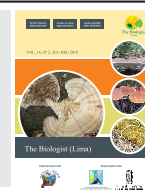




The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

HEAVY METAL CONTENTS (CR, CU, ZN, PB AND CD) IN BLOOD AND FEATHERS OF JAPANESE QUAIL (*COTURNIX COTURNIX JAPONICA*) IN RELATION WITH ITS WEIGHT AND SEX

CONTENIDO DE METALES PESADOS (CR, CU, ZN, PB Y CD) EN SANGRE Y PLUMAS DE LA CODORNIZ (*COTURNIX COTURNIX JAPONICA*) Y SU RELACIÓN CON EL PESO Y EL SEXO DE LAS AVES

¹Fabián Innamorato-Costas; ²Jorge Muñoz-Gil & ¹Gedio Marín-Espinoza*

¹Laboratorio de Ecología de Aves, Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela

²Centro de Investigaciones Ecológicas Guayacán, Península de Araya, Universidad de Oriente, Venezuela.
Dirección postal: Urbanización Villa Olímpica, Bloque 03, Apto 01-03, Cumaná, Estado Sucre, Venezuela.

*Autor corresponsal: e-mail: gediom@yahoo.com

ABSTRACT

This study was to determine the contents of heavy metals (HM): chromium (Cr), copper (Cu), zinc (Zn), lead (Pb), and cadmium (Cd) on blood and feathers of Japanese Quail (*Coturnix coturnix japonica* Temminck & Schlegel 1849) in relation to weight and sex. Fifteen individuals (4 males and 11 females) were weighed; a blood sample of approximately 5 mL was drawn and immediately coagulated. Wing and tail feathers were removed. Samples were analysed by using an Atomic Absorption Spectrophotometer matched to an acetylene-flow and deuterium background correction. In blood and feathers tissue samples, Pb and Cd were not detected. Cr, Cu, Zn levels showed statistical differences between tissues and HM. The feathers showed higher concentrations than blood, because they can bioaccumulate HM during their growth, although eliminating metals, partially, during the feather moult, and, internally, during transport of metals in the bloodstream and their fixation to keratin. Zn levels were highest in both tissues. Zn is an essential element and abundant in the organisms and domestic avian diet. Weight versus HM levels showed a negative relation in quails because HM are diluted in larger individuals. Males generally showed higher HM levels than females which may reflect differences in methallotionein synthesis and excretion pathways between sexes. In general, HM concentrations measured in the quails are not alarming.

Key words: Heavy metals – Japanese Quail – sex – weight

RESUMEN

Se determinaron las concentraciones de los metales pesados (MP): plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu) y cromo (Cr) en sangre y plumas de la codorniz común (*Coturnix coturnix japonica* Temminck & Schlegel 1849), en relación al peso y sexo de las aves. Para ello se utilizaron 15 individuos (4 machos y 11 hembras), se pesaron, y se les extrajeron 0,5 mL de sangre (dejándose coagular), y plumas remeras (ala) y timoneras (cola). Las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado. El Pb y Cd en sangre y plumas no fueron detectados. Las concentraciones de Zn, Cu y Cr en ambos tejidos y entre MP mostraron diferencias significativas. Las plumas arrojaron las mayores concentraciones de MP debido a la suma de la contaminación externa y que durante su crecimiento reciben la constante irrigación sanguínea para la fijación de la queratina, aunque elimina o disminuye MP parcialmente durante la muda. Los elevados niveles de Zn obtenidos en sangre y plumas pueden deberse a que es uno de los metales traza más abundantes en el organismo y componente esencial de muchos suplementos dietéticos para aves de corral. Se evidenció una relación negativa entre el peso de las aves y los niveles de MP, ya que éstos tienden a diluirse cuando los individuos son más pesados. Las concentraciones mayores de MP en los machos estarían reflejando diferencias en la producción de metalotioneínas y vías de excreción entre sexos. Las concentraciones de MP encontrados no revisten peligro.

Palabras clave: Codorniz – metales pesados – peso – sexo

INTRODUCCIÓN

Las aves están entre los organismos más utilizados en los estudios ecotoxicológicos de metales pesados (MP), debido a que ocupan niveles medios y altos en la cadena alimentaria y son de amplia distribución (Becker, 2003; Burger *et al.*, 2007; Manjula *et al.*, 2015; Raza *et al.*, 2017). Los efectos tóxicos de los MP en las aves no solamente van a depender de su concentración en los tejidos, sino que van a estar influenciados por factores como especie, edad, sexo, hábitat, condiciones climáticas y duración de la exposición (Becker, 2003), aunque condicionados, mayoritariamente, por la dieta, patrones de migración y tiempo de residencia (Kim & Oh, 2013).

Sin embargo, ya que en muchos casos las aves están protegidas deontológicamente, es conveniente utilizar técnicas no invasivas para determinar contaminantes en sus tejidos, por ejemplo, a través de la obtención de pequeñas muestras de sangre y plumas (Burger, 1993). Las plumas tienen ventajas sobre otros tejidos pues son fáciles de recolectar y almacenar, ya que no necesitan refrigeración y se pueden extraer en vivo (Makarski *et al.*, 2001; Adout *et al.*, 2007). Por su parte, la sangre brinda información sobre la frecuencia de exposición, la

estacionalidad y los alimentos asociados con la exposición a MP, revelando, por un lado, la exposición a corto plazo (ingesta diaria inmediata), y, por el otro, fenómenos fisiológicos, como la movilización de reservas para producir un aumento de volumen sanguíneo al inicio de la muda (Martínez *et al.*, 2009; Brait & Antoniosi-Filho, 2011).

Parte de los metales seleccionados para esta investigación cumplen funciones importantes en los organismos. El cromo (Cr) actúa como regulador del metabolismo de la glucosa y el colesterol; la captación de Cr, vía aérea o través del tracto digestivo, es más rápida en la forma hexavalente que la trivalente; muchos experimentos en animales, al inyectarles Cr, han provocado cáncer en la piel y la musculatura (Långard & Costa, 2015). El cobre (Cu) es un elemento traza esencial encontrado en todos los órganos y células; es un constituyente de las oxidasas, las cuales son necesarias para la regulación de las reacciones redox, respiración y formación de cartílagos. Un incremento en los niveles de Cu puede causar daños en el hígado, riñón y cerebro (Ellingsen *et al.*, 2015). El zinc (Zn) es un nutriente esencial cuya absorción procedente de la dieta fluctúa entre un 20-30%; en aves es vital para el crecimiento, desarrollo del

plumaje y los huesos, y estructura y función enzimática. El aumento en la absorción de Zn se ha asociado a un bajo peso corporal, y presencia de determinadas prostaglandinas, mientras que una menor absorción está asociada a un exceso de Ca en la dieta, y déficit de piridoxina o triptófano (Goyer, 1996; Sandeasted, 2015). El plomo (Pb) y el cadmio (Cd) no tienen función biológica conocida, pero bioacumulados, aun en pequeñas cantidades, pueden resultar tóxicos (Jakimska *et al.*, 2011). El Pb actúa como un veneno y como un neurotóxico, que se enlaza a enzimas esenciales y a varios componentes celulares, inactivándolos; las consecuencias tóxicas se observan a nivel de los sistemas hematopoyético, nervioso, gastrointestinal y renal (Baykov *et al.*, 1996). En experimentos con animales se ha demostrado que el Pb es carcinogénico, aunque su letalidad cancerígena en humanos no se ha comprobado convincentemente (Skerfving & Bergdah, 2015). Por su parte, el Cd se mueve a lo largo de las cadenas alimentarias y se va haciendo más dañino a medida que se acumula, aumentando su concentración hasta 50 veces la inicial, provocando disfunción renal, hipertensión, daño hepático y pulmonar (Nordberg *et al.*, 2015).

Las aves de corral han jugado un papel muy importante en el estudio de toxicidad por MP (Suganya *et al.*, 2016), como ha sido demostrado en diversos estudios en pato (*Anas platyrhynchos* L., 1758) (Szymczyk & Zalewski, 2003; Kinabo & Lyatuu, 2009; Binkowski & Meissner, 2013; Vega *et al.*, 2011); pavo (*Meleagris gallopavo* L., 1758) (Makarski *et al.*, 2001; Mikulski *et al.*, 2009), codorniz (*Coturnix coturnix japonica* Temminck & Schlegel, 1849) (Debacker *et al.*, 2001, El Okle & Lebda, 2014, Hamidipour *et al.*, 2016), aunque siendo más ampliamente analizada en pollos para consumo, gallos y gallinas (*Gallus gallus domesticus* L., 1758) (Baykov *et al.*, 1996; Demirbas, 1999; Uluozlu *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2011; Abduljaleel *et al.*, 2012; Abduljaleel *et al.*, 2013; Thirulogachandar *et al.*, 2014; Manjula *et al.*, 2015).

El riesgo de contaminación por MP debido al consumo de carne y huevos, o sus derivados, provenientes de aves domésticas es un factor de preocupación en la salud humana debido a su toxicidad, aun en concentraciones mínimas. La codorniz doméstica (*C. coturnix japonica*) resulta

una especie adecuada para estudios de toxicidad porque es fácil de manipular y mantener; además, tiene menor tamaño comparativo con otras aves domésticas permitiendo una acumulación más rápida de MP (Debacker *et al.*, 2001; El Okle & Lebda, 2014; Hamidipour *et al.*, 2016).

Debido a que los huevos y carne de la codorniz son alimentos de consumo regular en Venezuela, el objetivo básico de esta investigación fue suministrar información acerca de los niveles de concentración de los MP: Cr, Cu, Zn, Pb y Cd en relación al peso y sexo de las aves.

MATERIALES Y METODOS

Las aves fueron recolectadas en la granja “Los Cascabeles”, localizada en el sector Los Dos Ríos (10° 21' 57" N y 63° 87' 09" O), al sur de Cumanacoa, municipio Montes, estado Sucre, Venezuela.

Se seleccionaron quince individuos: cuatro machos y once hembras. Se procedió a pesarlos en una balanza Sartorius de 2 kg de capacidad (0,001 g de apreciación); a continuación, se les efectuó la extracción de 0,5 mL de sangre por punción directa al corazón, con jeringas de 3 mL, dejándose coagular. A su vez se extrajeron plumas de la cola (timoneras) y de las alas (remeras), las cuales se colocaron en bolsas plásticas herméticamente cerradas, previamente rotuladas. Tanto la sangre como las plumas se mantuvieron refrigeradas a 4°C hasta su posterior procesamiento.

Para obtener los metales en solución, las muestras de pluma y sangre fueron tratadas de acuerdo al procedimiento descrito por Li *et al.* (1994), el cual consistió en mezclar 0,5 mL de cada muestra de sangre con 8 mL de HNO₃, y dejar reposar por 48 h. Seguidamente se agregaron 2 mL de H₂O₂; luego, las muestras se centrifugaron por 10 min a 4400 rpm, y se calentaron hasta 80 °C en una plancha de calentamiento por 90 min, en recipientes cerrados. Una vez a temperatura ambiente, las muestras se filtraron con agua desionizada, utilizando papel filtro Whatman 42 y se colocaron en tubos de centrífuga de 15 mL. En el caso de las plumas, éstas fueron lavadas con tritón concentrado y se dejaron secar. Posteriormente se tomaron 0,5 g de plumas

completas de cada ave y se procedió a realizarles el mismo tratamiento que a las muestras de sangre.

Para la calibración del equipo se prepararon patrones de lecturas de Cr, Cu, Zn, Pb y Cd y se realizaron las respectivas curvas de calibración para cada metal. La lectura de los metales pesados Cr, Cu, Zn, Pb y Cd de las muestras se realizaron por Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP, por su siglas en inglés), en un Espectrómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer, modelo 3110 con flujo de acetileno, en el Laboratorio de Oceanografía Química, del Instituto Oceanográfico de Venezuela, utilizando el método Impact Bead (Kurniawan *et al.*, 2006).

Análisis estadístico

Se asume que los resultados que se obtendrían de las concentraciones de MP no pueden interpretarse como concluyentes por el bajo número de los machos (n=4), privando para ello aspectos deontológicos y económicos, lo que evita sacrificios innecesarios y el alto costo de estas aves en el país; no obstante, fueron contrastados a través de un ANOVA doble, y posteriormente se aplicó un análisis de ámbitos múltiples (prueba *a posteriori*) de Duncan (Sokal & Rohlf, 1981), para así determinar tendencias en las diferencias.

Cuando no se cumplieron los supuestos entre las concentraciones de los metales según el peso y el sexo de las aves, se llevó a cabo la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (KW) haciendo uso del programa Statgraphics Centurion XVII. La relación entre el peso de las aves y las concentraciones de los metales en cada tejido se estimó a través de una regresión lineal simple para cada uno de los metales detectados.

RESULTADOS

Las concentraciones de MP mostraron diferencias significativas ($F_s=63,04^{**}$; $p < 0,05$), siendo más elevadas en las muestras de plumas (Fig. 1); por otra parte, los metales Pb y Cd, tipificados como no esenciales y altamente tóxicos, no fueron detectados en ninguno de los dos tejidos. Las concentraciones de Cr, Cu y Zn formaron dos grupos, uno conformado por el Zn, el elemento que mostró niveles superiores, y otro por Cu y Cr.

Influencia del sexo

Al comparar las concentraciones en plumas de Cr, Cu y Zn, según el sexo, no hubo diferencias significativas ($KW=0,893838ns$; $p > 0,05$) para el Cr; en cambio, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para el Zn ($KW=0,0263159^{**}$; $p < 0,05$) y el Cu ($KW=0,0156257^{**}$; $p < 0,05$), siendo superior en los machos (Fig. 2). En sangre no hubo diferencias estadísticamente significativas en el Cr ($KW=0,0972508 ns$; $p > 0,05$) ni en el Zn ($KW=0,234474 ns$; $p > 0,05$); pero sí las hubo para el Cu ($KW=0,0404164^{**}$; $p < 0,05$), siendo mayor en las hembras (Fig. 3).

Influencia del peso

La relación entre el peso y el contenido de metales se evidenció para Cu y Zn en plumas, de manera negativa, dado que las aves de menor peso fueron las que presentaron las mayores concentraciones (Tabla 1). En sangre, ninguno de los tres MP mostró una relación estadísticamente significativa con el peso de las codornices (Tabla 1).

Tabla 1. Regresión lineal simple del peso con respecto a las concentraciones de Cr, Cu y Zinc en sangre y plumas en la codorniz común (*Coturnix coturnix japonica*) proveniente de la granja "Los Cascabeles", Estado Sucre, Venezuela. R^2 = Coeficiente de determinación.

Metal	Tejido	Regresión
Cobre	Plumas	$Y = 0,41706 - 0,00194 / R^2 = 32,5577^*$
Cromo	Plumas	$Y = 0,01087 - 0,00004 / R^2 = 1,99066 ns$
Zinc	Plumas	$Y = 1,16161 - 0,00277 / R^2 = 40,4215^*$
Cobre	Sangre	$Y = 0,01749 - 0,00004 / R^2 = 15,4784 ns$
Cromo	Sangre	$Y = 0,00032 + 0,000004 / R^2 = 22,602 ns$
Zinc	Sangre	$Y = 0,03356 + 0,000001 / R^2 = 0,00411 ns$

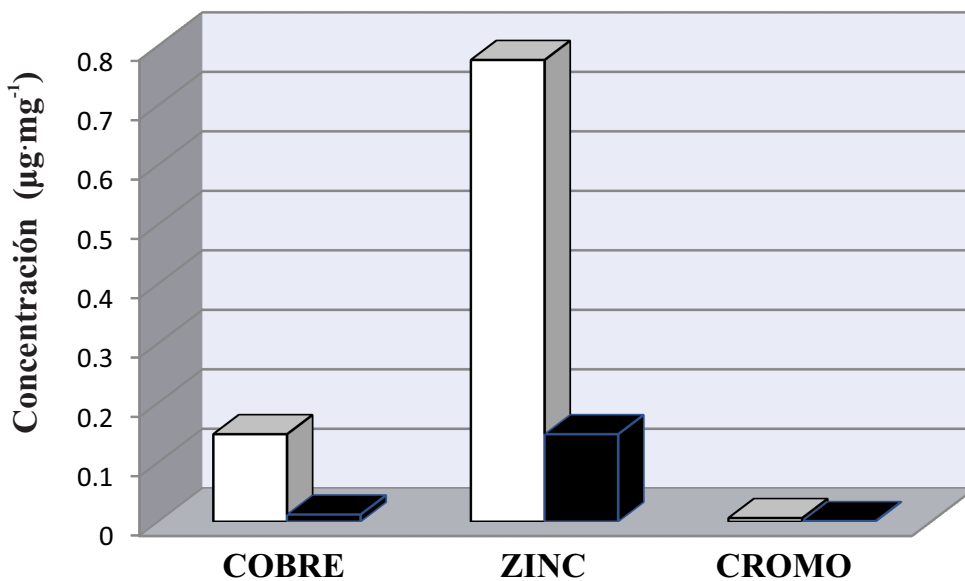


Figura 1. Contenido de cobre, zinc y cromo en sangre (I) y plumas (II) en la codorniz común (*Coturnix coturnix japonica*) proveniente de la granja “Los Cascabeles”, estado Sucre, Venezuela.

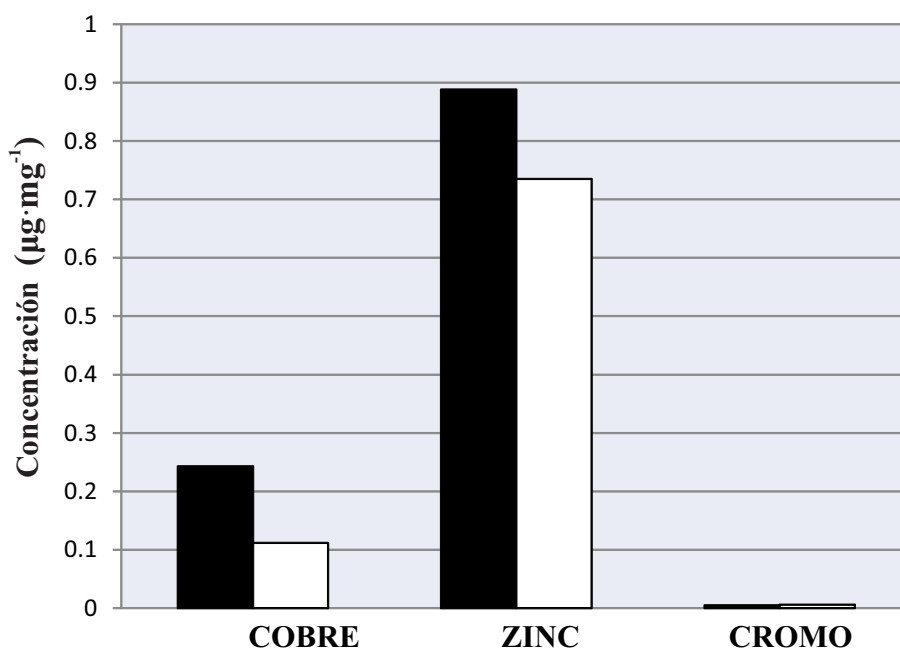


Figura 2. Contenido de cobre, zinc y cromo en plumas de machos (I) y hembras (II) de la codorniz común (*Coturnix coturnix japonica*) proveniente de la granja “Los Cascabeles”, estado Sucre, Venezuela.

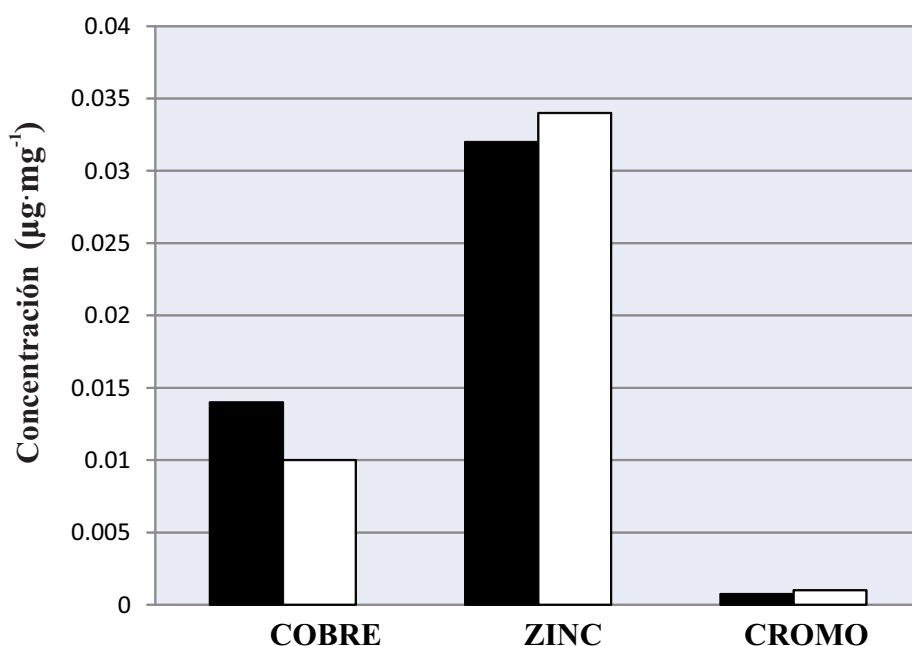


Figura 3. Contenido de cobre, zinc y cromo en sangre de machos (I) y hembras (II) de la codorniz común (*Coturnix coturnix japonica*) proveniente de la granja “Los Cascabeles”, estado Sucre, Venezuela.

DISCUSIÓN

Niveles de Metales Pesados

CROMO

En general, los niveles de Cr varían dependiendo de la especie, hecho atribuido posiblemente a las diferentes dietas, grado de exposición a fuentes externas o a características propias de cada ave. Se ha confirmado que el Cr juega un papel muy importante en el metabolismo de carbohidratos y lípidos, tanto en mamíferos como en aves, siendo un componente activo del factor de tolerancia a la glucosa (NRC, 2005; Pechova & Pavlata, 2007). En cuanto a la salud de las aves, este elemento puede causar efectos deletéreos en la reproducción de diferentes especies (Malik & Zeb, 2009); asimismo, puede afectar al sistema endocrino y causar malformaciones (Manjula *et al.*, 2015). Savinov *et al.* (2003) sostienen que niveles de Cr, en la forma Cr⁶⁺, con valores superiores a 0,08 µg·mg⁻¹, pudieran provocar daños teratogénicos y/o mutagénicos. La cantidad precitada se encuentra por encima a las obtenidas en esta investigación en ambos tejidos, lo que indica que los individuos

analizados aquí no se encuentran afectados por este metal. Abduljaleel *et al.* (2012) determinaron niveles inocuos de Cr en plumas de *C. coturnix japonica* y *G. gallus domesticus*; no obstante, su contenido en sangre fue mayor al del presente estudio.

COBRE

Las concentraciones promedio de Cu obtenidas en plumas arrojaron valores más altos (0,147 µg·mg⁻¹) que en sangre (0,012 µg·mg⁻¹). Los datos sobre los efectos toxicológicos del Cu en aves son escasos, y sus concentraciones y afectaciones fisiológicas difieren entre especies (Goyer, 1996). Según Chiou *et al.* (1999), niveles superiores a 0,25 µg·mg⁻¹ podrían causar efectos tóxicos y erosión de la molleja en las aves; de igual modo, parece influir negativamente en el tamaño de la nidada, desarrollo tisular, talla corporal, crecimiento del plumaje; también, disminución de las proteínas, reservas de grasa y dinámica de las metalotioneínas (Spivey *et al.*, 1984; Franson *et al.*, 2012, Ellingsen *et al.* 2015); de igual modo, pueden inducir anemia, necrosis y fibrosis hepática (Skoric *et al.*, 2012). Además, la ingesta excesiva de este elemento ha sido relacionada con problemas de crecimiento,

respiratorios, desórdenes reproductivos, gastrointestinales, hematológicos y endocrinos, y carcinogénesis (Manjula *et al.*, 2015).

Abduljaleel *et al.* (2012) analizaron los niveles de Cu en sangre y plumas de pollos y codornices, y hallaron mayores concentraciones en plumas que en sangre; no obstante, el contenido de Cu en ambos tejidos fue más bajo que los obtenidos en este estudio; aún así, no presentan un riesgo toxigénico para las codornices.

ZINC

El hecho de que las plumas mostraran mayores concentraciones de Zn que la sangre pudiera deberse, en parte, a que en la pigmentación de las plumas interviene el Zn, entre otros elementos; por ejemplo, la eumelanina es la responsable del color negruzco en plumas y tiene gran afinidad para unirse con varios iones metálicos como el Zn (Niecke *et al.*, 1999).

En el caso de las aves domésticas, la exposición a niveles tóxicos se produce principalmente por la presencia de alambres galvanizados y grapas para la construcción de los recintos donde se albergan (Movalli *et al.*, 2000). Los niveles séricos de Zn para aves intoxicadas pueden oscilar entre 0,6 y 3,2 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ (Carpenter *et al.*, 2004); cuando las concentraciones tóxicas de Zn sobrepasan los 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$, suelen provocar reducción del crecimiento y de la producción de huevos, así como también lesiones en la molleja y páncreas (Calnek, 2000). Aunque la pancreatitis es la lesión más característica, tanto en aves silvestres como en cautividad (Beyer *et al.*, 2004), la sintomatología producto de una intoxicación por Zn en aves incluyen poliuria, polidipsia, problemas gastrointestinales, pérdida de peso, temblores, anemia, cianosis e hiperglicemia (Dewar *et al.*, 1983; Sandeasted, 2015). No obstante, la mayoría de los animales puede tolerar un exceso moderado de Zn en la dieta y regular los niveles en su organismo de forma efectiva. Por esta habilidad, altas concentraciones de Zn no son alarmantes desde el punto de vista toxicológico, aunque los mecanismos de homeostasis pueden llegar a fracasar cuando las concentraciones son extremadamente altas (Sileo *et al.*, 2004).

Las codornices estudiadas arrojaron concentraciones en las plumas que se encuentran

entre los valores de una moderada intoxicación por Zn (0,77 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$), pese a esto, debido a los distintos mecanismos metabólicos para regular los niveles de Zn en los organismos, las aves pueden tolerar dichos niveles; asimismo, debido a que estas concentraciones de Zn se vieron reflejadas mayoritariamente en las plumas, las codornices se encontraban expuestas a una exposición crónica. Vale resaltar que el Zn ejerce una función depurativa en la toxicidad por Pb y Cd, al reducir la acumulación de estos metales en los tejidos (Hutton & Goodman, 1980).

Relación con el Peso

La relación inversa que hubo entre las concentraciones de Cu y el Zn en plumas con el peso de las codornices puede deberse a que se ha establecido que un aumento en la concentración de metales pesados en los tejidos se ha asociado a una reducción de los lípidos (Burger & Gochfeld, 2000). En ensayos con el Eider Común (*Somateria mollissima* L. 1758), durante los periodos de ayuno, llevaron a una pérdida de masa corporal; algunos metales aumentaron sus concentraciones, pero una vez que estos patos ganaron peso, los metales se diluyeron en el tejido que se incrementó (Wayland *et al.*, 2000). Nuestros valores reafirman lo señalado por Burger & Gochfeld (2000) y Wayland *et al.* (2000).

En un estudio llevado a cabo en Malasia, Abduljaleel *et al.* (2012) encontraron que las codornices acumularon mayor cantidad de Zn en plumas que los pollos, pero en sangre fue ligeramente mayor en los pollos; mientras que para el Cu fue mayor en codornices que en pollos, tanto en plumas como en sangre; en cambio, para el Cr fue significativamente superior en pollos que en codornices, tanto en plumas como en sangre.

Ahora bien, el hecho de que el área de estudio es de alta actividad agrícola artesanal e industrial, por un lado, y el conocimiento de que el Cu y el Zn son componentes de muchos herbicidas y fungicidas, puede, al menos indirectamente, provocar que una parte de estos elementos metálicos llegue a las fuentes de alimentación de las codornices. Existen estudios con aves domésticas los cuales revelan que son alimentadas con dosis extremadamente altas de Cu en su dieta (Binkowski & Meissner, 2013); adicionalmente, se sabe que el maíz es el ingrediente básico y tradicional utilizado en la

alimentación de aves de corral (Burrell *et al.*, 2004), y se cultiva intensamente en la zona de estudio.

Relación con el sexo

Los machos y las hembras de los diferentes organismos pueden responder de manera significativamente diferente a la exposición y respuestas toxicocinéticas a los químicos; sin embargo, el género del animal ha recibido poca atención en este sentido (Burger *et al.*, 2007).

Así, el sexo es un factor determinante en la acumulación de MP en los tejidos de las aves (Burger *et al.*, 2004; Robinson *et al.*, 2012; Frantz *et al.*, 2016); sin embargo, en las plumas, las diferencias en los niveles metálicos que se puedan encontrar entre machos y hembras de las aves dependerán del tipo del metal y si las plumas fueron lavadas o no antes del ensayo (Frantz *et al.*, 2016).

En cualquier caso, la deposición de los metales sobre la superficie de las plumas a partir de fuentes externas va depender del entorno ambiental (p. ej., si las aves se encuentran cerca o lejos de la ciudad), y, en menor medida, del tamaño de la glándula uropigial, la cual utilizan las aves para acicalarse el plumaje (Burger, 1993; Frantz *et al.*, 2016), y, por tanto, la regularidad con la cual cada sexo se acicala, o también si utilizan el agua para bañarse. En este sentido, la frecuencia de estas actividades puede aumentar o no durante la fase de cortejo o del período reproductivo, por todos los cambios morfoanatómicos y fisiológicos que implican estos eventos; de hecho, el acicalamiento del plumaje con el pico puede trasladar metales depositados externamente en las plumas hacia el tracto digestivo al beber o comer, aumentando así las concentraciones internas (Frantz *et al.*, 2016).

Los valores mayores de Zn y Cu en el plumaje de los machos corroboran lo obtenido en otros estudios (e.g., Stewart *et al.*, 1994), y se explica por el hecho de que las hembras pueden excretar mayores cantidades de metales pesados en sus tejidos blandos a través de los huevos en desarrollo (Lewis *et al.*, 1993); adicionalmente, los niveles de Zn y Cu tienden a ser superiores en machos, debido a que éstos tienen una síntesis más intensa de metalotioneínas (Debacker *et al.*, 2001; Jaspers *et al.*, 2004). No obstante, en palomas bravías (*Columba livia* Gmelin, 1789) citadinas, el

contenido de Zn del plumaje fue similar entre machos y hembras (Frantz *et al.*, 2016); en ese aspecto, ya se había sugerido que la deposición exógena de Zn en el plumaje es un factor de influencia menor en los niveles de concentración de este metal (Jaspers *et al.*, 2004).

La concentración de Cu en sangre, mayor en machos, puede ser consecuencia del dimorfismo sexual ya que las hembras de las codornices, al ser más pesadas, pueden experimentar una mayor dilución de las concentraciones de Cu en sangre (Sahin & Kukuk *et al.*, 2003; Zolfaghari *et al.*, 2007). Finalmente, en un ensayo con codornices juveniles, se determinó que había cierto nivel de interferencia antagónica cuando se suministra Zn en la dieta a ciertas concentraciones, lo cual hace disminuir el contenido de Cu, Mn y Fe, ocasionando anemia, y retraso en el crecimiento y en la pigmentación de las plumas (Hamilton *et al.*, 1978).

En retrospectiva, las diferencias en el contenido de MP entre machos y hembras en las aves generalmente resultan complicados de establecer, debido a su naturaleza multifactorial (p. ej., diferencias metabólicas, vías de desintoxicación, conducta alimenticia, longevidad, etc.). De cualquier modo, esta investigación demostró que las concentraciones de MP en la sangre y el plumaje de las codornices criadas en esta granja estuvieron dentro los niveles aceptables, por lo que la carne y sus huevos están aptos para el consumo humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abduljaleel, S.; Shuhaiml-Othman, M. & Babji, A. 2012. Assessment of trace metals contents in chicken (*Gallus gallus domesticus*) and quail (*Coturnix coturnix japonica*) tissues from Selangor (Malaysia). *Journal of Environmental Science and Technology*, 5: 441–451.
- Abduljaleel, S. & Shuhaimi-Othman, M. 2013. Toxicity in cadmium and lead in *Gallus gallus domesticus* assessment in body weight and metal content in tissues after metal dietary supplements. *Pakistan Journal of Biological Science*, 16: 1551–1556.

- Adout, A.; Hawlena, D.; Maman, R.; Paz-Tal, O. & Karpas, Z. 2007. Determination of trace elements in pigeon and raven feathers by ICPMS. *International Journal of Mass Spectrometry*, 267: 109–116.
- Baykov, B.D.; Stoyanov, M.P. & Gugova, M.L. 1996. Cadmium and lead bioaccumulation in male chickens for high food concentrations. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 54: 155159.
- Becker, P.H. 2003. *Biomonitoring with birds*. In: *Trace metals and other contaminants in the environment bioindicators and biomonitors: Principles, concepts and applications*. Markert, B.A.; Breure, A.M. & Zechmeister, H.G. (eds.), Elsevier, Oxford. pp. 677–736.
- Beyer, W.; Dalgarn, J.; Dudding, S.; French, J.; Mateo, R.; Miesner, J.; Sileo, L. & Spann, J. 2004. Zinc and lead poisoning in wild birds in the tri-state mining district (Oklahoma, Kansas and Missouri). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 48: 108–117.
- Binkowski, L. & Meissner, W. 2013. Levels of metals in blood samples from Mallards (*Anas platyrhynchos*) from urban areas in Poland. *Environmental Pollution*, 178: 336–342.
- Brait, C.H.H. & Antoniosi-Filho, N.R. 2011. Use of feathers of feral pigeons (*Columba livia*) as a technique for metal quantification and environmental monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, 179: 457–467.
- Burger, J. 1993. Metal in avian feathers: bioindicators of environmental pollution. *Research of Environmental Toxicology*, 5: 203–311.
- Burger, J. & Gochfeld, M. 2000. Metals levels in feathers of 12 species of seabirds from Midway Atoll in the northern Pacific Ocean. *Science of the Total Environment*, 257: 37–52.
- Burger, J.; Fossi, C.; McClellan-Green, P. & Orlando, E.F. 2007. Methodologies, bioindicators, and biomarkers for assessing gender-related differences in wildlife exposed to environmental chemicals. *Environment Research*, 104: 135–152.
- Burrell, A.L.; Dozier, W.A.; Davis, A.J.; Compton, M.M.; Freeman, M.E.; Vendrell, P.F. & Ward, T.L. 2004. Response of broilers to dietary zinc concentrations and sources in relation to environmental implications. *British Poultry Science*, 45: 255–263.
- Calnek, B. 2000. *Enfermedades de las aves*. 10^{ma} ed. Ed. El Manual Moderno. Distrito Federal, México.
- Carpenter, J.; Andrews, G. & Beyer, W. 2004. Zinc toxicosis in a free-flying Trumpeter Swan (*Cygnus buccinator*). *Journal of Wildlife Diseases*, 40: 769–774.
- Chiou, P.; Chen, K. & Wu, C. 1999. Effect of high dietary copper on the morphology of gastrointestinal tract in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 12: 548–553.
- Debacker, V.; Jauniaux, T.; Coignoul, F. & Bouquegneau, J. 2000. Heavy metals contamination and body condition of wintering guillemots (*Uria aalge*) at the Belgian coast from 1993 to 1998. *Environmental Research (Section A)*, 84: 310–317.
- Debacker, V.; Rutten, A.; Jauniaux, T.; Daemers, C. & Bouquegneau, J.M. 2001. Combined effects of experimental heavy-metal contamination (Cu, Zn, and CH₃Hg) and starvation on quail's body condition. *Biological Trace Element Research*, 82: 87–107.
- Demirbas, A. 1999. Proximate and heavy metal composition in chicken meat and tissues. *Food Chemistry*, 67: 27–31.
- Dewar, W.A.; Wight, P.A.; Pearson, R.A. & Gentle, M.J. 1983. Toxic effects of high concentrations of zinc oxide in the diet of the chick and laying hen. *British Poultry Science*, 24: 397–404.
- El Okle, O.S. & Lebda, M.A. 2014. Could alpha-lipoic acid protect against sub-chronic toxicity of heavy metals mixture in Japanese Quails? *Life Science Journal* 11-12: 907–917.
- Ellingsen, D.G.; Birk Moller, L. & Asseth, J. 2015. *Copper*. In: *Handbook on the toxicology metals*. Nordberg, G.F.; Fowler, B.A. & Nordberg, M. (eds.), Academic Press Vol. II, USA. pp. 765–786.
- Franson, J.C.; Lahner, L.L.; Meteyer, C.U. & Rattner, B.A. 2012. Copper pellets simulating oral exposure to copper ammunition: absence of toxicity in American kestrels (*Falco sparverius*).

- Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 62: 145–153.
- Frantz, A.; Federici, P.; Legoupi, J.; Jacquin, L. & Gasparini, J. 2016. Sex-associated differences in trace metals concentrations in and on the plumage of a common urban bird species. *Ecotoxicology*, 25: 22–29.
- Goyer, R. 1996. *Toxic effects of metals*. In: Klaassen, M.; Amdur, Y. & Doull, J. (Eds.). *Casarett and Doull's toxicology. The basic science of Poison*. McGraw-Hill. 5th. New York. pp. 691–736.
- Hamidipour, F.; Pourkhabbaz, H.R.; Banaee, M. & Javanmardi, S. 2016. Bioaccumulation of lead in the tissues of Japanese quails and its effects on blood biochemical factors. *Iranian Journal of Toxicology*, 10: 13–21.
- Hamilton, R.P.; Fox, M.R.S.; Fry Jr., B.E.; Jones, A. & Jacobs, R.M. 1978. Zinc interference with copper, iron, and manganese in young Japanese Quail. *Journal of Food Science*, 44: 738–741.
- Hutton, M. & Goodman, G.T. 1980. Metal contamination of feral pigeons (*Columba livia*) from the London area: Part 1-Tissue accumulation of lead, cadmium and zinc. *Environmental Pollution (Series A)*, 40: 207–217.
- Jakimska, A.; Konieczka, P.; Skóra, K. & Namieśnik, J. 2011. Bioaccumulation of metals in tissues of marine animals, Part 1: The role and impact of heavy metals on organisms. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20: 1117–1125.
- Jaspers, V.; Dauwe, T.; Pinxten, R.; Bervoets, L.; Blust, R. & Eens, M. 2004. The importance of exogenous contamination on heavy metal levels in bird feathers. A field experiment with free-living great tits, *Parus major*. *Journal of Environmental Monitoring*, 6: 356–360.
- Kim, J. & Oh, J.M. 2013. Assessment of trace metal in four birds species from Korea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 6847–6854.
- Kinabo, C. & Lyatuu, H. 2009. Mercury contamination in domestic ducks in Geita, Northwest Tanzania. *Tanzania Journal of Science*, 35: 37–46.
- Kurniawan, T.A.; Chan, G.Y.S.; Lo, W.H. & Babel, S. 2006. Physicochemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 118: 83–98.
- Långard, S. & Costa, M. 2015. *Chromium*. In: *Handbook on the toxicology metals*. Nordberg, G.F.; Fowler, B.A. & Nordberg, M. (eds.), Academic Press. Vol. II, USA. pp. 717742.
- Lewis, S.; Becker, P. & Furness, R. 1993. Mercury levels in eggs, tissues and feathers on herring gulls *Larus argentatus* from the German Wadden Sea coast. *Environmental Pollution*, 80: 293–299.
- Li, J.; Plorde, J. & Carlson, L. 1994. Effects of volume and periodicity on blood cultures. *Journal of Clinical Microbiology*, 32: 2829–2831.
- Makarski, B.; Gortat, M.; Lechowski, J.; Żukiewicz-Sobczak, W.; Sobczak, P. & Zawiaślak, K. 2001. Impact of copper (Cu) at the dose of 50 mg on haematological and biochemical blood parameters in turkeys, and level of Cu accumulation in the selected tissues as a source of information on product safety for consumers. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 21: 567–570.
- Malik, R. & Zeb, N. 2009. Assessment of environmental contamination using feathers of *Bubulcus ibis*, as a biomonitor of heavy metal pollution, Pakistan. *Ecotoxicology*, 18: 522–536.
- Manjula, M.; Mohanraj, R. & Devi, M. 2015. Biomonitoring of heavy metals in feathers of eleven common bird species in urban and rural environments of Tiruchirappalli, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187: 1–10.
- Martínez, E.; Romero, D.; Mojica, P.; Martínez, J.; Calvo, J. & García, A. 2009. Changes in blood pesticide levels in Booted Eagle (*Hieraaetus pennatus*) associated with agricultural land practices. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 45–50.
- Mikulski, D.; Jankowski, J.; Zduńczyk, Z.; Wróblewska, M. & Mikulski, M. 2009. Cooper balance, bone mineralization and the growth performance of turkeys fed diet with two types of Cu supplements. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 18: 677–688.
- Movalli, P. 2000. Heavy metal and other residues in feathers of Laggar Falcon *Falco biarmicus jugger* from six districts of Pakistan.

- Environmental Pollution, 109: 267–275.
- Niecke, M.; Heid, M. & Kruger, A. 1999. Correlation between melanin pigmentation and element concentration in feathers of white-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*). Journal of Ornithology, 140: 355–362.
- Nordberg, G.F.; Nogawa, K. & Nordberg, M. 2015. Cadmium. In: *Handbook on the toxicology metals*. Nordberg, G.F., Fowler, B.A. & Nordberg, M. (eds.), Academic Press. Vol. II, USA. pp. 667–716.
- NRC (National Research Council). 2005. *Mineral tolerance of animals*. Second Ed. The National Academies Press. Washington, USA.
- Pechova, A. & Pavlata, L. 2007. Chromium as an essential nutrient: a review. Veterinarni Medicina, 52: 1–18.
- Raza, A.; Ayaz, M. & Rafi, S. 2017. Bioaccumulation and effects of heavy metals in avian fauna of Asian scavenging species; a review. Annals of Life Sciences, 1: 9–13.
- Robinson, S.A.; Lajeunesse, M.J. & Forbes, M.R. 2012. Sex differences in mercury contamination of birds: testing multiple hypotheses with meta-analysis. Environmental Science and Technology, 46: 7084–7101.
- Sahin, K. & Kukuk, O. 2015. Nutrición y alimentación de codornices. Journal of Nutrition, 133: 2808–2811.
- Sandeasted, H.H. 2015. Zinc. In: *Handbook on the toxicology metals*. Nordberg, G.F.; Fowler, B.A. & Nordberg, M. (eds.), Academic Press. Vol. II, USA. pp. 1369–1385.
- Savinov, V.; Gabrielsen, W. & Savinova, T. 2003. Metals toxics. Science of the Total Environment, 306: 133–158.
- Sileo, L.; Beyer, N. & Mateo, R. 2004. Pancreatitis in wild zinc-poisoned waterfowl. Avian Pathology 32: 665–660.
- Skerfving, S. & Bergdahl, I.A. 2015. Lead. In: *Handbook on the toxicology metals*. Nordberg, G.F.; Fowler, B.A. & Nordberg, M. (Eds.). Academic Press. Vol. II, USA, pp. 911–967.
- Skoric, S.; Visnjic, Z.; Jaric, I.; Djikanovic, V.; Mickovic, B.; Nikcevic, M. & Lenhardt, M. 2012. Accumulation of 20 elements in Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*) and its main prey, Common Carp (*Cyprinus carpio*) and Prussian Carp (*Carassius gibelio*). Ecotoxicology and Environmental Safety, 80: 244–251.
- Sokal, R. & Rohlf, F. 1981. *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Blumé, H. Ediciones. Madrid, España.
- Spivey, M.R.; Tao, S.; Stone, C.L. & Fry, B.L. 1984. Effects of zinc, iron and copper deficiencies on cadmium in tissues of Japanese Quail. Environmental and Health Perspectives, 54: 57–65.
- Stewart, F.; Thompson, M.; Furness, D. & Harrison, N. 1994. Seasonal variation in heavy metal levels in tissues of Common Guillemots, *Uria aalge* from Northwest Scotland. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 27: 168–175.
- Suganya, T.; Senthilkumar, S.; Deepa, K.; Muralidharan, J.; Sasikumar, P. & Muthusamy, N. 2016. Metal toxicosis in poultry – A review. International Journal of Science, Environmental and Technology, 5: 515–524.
- Szymczyk, K. & Zalewski, K. 2003. Copper, zinc, lead and cadmium content in liver and muscles of mallards (*Anas platyrhynchos*) and other hunting fowl species in Warmia and Mazury in 1999–2000. Polish Journal of Environmental Studies, 12: 381–386.
- Thirulogachandar, A.; Rajeswari, M. & Ramya, S. 2014. Assessment of heavy metals in *Gallus* and their impact in human. International Journal of Scientific and Research Publications, 4: 1–8.
- Uluozlu, O.D.; Tuzen, M.; Mendil, D. & Solylak, M. 2009. Assessment of trace element contents of chicken products from Turkey. Journal of Hazardous Materials, 163: 982–983.
- Vega, R.; Capitan, A.; Lambio, B.; Garcia, B. & Rivero, H. 2011. Low levels of organochlorine residues in combination with cadmium in feed at peripubertal stage of Domestic Mallard (*Anas platyrhynchos* Linn.). Journal of Environmental Science and Management, 14: 21–27.
- Wayland, M.; Gilchrist, H.; Marchant, T.; Keating, J. & Smits, J. 2002. Immune function, stress response, and body condition in Arctic-breeding Common Eiders in relation to

- cadmium, mercury, and selenium concentrations. *Environmental Research*, 90: 47–60.
- Yang, X.J.; Sun, X.X; Li, C.Y; Wu, X.H. & Yao, J.H. 2011. Effects of copper, iron, zinc and manganese supplementation in a corn and soybean diet on the growth performance, meat, quality and immune responses of broiler chickens. *The Journal of Applied Poultry Research*, 20: 263–271.
- Zolfaghari, G.; Esmaili, A.; Ghasempouri, S. & Kiabi, B. 2007. Examination of mercury concentration in the feathers of 18 species of birds in southwest Iran. *Environmental Research*, 104: 258–265.

Received June 21, 2018.
Accepted July 4, 2018.