

# Influencia de factores endógenos (edad y sexo) en los niveles de biomarcadores de estrés oxidativo en alcatraz (*Morus bassanus*).

Villalba-Álvarez L.M.<sup>1</sup>, García-Muñoz J.<sup>1</sup>, Martínez-Morcillo S.<sup>1</sup>, López-Beceiro A.<sup>2</sup>, Fidalgo L.E.<sup>2</sup>, Soler F.<sup>1</sup>, Míguez-Santiyán M.P.<sup>1</sup>, Pérez-López M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Toxicología. Facultad de Veterinaria (UEX). Avda de la Universidad s/n. 10003 Cáceres.

<sup>2</sup> Dpto de Ciencias Clínicas Veterinarias. Facultad de Veterinaria (USC). Avda Carballo Calero s/n. 27002 Lugo.

**Resumen:** Las aves marinas pueden ser utilizadas como bioindicadoras de las alteraciones del ambiente en que residen, identificándose en ellas distintos biomarcadores, que no informen sobre los niveles cuantitativos de contaminantes sino sobre los efectos adversos subclínicos que dichos agentes pueden causar. En el presente trabajo se han analizado los niveles de Malondialdehído (MDA) y de actividad Glutación-S-Transferasa (GST) en muestras de hígado y riñón de 30 alcatrazes (*Morus bassanus*) procedentes de las costas de Galicia, como posibles indicadores de estrés oxidativo en las aves. Además, se ha determinado la influencia de dos factores endógenos (sexo y edad) sobre los niveles de estos biomarcadores. En hígado los valores medios de MDA obtenidos fueron de  $0,508 \pm 0,502$  nmol/mg proteína, mientras que en riñón fueron de  $15,67 \pm 12,18$  nmol/mg proteína. La actividad GST media en hígado fue de  $10,93 \pm 7,067$  nmol/min/mg proteína, mucho menor que la media de los valores en riñón, que fue  $62,30 \pm 26,97$  nmol/min/mg proteína. En cuanto a las variaciones respecto a la edad, solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas en riñón en la actividad GST, siendo mayor la actividad de esta enzima en alcatrazes adultos que en inmaduros. Por su parte, el factor sexo no influyó en los niveles de ninguno de los biomarcadores considerados. Los resultados obtenidos apuntan a que ambos biomarcadores podrían ser de utilidad en programas de biomonitorización de contaminación ambiental centrados en el alcatraz, aunque serían necesarios estudios que consideren un mayor número de animales, incorporando un abanico más amplio de biomarcadores.

**Palabras clave:** Biomarcador, hígado, riñón, alcatraz, malondialdehído, glutatión s-transferasa.

**Abstract:** *Influence of endogenous factors (age and sex) on the levels of oxidative stress biomarkers in Northern gannet (*Morus bassanus*).*

Seabirds can be used as bioindicators of changes in the environment in which they live, identifying different biomarkers in them, which do not provide information on the quantitative levels of contaminants, but on the subclinical adverse effects that these agents can cause. At the present study, the levels of Malondialdehyde (MDA) and glutathione-S-transferase (GST) activity in liver and kidney samples of 30 gannets (*Morus bassanus*) from the coast of Galicia have been determined, as suitable biomarkers of oxidative stress on birds. In addition, the influence of two endogenous factors (sex and age) on the levels of these biomarkers has been determined. In the liver, the mean values of MDA were  $0.508 \pm 0.502$  nmol/mg protein, while in kidney they were  $15.67 \pm 12.18$  nmol/mg protein. On the other hand, mean GST activity in the liver was  $10.93 \pm 7.067$  nmol/min/mg protein, much lower than the mean activity values found in kidney, which were  $62.30 \pm 26.97$  nmol/min/mg protein. Regarding the variations with respect to age, statistically significant differences were only found in the kidney in GST activity, the activity of this enzyme being higher in adult gannets than in immature ones. Secondly, the gender factor did not influence the levels of any of the biomarkers considered. The obtained results indicate that both biomarkers could be useful in biomonitoring programs of environmental contamination focused on the gannet, although studies that consider a larger number of animals, incorporating a broader range of biomarkers, would be necessary.

**Keywords:** Biomarker, liver, kidney, gannet, malondialdehyde, glutathione s-transferase.

## Introducción

La contaminación ambiental es uno de los problemas de mayor importancia a escala global, de tal forma que en actualidad no se puede asumir la existencia de algún lugar libre del impacto que ha generado el desarrollo del ser humano. En este sentido, la biomonitorización ocupa un lugar destacado, siendo una herramienta básica ampliamente utilizada para evaluar el grado de contaminación de los ecosistemas (Kalisinska et al., 2012). Dentro de este ámbito, la necesidad de cuantificar la exposición a los xenobióticos y su potencial impacto en los organismos vivos, incluido el ser humano, se lleva a cabo mediante el empleo de los llamados biomarcadores (Gil y Pla, 2001). Uno de los biomarcadores de mayor aplicación en estudios toxicológicos es la actividad de la enzima glutatión S-transferasa (GST), enzima de biotransformación en fase II que sirve como biomarcador de estrés oxidativo, al estar evidenciada su inducción frente a la exposición a diversos xenobióticos causantes de este grave efecto orgánico (Tomza-Marciniak et al., 2013). Por otro lado, el malondialdehído (MDA) es uno de los biomarcadores de peroxidación lipídica más utilizado, cuyos niveles se incrementan como consecuencia de una sobreproducción de especies reactivas de oxígeno, EROs, cuya alta reactividad puede conducir a la alteración de procesos fisiológicos (Rendón von Osten, 2005).

Tanto estos como otros biomarcadores han sido tenidos en cuenta en distintos estudios ecotoxicológicos realizados en aves (Bjedov et al., 2021). Estos organismos están especialmente expuestos a los más diversos contaminantes como consecuencia de su elevada dispersión, siendo ampliamente considerados en múltiples programas de biomonitorización y, en definitiva, constituyendo unos excelentes bioindicadores de la contaminación ambiental (Nardiello et al., 2019). Dentro de este amplio grupo, destacan las aves marinas, por su elevada posición en la cadena trófica de los ecosistemas marinos, y su estrecha relación con el agua, además de poseer una marcada tendencia a la acumulación de contaminantes, siendo por tanto un fiable reflejo del estado ecotoxicológico en que se encuentra el ecosistema marino (Diamond y Devlin, 2003; Vera et al., 2016).

A pesar de que estos animales son de gran relevancia para la realización de estudios de biomonitorización ambiental (debido a la alta representatividad de los datos en lo que se refiere a la contaminación de los ecosistemas acuáticos), puede ser complicado el propio proceso de muestreo (Burger y Gochfeld, 1997). Este es el caso del alcatraz (*Morus bassanus*), una especie de ave migratoria de gran tamaño que se encuentra especialmente ligada al mar. Se trata de un animal longevo cuya distribución tiene lugar a lo largo de las zonas costeras del océano Atlántico. Pero conviene resaltar que su hábito dietético, basado fundamentalmente en peces, le hace estar especialmente expuesto a un gran número de contaminantes (SEO, 2018).

Con estas consideraciones, el objetivo principal del presente estudio ha sido determinar los niveles endógenos de dos biomarcadores de estrés oxidativo (GST y MDA) en hígado y riñón de poblaciones salvajes de alcatrazes (*Morus bassanus*) procedentes de las costas de Galicia, así como establecer la influencia de dos factores endógenos (edad y sexo) sobre los parámetros bioquímicos estudiados. El interés final de todo ello es validar correctamente estos biomarcadores para su futuro uso en posibles programas de biomonitorización centrados en la especie de

\*e-mail: marcospl@unex.es

elección.

## Materiales y métodos

### Recolección de muestras

Las muestras biológicas empleadas en el presente estudio proceden de 30 ejemplares de alcazaz (*Morus bassanus*) recuperados durante los años 2017/18 varados en las costas gallegas. Estos animales fueron remitidos a diferentes centros de recuperación de fauna silvestre de la Comunidad Autónoma de Galicia, donde fallecieron al poco de su ingreso (<48 horas). Para la obtención de las muestras se llevó a cabo la necropsia de los animales, extrayéndose los tejidos internos al completo (hígado y riñón). Dichas muestras, perfectamente identificadas y clasificadas en función del sexo (15 machos y 15 hembras) y la edad (16 pollos y 14 adultos), fueron remitidas en adecuadas condiciones de transporte a la Unidad de Toxicología de la Facultad de Veterinaria de Cáceres, donde se almacenaron a -80°C hasta su posterior análisis bioquímico.

### Análisis bioquímico

Se pesaron 0,5 g de cada órgano aislado, y dicha muestra se homogeneizó (1:10 p/v) mediante un homogeneizador de vástago, en tampón fosfato (0,1 M, pH 7,4). Seguidamente el homogeneizado se centrifugó a 12000 rpm durante 20 minutos.

Se determinó la concentración total de proteína a través del método descrito por Bradford (1976), basado en un cambio de color del colorante Coumasie brilliant Blue G-250 en función de las diferentes concentraciones proteicas presentes en la muestra, medible a una absorbancia de 595 nm.

La determinación de la actividad GST se realizó de acuerdo con el protocolo desarrollado por Habig et al. (1974), basado en un proceso catabólico de las enzimas presentes en la muestra, midiéndose la conjugación del 1-cloro-2,4-dinitrobenzoceno (CDNB) con el glutatión reducido (GSH). Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado, utilizando un blanco como control negativo, al que se adicionó tampón en lugar de muestra. La lectura de la placa se realizó midiendo la absorción del conjugado CDNB-GSH espectrofotométricamente a 340 nm, cada 30 segundos durante 5 minutos para analizar la cinética de la enzima. La actividad enzimática específica se determinó utilizando el coeficiente de extinción molar de 9,6 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>.

Para la determinación de la concentración de MDA (producto de la degradación metabólica del daño oxidativo producido durante la peroxidación lipídica) en el tejido hepático y renal, se siguió la técnica descrita por Recknagel (1982). Las muestras fueron previamente precipitadas con ácido perclórico al 70%, y se centrifugaron a 4000 rpm durante 15 minutos y 4 °C. Esta técnica consiste en la reacción del MDA con el ácido tiobarbitúrico (TBA), que forma aductos cromógenos y fluorescentes de MDA-TBA muy estables (Estepa et al., 2001). En este caso, la lectura de la placa se realizó a una absorbancia de 550 nm.

### Análisis de los datos

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el programa informático GraphPad Prism versión 9. Para determinar si los datos introducidos cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza se realizó el test de Shapiro-Wilk. Tras comprobar que los datos no presentaban una distribución normal se llevó a cabo un estudio no paramétrico.

Se realizó una evaluación global de los datos obtenidos a partir de las muestras de hígado y riñón, usándose la prueba de Wilcoxon para variables con individuos apareados. A continuación, se procedió a realizar el estudio estadístico para variables con dos subgrupos de estudio (distinguiendo en este caso las variables edad y sexo), para lo que se utilizó la prueba U de Mann Whitney. Por último, se realizó un estudio de correlaciones mediante el test no paramétrico de Spearman.

El grado de significancia se asumió en un *p*-valor 0,05.

## Resultados y discusión

Al cuantificar los niveles de la actividad GST global en función del órgano considerado, riñón e hígado, se obtuvo una concentración media de 62,30±26,97 y 10,93±7,067 nmol/min/mg proteína, respectivamente. Los estadísticos descriptivos más destacables para este biomarcador pueden ser observados en la Tabla 1. En este sentido, éste es el primer estudio que determina los niveles de biomarcadores de estrés oxidativos en alcazaz, asociado a la escasa literatura sobre los efectos que producen diferentes xenobióticos en las aves marinas en general. No obstante, los resultados obtenidos han sido comparados con estudios de naturaleza similar realizados en diferentes especies de aves. Por ejemplo, en el estudio realizado por Hernández-Moreno et al. (2021), analizaron la actividad GST en hígado y riñón de pardela capirotada (*Ardenna gravis*) procedente de Irlanda, observando un mayor valor medio de esta enzima en hígado (84,37 nmol/min/mg de proteína), y un menor valor medio en riñón (45,25 nmol/min/mg de proteína) con respecto al presente estudio. Por otra parte, en el estudio realizado por Mateo y Hoffman (2001) en gansos de Canadá (*Branta canadensis*) y ánades reales (*Anas platyrhynchos*) se cuantificaron valores muy superiores de actividad GST en hígado (957 y 328 nmol/min/mg proteína, respectivamente). Es interesante resaltar que en ese estudio la diferencia entre los valores de actividad GST en ambas especies se asoció más a la diferencia de peso corporal y una mayor actividad de esta enzima en los gansos que a posibles fuentes diferentes de exposición a contaminantes.

**Tabla 1.** Principales estadísticos descriptivos de la actividad GST (nmol/min/mg proteína) en hígado y riñón de alcazaz.

	Hígado (n=30)	Riñón (n=30)
<b>Media</b>	10,93	62,30
<b>Desviación estándar</b>	7,067	26,97
<b>Error estándar</b>	1,290	4,924
<b>Mediana</b>	9,033	56,30
<b>Mínimo</b>	2,747	26,77
<b>Máximo</b>	33,32	140,4

En el estudio realizado por Espín et al. (2016), se evaluó la actividad GST en sangre de dos especies de gaviota, picofina (*Larus genei*) y de Audouin (*Ichthyaetus audouinii*), observando diferencias significativas entre ambas especies (6,81 y 8,24 nmol/min/mg proteína, respectivamente). Para esta última especie los autores sugirieron que los niveles de actividad GST se podían asociar a una exposición relevante a cadmio. A su vez, estos mismos autores en 2014, ya habían observado que los valores de actividad GST en sangre de buitres leonados (*Gyps fulvus*) de dos zonas del sureste de España, presentaban diferencias significativas, siendo de 7,26 y 9,79 nmol/min/mg proteína. Este último resultado fue interpretado como una respuesta protectora frente a los niveles de MDA más altos, ya que estos mecanismos pueden contribuir juntos a la depuración de EROs, y aliviar de esta forma el daño oxidativo (Espín et al., 2014). En ambos casos, los valores mencionados fueron muy inferiores a los obtenidos en el presente estudio.

Otros estudios analizaron los niveles de actividad GST en sangre de dos especies diferentes de aves, papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*) (Espín et al., 2017), y carbonero común (*Parus major*) (Sánchez-Virosta et al., 2020), procedentes de una zona contaminada por metales pesados de Finlandia. En todo caso, los valores obtenidos tanto en papamoscas cerrojillo (0,0041 y 0,0028 µmol/min/mg proteína) como en carbonero común (0,0018, 0,0019, 0,0024 y 0,0017 µmol/min/mg proteína, realizado en cuatro gradientes de contaminación) fueron menores que los valores observados en el presente estudio.

### Influencia de la edad

Con respecto a la variable edad, en el caso del hígado los animales inmaduros presentaron valores ligeramente superiores de actividad GST, sin llegar a observarse diferencias estadísticamente significativas (Figura 1). Sin embargo, en el caso del riñón sí se observaron diferencias estadísticamente significativas (*p* < 0,05), encontrando

valores superiores de actividad GST en individuos adultos que en inmaduros.

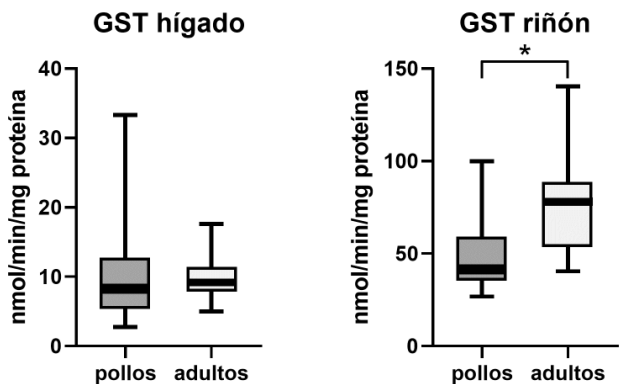


Figura 1. Estudio comparativo de los niveles de actividad GST (nmol/min/mg de proteína) en hígado y riñón de alcatrazes en función de la edad.

Esta influencia de la edad está en concordancia con lo obtenido por Espín (2013) en búho real (*Bubo bubo*), en el que se determinó una actividad GST de 10,19 nmol/min/mg proteína en pollos, y ligeramente superior en el caso de adultos (11,98 nmol/min/mg proteína), pudiendo considerarse que un mayor valor de actividad GST en el hígado de los individuos adultos se asociaría a un aumento de la exposición a contaminantes.

#### Influencia del sexo

En cuanto a la variable sexo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de actividad GST de machos y hembras, siendo estos valores muy similares para un mismo órgano, como se puede observar en la Figura 2. Resultados similares se observan en el estudio desarrollado por Stepanova et al. (1999), donde se determinó la actividad GST en gaviota tridáctila (*Rissa tridactyla*) comparando entre individuos machos y hembras. Para estos autores los valores medios obtenidos fueron de 287 y 288 nmol/min/mg proteína respectivamente, no habiendo apenas diferencias entre ambos sexos.

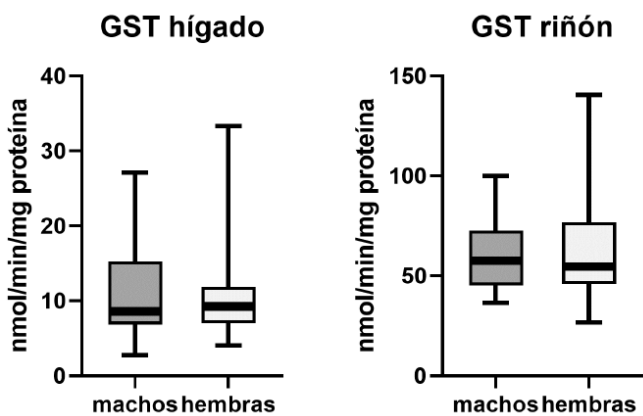


Figura 2. Estudio comparativo de los niveles de actividad GST (nmol/min/mg de proteína) en hígado y riñón de alcatrazes en función del sexo. \*: diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

#### MDA

Los valores globales medios de MDA cuantificados en las muestras de hígado fueron de 0,508 nmol/mg proteína, mucho menores que la media de los valores obtenidos en riñón (15,67 nmol/mg proteína) (Tabla 2). Cabe mencionar que para interpretar estos datos se deben tener en cuenta diversos factores que puedan influir en los niveles de estrés oxidativo de las aves, como pueden ser los lugares de procedencia, la posible exposición a contaminantes ambientales (tales como compuestos orgánicos persistentes, metales pesados...) o la

alimentación recibida.

Tabla 2. Principales estadísticos descriptivos de los niveles de MDA (nmol/mg proteína) en hígado y riñón de alcatraz.

	Hígado (n=30)	Riñón (n=30)
Media	0,508	15,67
Desviación estándar	0,502	12,18
Error estándar	0,092	2,224
Mediana	0,390	12,10
Mínimo	0,021	5,181
Máximo	2,272	56,74

En el estudio realizado por Hernández-Moreno et al. (2021) se analizaron los niveles de, entre otros biomarcadores, el MDA, tanto en hígado como en riñón de pardela capirotada (*Ardenna gravis*) procedente de Irlanda, observando un mayor valor medio de MDA en hígado (7,24 nmol/mg proteína), y un menor valor medio en riñón (3,44 nmol/mg proteína) con respecto a los datos obtenidos en el presente estudio.

Por otra parte, Larcombe et al. (2008) realizaron un estudio para ver los efectos de la suplementación antioxidante a corto plazo sobre el estrés oxidativo y el rendimiento de vuelo en periquitos adultos (*Melopsittacus undulatus*). Los niveles iniciales de MDA plasmático basal antes del inicio del experimento fueron de 0,237 nmol/ml. En un estudio similar realizado por Isaksson et al. (2009) en carbonero común se obtuvieron niveles medios de MDA superiores en tejido pulmonar (25,12 nmol/mg proteína) a los observados en el presente trabajo. Todos estos datos permiten comprobar la gran variabilidad en los valores de este biomarcador, tanto interespecies como entre los diferentes órganos considerados.

#### Influencia de la edad

Con respecto a la variable edad, se cuantificaron valores más elevados en individuos inmaduros en el caso del hígado, y de forma contraria en el caso del riñón (Figura 3). Sin embargo, para ninguno de los órganos considerados se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas.

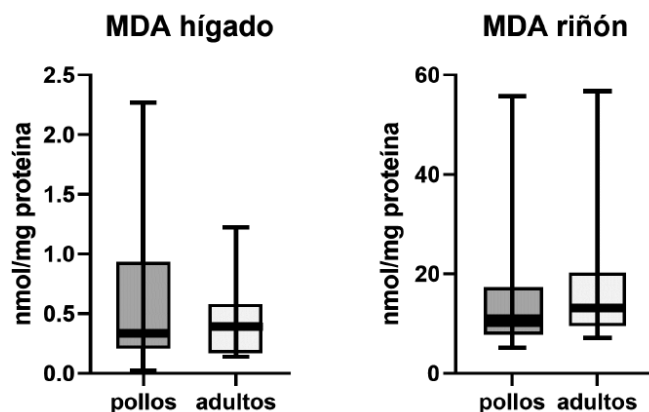


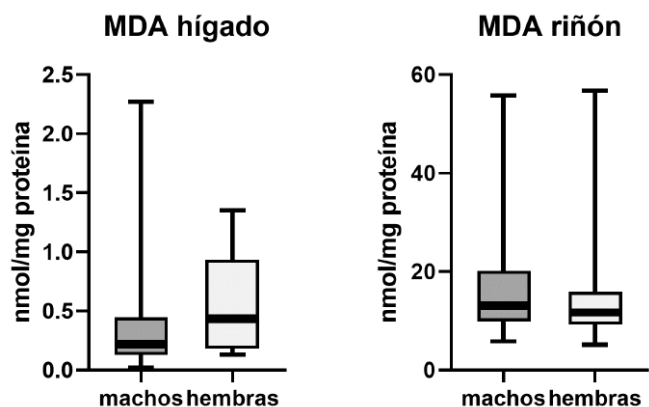
Figura 3. Estudio comparativo de los niveles de MDA (nmol/mg de proteína) en hígado y riñón de alcatrazes en función de la edad.

En el estudio realizado por Alonso-Álvarez et al. (2009) en perdicés de patas rojas (*Alectoris rufa*) en las que se tomaron muestras de sangre de animales de diferentes edades, los ejemplares de edades intermedias mostraron una menor peroxidación de lípidos en sus eritrocitos (alrededor de 25 nmol/g) frente a los animales jóvenes (1 año) y los más viejos (8 años), los cuales presentaron casi los mismos niveles, alrededor de 27 nmol/g. Igualmente, en otro estudio realizado por Bize et al. (2008) en vencejo real (*Tachymarpis melba*), la resistencia femenina al estrés oxidativo (medida como valores de MDA) aumentó entre los 2 y 4 años y alcanzó una asíntota entre 5 y 10 años antes de disminuir a edades mayores (efecto significativo de la edad). De forma inversa, la resistencia masculina al estrés oxidativo aumentó linealmente con la edad y no mostró una disminución significativa en las edades mayores. A diferencia de los dos trabajos anteriores, en otro estudio realizado por Hoffman et al. (2011) en pollos y adultos de cría

y precría de golondrinas de mar (*Sterna forsteri*) y en adultos de precría de pagaza piquirroja (*Hydroprogne caspia*) en la bahía de San Francisco (California), se encontró un aumento significativo de la peroxidación lipídica en tejido cerebral de animales adultos de cría, a diferencia de las crías en las que los niveles fueron menores.

### Influencia del sexo

En el caso de la variable sexo, se observó que los valores de MDA en el hígado de machos son menores que en hembras, y de forma contraria sucede en el caso del riñón, donde los niveles de MDA son superiores en machos. Cabe destacar que en ningún caso se observaron diferencias estadísticamente significativas entre machos y hembras para un mismo órgano (Figura 4).



**Figura 4.** Estudio comparativo de los niveles de MDA (nmol/mg de proteína) en hígado y riñón de alcatraces en función del sexo.

En el estudio ya mencionado, desarrollado por Larcombe et al. (2008) sobre los efectos de la suplementación antioxidante a corto plazo sobre el estrés oxidativo y el rendimiento de vuelo en periquitos adultos se observó la ausencia de una influencia del sexo sobre dichos valores. A diferencia de Saunes (2011), quien analizó MDA en tejido hepático de hembras de eider común (*Somateria mollissima*), obteniendo en éstas valores de 17,31 nmol/mg proteína, niveles muy superiores a los cuantificados en el presente trabajo. Además, en el estudio realizado por Alonso-Álvarez et al. (2009) en perdices de patas rojas, en el que se tomaron muestras de sangre de animales de diferentes edades, el MDA se asoció significativamente con el éxito de eclosión en las hembras. Este dato sugiere que las hembras capaces de producir huevos con mayores probabilidades de eclosión sufrieron una mayor peroxidación lipídica en sus eritrocitos. Por último, Mooradian (1993) obtuvo resultados completamente diferentes en un estudio en el que se comprobó la capacidad antioxidante de los estrógenos, cuantificando niveles estadísticamente significativos más bajos de MDA en hígado de hembras con respecto a los machos.

### Correlaciones

Con respecto al estudio de correlaciones, se realizó un análisis de los datos para hallar una posible correlación entre los dos biomarcadores objeto del estudio tanto en riñón como en hígado de alcatraces, en función de las variables consideradas. Los resultados de significación obtenidos en los diferentes órganos individualmente no fueron lo suficientemente altos como para poder considerar que los valores de los dos biomarcadores en ambos órganos están correlacionados, como muestra el coeficiente de correlación de éstos ( $p > 0,05$ ). Además, se analizaron las correlaciones existentes entre los diferentes biomarcadores dentro de un mismo órgano y, al igual que antes, tampoco se observaron correlaciones estadísticamente significativas entre éstos ( $p > 0,05$ ).

En cuanto a las correlaciones entre los dos biomarcadores en función de la edad de los animales, en ambos órganos, no se obtuvieron correlaciones estadísticamente significativas. Estos resultados fueron similares a los obtenidos en el caso del factor sexo de los animales,

tanto en el hígado como en el riñón.

### Conclusiones

Se han cuantificado por primera vez los dos biomarcadores objeto del presente estudio (niveles de MDA y actividad GST) en hígado y riñón de alcatraces (*Morus bassanus*) procedentes de las costas de Galicia. Los niveles de los dos biomarcadores no se vieron afectados por el factor sexo en ninguno de los órganos estudiados. En cuanto al factor edad, solamente la actividad de la enzima GST mostró mayores niveles en individuos adultos que en inmaduros, a un nivel estadísticamente significativo. Los resultados obtenidos plantean el posible uso de estos parámetros en futuros estudios de biomonitorización ambiental, de tal modo que pueda verse ampliada la batería de biomarcadores, tanto en estos como en otros órganos, para identificar efectos subclínicos que la exposición a diversos contaminantes ambientales pueda tener sobre la especie de estudio.

### Referencias

- 1 Alonso-Álvarez C, Pérez-Rodríguez L, García JT, Vinuela J, Mateo R. Age and breeding effort as sources of individual variability in oxidative stress markers in a bird species. *Physiol. Biochem. Zool.* 2009; 83(1), 110-118.
- 2 Bize P, Devevey G, Monaghan P, Doligez B, Christe P. Fecundity and survival in relation to resistance to oxidative stress in a free-living bird. *Ecology* 2008; 89(9), 2584-2593.
- 3 Bjedov D, Mikuška A, Lackmann C, Begović L, Mikuška T, Velki M. Application of non-destructive methods: biomarker assays in blood of white stork (*Ciconia ciconia*) nestlings. *Animals*, 2021; 11(8), 2341.
- 4 Burger J, Gochfeld M. Risk, mercury levels, and birds: relating adverse laboratory effects to field biomonitoring. *Environ. Res.* 1997; 75(2), 160-172.
- 5 Diamond AW, Devlin CM. Seabirds as indicators of changes in marine ecosystems: ecological monitoring on Machias Seal Island. *Environ. Monitor. Assess.* 2003; 88(1-3), 153-175.
- 6 Espín S. Biomonitorización de contaminantes ambientales persistentes y evaluación de efectos subletales en aves silvestres: uso de plumas y biomarcadores de estrés oxidativo. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia (España), 2013.
- 7 Espín S, Martínez-López E, Jiménez P, María-Mojica P, García-Fernández AJ. Effects of heavy metals on biomarkers for oxidative stress in Griffon vulture (*Gyps fulvus*). *Environ. Res.* 2014; 129, 59-68.
- 8 Espín S, Martínez-López E, Jiménez P, María-Mojica P, García-Fernández AJ. Interspecific differences in the antioxidant capacity of two Laridae species exposed to metals. *Environ. Res.* 2016; 147, 115-124.
- 9 Espín S, Ruiz S, Sánchez-Virosta P, Lilley T, Eeva T. Oxidative status in relation to metal pollution and calcium availability in pied flycatcher nestlings- a calcium manipulation experiment. *Environ. Pollut.* 2017; 229, 448-458.
- 10 Estepa V, Ródenas S, Martín MC. Optimización de un método para la determinación de la peroxidación lipídica en suero humano. *An. Real Acad. Nac. Farm.* 2001; 67(3), 1-17.
- 11 Gil F, Pla A. Biomarkers as biological indicators of xenobiotic exposure. *J. Appl. Toxicol.* 2001; 21(4), 245-255.
- 12 Habig WH, Pabst MJ, Jakoby WB. Glutathione S-transferases the first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J. Biol. Chem.* 1974; 249(22), 7130-7139.
- 13 Hernández-Moreno D, Ramos A, Romay CD, Fidalgo LE, Menozzi A, Bertini S. Heavy metals content in great shearwater (*Ardenna*

- gravis*): accumulation, distribution and biomarkers of effect in different tissues. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2021; 80(3), 615-623.
- 14 Hoffman DJ, Eagles-Smith CA, Ackerman JT, Adelsbach TL, Stebbins KR. Oxidative stress response of Forster's terns (*Sterna forsteri*) and Caspian terns (*Hydroprogne caspia*) to mercury and selenium bioaccumulation in liver, kidney, and brain. Environ. Toxicol. Chem. 2011; 30(4), 920-929.
  - 15 Isaksson C, Sturve J, Almroth BC, Andersson S. The impact of urban environment on oxidative damage (TBARS) and antioxidant systems in lungs and liver of great tits, *Parus major*. Environ. Res. 2009; 109(1), 46-50.
  - 16 Kalisinska E, Lisowski P, Kosik-Bogacka DI. Red fox *Vulpes vulpes* (L., 1758) as a bioindicator of mercury contamination in terrestrial ecosystems of north-western Poland. Biol. Trace Elem. Res. 2012; 145(2), 172-180.
  - 17 Larcombe SD, Tregaskes CA, Coffey JS, Stevenson AE, Alexander L, Arnold KE. The effects of short-term antioxidant supplementation on oxidative stress and flight performance in adult budgerigars *Melopsittacus undulatus*. J. Exp. Biol. 2008; 211(17), 2859-2864.
  - 18 Mateo R, Hoffman DJ. Differences in oxidative stress between young Canada geese and mallards exposed to lead-contaminated sediment. J. Toxicol. Environ. Health Part A 2001; 64(7), 531-545.
  - 19 Mooradian AD. Antioxidant properties of steroids. J. Steroid Biochem. Mol. Biol. 1993; 45(6), 509-511.
  - 20 Nardiello V, Fidalgo LE, López-Beceiro A, Bertero A, Martínez-Morcillo S, Míguez MP, Soler F, Caloni F, Pérez-López M. Metal content in the liver, kidney, and feathers of Northern gannets, *Morus bassanus*, sampled on the Spanish coast. Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2019; 26(19), 19646-19654.
  - 21 Recknagel RO, Glende EA, Walker RL, Lowery K. Lipid peroxidation biochemistry measurement and significance in liver cell injury. En: Plaa G, Hewitt WR. (Eds.), Toxicology of the liver. Taylor and Francis, Washington DC, EE.UU. 1982. p. 218-232.
  - 22 Rendón von Osten JR (2005). Uso de biomarcadores en ecosistemas acuáticos. En: Botello AV, Rendón von Osten J, Gold-Bouchot G, Agraz-Hernández C. (Eds.), Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. Ed. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, México. 2005. p. 121-140.
  - 23 Sánchez-Virosta P, Espín S, Ruiz S, Panda B, Ilmonen P, Schultz SL, KArouna-Renier N, García-Fernández AJ, Eeva T. Arsenic-related oxidative stress in experimentally-dosed wild great tit nestlings. Environ. Pollut. 2020; 259, 113813.
  - 24 Saunes H. Do mercury, selenium, cadmium and zinc cause oxidative stress in common eiders (*Somateria mollissima*) from Svalbard? Tesis Doctoral. Norwegian University of Science and Technology, 2011.
  - 25 SEO Birdlife, Sociedad Española de Ornitología [sede web]. El alcatraz atlántico; 2022. [acceso 15/10/2022]. Disponible en: <https://seo.org/ave/alcatraz-atlantico/>
  - 26 Stepanova LI, Glaser VM, Savinova TI, Kotelevtsev SV, Savva D. Accumulation of mutagenic xenobiotics in fresh water (Lake Baikal) and marine (Hornoya Island) ecosystems. Ecotoxicology 1999; 8(2), 83-96.
  - 27 Tomza-Marciniak A, Pilarczyk B, Marciniak A, Udała J, Bąkowska M, Pilarczyk R. Cadmium, Cd. En: Kalisińska E. (Ed.), Mammals and birds as bioindicators of trace element. Contaminations in terrestrial environments. Springer, Polonia. 2019. p. 483-532.
  - 28 Vera M, Muñoz J, Marín G. Determinación de metales pesados (Cr, Cu, Cd, Zn, Ni y Pb) en el alcatraz (*Pelecanus occidentalis* L. 1766), en el Estado Sucre, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Venez. 2016; 55(1), 19-31.

Revista de

# Toxicología

ÓRGANO OFICIAL DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TOXICOLOGÍA

Volumen 40 Número 1 (2023)

SEMESTRAL

INDEX

<i>Soto Martínez, S.; Berrouet Mejía, MC. Posterior reversible encephalopathy: a complication of lithium toxicity</i> .....	1
<i>Rodríguez J, Villegas Padilla KM, Poulton IJ, Sims NA, Cochón AC, Mandalunis PM Chronic exposure to Cadmium in drinking water: effect on kidneys and long bones</i> .....	4
<i>Benítez Núñez JA ; Paredes-Branda KN; Ibarra PA; Franco de Diana D; López-Arias TR; Segovia-Corrales EA. Embryotoxic activity of aqueous extracts of <i>Allophylus edulis</i> and <i>Matricaria recutita</i> in zebrafish</i> .....	10
<i>Wolansky, M.J. Analysis of a protocol based on the USEPA 1.213 standard for the regulatory evaluation of the efficacy of the bait station system in the safe control of small rodents</i> .....	16
<i>Oropesa AL Virtualization of the practical contents in the Toxicology area as a complement of the laboratory practices</i> .....	23
<i>Couce-Sánchez, M.J., Villena-García del Real, H. , Bermejo-Barrera, A.M. Epidemiology of acute poisonings in the Emergency Service of the Clinic University Hospital of Santiago de Compostela</i> .....	28
<i>García Ezquerro, Puente Valenzuela C. O, García De La Peña M. C, Czaja A. M, Aguirre Joya J. A, Torres León C, Aguillón Gutiérrez D. R. Effect of lead and arsenic under laboratory conditions on African clawed frog (<i>Xenopus laevis</i>) and leopard frog (<i>Lithobates berlandieri</i>)</i> .....	35
<i>Villalba-Álvarez L.M. García-Muñoz J. Martínez-Morcillo S. López-Beceiro A. Fidalgo L.E., Soler F., Míguez-Santiyán M.P. Pérez-López M. Influence of endogenous factors (age and sex) on the levels of oxidative stress biomarkers in Northern gannet (<i>Morus bassanus</i>)</i> .....	40
<i>Jericó L, Vila-Donat P., Manyes L, Font G., Cimbalo A. Implementation of a food safety management system: a practical guide for micro-companies</i> .....	45
<i>Aguilera, D; Hidrobo, A; Venegas, J. Toxicity of sodium hypochlorite and quaternary ammonium compounds in humans. A systematic review in the time of COVID-19</i> .....	53
<i>Peñaloza-Morales AJ, Marín-Cárdenas JA, Jaramillo-Builes LM, Chinchilla-Escobar EC A case of spontaneous pneumothorax due to inhalation of polychloroprene glue</i> .....	67
<i>Proceedings of the Workshop on Education in Toxicology 2023</i> .....	72

ÍNDICE

<i>Soto Martínez, S.; Berrouet Mejía, MC. Encefalopatía posterior reversible: una complicación de la intoxicación por litio</i> .....	1
<i>Rodríguez J, Villegas Padilla KM, Poulton IJ, Sims NA, Cochón AC, Mandalunis PM Exposición crónica a Cadmio en agua potable: efecto sobre riñones y huesos largos</i> .....	4
<i>Benítez Núñez JA ; Paredes-Branda KN; Ibarra PA; Franco de Diana D; López-Arias TR; Segovia-Corrales EA. Actividad embriotóxica de los extractos acuosos de <i>Allophylus edulis</i> y <i>Matricaria recutita</i> en pez cebra</i> .....	10
<i>Wolansky, M.J. Análisis de un protocolo basado en la norma USEPA 1.213 para la evaluación regulatoria de la eficacia de las cebaderas en el control seguro de roedores pequeños</i> .....	16
<i>Oropesa AL Virtualización de los contenidos prácticos en el área de Toxicología como un complemento a las prácticas laboratoriales</i> .....	23
<i>Couce-Sánchez, M.J., Villena-García del Real, H. , Bermejo-Barrera, A.M. Epidemiología de las intoxicaciones agudas en el Servicio de Urgencias del Hospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela</i> .....	28
<i>García Ezquerro, Puente Valenzuela C. O, García De La Peña M. C, Czaja A. M, Aguirre Joya J. A, Torres León C, Aguillón Gutiérrez D. R. Efecto del plomo y del arsénico en condiciones de laboratorio sobre la rana africana de uñas (<i>Xenopus laevis</i>) y la rana leopardo (<i>Lithobates berlandieri</i>)</i> .....	35
<i>Villalba-Álvarez L.M. García-Muñoz J. Martínez-Morcillo S. López-Beceiro A. Fidalgo L.E., Soler F., Míguez-Santiyán M.P. Pérez-López M. Influencia de factores endógenos (edad y sexo) en los niveles de biomarcadores de estrés oxidativo en alcatraz (<i>Morus bassanus</i>)</i> .....	40
<i>Jericó L, Vila-Donat P., Manyes L, Font G., Cimbalo A. Implementación de un sistema de gestión de seguridad alimentaria: una guía práctica para microempresas</i> .....	45
<i>Aguilera, D; Hidrobo, A; Venegas, J. Toxicidad del hipoclorito de sodio y compuestos de amonio cuaternario en seres humanos. Una revisión sistemática en época de COVID-19</i> .....	53
<i>Peñaloza-Morales AJ, Marín-Cárdenas JA, Jaramillo-Builes LM, Chinchilla-Escobar EC Un caso de neumotórax espontáneo por inhalación de pegante de policloropreno</i> .....	67
<i>Actas de las Jornadas de Formación en Toxicología 2023</i> .....	72

Indexed in Latindex, REDALYC, ÍNDICES-CSIC, Latindex, IBECS

Incluida en Latindex, REDALYC, ÍNDICES-CSIC, Latindex, IBECS



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TOXICOLOGÍA  
Rev. Toxicol. 40 (1), 1-80 (2023)  
ISSN 0212-7113