *A. tuberculosa*. El análisis de variables canónicas indicó diferencias significativas entre las tres localidades, con la máxima variación de la forma ubicada en la porción derecha de la concha. Las concentraciones de Cd y Pb en tejido no superaron el límite máximo permitido, sin embargo, Guayas registró la mayor concentración de Cd, acercándose al límite. En términos de variabilidad Esmeraldas presentó el mayor valor de disparidad morfológica. Sin embargo, las comparaciones pareadas de los valores de disparidad del sitio control con respecto a las localidades con altos índices de Cd no fueron significativas. Esmeraldas mostró la forma más disímilbol en términos de disparidad parcial. Estos resultados indican la posibilidad de que la concentración de metales pesados produzca variación en la forma de la valva de *A. tuberculosa* que es útil para distinguir entre los sitios de estudio. Los resultados enfatizan la necesidad de vigilar los niveles de Cd en las poblaciones de *A. tuberculosa* en las provincias de Guayas y El Oro con el propósito de conservar el ecosistema de manglar.

Palabras clave: bioindicador, bivalvos, metales pesados, morfometría geométrica

Shell shape analysis of *Anadara tuberculosa* as a pollution indicator in mangroves

ABSTRACT. Mangroves are highly productive and essential ecosystems for several species. However, they have suffered significant losses due to the allocation of areas for industrial purposes, such as aquaculture and agriculture. The aim of this study was to determine if the variation in the shell shape of *Anadara tuberculosa* is related to the concentration of Cd and Pb in the soft tissue. Specimens were collected from three mangrove locations in mainland Ecuador. The Esmeraldas locality was used as a control site due to its low pollution index compared to the Guayas and El Oro sites, two provinces with a history of heavy metal contamination. Cartesian coordinates and geometric morphometrics methods were used to analyze the variation and variability of the shape of the right valve of *A. tuberculosa*. Canonical variates analysis indicated significant differences among the three locations, with the maximum shape variation located in the right portion of the shell. The concentrations of Cd and Pb in the tissue did not exceed the maximum allowable limit, although Guayas recorded the highest Cd concentration, approaching the limit. In terms of variability, Esmeraldas showed the highest value of morphological disparity. However, paired comparisons of disparity values between the control site and the locations with high Cd levels were not significant. Esmeraldas exhibited the most dissimilar shape in terms of partial disparity. These results suggest that heavy metal concentration leads to variation in the shape of the valve of *A. tuberculosa*, which is useful for distinguishing between study sites. The findings emphasize the need to monitor Cd levels in *A. tuberculosa* populations in the Guayas and El Oro provinces in order to conserve the mangrove ecosystem.

Keywords: bioindicator, bivalves, geometric morphometrics, heavy metals.

Sánchez Aldás A., Rodríguez-Grimón R., Moreno J., Chollet-Villalpando J. G. (2023). Análisis de la forma de la concha de *Anadara tuberculosa* como indicador de contaminación en manglares. *CICIMAR Oceanides*, 38(2): 7-18.

INTRODUCCIÓN

Dentro del ambiente marino costero, las zonas de manglar son ecosistemas altamente productivos que brindan servicios ecosistémicos esenciales para la supervivencia de numerosas especies de plantas y animales a nivel mundial (Carvajal-Oses *et al.*, 2019). En Ecuador, los manglares se encuentran a lo largo de la costa de las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, El Oro y en las islas Galápagos (FAO, 2022). Estos manglares se desarrollan en áreas costeras y ribereñas, terrenos llanos y bajos que son altamente

valorados por los seres humanos debido a su versatilidad de uso. Sin embargo, lamentablemente, han sufrido pérdidas debido a la sobreexplotación de sus recursos. Un análisis mundial exhaustivo que utiliza más de un millón de imágenes satelitales ha mapeado las causas de la pérdida de manglares desde el año 2000, revelando que más del 60% de las pérdidas se deben principalmente a impactos humanos directos e indirectos. La principal causa es la conversión de áreas de manglares para la producción industrial, principalmente debido a la expansión de la acuicul-

Fecha de recepción: 19 de agosto de 2023

Fecha de aceptación: 07 de noviembre de 2023



tura y la agricultura (Spalding & Leal, 2021). En la actualidad, la introducción de contaminantes ha generado preocupación en la comunidad científica debido a su impacto en la composición, estructura y función de los manglares, afectando tanto a las poblaciones de especies que dependen de este ecosistema como a las poblaciones humanas (Pradit *et al.*, 2016; Pernía *et al.*, 2019; Temino-Boes *et al.*, 2019; Meera *et al.*, 2022).

Estudios recientes en la costa ecuatoriana reportaron la presencia de contaminantes en ríos y esteros como consecuencia de los efluentes líquidos no tratados procedentes de las diversas actividades económicas (Moscoso-Cercado, 2021; Lozano-Pérez & Mora-Solórzano, 2021; Rodríguez-Grimón *et al.*, 2021). Dentro de estos, destaca la presencia de cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) en agua y sedimentos del estero de Soledad Grande, ubicado en la reserva ecológica manglares Churute y en la zona pesquera de Balao, dentro del Golfo de Guayaquil, provincia de Guayas (Beltrán-Meléndez & Gálvez-Rodríguez, 2022). Aunado a lo anterior algunos autores han reportado la presencia de metales pesados en el tejido blando de *A. tuberculosa* (Lozano-Pérez & Mora-Solórzano, 2021). La acumulación de metales pesados provoca un deterioro en el nivel trófico en los ecosistemas, lo que resulta en la pérdida de diversidad. Por esta razón *A. tuberculosa* se considera indicador clave de las características ecológicas de los ecosistemas acuáticos debido a sus propiedades de bioacumulación (Pernía *et al.*, 2019).

La evaluación de la calidad ambiental mediante el estudio de las características morfológicas en moluscos ha sido un elemento de importancia para la gestión y conservación de los ecosistemas marinos. Se ha documentado la relación entre la variación de la forma de la concha de moluscos bivalvos con la presencia de metales para *Perna viridis*, *Patinopecten yessoensis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Macoma balthica*, *Crassostrea gigas*, *Brachidontes rodriguezii* y *Ameghinomya antiqua*. Los principales cambios morfológicos se ven reflejados en una disminución del grosor de la valva, la presencia de malformaciones en la concha, disminución de la tasa de crecimiento y peso del organismo (Almeida *et al.*, 1998; Belcheva *et al.*, 2006; Smolarz & Bradtke, 2011; Scalici *et al.*, 2017; Riani *et al.*, 2018; Arrighetti *et al.*, 2019; Harayashiki *et al.*, 2020). Otros estudios han demostrado que la composición química y la estructura de la concha de los moluscos reflejan la calidad del agua circundante (Sabatini, 2014; Krupnova *et al.*, 2018; Gouveia *et al.*, 2022). Además, diversos autores han informado la relación entre la forma de la concha y los cambios en las condiciones ambientales, como la temperatura, el pH del agua, la presencia de contaminantes y la interacción con otros organismos del hábitat (Primost *et al.*, 2015; Proćków *et al.*, 2022).

La “concha prieta” *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) es un molusco bivalvo propio del

ecosistema de manglar asociado a las raíces de *Rhizophora spp.* (Keen, 1971). En la costa del Océano Pacífico, se distribuye desde Baja California (México) hasta Tumbes (Perú) (Alamo & Valdivieso, 1997). Esta especie vive enterrada y muy rara vez semienterrada o expuesta en fondos fangosos de la zona intermareal (Squires *et al.*, 1975). Algunas especies del género *Anadara* alcanzan densidades que sustentan la pesca para el consumo en los mercados locales e internacionales, ocupando una posición de relevancia en los volúmenes de captura de bivalvos a nivel mundial (FAO, 2022). El recurso de la concha prieta ha sido fundamental para la pesca artesanal (Mora *et al.*, 2012), donde participan grupos familiares, siendo las mujeres las principales encargadas de la recolecta en la Reserva Ecológica Manglares Cayapas-Mataje (REMACAM) (Beitl & Gaibor, 2018). Esta actividad pesquera genera empleo e ingresos económicos que benefician a aproximadamente 25,000 personas entre usuarios directos e indirectos. Según informes técnicos del Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca de Ecuador (IPIAP), se registraron desembarques estimados de 45 millones de conchas en todo el país durante el 2021. La cantidad promedio de conchas recolectadas por cada pescador osciló entre 122 y 170 en los diferentes puertos. Las tallas comerciales promedio oscilan entre 44 mm y 49 mm de longitud total (IPIAP, 2021).

El presente estudio tiene como propósito determinar la utilidad de la especie *Anadara tuberculosa* como modelo bioindicador del nivel de contaminación en zonas de manglar. Llevamos a cabo el análisis de la variación de la forma de la valva derecha mediante una colección de coordenadas cartesianas y métodos de morfometría geométrica. Proporcionamos un procedimiento metodológico que permite obtener la información morfométrica de la forma de la valva de *A. tuberculosa* en 2D. El objetivo principal consistió en estudiar la variación y variabilidad de la forma del contorno de la valva de *A. tuberculosa* en relación con la concentración de metales pesados (Cd y Pb) en tejido blando de tres localidades con actividades antropogénicas contrastantes. Se examinaron los cambios en forma comparando una zona de manglar considerada con poca o nula contaminación (sitio blanco) “Esmeraldas”, con dos localidades con antecedentes de contaminación por la presencia de metales pesados “Guayas y El oro”.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestreo de especímenes

El estudio se realizó con ejemplares de *A. tuberculosa* provenientes de tres provincias costeras del Ecuador continental con importancia en la recolecta artesanal. Las zonas de muestreo incluyeron la provincia de Esmeraldas, ubicada al norte del Ecuador y cerca de la REMACAM, así como las provincias de Guayas y El Oro, ubicadas en el Golfo de Guayaquil (Fig. 1). La localidad de San Lorenzo en Esmeraldas (n= 44) se seleccionó como referencia o sitio control

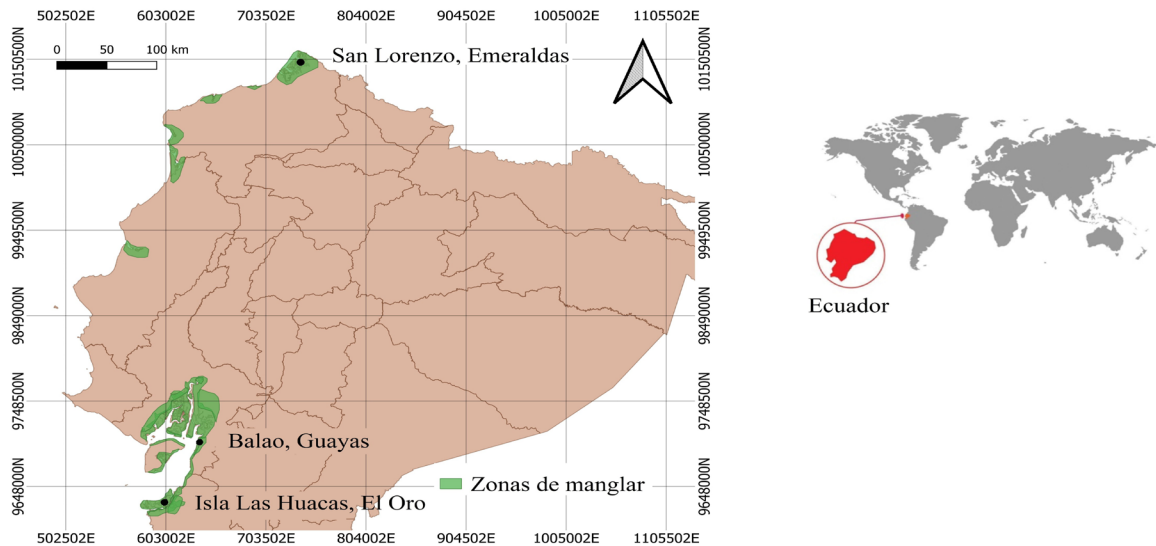


Figura 1. Localidades de colecta de *A. tuberculosa*. El área delimitada en color verde representa las zonas de manglar correspondientes a las provincias de Esmeraldas, Guayas y El Oro de Ecuador.

debido a que presenta un bajo grado de contaminación y una alta biodiversidad. Este sitio es de gran importancia comercial, ya que representa aproximadamente el 60 % del total del recurso recolectado a nivel nacional (Mora *et al.*, 2012). En la localidad de Balao en la provincia Guayas ($n=45$), se seleccionaron individuos de una zona industrial afectada principalmente por cultivos de banano, cacao y actividades acuícolas. En contraparte, Isla Las Huacas en El Oro ($n=41$) es una zona de recolección ubicada en la frontera sur con Perú que se caracteriza por múltiples entradas de mar, donde la actividad económica se basa en la recolección de conchas de *A. tuberculosa* y *A. similis* (Tapia & Moreno, 2019). En comparación con la provincia Guayas, la zona de recolección El Oro presenta un menor grado de intervención antrópica. Los ejemplares de *A. tuberculosa* fueron recolectados por pescadores artesanales durante junio de 2022, considerando la talla mínima permitida de 45 mm de longitud total según el acuerdo No.170 del 24 de octubre de 2001 (MAGAP & Concepto Azul, 2015).

Digitalización de especímenes

Una vez recolectadas las muestras, se procedió a limpiarlas para su digitalización. Se capturó una imagen de la valva derecha de cada espécimen utilizando una cámara acoplada a un soporte universal (iPhone XR, con resolución de 1792 x 828 píxeles a 326 ppi) y montada sobre una base que incluía una escala métrica en milímetros. Se estandarizó la posición de la valva, de manera que la cara interna quedara paralela al plano del lente de la cámara, con ayuda de un nivel de burbuja y plastilina para estabilizar la posición de las conchas. Las imágenes resultantes de cada ejemplar se utilizaron para obtener los datos geométricos de la forma de las valvas. La forma de la valva de ambos sexos fue estudiada en conjunto para cada localidad

debido a que no se ha reportado dimorfismo sexual en la especie estudiada.

Definición de marcas y semi-marcas

La variación del contorno de la valva derecha se registró con una configuración de 16 coordenadas cartesianas bidimensionales de una combinación de 2 marcas y 14 semi-marcas, más dos puntos que registraban las coordenadas de la escala en cada imagen (1 cm) utilizando el programa tpsDig 2.30 (Rohlf, 2017). El diseño de este protocolo consistió en la identificación de puntos anatómicos de acuerdo con Zelditch *et al.* (2012), siendo estos los extremos de la charnela (Fig. 2; puntos 1 y 16). Adicionalmente, la forma del contorno interno de la valva se registró usando una curva abierta. Se ubicaron 14 semi-marcas definidas a partir de la intersección entre los radios y el borde de la valva usando un círculo de 30 líneas, entre los puntos 1 y 16 (Fig. 2; puntos 2-15). Los círculos fueron trazados en todas las imágenes previo a la digitalización de los puntos correspondientes en los especímenes utilizando el programa MakeFan8 (Sheets, 2014a).

Superposición y alineamiento

Se llevó a cabo la superposición mediante el método de Procrustes Generalizado (GPA) utilizando el promedio de la forma de todos los especímenes como referencia en el programa CoordGen8 (Sheets, 2014b). Este procedimiento removió las diferencias producidas por el tamaño, la posición y orientación entre las configuraciones de los 130 especímenes (Rohlf & Slice, 1990). Posteriormente se alinearon las semi-marcas considerándolas como puntos deslizantes a lo largo de la curva para todos los especímenes, utilizando el criterio de distancia mínima en el programa SemiLand8 (Sheets, 2014c).

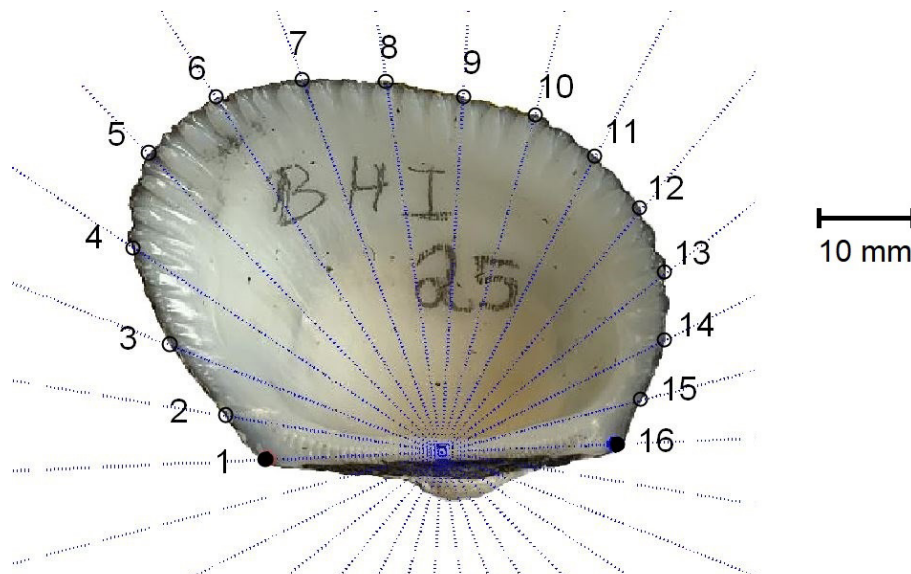


Figura 2. Protocolo de marcas (1 y 16: puntos negros rellenos) y semi-marcas (2-15: puntos negros vacíos) diseñado para capturar la forma de la valva derecha de *A. tuberculosa*, recolectada en las tres localidades de estudio.

Concentración de Cadmio y Plomo en tejido

La determinación de la concentración de metales pesados en las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis Químico y Microbiológico de alimentos (LAQM), perteneciente a la Subsecretaría de Calidad e Inocuidad del Ministerio de Acuicultura y Pesca de Ecuador. En primera instancia, se separaron los tejidos blandos de las conchas y a continuación se seleccionaron aleatoriamente cinco ejemplares por cada localidad para realizar un pool con sus tejidos. Estos tejidos fueron digeridos con ácido nítrico a una temperatura de 270°C, para posteriormente darles volumen con agua ultra pura. El análisis de los pools digeridos se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica por horno de grafito, con un porcentaje de recuperación del 96% para el Pb y del 98% para el Cd. Para este procedimiento se utilizó la metodología 999.10 establecida por AOAC Internacional (2019).

Evaluación de alometría en la forma

Para comparar el tamaño geométrico de la concha entre las localidades, se empleó el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis y la prueba de contrastes pareados de la suma de rangos de Wilcoxon, utilizando el programa "R" a través de la interfaz RWizard (Guisande *et al.*, 2013). Se analizó si la variación en la forma es alométrica, es decir, si el tamaño de la concha es un predictor lineal de la forma para las tres localidades en conjunto. Seguimos la ecuación descrita por Zelditch *et al.* (2012), a partir de la cual se consideró la forma de la valva como la variable dependiente (Y) y el logaritmo de los valores del tamaño del centroide como la variable independiente (X). Bajo este esquema, evaluamos la hipótesis nula de que no existe relación entre el tamaño y la forma de la valva. Usamos las coordenadas Procrustes su-

perpuestas y alineadas para calcular los "partial warp scores", tomando como referencia los tres ejemplares más pequeños en el programa Regress8 (Sheets, 2014d). Utilizamos permutaciones "Bootstrap" de hasta 2500 réplicas para estimar la significancia de los parámetros de regresión. Derivado de este análisis consideramos el valor de la pendiente de regresión (m) y el porcentaje de varianza explicada como los estimadores que determinaron la relación entre la variación de la forma de la valva y los valores de tamaño del centroide transformado a logaritmo.

Variación de la forma

La variación en la forma de la valva se analizó utilizando las coordenadas superpuestas y alineadas derivadas del GPA. En primer lugar, realizamos un Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando los "partial warp scores" para inspeccionar la varianza de forma generalizada entre los especímenes en el programa PCAGen8 (Sheets, 2014e). Utilizamos los resultados del ACP para reducir el número de variables a incluir en el análisis de variables canónicas (AVC), utilizando el software CVA Gen8 (Sheets, 2014f). La significancia de las puntuaciones del AVC se basó en los valores de lambda de Wilk's (λ), utilizando la prueba de Bartlett, cuyo estadístico de prueba tiene una distribución Chi^2 (Zelditch *et al.*, 2012). Se visualizaron los cambios en forma comparando el promedio de la forma de la valva de la "zona blanco" (Esmeraldas) vs las localidades de El Oro y Guayas (considerados aquí como sitios de mayor intervención antrópica) utilizando gradillas y vectores de deformación en los puntos de referencia. Para probar el porcentaje de clasificación posterior correcta y el rendimiento del CVA, realizamos un "jackknife" de hasta 2500 réplicas, utilizando el 10% como incógnitas y probando un total de 5200 muestras al azar.

Disparidad morfológica con relación a la concentración de metales

Para evaluar cómo la concentración de metales pesados (i.e., Cd y Pb) acumulada en el tejido blando influyó en la variabilidad morfológica de la concha, calculamos el valor de disparidad para la localidad “Esmeraldas” (sitio blanco) y comparamos este valor con los valores de disparidad de las localidades con antecedentes de contaminación por metales pesados “Guayas y El Oro”. En esta comparación estimamos el volumen del morfoespacio ocupado por todos los especímenes de una localidad. Exploramos los valores de disparidad morfológica (DM) usando las coordenadas superpuestas (GPA) y habilitando la función “Find Grand Consensus Mean (Specimens)” para cada localidad. De esta manera calculamos el valor de DM cargando los archivos de cada localidad por separado y usando la opción “1-Group analysis > Bootstrap Disparity within Group” en DisparityBox8 (Sheets, 2014g).

Estimamos también la disparidad parcial (DP) mediante la contribución de cada localidad a la disparidad Total (DT) y como una medida del grado de “distinción fenotípica” relativa al centroide general. Teóricamente, el grupo más alejado sería el más disímulo o diferente y por lo tanto contribuiría más a la disparidad total. Esta contribución se calculó habilitando el comando “Find Gran Consensus Mean (Groups)”. De igual manera que la anterior se cargaron los archivos con las coordenadas superpuestas y alienadas para los especímenes de cada localidad por separado, usando la opción “Multi-Group analysis > Bootstrap Geometric Disparity (MD, PD)” para estimar los valores de disparidad y los errores estándar a partir de 2500 réplicas.

Llevamos a cabo comparaciones pareadas de los valores de disparidad (DM) para las tres localidades de estudio usando la opción “Multi-Group Analysis > Bootstrap Pairwise Difference in Disparity” con hasta 2500 réplicas. Si el intervalo de confianza del 95% excluía el “cero”, las diferencias se consideraron estadísticamente significativas (Zelditch *et al.*, 2012).

RESULTADOS

Concentración de Cadmio y Plomo en tejido

En ninguna de las poblaciones se superaron los límites máximos permisibles establecidos de Cd y Pb en el tejido de *A. tuberculosa*. Los valores obtenidos para la concentración de Pb fueron mínimos en las tres localidades de estudio. Por otra parte, la máxima concentración de Cd se observó en el tejido de los organismos recolectados en Guayas, que alcanzó el 76% del nivel máximo permitido para el consumo humano, seguido de El Oro con 64%. Para la localidad control Esmeraldas se registraron las concentraciones más bajas de Cd en tejido, con un valor de 0.55 mg/kg (Tabla 1).

Tabla 1. Concentraciones de Pb y Cd en tejido de *A. tuberculosa*, recolectada en zonas de manglar de tres provincias costeras de Ecuador.

Localidades	Concentración (mg/kg)	
	Plomo LMP: 1.50	Cadmio LMP: 1.00
Esmeraldas	0.03	0.55
Guayas	0.06	0.76
El Oro	0.02	0.64

LMP: Límite Máximo Permissible según Reglamento de la Comunidad Europea N°1881/2006 (UE, 2006).

Evaluación de alometría en la forma

Los especímenes recolectados en la localidad de Guayas presentaron el mayor tamaño, con valores promedio y desviación estándar de 128.6 ± 5.6 (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 45.84$, $gl = 2$, $p < 0.001$). A pesar de la amplia variación observada en el tamaño entre los especímenes de las tres zonas de estudio, no se obtuvo una dependencia de la variación de la forma con respecto al tamaño de los especímenes. La relación entre la forma y el tamaño de la concha está representada por la fórmula: $Y = 0.036x - 0.145$, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.16$ y un porcentaje de varianza de la forma explicada por el tamaño de 11.40%. Los valores mínimos y máximos de la pendiente de regresión (m) oscilan entre 0.036 para El Oro y 0.088 para Esmeraldas. El porcentaje de variación de la forma explicada por el tamaño es del orden de 1.65% y el 19.03% como los mínimos y máximos para las localidades de Guayas y El Oro, respectivamente.

Variación de la forma

La variación de la forma de la concha presentó un patrón de dispersión que acumuló el 99% de la varianza en los primeros 12 componentes del PCA. El primer componente explicó el 45%, 20% se asoció al segundo componente y 14% al tercero. Se encontraron diferencias significativas entre los valores promedio de la forma de las tres localidades determinadas como grupos a priori. Se obtuvieron 2 ejes canónicos significativos (CV) derivados del análisis multivariado de varianza (MANOVA) realizado con los primeros 12 ejes del PCA (Fig. 3; CV1: $\Lambda = 0.344$, $\chi^2 = 134.405$, $g.l. = 6$, $P < 0.001$; CV2: $\Lambda = 0.8599$, $\chi^2 = 19.021$, $g.l. = 2$, $p < 0.001$). Los resultados mostraron una proporción considerable de los especímenes de cada localidad asignados correctamente a su grupo asignado a priori con base en las distancias Procrustes. La clasificación posterior de los especímenes a partir de las puntuaciones del CVA fue del 72% asignadas correctamente y significativa, y 1% correcta y no significativa.

La mayor contribución de las diferencias en la forma de la valva de *A. tuberculosa* entre las tres localidades se observó a lo largo del CV1 (Fig. 3). La visualización del grado de distinción morfológica interpretado a partir de las gradillas y vectores de deformación muestra dos regiones de mayor cambio para el contorno de la valva, la región ventral y la porción

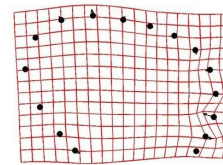
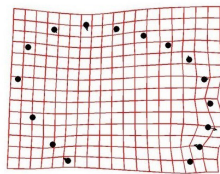
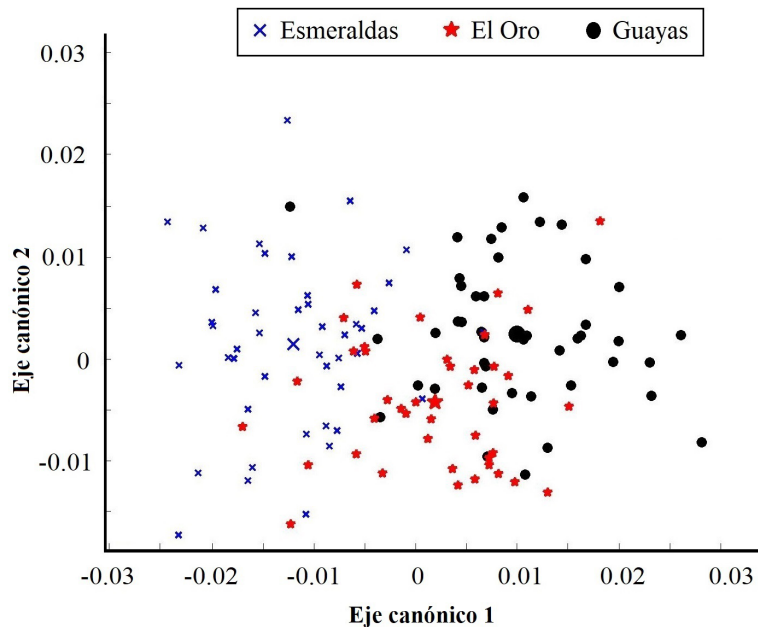


Figura 3. Variación de la forma de la concha de *A. tuberculosa* en tres zonas de manglar del Ecuador continental. El diagrama de dispersión muestra las puntuaciones correspondientes a los ejes canónicos 1 y 2. Los símbolos (equis, estrella y círculo) ampliados en el diagrama representan las formas promedio para cada zona. Las gradillas de deformación ilustran los cambios de forma entre las máximas puntuaciones positivas (derecha) y negativas (izquierda) en el primer eje canónico.

lateral derecha. Este resultado permite describir visualmente a los promedios de forma más distintos, en el que las conchas de Esmeraldas presentaron formas más ovaladas longitudinalmente y menos redondas por la zona ventral que las recolectadas en Guayas. Finalmente, la comparación entre Esmeraldas y El Oro expresó el mismo patrón, pero en menor grado (Fig. 4).

Disparidad morfológica con relación a la concentración de metales

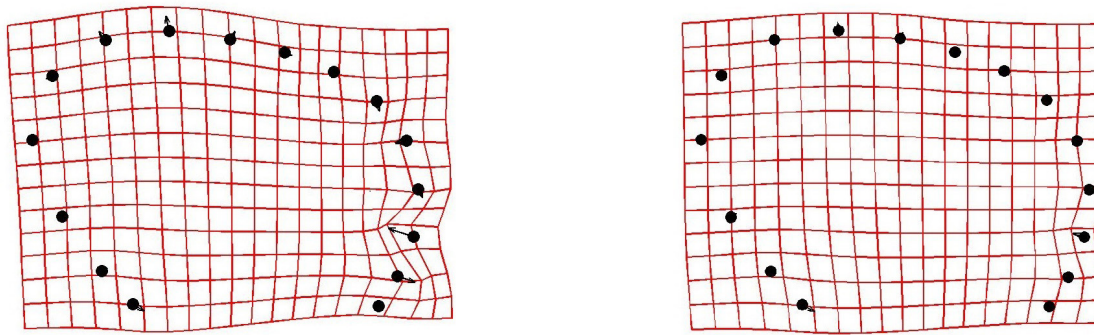
El análisis de disparidad mostró el menor valor de DM para la localidad que obtuvo la mayor concentración de Cd (Guayas = 0.00048), y el mayor para la localidad con menor concentración de metales (Esmeraldas = 0.00059). La comparación del volumen de morfoespacio ocupado por las localidades que presentaron la mayor concentración de metales (Guayas y El Oro) con respecto a Esmeraldas, reveló que no existen diferencias significativas en sus valores de disparidad. Por otra parte, el análisis de disparidad parcial (DP) por localidad, indicó el mayor valor para la localidad de Esmeraldas, seguido de las localidades Guayas y El Oro (Tabla 2). El análisis de disparidad total (DT) mostró un valor de 0.00048, con un error estándar de 0.00005, e intervalo de confianza del 95%

que osciló de 0.00042 a 0.00058. Con base en estos resultados, podemos determinar que la localidad de Esmeraldas presenta la forma más diferente de las tres localidades estudiadas.

DISCUSIÓN

Concentración de Cadmio y Plomo en tejido

Diversas actividades antropogénicas, como la minería, la agricultura y la urbanización, pueden liberar metales que son transportados por el agua y el aire, y posteriormente depositados en los lodos de manglar (Acosta & Lodeiros, 2004; Carrasco-Peña & Webster-Coello, 2016). Asimismo, la erosión del suelo y la deforestación pueden exponer sedimentos subyacentes que contienen metales pesados, lo que puede aumentar su presencia en los lodos de manglar y posteriormente, provocar su bioacumulación y toxicidad para las formas de vida que lo habitan (Kulkarni *et al.*, 2018). En términos de cumplimiento de los límites máximos permisibles para los metales pesados Cd y Pb en el tejido de *A. tuberculosa*, nuestros resultados son alentadores, ya que no se superan dichos límites en ninguna de las tres localidades de estudio. Esto indica que las poblaciones del bivalvo están expuestas a niveles aceptables de concentración de estos



A

B

Figura 4. Gradillas de deformación de la variación de la forma promedio de la concha de *A. tuberculosa* entre las zonas de estudio. A: Cambio de forma entre Esmeraldas (puntos) y Guayas (vectores de deformación). B: Cambio de forma entre Esmeraldas (puntos) y El Oro (vectores de deformación).

metales, y no representa una preocupación significativa en términos de salud humana y ambiental en estas áreas (UE, 2006). Sin embargo, es importante destacar que la concentración de metales en el tejido de los organismos recolectados en Guayas concuerda con estudios anteriores que han reportado niveles apreciables de Cd en esa zona, donde la especie acumuló en promedio 0.87-0.98 mg/kg de Cd y 0.10-0.41 mg/kg de Pb (Lozano-Pérez & Mora-Solórzano, 2021). En el mismo sentido, los organismos recolectados en El Oro también presentan concentraciones no despreciables de Cd en el tejido, llegando al 64% del límite máximo permitido, lo cual concuerda con reportes anteriores (Carrasco-Peña & Webster-Coello, 2016). Estos resultados indican una mayor contaminación por Cd en las zonas de Guayas y El Oro en comparación con Esmeraldas, nuestro sitio control, donde se han registrado consistentemente las concentraciones más bajas de Cd en tejido (Cedeño-Valdez & Zambrano-Demera, 2017).

Evaluación de alometría en la forma

Se observaron diferencias significativas en el tamaño de los especímenes recolectados en las tres localidades de estudio, lo cual sugiere la influencia de factores ambientales y ecológicos específicos de cada zona, como la disponibilidad de alimento, las condiciones del hábitat (Gaspar *et al.*, 2002), y la presión de pesca del recurso (Moura *et al.*, 2013). A pesar de la variación observada en el tamaño de los especímenes entre las localidades, no se encontró una dependencia de la forma de la concha y el tamaño de los especímenes. Los resultados de crecimiento isométrico dentro del rango de tamaño estudiado, sugieren la influencia de otros factores en la determinación de la forma de

la concha en *A. tuberculosa*. Tanto la isometría como la alometría en el crecimiento de especies de bivalvos recolectados en el medio natural son un rasgo reportado con anterioridad por diferentes investigaciones poblacionales (Franz, 1993; Gaspar *et al.*, 2002; Petetta *et al.*, 2019).

Variación de la de forma

La variación morfológica observada podría explicarse por la adaptación a las condiciones ambientales particulares de cada localidad. Por ejemplo, las diferencias en la disponibilidad de recursos alimenticios, la calidad del agua, la temperatura y la presión selectiva podrían influir en la forma, el espesor y el tamaño de las conchas de los moluscos (Gouveia *et al.*, 2022; Gaspar *et al.*, 2002; Rico, 2017; Harayashiki *et al.*, 2020). La exposición a metales pesados en el agua, como el plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg), puede afectar la capacidad de los moluscos para construir y mantener sus conchas. Estos metales inhiben la actividad de las células responsables de producir la concha a partir de carbonato de calcio, lo que puede resultar en conchas más delgadas, frágiles o deformadas (Acosta *et al.*, 2013). Además, procesos evolutivos como la deriva genética y la selección natural podrían estar contribuyendo a la divergencia morfológica observada en diferentes poblaciones como mecanismo de plasticidad fenotípica (Morán *et al.*, 2018). Los resultados encontrados coinciden y son consistentes con estudios previos que han analizado la variación morfológica en conchas de bivalvos. Por ejemplo, en el mejillón marrón *Perna perna* se ha observado una mayor variación en el contorno de la región ventral al comparar especímenes de cuatro localidades costeras del norte del estado Sucre, Venezuela

Tabla 2. Valores de disparidad morfológica (DM), disparidad parcial (DP) de la concha de *A. tuberculosa* para las tres localidades de estudio, mediante 2500 intentos de remuestreo o "bootstrap".

Localidad	N	DM	DP	EE	ΔD	IC (95 %)
Esmeraldas	44	0.00059	0.00026	0.00013	-	-
Guayas	45	0.00048	0.00019	0.00010	0.00011	-0.00004 a 0.00026
El Oro	41	0.00050	0.00002	0.00012	0.00009	-0.00006 a 0.00024

(González, 2012). Además, se han reportado cambios en la forma de la concha en relación con diferentes localidades y condiciones ambientales en géneros de bivalvos como *Mytilus* y *Crassostrea* (Valladares *et al.*, 2010; Moschino *et al.*, 2015; Kasmini *et al.*, 2018; Aydin *et al.*, 2021).

Es importante señalar que pueden existir variables ambientales omitidas que podrían influir en la variación en la forma, como la concentración de otros metales pesados, la materia orgánica y el pH en los sedimentos, la temperatura, la salinidad y la dureza del agua, tal como se ha reportado en estudios previos (Jordaens *et al.*, 2006; Nava & Severeyn, 2013; Pri-most *et al.*, 2021). Por lo tanto, se sugiere que en futuros estudios se incluyan estas variables para obtener una comprensión más completa de la relación entre la acumulación de metales pesados en los tejidos de *A. tuberculosa* y los cambios en la forma de la valva. Los resultados obtenidos respaldan la idea de que factores ambientales y geográficos pueden influir en la forma de las conchas de los bivalvos, reflejando adaptaciones a las condiciones locales y a los diferentes nichos ecológicos. Sin embargo, es importante destacar que cada especie y localidad puede tener características únicas, y se requieren más investigaciones para comprender completamente las implicaciones de estas variaciones morfológicas.

Disparidad morfológica con relación a la concentración de metales

El análisis de disparidad realizado en este estudio brinda información relevante acerca de la variabilidad en la forma de la valva de *A. tuberculosa* entre las tres localidades examinadas. La falta de diferencias significativas en los valores de disparidad morfológica entre las conchas de individuos que presentaban diferentes niveles de concentración de Cd y Pb, sugiere que, a pesar de la presencia de metales, la forma de la concha en estas localidades varía de manera similar. El análisis de disparidad parcial (DP) destaca a los especímenes de Esmeraldas con el valor más alto, lo cual indica que esta localidad presenta la forma más distintiva en comparación con las otras dos. Esta diferencia morfológica podría atribuirse a factores ambientales específicos, como la composición del suelo, las condiciones hidrodinámicas y otros factores que podrían influir en la morfología de las conchas de *A. tuberculosa* en esa localidad (Moschino *et al.*, 2015; Kasmini *et al.*, 2018; Gaspar *et al.*, 2002)

Nuestros resultados respaldan la importancia de monitorear y regular los niveles de Cd en las poblaciones de *A. tuberculosa* en las localidades de Guayas y El Oro, dado que los valores se acercan a los límites máximos permitidos para el consumo del tejido. Estos resultados resaltan la necesidad de implementar medidas de gestión ambiental para reducir la contaminación por Cd en estas áreas y asegurar la seguridad alimentaria de las poblaciones que dependen de este recurso pesquero. Es fundamental continuar investigando para comprender mejor los factores que

contribuyen a la variación y variabilidad en la forma de las conchas. Nuestros resultados indican que *A. tuberculosa* presenta tres grupos morfológicos diferentes para la forma de la concha, lo que sugiere que el protocolo utilizado para capturar la información de la forma es adecuado. Finalmente, se recomienda ampliar el número de localidades en estudios futuros para analizar la relación entre la concentración de metales pesados y el cambio en la forma.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos sinceramente a los recolectores de concha de las diversas localidades: San Lorenzo-Esmeraldas, Balao-Guayas e Isla Las Huacas-El Oro, por su valiosa colaboración en la obtención de las muestras de concha extraídas del manglar. Su participación ha sido fundamental para el desarrollo de este estudio. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a los revisores anónimos por sus críticas constructivas y sus aportes en la mejora del manuscrito. JGCV agradece la beca de “Estancias Posdoctorales por México 2022(3)” (beca número 349241) del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) y el apoyo brindado por el programa SNI.

REFERENCIAS

- Acosta, V., Lodeiros, C. (2004). Heavy metals in the clam *Tivela mactroides* Born, 1778 (Bivalvia: Veneridae) from coastal localities with different degrees of contamination in Venezuela. *Ciencias marinas*, 30(2), 323–333. <https://doi.org/10.7773/cm.v30i2.183>
- Acosta, V., Lodeiros, C., Nusetti, O., Lemus, M. (2013). Biocumulación and effect of cadmium in juveniles the green mussel *perna viridis* (L.1758) (Mytiloidea: Mytilidae). *Saber* (Cumana, Venezuela), 25(1), 39–45. <https://n9.cl/zd64a>
- Alamo, V., Valdivieso, V. (1997). Lista sistemática de moluscos marinos del Perú. Segunda Edición, revisada y actualizada. En *Instituto del Mar del Perú* (pp. 1–183).
- Almeida, M. J., Moura, G., Pinheiro, T., Machado, J., Coimbra, J. (1998). Modifications in *Crassostrea gigas* shell composition exposed to high concentrations of lead. *Aquatic Toxicology* (Amsterdam, Netherlands), 40(4), 323–334. [https://doi.org/10.1016/s0166-445x\(97\)00062-3](https://doi.org/10.1016/s0166-445x(97)00062-3)
- AOAC. (2019). Official Methods of Analysis of AOAC international. *AOAC International*, 21.
- Arrighetti, F., Landro, S. M., Lambre, M. E., Penchaszadeh, P. E., Teso, V. (2019). Multiple-biomarker approach in the assessment of the health status of a novel sentinel mussel *Brachidontes rodriguezii* in a harbor area. *Marine Pollution Bulletin*, 140, 451–461. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.002>

- Aydin, M., Biltekin, D., Breugelmanns, K., Backeljau, T. (2021). First record, DNA identification and morphometric characterization of Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in the southern Black Sea. *Bioinvasions records*, 10(4), 838–852. <https://doi.org/10.3391/bir.2021.10.4.08>
- Beitl, C.M. & Gaibor, N. (2018). *Rights-based Approaches in Ecuador's Fishery for Mangrove Cockles*. FAO. Recuperado de https://digitalcommons.library.umaine.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1044&context=ant_facpub.
- Belcheva, N. N., Zakhartsev, M., Silina, A. V., Slinko, E. N., Chelomin, V. P. (2006). Relationship between shell weight and cadmium content in whole digestive gland of the Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* (Jay). *Marine Environmental Research*, 61(4), 396–409. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2005.12.001>
- Beltrán-Meléndez, D. A., Gálvez-Rodríguez, J. M. (2022). *Detección coliformes fecales, Escherichia coli y metales pesados (plomo, cadmio y mercurio) en agua y suelo en los manglares del Estero Soledad Grande en la Reserva Ecológica Manglares Churute-Ecuador*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guayaquil. Recuperado de <https://n9.cl/q6shb>
- Carrasco-Peña, M. D. R., Webster-Coello, G. R. (2016). *Capacidad bioacumuladora de metales pesados en moluscos bivalvos de los esteros del cantón Balao*. Tesis de Maestría. Universidad del Azuay. Recuperado de <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6480>
- Carvajal-Oses, M., Herrera-Ulloa, Á., Valdés-Rodríguez, B., Campos-Rodríguez, R. (2019). Manglares y sus Servicios Ecosistémicos: hacia un Desarrollo Sostenible. *Gestión y ambiente*, 22(2), 277–290. <https://doi.org/10.15446/ga.v22n2.80639>
- Cedeño-Valdez, M. E., Zambrano-Demera, D. E. (2017). *Determinación de metales pesados Cd, Hg, Pb, en concha negra (Anadara tuberculosa) del Manglar el Salto-Esmeraldas y comparación para exportación al mercado europeo*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guayaquil. Recuperado de <https://n9.cl/wx4sn>
- FAO (2022). *The state of world fisheries and aquaculture 2022 (SOFIA): Towards blue transformation*. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Recuperado de <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Franz, D. R. (1993). Allometry of shell and body weight in relation to shore level in the intertidal bivalve *Geukensia demissa* (Bivalvia: Mytilidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 174(2), 193–207. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(93\)90017-i](https://doi.org/10.1016/0022-0981(93)90017-i)
- Gaspar, M., Santos, M., Vasconcelos, P., Monteiro, C. (2002). Shell morphometric relationships of the most common bivalve species (Mollusca: Bivalvia) of the Algarve coast (southern Portugal). *Hydrobiologia*, 477, 73–80.
- González, J. (2012). *Estudio Comparativo De Patrones Morfométricos Del Mejillón Marrón Perna Perna (Linnaeus, 1758), De Varias Localidades Costeras Del Estado Sucre, Venezuela*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Oriente Núcleo de Sucre. <http://ri2.bib.udo.edu.ve:8080/jspui/handle/123456789/3038>
- Gouveia, N., Harayashiki, C. A. Y., Márquez, F., Lourenço, R. A., Taniguchi, S., Castro, I. B. (2022). Mollusc shell shape as pollution biomarkers: Which is the best biological model? *Marine Pollution Bulletin*, 179(113663), 113663. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113663>
- Gouveia, N., Oliveira, A. J. L. A., Yokota Harayashiki, C. A., Souza, J. C., Longo, E., Cano, N. F., Maltez, H. F., Lourenço, R. A., Turpo-Huahua-soncco, K. V., Castro, Í. B. (2022). Chemical contamination in coastal areas alters shape, resistance and composition of carnivorous gastropod shells. *Chemosphere*, 307(135926), 135926. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135926>
- Guisande, C., Lise, A.V., Felpeto, A.B. (2013). *Tratamiento de datos con R, Statistica y SPSS*. Díaz de Santos.
- Harayashiki, C. A. Y., Márquez, F., Cariou, E., Castro, I. B. (2020). Mollusk shell alterations resulting from coastal contamination and other environmental factors. *Environmental Pollution* (Barking, Essex: 1987), 265(114881), 114881. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114881>
- IPIAP. (2021). *Investigación de los Recursos Bioacuáticos y su Ambiente*. Reporte técnico interno. Recuperado de: <https://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/Informe-RDC-IPIAP-2021.pdf>
- Jordaens, K., De Wolf, H., Vandecasteele, B., Blust, R., Backeljau, T. (2006). Associations between shell strength, shell morphology and heavy metals in the land snail *Cepaea nemoralis* (Gastropoda, Helicidae). *The Science of the Total Environment*, 363(1–3), 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.12.002>
- Kasmini, L., Barus, T. A., Sarong, M. A., Mulya, M. B. (2018). Morphometric study of pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in the coastal area of Banda Aceh. *Journal of physics*. Conference series,

- 1116, 052037. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1116/5/052037>
- Keen, A. M. (1971). Sea shells of tropical West America: Marine mollusks from Baja California to Peru. Stanford University Press.
- Krupnova, T. G., Mashkova, I. V., Kostryukova, A. M., Schelkanova, E. E., Gavrilkina, S. V. (2018). Gastropods as potential biomonitors of contamination caused by heavy metals in South Ural lakes, Russia. *Ecological Indicators*, 95, 1001–1007. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.005>
- Kulkarni, R., Deobagkar, D., Zinjarde, S. (2018). Metals in mangrove ecosystems and associated biota: A global perspective. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 153, 215–228. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.021>
- Lozano-Pérez, A. G., Mora-Solórzano, E. O. (2021). *Determinación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, sedimentos y Anadara tuberculosa en el área de manglar de Balao, Provincia de Guayas. Tesis para el grado de Ingeniería Ambiental*. Facultad de Ciencias Naturales. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/56787>
- MAGAP, Concepto Azul. (2015). Manual práctico de concha prieta *Anadara tuberculosa*, en condiciones de extracción, 593.
- Meera, S. P., Bhattacharyya, M., Nizam, A., Kumar, A. (2022). A review on microplastic pollution in the mangrove wetlands and microbial strategies for its remediation. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(4), 4865–4879. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17451-0>
- Mora, E., Flores, L., Moreno, J., Guilbert, G. (2012). The mangrove cockles fishery in landing ports of Ecuador in 2011. Instituto Nacional de Pesca. *Boletín Científico y Técnico*, 22(1), 1–16.
- Morán, G. A., Martínez, J. J., Boretto, G. M., Gordillo, S., Boidi, F. J. (2018). Shell morphometric variation of *Ameghinomya antiqua* (Mollusca, Bivalvia) during the Late Quaternary reflects environmental changes in North Patagonia, Argentina. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 490, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.027>
- Moreno, J. (2013). *Situación pesquera del recurso concha prieta en los principales puertos de la provincia de Esmeraldas durante el 2013*. Instituto Nacional de Pesca. Recuperado de <https://acortar.link/YUDli9>
- Moschino, V., Bressan, M., Cavaleri, L., Da Ros, L. (2015). Shell-shape and morphometric variability in *Mytilus galloprovincialis* from micro-tidal environments: responses to different hydrodynamic drivers. *Marine Ecology (Berlin, Germany)*, 36(4), 1440–1453. <https://doi.org/10.1111/maec.12244>
- Moscoso-Cercado, M. J. (2021). Detección de coliformes fecales, *Escherichia coli* y SARS-COV-2 en el área de manglar de Balao Provincia del Guayas. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/56803>
- Moura, P., Vasconcelos, P., Gaspar, M. B. (2013). Age and growth in three populations of *Dosinia exoleta* (Bivalvia: Veneridae) from the Portuguese coast. *Helgoland Marine Research*, 67(4), 639–652. <https://doi.org/10.1007/s10152-013-0350-7>
- Nava Ferrer, M. L., Severeyn, H. J. (2013). Variaciones morfológicas en la concha del Gasterópodo *Pyrgophorus platyrachis* como posible respuesta a factores físico-químicos en el sistema de Maracaibo, Venezuela. *Ecotropicos*. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/36399>
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Zambrano, J. (2019). *Impactos de la contaminación sobre los manglares de Ecuador*. Manglares de Ecuador. Recuperado de <https://onx.la/f2aaa>
- Petetta, A., Bargione, G., Vasapollo, C., Virgili, M., Lucchetti, A. (2019). Length–weight relationships of bivalve species in Italian razor clam *Ensis minor* (Chenu, 1843) (Mollusca: Bivalvia) fishery. *The European Zoological Journal*, 86(1), 363–369. <https://doi.org/10.1080/24750263.2019.1668066>
- Pradit, S., Shazili, N. A. M., Towatana, P., Saengmanee, W. (2016). Accumulation of Trace Metals in *Anadara granosa* and *Anadara inaequalis* from Pattani Bay and the Setiu Wetlands. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 96(4), 472–477. <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1717-z>
- Primost, M. A., Averbuj, A., Bigatti, G., Márquez, F. (2021). Embryonic shell shape as an early indicator of pollution in marine gastropods. *Marine Environmental Research*, 167(105283), 105283. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105283>
- Primost, M. A., Bigatti, G., Márquez, F. (2016). Shell shape as indicator of pollution in marine gastropods affected by imposex. *Marine & Freshwater Research*, 67(12), 1948. <https://doi.org/10.1071/mf15233>
- Proćków, M., Kuźnik-Kowalska, E., Żeromska, A., Mackiewicz, P. (2022). Temporal variation in cli-

- matic factors influences phenotypic diversity of Trochulus land snails. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16638-w>
- Riani, E., Cordova, M. R., Arifin, Z. (2018). Heavy metal pollution and its relation to the malformation of green mussels cultured in Muara Kamal waters, Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 664–670. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.029>
- Rico, J. P. (2017). *Variación en la forma y estructura de la concha de neogastrópodos del Caribe colombiano, asociada al fenómeno de imposex*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63807>
- Rodríguez-Grimón, R., Oscar, Valenzuela-Cobos, J., Diego, Erazo-Delgado, J., Carlos, Teran, N., Ivanna, Garcés-Moncayo, M., Fernanda, Grijalva-Endara, A., Tierra-Arévalo, J., Marcelo. (2021). First study of water quality in the San Camilo and Mojahuevo estuaries located in Guayas for being used in aquaculture. *Acta Periodica Technologica*, 52, 55–62. <https://doi.org/10.2298/apt2152055r>
- Rohlf, F. J., Slice, D. (1990). Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic zoology*, 39(1), 40. <https://doi.org/10.2307/2992207>
- Rohlf, F. J. (2017). *TPSDig2* (versión 2.30). Disponible en: <https://sbmorphometrics.org/>
- Sabatini, S. J. (2014). Los moluscos como bioindicadores. Chapter. En 18: *Los invertebrados marinos* (pp. 193–196).
- Scalici, M., Traversetti, L., Spani, F., Malafoglia, V., Colamartino, M., Persichini, T., Cappello, S., Mancini, G., Guerriero, G., Colasanti, M. (2017). Shell fluctuating asymmetry in the sea-dwelling benthic bivalve *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) as morphological markers to detect environmental chemical contamination. *Ecotoxicology (London, England)*, 26(3), 396–404. <https://doi.org/10.1007/s10646-017-1772-9>
- Sheets, H.D. (2014a). *MakeFan8*, Versión 1. Canisius College: Departamento de Física, Nueva York.
- Sheets, H.D. (2014b). *CoordGen8*, Versión 1. Canisius College: Departamento de Física, Nueva York.
- Sheets, H.D. (2014c). *SemiLand8*, Versión 1. Canisius College: Departamento de Física, Nueva York.
- Sheets, H.D. (2014d). *Regress8*, Versión 1. Canisius College: Departamento de Física, Nueva York.
- Sheets, H.D. (2014e). *PCAGen8*, Versión 1. Canisius College: Departamento de Física, Nueva York.
- Sheets, H.D. (2014f). *CVAGen8*, Versión 1. Canisius College: Departamento de Física, Nueva York.
- Sheets, H.D. (2014g). *DisparityBox8*, Versión 1. Canisius College: Departamento de Física, Nueva York.
- Smolarz, K., Bradtke, K. (2011). Bioindicative potential of shell abnormalities occurring in the clam *Macoma balthica* (L.) from the Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 62(7), 1421–1426. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.04.031>
- Spalding, M. D., Leal, M., Ahmadi, G. N., Aigrette, L., Andradi-Brown, D. A., Arquiza, Y., Awaluddin, H., Balidy, S., Bandeira, M. W., Beck, M., Beeston, J., Beyeler, J., Brana-Varela, M., Bresnahan, P., Bunting, A., Calzada, V., Vela, J., Camacho, R., Chowdhury, R., ... Lippuner, M. (s/f). *The state of mangroves P16-35 the benefits of mangroves P36-51*. Panda.org. Recuperado de https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/the_state_of_the_worlds_mangroves_2021.pdf?368211/La-situacion-de-los-manglares-2021
- Squires, H. G., Estévez, M., Mora, M. (1975). Mangrove cockles, *Anadara* spp. (Mollusca: Bivalvia) of the Pacific coast of Colombia. *Veliger*, 18(1), 57–68.
- Tapia, F., Moreno, O. (2019). *Manglares del Ecuador-Las Huacas*. Recuperado de <https://n9.cl/69rbe>
- Temino-Boes, R., Romero-López, R., Romero, I. (2019). A spatiotemporal analysis of nitrogen pollution in a coastal region with mangroves of the Southern Gulf of Mexico. *Water*, 11(10), 2143. <https://doi.org/10.3390/w11102143>
- UE. (2006). Diario Oficial de la Unión Europea L 364/5. .N9.cl. Recuperado de <https://n9.cl/vgvy3>
- Valladares, A., Manríquez, G., Suárez-Isla, B. A. (2010). Shell shape variation in populations of *Mytilus chilensis* (Hupe 1854) from southern Chile: a geometric morphometric approach. *Marine Biology*, 157(12), 2731–2738. <https://doi.org/10.1007/s00227-010-1532-3>
- Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., Sheets, H. D. (2012). *Geometric morphometrics for biologists: a primer* (2a ed.). Academic press.

Copyright (c) 2023 Ana Sánchez Aldás, René Rodríguez-Grimón, Juan Moreno & Jorge Guillermo Chollet-Villalpando



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato- y Adaptar el documento- remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)