



Arsénico, cadmio, mercurio y plomo en alimentos importados para mascotas en Costa Rica¹

Arsenic, cadmium, mercury, and lead in imported pet food in Costa Rica

Carolina Naranjo-Jiménez², Rodolfo WingChing-Jones²

¹ Recepción: 16 de septiembre, 2021. Aceptación: 6 de mayo, 2022. Este trabajo formó parte del proyecto de graduación de la primera autora para obtener la Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, financiada por la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

² Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia, San José, Costa Rica. cnj9011@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9511-796X>), rodolfo.wingching@ucr.ac.cr (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-8009-2210>).

Resumen

Introducción. El consumo de metales pesados puede provocar problemas de salud en los animales. **Objetivo.** Determinar la concentración de cadmio, mercurio, plomo y arsénico en 34 alimentos balanceados importados y comercializados en Costa Rica para perros, gatos, conejos, hámsteres, tortugas y peces ornamentales. **Materiales y métodos.** Se cuantificó el contenido de arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) en alimentos balanceados importados para seis animales de compañía, durante los meses de mayo a octubre del año 2018. De forma aleatoria, se visitaron expendios autorizados de alimentos balanceados y se compraron diez empaques de alimento para perros y gatos, cinco para peces ornamentales, cuatro para tortugas, tres para hámsteres y dos para conejos. Las muestras fueron analizadas en el Centro de Investigación en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica mediante espectrofotometría de absorción atómica con atomizador de tubo de grafito (As, Cd, Pb) y de celda de cuarzo (Hg). **Resultados.** Las concentraciones obtenidas en alimentos para perros y gatos, adultos y cachorros, conejos, hámsteres, peces ornamentales y tortugas, fueron para As de 0,009, 0,013, 0,003, no detectable (ND), ND, 0,036 y 0,113 ppm, respectivamente; para Cd de ND, 0,021, 0,022, 0,031, 0,010, 0,037, 0,139 y 0,043 ppm, respectivamente; para Hg de 0,101, 0,078, 0,045, 0,040, 0,031, 0,045, 0,032 y 0,032 ppm, respectivamente, y para Pb de 0,381, 0,885, 0,573, 0,740, 0,446, 0,732, 0,763 y 0,841 ppm, respectivamente. **Conclusión.** Los contenidos de metales pesados determinados en alimentos para mascotas, no superaron los valores máximos permitidos para su comercialización. Este trabajo incrementa la información disponible en temas de inocuidad de alimentos balanceados en peces ornamentales, hámsteres, tortugas y conejos; promueve estrategias de monitoreo continuo de estos y la comprensión del potencial real de acumulación en los animales y sus efectos en el bienestar de los mismos.

Palabras clave: metales pesados, nutrición de mascotas, animales de compañía, inocuidad, alimentos para animales.

Abstract

Introduction. The intake of heavy metals can cause health problems in animals. **Objective.** To determine the concentration of cadmium, mercury, lead, and arsenic in 34 imported balanced foods marketed in Costa Rica for dogs,



Agronomía Mesoamericana es desarrollada en la Universidad de Costa Rica bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escriba a pccmca@ucr.ac.cr o pccmca@gmail.com

cats, rabbits, hamsters, turtles, and ornamental fish. **Materials and methods.** The content of arsenic (As), cadmium (Cd), mercury (Hg) and lead (Pb) in imported balanced foods for six pets was quantified during the months of May to October 2018. On a random basis, authorized feed stores were visited to purchased ten packages of dog and cat food, five for ornamental fish, four for turtles, three for hamsters, and two for rabbits. The samples were analyzed at the Animal Nutrition Research Center of the Universidad de Costa Rica using atomic absorption spectrophotometry with graphite tube atomizer (As, Cd, Pb) and quartz cells (Hg). **Results.** The concentrations obtained in the food for dogs and cats, adults and puppies, rabbits, hamsters, ornamental fish, and turtles were for As 0.009, 0.013, 0.003, non-detectable (ND), ND, 0.036, and 0.113 ppm, respectively; for Cd ND, 0.021, 0.022, 0.031, 0.010, 0.037, 0.139, and 0.043 ppm, respectively; for Hg 0.101, 0.078, 0.045, 0.040, 0.031, 0.045, 0.032, and 0.032 ppm, respectively, and for Pb of 0.381, 0.885, 0.573, 0.740, 0.446, 0.732, 0.763, and 0.841 ppm, respectively. **Conclusions.** The contents of heavy metals in pet foods did not exceed the maximum values allowed for their commercialization. This work increases the information available on the safety of food for ornamental fish, hamsters, turtles, and rabbits, also promotes continuous monitoring strategies, and the understanding of the real potential for accumulation in animals, and its effects on their welfare.

Keywords: heavy metals, pets nutrition, pets, food safety, animal food.

Introducción

Los agentes de contaminación en alimentos para animales, se clasifican en físicos, químicos o biológicos (Food and Agriculture Organization of the United Nations & International Feed Industry Federation [FAO & IFIF], 2010). Los metales pesados, debido a su relativa alta densidad (Govind & Madhuri, 2014), toxicidad y persistencia en el medio ambiente, son considerados contaminantes químicos (Guo et al., 2017).

El riesgo de contaminación por metales pesados en los alimentos para animales, ha sido objeto del escrutinio en los últimos años (Serpe et al., 2013). Estos contaminantes pueden provenir del suelo al cultivo (transferencia al material vegetal), prácticas agronómicas implementadas a los cultivos (McBride & Spiers, 2001), la zona donde se encuentran los animales o se extraen las materias primas (Tomza-Marciniak et al., 2012), sitios mineros contaminados (extracción de minerales inorgánicos) (Murthy et al., 2013), la recolección, el tratamiento (Cavalheiro Paulelli et al., 2018) y elaboración de las harinas, durante el transporte, las técnicas de procesamiento (Rosiles Martínez et al., 1997), tipo de materia prima (Duran et al., 2010; Luippold & Sexaur Gustin, 2016; Pedrinelli et al., 2019) y en la fabricación de alimentos (Elliott et al., 2017).

La alimentación de las mascotas basada en alimentos balanceados, permite un abordaje nutricional acorde con los requerimientos de los animales. Es importante rescatar que, en Costa Rica para el año 2019, se contabiliza una población de 1 900 000 animales de compañía [perros (73,68 %) y gatos (26,32 %)] (Cámara de Industriales de Alimentos Balanceados, 2020). En el país, el 98 % de las personas dueñas de mascotas utilizan alimentos balanceados en su alimentación (Torres Vargas, 2018). Por esta razón, conocer la concentración de metales pesados, es una forma de mantener la salud de los animales, ya que los efectos adversos de un mineral dependen de la concentración en la dieta, cantidad consumida y del tiempo que el animal se encuentre expuesto a este (National Research Council [NRC], 2005).

En Costa Rica, se describieron las concentraciones de cadmio, arsénico, mercurio y plomo en veintisiete materias primas de origen mineral, utilizadas en la formulación de alimentos balanceados para animales (Mata Arias, 2017); asimismo, en vísceras de animales bovinos (hígados) se obtuvieron los contenidos de cadmio (Cd), plomo (Pb) y arsénico (As) (Rodríguez-González, 2014); mientras que, en alimentos balanceados elaborados para mascotas se informó de la presencia de Cd, Hg, Pb y As (Leiva et al., 2019).

En los últimos años, se presta atención al comportamiento de los metales pesados, para comprender y visualizar el impacto que tienen en el medio ambiente (Hejna, et al. 2018), como también, en los animales y seres humanos que consumen alimentos contaminados (Pigłowski, 2018). Conforme pasan los años, las alertas por Cd y As, muestran una tendencia a disminuir, mientras que las de mercurio (Hg) y Pb aumentan (Pigłowski, 2018). En la mayoría de los estudios, las concentraciones de metales pesados no sobrepasan los niveles permitidos según el país donde se realizó la investigación (Davies et al., 2017; Duran et al., 2010; Luippold & Sexaur Gustin, 2016; Mielczarek & Szydlowski, 2017).

La información del contenido de metales presentes en los alimentos para mascotas y el agua, como el consumo diario de este alimento y el agua de bebida, es de importancia, ya que permite al especialista en nutrición animal conocer la ingesta de metales pesados y así tomar medidas correctivas, para mantener la integridad de la salud de los animales de compañía. Debido a las características de estos metales, se presentan problemas con pequeñas cantidades consumidas, asociado a la capacidad que tienen estos elementos a la bioacumulación hasta niveles tóxicos (Dai et al., 2016); pero el grado de absorción de lo ingerido por parte de los animales, aún es difícil de determinar, situación que no permite estimar la tasa de acumulación de estos metales en el organismo y asociarlos con la salud a largo plazo.

La problemática de los metales pesados en alimentos para mascotas, no diferencia entre alimentos secos, alimentos enlatados (Cavalheiro-Pauelli et al., 2018; Duran et al., 2010), juguetes (Martínez et al., 1997) e insumos utilizados en el cuidado de las mascotas en los hogares. Los trabajos que informan de esta situación lo asocian a procesos de acumulación en órganos del animal, como riñón (Garland, 2012; Makridis et al., 2012; NRC, 2005; Raikwar et al., 2008), hígado (NRC, 2005; Makridis et al., 2012; Raikwar et al., 2008), músculo (Makridis et al., 2012; NRC, 2005), huesos, cerebro, entre otros (Raikwar et al., 2008).

El efecto sobre la salud de la mascota de la cantidad de metales pesados presentes en los alimentos, está en función del estado fisiológico, la edad (Blagojević et al., 2012), estado sanitario (Cedeño et al., 2016), estado trófico donde se encuentran (Dallinger et al., 1987), consumo diario, la tasa de absorción y el medio ambiente (Park et al., 2005; Parra Ochoa, 2014).

El estudio de los efectos de los metales pesados en los animales de interés zootécnico de producción, compañía y vida silvestre, ha sido evaluado, en aves de postura (Tao et al., 2020) y engorde, palomas (Parra Ochoa, 2014), canarios (Martorell, 2009), codornices (Darwish et al., 2018), patos (De Francisco et al., 2003), cerdos (Eswar Reddy et al., 2017), ganado bovino (terneros, vaca en producción) (Bertin et al., 2013), peces, cabras, ratones, ratas (Agrawal et al., 2015), perros (Balagangatharathilagar et al., 2006; López-Alonso et al., 2007), ovejas y monos (*Macacos rhesus*), estos se agrupan en pérdidas de peso (NRC, 2005), estudios de acumulación, problemas renales y cambios en el comportamiento (Carpenter, 2001).

En perros, el consumo de metales pesados se asocia con la pérdida de peso y el consumo de alimento, problemas renales, cambios de comportamiento y problemas neurológicos (NRC, 2005). Mientras que, en los gatos se describen daños neurológicos y debilidad en las patas traseras ante la exposición de Hg. En el caso de los conejos, el consumo de As se asocia a problemas cardíacos y el de Cd a anemia, proteinuria, disminución de enzimas en el tracto gastrointestinal (amilasa, tripsina, proteasa y lipasas) (Bersényi et al., 2003), pérdida de peso corporal y apetito (NRC, 2005).

Como referencia en peces gato (*Chrysichthys nigrodigitatus*), se encontró que el Cd posee afinidad con la metalotioneína y que el Pb causa retraso en el crecimiento embrionario y suprime la reproducción, inhibe el crecimiento, aumenta la formación de moco, genera problemas neurológicos y disfunción renal (Olatunji Ayotunde et al., 2012). En cambio, para el pez neón tetra (*Parachaeiroduon innesi*) se informó que concentraciones de As (45 a 125 mg L⁻¹) generan, en el tiempo, mayor cantidad de individuos muertos, nado extraño y movimientos operculares (Tomailla & Iannacone, 2018).

En tortugas, se determinó que las de hábitos carnívoros poseen mayores niveles de metales pesados que las omnívoras y las herbívoras (Green et al., 2010), y son utilizadas como una especie que permite conocer el grado de contaminación del ambiente por metales pesados (bioindicador) (López, 2007; Santos Fraga, 2017).

La bibliografía disponible concerniente a la inocuidad de alimentos balanceados en peces ornamentales, hámster, tortugas y conejos, impulsa estrategias de monitoreo continuo de estos y la comprensión del potencial real de acumulación en los animales y sus efectos en el bienestar de los animales de compañía.

Con base en la importancia del alimento balanceado en la nutrición de los animales de compañía, este trabajo tuvo como objetivo determinar la concentración de cadmio, mercurio, plomo y arsénico en 34 alimentos balanceados importados y comercializados en Costa Rica para perros, gatos, conejos, hámsteres, tortugas y peces ornamentales.

Materiales y métodos

Características de la muestra

Los alimentos analizados en este estudio se adquirieron de manera aleatoria en centros de distribución de alimentos balanceados para mascotas, ubicados en San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica, se procedió según lo descrito por Cedeño-López y WingChing-Jones (2022), donde, en una primera etapa, se realizó una revisión de la información de los alimentos balanceados importados con registro activo en la Dirección de Alimentos para Animales (<https://sis.senasa.go.cr/daasire>). Posterior a esta selección, se procedió a realizar la búsqueda de los alimentos seleccionados, durante los meses de mayo y octubre del año 2018, se adquirieron 34 muestras de alimentos balanceados para mascotas de diferentes marcas comerciales y país de origen, que se encontraron disponibles en el mercado, debido a que no existe relación entre alimentos balanceados con registro activo y su presencia en los centros de distribución.

En el caso de las especies de interés zootécnica seleccionadas, se analizaron diez muestras comerciales para perros (cinco adultos y cinco cachorros) (*C. lupus familiaris*), diez muestras de gatos (cinco adultos y cinco cachorros) (*F. catus*), tres muestras para hámsteres (*M. auratus*), dos de conejos (*O. cuniculus*), cinco para peces ornamentales de agua dulce (*Carassius* sp. y *Betta* sp.) y cuatro para tortugas (*Trachemy* sp.).

Determinación de cadmio, mercurio, plomo y arsénico

Previo a la identificación del arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) en los alimentos adquiridos por cada especie de interés zootécnico, el contenido completo del empaque comercial se analizó en el Centro de Investigación en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica. En el caso del plomo, arsénico y cadmio, se utilizó la espectrofotometría de absorción atómica con atomizador de tubo de grafito (Perkin Elmer AAnalyst 800, modelo 2008) (Association of Official Analytical Chemists International [AOAC], 2005, 999.10); mientras que en el caso del mercurio, se utilizó un atomizador de celda de cuarzo.

Antes del análisis, las muestras se secaron a 60 °C por tres días y se molieron a 1 mm de grosor (AOAC, 2005, 950.2). Luego se sometieron a un proceso de digestión en microondas, para lo cual se adicionaron 5 mL de ácido nítrico concentrado y 2 mL de peróxido (CN) por 40 min. Posterior a esta etapa de digestión, las muestras se dejaron enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente, momento en el cual se les adicionó 3 mL de agua destilada para alcanzar un volumen final de 10 mL.

Al momento de la lectura, se inyectó un volumen de 1 μ L en el caso de Pb, As y Cd, mientras que para el Hg el volumen utilizado fue de 2 μ L. El valor obtenido de observancia se ajustó a una curva de calibración de cuatro puntos, para obtener la concentración del elemento, para cada metal pesado.

Análisis de la información

Los resultados obtenidos se analizaron mediante medidas de tendencia central (promedio, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo) (Quintana, 1996). Valores que se compararon con los niveles máximos permitidos a nivel nacional para alimentos de animales de interés zootécnico, descritos por la Asociación Americana para el Control Oficial de Alimentos para Animales, de 0,5 ppm para cadmio, 3 ppm para mercurio, 50 ppm para arsénico y 30 ppm de plomo (Association of American Feed Control Officials, 2017).

Resultados

De las 34 muestras analizadas de alimentos para animales de interés zootécnico, ninguna sobrepasó los límites máximos establecidos por la Asociación de Funcionarios Estadounidenses de Control de Alimentos (AAFCO por sus siglas en inglés) para arsénico (50 ppm), cadmio (0,5 ppm), mercurio (3 ppm) y plomo (30 ppm), valores que no limitan la comercialización de las muestras analizadas según el animal de interés (Cuadro 1).

En el caso del As, este metal no se detectó en el 61,76 % de las muestras. El alimento que presentó el mayor valor promedio fue el elaborado para tortugas, seguido por el de peces ornamentales (Cuadro 1). El Cd se detectó en 52 % de las muestras evaluadas, excepto en el alimento para perros adultos (Cuadro 1).

El plomo (Pb) y el mercurio (Hg), se determinaron en todas las muestras analizadas. Los valores de plomo fueron superiores a los de mercurio en todos los alimentos balanceados (Cuadro 1). Las relaciones de Pb/Hg determinadas en este trabajo, alcanzaron valores de 3,24 en alimentos para perros adultos, de 11,35 en perros cachorros y de 12,73 y 18,5, en alimentos para gatos adultos y cachorros, respectivamente.

Se obtuvo una tendencia, donde las muestras de animales en estado cachorro (perros y gatos), presentaron relaciones Pb/Hg más altas, comportamiento que se relaciona a que en estos alimentos presentaron valores altos de plomo. En el caso de los alimentos para hámsteres, conejos, peces ornamentales y tortugas, las relaciones (Pb/Hg) fueron de 14,39, 16,96, 23,84 y 26,28, respectivamente.

En las muestras de alimento balanceado donde se determinaron los cuatro contaminantes evaluados (perros cachorros, gatos adultos, peces ornamentales y tortugas), el orden decreciente de los contaminantes fue Pb, Hg, Cd y As, excepto en el alimento para tortugas, donde el As superó al Cd en 2,6 veces su concentración. En los alimentos para perros cachorros, gatos adultos y peces ornamentales, donde la concentración de Cd superó la de As, las relaciones determinadas fueron de 1,6, 10,33 y 3,86, respectivamente.

El orden decreciente de concentración de los metales pesados en los alimentos utilizados en la investigación, se mantuvo al evaluar la procedencia de los alimentos balanceados (Pb, Hg, Cd y As), excepto para los alimentos provenientes de Italia, donde el orden creciente de los contaminantes fue de Cd, As, Hg y Pb (Cuadro 2).

Los 34 alimentos balanceados evaluados en esta investigación, fueron manufacturados en Brasil (2,94 %), Japón (5,88 %), Italia (5,88 %), Unión Europea (5,88 %) (no se describe país), Alemania (8,82 %), Canadá (14,71 %), México (23,53 %) y Estados Unidos (32,35 %). En promedio, las concentraciones determinadas de Cd, As, Pb y Hg, según el país de manufactura, no impiden su comercialización en Costa Rica (Cuadro 2), donde los alimentos balanceados importados de Italia presentaron los valores más altos de Hg, Pb, Hg y As, seguido por Japón, México, Estados Unidos, Alemania, Canadá, Unión Europea y Brasil (Cuadro 2).

Cuadro 1. Contenido de arsénico, cadmio, mercurio y plomo analizados en el Centro de Investigación en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica, en alimentos para perros (*Canis lupus familiaris*), gatos (*Felis catus*), hámsteres (*Mesocricetus auratus*), tortugas (*Trachemy* sp.), conejos (*Oryctolagus cuniculus*) y peces ornamentales (*Carassius* sp. y *Betta* sp.), importados y comercializados en San José, Costa Rica, 2018.

Table 1. Arsenic, cadmium, mercury, and lead content analyzed in the Animal Nutrition Research Center of the Universidad de Costa Rica of imported foods for dogs (*Canis lupus familiaris*), cats (*Felis catus*), hamsters (*Mesocricetus auratus*), turtles (*Trachemy* sp.), rabbits (*Oryctolagus cuniculus*), and ornamental fish (*Carassius* sp. and *Betta* sp.); and marketed in San Jose, Costa Rica, 2018.

Alimento	Elemento*	Arsénico	Cadmio	Mercurio	Plomo
Concentración máxima permitida		50	0,5	2	30
mg kg ⁻¹					
Perros adultos (n=5)	m	0,001	ND	0,048	0,166
	M	0,021		0,207	0,786
	X	0,009		0,101	0,328
	s	0,011		0,062	0,264
Perros cachorros (n=5)	m	0,012	0,006	0,046	0,239
	M	0,014	0,021	0,155	0,991
	X	0,013	0,013	0,078	0,573
	s	0,001	0,011	0,044	0,287
Gatos adultos (n=5)	m	0,003	0,018	0,028	0,239
	M	0,003	0,041	0,068	0,991
	X	0,003	0,027	0,045	0,573
	s	-	0,012	0,015	0,287
Gatos cachorros (n=5)	m	ND	0,027	0,008	0,286
	M		0,035	0,066	1,464
	X		0,031	0,040	0,740
	s		0,005	0,024	0,505
Hámsteres (n=3)	m	ND	0,007	0,018	0,251
	M		0,013	0,045	0,572
	X		0,010	0,031	0,446
	s		0,004	0,013	0,171
Conejos (n=2)	m	ND	0,010	0,031	0,572
	M		0,064	0,059	0,892
	X		0,037	0,045	0,732
	s		0,038	0,020	0,226
Peces ornamentales (n=5)	m	0,012	0,078	0,006	0,451
	M	0,059	0,192	0,059	1,138
	X	0,036	0,139	0,032	0,763
	s	0,023	0,022	0,022	0,248
Tortugas (n=4)	m	0,010	0,017	0,011	0,320
	M	0,231	0,058	0,053	1,573
	X	0,113	0,043	0,032	0,841
	s	0,111	0,022	0,017	0,598

* m: mínimo, M: máximo, X: promedio, s: desviación estándar, ND: no detectable. / m: minimum, M: maximum, X: average, s: standard deviation, ND: no detected.

Cuadro 2. Contenido de arsénico, cadmio, mercurio y plomo analizados en el Centro de Investigación en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica, en alimentos para perros (*Canis lupus familiaris*), gatos (*Felis catus*), hámsteres (*Mesocricetus auratus*), tortugas (*Trachemy* sp.), conejos (*Oryctolagus cuniculus*) y peces ornamentales (*Carassius* sp. y *Betta* sp.), según el lugar de manufactura del producto, San José, Costa Rica, 2018.

Table 2. Content arsenic, cadmium, mercury, and lead analyzed foods in the Animal Nutrition Research Center of the Universidad de Costa Rica in food for dogs (*Canis lupus familiaris*), cats (*Felis catus*), hamsters (*Mesocricetus auratus*), turtles (*Trachemy* sp.), rabbits (*Oryctolagus cuniculus*), and ornamental fish (*Carassius* sp. and *Betta* sp.); according to the country of product manufacture, San Jose, Costa Rica, 2018.

País de origen	Nº muestras	Arsénico	Cadmio	Mercurio	Plomo
				mg kg ⁻¹	
Alemania	3	0,056	0,120	0,027	0,781
Brasil	1	N.D.*	N.D.*	0,030	0,514
Canadá	5	0,009	0,011	0,035	0,387
Estados Unidos	11	0,006	0,040	0,062	0,443
Italia	2	0,145	0,078	0,056	1,149
Japón	2	0,012	0,138	0,027	0,915
México	8	0,012	0,027	0,068	0,902
Unión Europea	2	N.D.*	0,034	0,062	1,028

*N.D. no detectable, menor a 1000 ng kg⁻¹. / N.D. no detected, less than 1000 ng kg⁻¹.

Discusión

La manufactura de los alimentos para animales conlleva una serie de pasos para garantizar la calidad e inocuidad de los mismos (Menjívar Miranda, 2012), desde la compra y recepción de la materia prima (Kim et al., 2018), hasta las etapas de formulación, elaboración, empaque, almacenamiento y distribución del producto. Durante este recorrido, los problemas de contaminación química, física o microbiológica del alimento (FAO & IFIF, 2010), se puede generar en una única etapa, varias etapas o puede presentar un proceso acumulativo desde la producción de la materia prima, procesamiento, apertura del empaque y suministro a los animales. En el caso de los resultados de este trabajo, por la metodología empleada, no se precisa en que etapa del proceso se presentó la contaminación del producto.

La concentración de Cd, Pb, Hg y As, en las muestras de alimento comercial importados durante el año 2018 de seis animales de interés zootécnico, no supera los valores máximos permitidos por la legislación costarricense (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 1983), lo que garantiza su inocuidad y calidad; para ser comercializados en el ámbito de estos cuatro elementos analizado.

La presencia de estos metales en las muestras analizadas, se asocia a fuentes naturales y/o por efectos acumulativos de las actividades antropogénicas asociadas al crecimiento urbano, industrial y agrícola (cambios en el uso del suelo) (Bundschuh et al., 2021; Kumar et al., 2020; Spyropoulou et al., 2020; Suhani et al., 2021), y a la capacidad de acumulación y movilización que presentan estos minerales en el suelo, aire y agua. Al integrar el origen y las características de los metales, la presencia de estos en las materias primas utilizadas en la elaboración de los alimentos analizados y la contaminación de los materiales durante el procesamiento y empaque, está en función del grado de contaminación y las buenas prácticas de manufactura de cada país, donde se elaboraron los alimentos importados y que se comercializaron en Costa Rica en el año 2018.

El plomo y el mercurio se determinaron en todas las muestras de alimento analizadas, no se hace diferencia por tipo de animal de interés zootécnico, estado fisiológico ni país de elaboración. En el caso del Pb, este resultado está asociado al uso de este metal de su forma inorgánica y orgánica (tetraetilo de plomo) en actividades de refinería (aditivos), fontanería, industria eléctrica, construcción de artefactos (vidrios, caucho, cerámica y plástico), baterías, entre otros (Ramírez, 2005). El Hg se encuentra en todas las muestras asociado a la liberación de este durante erupciones volcánicas y cambios en el paisaje, a las actividades del ser humano al utilizar los combustibles fósiles, mal manejo de termómetros, barómetros, lámparas fluorescente, entre otros equipos y la combustión de materiales que promueven la formación del metil-Hg (mercurio se une al carbono), la forma más nociva en la cadena alimenticia para el ser humano, animales y plantas (Spyropoulou et al., 2020).

La no determinación de As en los alimentos de hámsteres y conejos analizados en esta investigación, podría estar asociada al tipo de materias primas utilizadas para su formulación, donde no se emplean materiales de origen animal (Smith, 2012; Quinn, 2012). En el primero, por ser un roedor, su dieta es granívora (Smith, 2012) y el segundo un lagomorfo, donde se prefieren materiales fibrosos tiernos altos en proteína (Quinn, 2012). Es importante considerar, que la presencia de metales pesados en materiales de origen vegetal está asociada a los suelos donde se cultiva, las aguas utilizadas para riego, las prácticas agronómicas utilizadas o por contaminación cruzada durante las etapas de la cosecha y manufactura del producto o subproducto de origen vegetal (Kazimierska et al., 2020).

Los resultados obtenidos, permiten visibilizar la situación de los metales pesados en los productos importados y comercializados en Costa Rica para la alimentación de perros, gatos, conejos, hámsteres, peces ornamentales y tortugas, lo que va permitir el planteamiento de trabajos en la temática de la nutrición de estos animales de interés zootécnico y los efectos de los metales pesados en la calidad de vida de los animales de compañía (bienestar animal).

Conclusiones

Los niveles de arsénico, plomo, cadmio y mercurio encontrados en los alimentos concentrados importados desde Alemania, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Italia, Japón, y México durante el año 2018 en Costa Rica, para perros, gatos, conejos, hámsteres, peces ornamentales y tortugas, no superaron los niveles máximos permitidos en alimentos balanceados en Costa Rica para su comercialización.

Agradecimientos

Los autores agradecen el Centro de Investigaciones en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica, por las facilidades y el apoyo brindado durante la ejecución de este proyecto y a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por el financiamiento brindado al proyecto VI-739-B8018 “Contenido de metales pesados en alimentos para mascotas”.

Referencias

- Agrawal, S., Bhatnagar, P., & Flora, S. (2015). Changes in tissue oxidative stress, brain biogenic amines and acetylcholinesterase following co-exposure to lead, arsenic and mercury in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 86, 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.10.013>
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (1983, 28 de agosto). *Ley N° 6883: Para el control de la elaboración y expendio de alimentos para animales*. Sistema Costarricense de Información Jurídica. <https://bit.ly/38Uu1hU>

- Association of American Feed Control Officials. (2017). *Official publication*. Association of American Feed Control Officials Inc.
- Association of Official Analytical Chemists International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists International.
- Balagangatharathilagar, M., Swarup, D., Patra, R. C., & Dwivedi, S. K. (2006). Blood lead level in dogs from urban and rural areas of India and its relation to animal and environmental variables. *Science of the Total Environment*, 359(1–3), 130–134. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.063>
- Bersényi, A., Fekete, S., Szöcs, Z., & Berta, E. (2003). Effect of ingested heavy metals (Cd, Pb and Hg) on Haematology and serum biochemistry in rabbits. *Acta Veterinaria Hungarica*, 51(3), 297–304. <https://doi.org/10.1556/avet.51.2003.3.5>
- Bertin, F. R., Baseler, L. J., Wilson, C. R., Kritchevsky, J. E., & Taylor, S. D. (2013). Arsenic toxicosis in cattle: Meta-anlysis of 156 cases. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 27(4), 977–981. <https://doi.org/10.1111/jvim.12124>
- Blagojević, J., Jovanović, V., Stamenković, G., Jojić, V., Bugarski-Stanojević, V., Adnađević, T., & Vujošević, M. (2012). Age differences in bioaccumulation of heavy metals in populations of the black-striped field mouse, *Apodemus agrarius* (Rodentia, Mammalia). *International Journal of Environmental Research*, 6(4), 1045–1052. <https://doi.org/10.22059/ijer.2012.575>
- Bundschuh, J., Schneider, J., Ayaz Alam, M., Khan Niazi, N., Herath, I., Parvez, F., Tomaszewska, B., Guimaraes Guilherme, L. R., Prakash Maity, J., López. D. L., Fernández Cirelli, A., Pérez-Carrera, A., Morales-Simfors, N., Alarcón-Herrera, M.T., Baisch, P., Mohan, D., & Mukherjee, A. (2021). Seven potential sources of arsenic pollution in Latin America and their environmental and health impacts. *Science of the Total Environment*, 780, Article 146274. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146274>
- Cámara de Industriales de Alimentos Balanceados. (2020). *2020 Informe anual*. Centro de Investigación en Nutrición Animal. <https://bit.ly/3CVDMJ9>
- Carpenter, D. O. (2001). Effects of metal son the nervous system of humans and animals. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 14(3), 209–218.
- Cavalheiro Paulelli, A. C., Cunha Martins Jr., A., Silva de Paula, E., Oliveira Souza, J. M., Hornos Carneiro, M. F., Barbosa Júnior, F., & Lemos Batista, B. (2018). Risk assessment of 22 chemical elements in dry and canned pet foods. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 13, 359–365. <https://doi.org/10.1007/s00003-018-1178-5>
- Cedeño, Y., López-Alonso, M., & Miranda, M. (2016). Hepatic concentrations of copper and other metals in dogs with and without chronic hepatitis. *Journal of Small Animal Practice*, 57(12), 703–709. <https://doi.org/10.1111/jsap.12591>
- Cedeño-López, A., & WingChing-Jones, R. (2022). Perfil mineral de los alimentos importados para mascotas en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), Artículo 47078. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.47078>
- Dai, S. Y., Jones, B., Lee, K. M., Li, W., Post, L., & Herrman, T. J. (2016). Heavy metal contamination of animal feed in Texas. *Journal of Regulatory Science*, 4(1), 21–23. <https://regsci-ojs-tamu.tdl.org/regsci/index.php/regsci/article/view/32>
- Dallinger, R., Prosi, F., Segner, H., & Back, H. (1987). Contaminated food and uptake of heavy metals by fish: a review and a proposal for further research. *Oecologia*, 73, 91–98. <https://doi.org/10.1007/BF00376982>
- Darwish, W. S., Atia, A. S., Khedr, M. H. E., & Saad Eldin, W. F. (2018). Metal contamination in quail meat: residues, sources, molecular biomarkers, and human health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 20106–20115. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2182-0>

- Davies, M., Alborough, R., Jones, L., Davis, C., Williams, C., & Gardner, D. S. (2017). Mineral analysis of complete dog and cat foods in the UK and compliance with european guidelines. *Science Reports*, 7(1), Article 17107. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17159-7>
- De Francisco, N., Ruiz Troya, J. D., & Agüera, E. I. (2003). Lead and lead toxicity in domestic and free living birds. Review. *Avian Pathology*, 32(1), 3–13. <https://doi.org/10.1080/0307945021000070660>
- Duran, A., Tuzen, M., & Soylak, M. (2010). Trace element concentrations of some pet foods commercially available in Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 48(10), 2833–2837. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.07.014>
- Elliott, S., Frio, A., & Jarman, T. (2017). Heavy metal contamination of animal feedstuffs – a new survey. *Journal of Applied Animal Nutrition*, 5, Article e8. <https://doi.org/10.1017/jan.2017.7>
- Eswar Reddy, K., Ree Park, K., Dae Lee, S., Yoo, J. -H., Reum Son, A., & Lee, H. -J. (2017). Effects of graded concentrations of supplemental lead on lead concentrations in tissues of pigs and prediction equations for estimating dietary lead intake. *PeerJ*, 5, Article e3936. <https://doi.org/10.7717/peerj.3936>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, & International Feed Industry Federation. (2010). *Good practices for the feed industry – Implementing the Codex Alimentarius Code of Practice on Good Animal Feeding* (FAO Animal Production and Health Manual No. 9). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Garland, T. (2012). Arsenic. In R. Gupta (Ed.), *Veterinary toxicology* (2nd ed., pp. 499–502). Academic Press.
- Govind, P., & Madhuri, S. (2014). Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 2(2), 17–23. <http://www.isca.me/AVFS/Archive/v2/i2/4.ISCA-RJAVFS-2014-002.php>
- Green, A. D., Buhlmann, K. A., Hagen, C., Romanek, C., & Gibbons, J. W. (2010). Mercury contamination in turtles and implications for human health. *Journal of Environmental Health*, 72(10), 14–22. <https://www.jstor.org/stable/26329049>
- Guo, J., Kang, Y., & Feng, Y. (2017). Bioassessment of heavy metal toxicity and enhancement of heavy metal removal by sulfate-reducing bacteria in the presence of zero valent iron. *Journal of Environmental Management*, 203(1), 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.075>
- Hejna, M., Gottardo, D., Baldi, A., Dell’Orto, V., Cheli, F., Zaninelli, M., & Rossi, L. (2018). Review: Nutritional ecology of heavy metals. *Animal*, 12(10), 2156–2170. <https://doi.org/10.1017/S175173111700355X>
- Kazimierska, K., Biel, W., & Witkiewicz, R. (2020). Mineral composition of cereal and cereal-free dry dog foods versus nutritional guidelines. *Molecules*, 25(21), Article 5173. <https://doi.org/10.3390/molecules25215173>
- Kim, H. -T., Loftus, J. P., Mann, S., & Wakshlag, J. J. (2018). Evaluation of arsenic, cadmium, lead and mercury contamination in over-the-counter available dry dog foods with different animal ingredients (red meat, poultry, and fish). *Frontiers in Veterinary Science*, 5, Article 264. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00264>
- Kumar, A., Kumar, A., Cabral-Pinto M. M. S., Chaturvedi, A. K., Shabnam, A.A., Subrahmanyam, G., Mondal R., Kumar Gupta, D., Malyan, S., Kumar, S. S., Khan, S. A., & Yadav, K. K. (2020). Lead toxicity: Health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), Article 2179. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072179>
- Leiva, A., Molina, A., Redondo-Solano, M., Artavia, G., Rojas-Bogantes, L., & Granados-Chinchilla, F. (2019). Pet food quality assurance and safety and quality assurance survey within the Costa Rican pet food industry. *Animals*, 9(11), Article 980. <https://doi.org/10.3390/ani9110980>

- López-Alonso, M., Miranda, M., García-Partida, P., Cantero, F., Hernández, J., & Benedito, J. L. (2007). Use of dogs as indicators of metal exposure in rural and urban habitats in NW Spain. *The Science of the Total Environment*, 372, 668–675. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.10.003>
- López, V. (2007). *Concentración de metales pesados en la tortuga negra, Chelonia mydas en Baja California Sur* [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.]. DSpace. <https://bit.ly/3KOP8PN>
- Luippold, A., & Sexaur Gustin, M. (2016). Mercury concentrations in wet and dry cat and dog food. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 190–193. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.10.021>
- Makridis, C., Svarnas, C., Rigas, N., Gougoulis, N., Roka, L., & Leontopoulos, S. (2012). Transfer of heavy metal contaminants from animal feed to animal products. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2(A), 149–154.
- Martínez, R. R., Arnaiz, E. O., Amaya, M. A., & Ordóñez, J. B. (1997). Concentración de minerales tóxicos y esenciales en derivados del curtido de pieles “carnazas” para perros y su solubilidad ácida o básica. *Veterinaria México*, 2, 83–86. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=15837>
- Martorell, J. (2009). Intoxicación en aves. *Clínica Veterinaria Pequeños Animales*, 29(3), 172–178.
- Mata Arias, L. (2017). *Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales* (1ª ed.). Universidad de Costa Rica.
- McBride, M., & Spiers, G. (2001). Trace element content of selected fertilizers and dairy manures as determined by ICP-MS. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(1–2), 139–156. <https://doi.org/10.1081/CSS-100102999>
- Menjívar Miranda, M. (2012). *Práctica realizada en la planta dedicada a la producción y distribución de alimento para animales del Grupo Agroindustrial ABA S.A., ubicada en Altamira, San Carlos, Alajuela* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio SIBDI de la Universidad de Costa Rica. <https://bit.ly/3sir2Xf>
- Mielczarek, M., & Szydlowski, K. (2017). The heavy metal content in commercial dog foods. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis*, 332(4), 29–36. <https://doi.org/10.21005/AAPZ2017.41.1.04>
- Murthy, L. N., Mohan, C., Ravishankar, C., & Badonia, R. (2013). Biochemical quality and heavy metal content of fish meal and squid meal produced in Veraval, Gujarat. *Indian Journal of Fisheries*, 60(3), 113–117.
- National Research Council. (2005). *Mineral tolerance of animals* (2nd ed.). National Academy Press.
- Olatunji Ayotunde, E., Obeten Offem, B., & Bekeh Ada, F. (2012). Heavy metal profile of water, sediment and freshwater cat fish, *Chrysichthys nigrodigitatus* (Siluriformes: Bagridae), of Cross river, Nigeria. *Revista Biología Tropical*, 60(3), 1289–1301. <https://doi.org/10.15517/RBT.V60I3.1807>
- Park, S. H., Lee, M. H., & Kim, S. K. (2005). Studies on Cd, Pb, Hg and Cr values in dog hairs from Urban Korea. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18(8), 1135–1140. <https://doi.org/10.5713/ajas.2005.1135>
- Parra Ochoa, E. (2014). Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *CES Salud Pública*, 5(1), 59–69.
- Pedrinelli, V., Amorim Zafalon, R. V., Ayres Rodrigues, R. B., Pamplona Perini, M., Consentino Conti, R. M., Annibale Vendramini, T. H., de Carvalho Balieiro, J. C., & Brunetto, M. A. (2019). Concentrations of macronutrients, minerals and heavy metals in home-prepared diets for adult dogs and cats. *Scientific Reports*, 9, Article 13058. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49087-z>

- Piğłowski, M. (2018). Heavy metals in notifications of rapid alert system for food and feed. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2), Article 365. <https://doi.org/10.3390/ijerph15020365>
- Quinn, G. H. (2012). Rabbit colony management and related health concerns. In M. Suckow, K., Stevens, & R. Wilson (Eds.), *The laboratory rabbit, guinea pig, hamster, and other rodents* (pp. 217–241). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380920-9.00009-2>
- Quintana, C. (1996). *Elementos de inferencia estadística*. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Raikwar, M. K., Kumar, P., Singh, M., & Singh, A. (2008). Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Veterinary World*, 1(1), 28–30. <http://www.veterinaryworld.org/2008/January/Toxic.pdf>
- Ramírez, A. V. (2005). El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo. *Anales de la Facultad de Medicina*, 66(1), 57–70. <https://doi.org/10.15381/anales.v66i1.1352>
- Rodríguez González, P. (2014). *Contenidos de los metales pesados: cadmio, arsénico, mercurio y plomo en las materias primas usadas para la elaboración de premezclas minerales y en el hígado de bovinos* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Portal Académico de la Escuela de Zootecnia. <http://www.zootecnia.ucr.ac.cr/images/tesis/pdfs/rodriguez-gonzalez-pamela.pdf>
- Rosiles Martínez, R., Otero Arnais, E., Aguilar Amaya, M., & Bautista Ordóñez, J. (1997). Concentración de minerales tóxicos y esenciales en derivados del curtido de pieles “carnazas” para perros y su solubilidad ácida o básica. *Veterinaria Mexicana*, 28(2), 83–86. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=15837>
- Santos Fraga, N. (2017). *Fatores globais atuando na distribuição de cádmio na biota, utilizando a tartaruga verde (Chelonia mydas) como bioindicador* [Tesis de maestría, Universidade Federal do Espírito Santo]. Repositorio da Universidade Federal do Espírito Santo.
- Serpe, F., Russo, R., De Luna, R., Florio, S., Esposito, M., & Severino, L. (2013). Heavy metal levels in dog liver and kidney in naples (Campania, Italy). In C. Boiti, A. Ferlazzo, A. Gaiti, & A. Pugliese (Eds.), *Trends in veterinary sciences* (pp. 115–117). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36488-4_21
- Smith, G. D. (2012). Taxonomy and history. In M. Suckow, K. Stevens, & R. Wilson (Eds.), *The laboratory rabbit, guinea pig, hamster, and other rodents* (pp. 747–752). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380920-9.00026-2>
- Spyropoulou, A., Laspidou, C., Kormas, K., & Lazarou, Y. (2020). The impact of posible mercury source-point contamination in the coastal area of Skiathos island. *Environmental Sciences Proceedings*, 2(1), Article 50. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2020002050>
- Suhani, I., Sahab, S., Srivastava, V., & Pratap Singh, R. (2021). Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Current Opinion in Toxicology*, 27, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.04.004>
- Tao, C., Zhang, B., Wei, X., Zhao, M., Sun, Z., Wang, S., Bi, J., Qi, D., Sun, L., & Zhang, N. (2020). Effects of dietary cadmium supplementation on production performance, cadmium residue in eggs, and hepatic damage in laying hens. *Environmental Science Pollution Research*, 27, 33103–33111. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09496-4>
- Tomailla, J., & Iannacone, J. (2018). Toxicidad letal y subletal del arsénico, cadmio, mercurio y plomo sobre el pez *Parachaeiiron innesi* neon tetra (Characidae). *Revista de Toxicología*, 35(2), 95–105. <https://bit.ly/3CSGwaj>

- Tomza-Marciniak, A., Pilarczyk, B., Bąkowska, M., Ligocki, M., & Gaik, M. (2012). Lead, cadmium and other metals in serum of pet dogs from an urban area of NW Poland. *Biological Trace Element Research*, 149, 345–351. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9433-6>
- Torres Vargas, M. A. (2018). *Diagnóstico zootécnico de criaderos de perros en la gran área metropolitana (G.A.M.) y análisis de alimentos balanceados registrados en Costa Rica* [Proyecto de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Portal Académico de la Escuela de Zootecnia. <http://www.zootecnia.ucr.ac.cr/images/tesis/pdfs/torres-vargas-mario-alberto.pdf>