

# Cadmio en tejidos, plumas y egagrópilas de tecolote llanero de Hidalgo, México

Maryev Fonseca, Yolanda Marmolejo, Iriana Zuria, Francisco Prieto, Fidel Pérez y Claudia Romo  
Área Académica de Química - Centro de Investigaciones Biológicas  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.  
Pachuca, Hgo.; México  
yolandam@uaeh.edu.mx, izuria@uaeh.edu.mx

**Abstract**— Emphasis is given to the use of non-invasive techniques for monitoring cadmium contamination through the use of a bioindicator. The study was done in Tecocomulco, Hidalgo and the main objective was to verify the presence of cadmium in soil, feathers and owl pellets of the Burrowing owl *Athene cunicularia*, to avoid the future sacrifice of organisms and obtain reliable data. To carry out the study we obtained burrowing owl internal tissues and compared the data with the rest of the samples. Contamination by cadmium in soil of the sampling site was confirmed, as well as its incorporation at different trophic levels. No contamination studies have been reported for this species, nor the use of owl pellets for this purpose.

**Keyword**—Heavy metal, bioindicator.

**Resumen**— Se hace énfasis en el uso de técnicas no invasivas para el monitoreo de contaminación por cadmio utilizando un animal bioindicador. El estudio se realizó en Tecocomulco, Hidalgo y el objetivo principal fue verificar la presencia de cadmio en suelo, plumas y egagrópilas del tecolote llanero *Athene cunicularia*, con la finalidad de evitar el futuro sacrificio de organismos y obtención de datos confiables. Para llevarlo a cabo, se obtuvieron tejidos internos de tecolote llanero y se compararon con el resto de las muestras. Se confirmó la contaminación por cadmio en suelo del sitio de muestreo, así como su incorporación a diferentes niveles tróficos. No se han reportado estudios de contaminación para esta especie, ni el uso de egagrópilas para dicho fin.

**Palabras claves**—metal pesado, bioindicador.

## I. INTRODUCCIÓN

Las actividades antropogénicas han incrementado la emisión de metales pesados al ambiente, los cuales son no biodegradables, tienden a acumularse en los organismos vivos y circulan a través de las redes tróficas [1]. Estudios previos han reportado que existe una correlación positiva entre los metales pesados en el ambiente y la concentración en poblaciones naturales de animales [2], [3] y [1]. El cadmio es un elemento metálico pesado no esencial para el desarrollo de plantas y animales, presenta alta toxicidad aun a muy baja concentración y presenta efectos agudos y crónicos en la salud de la población humana y el medio ambiente, no es degradable en la naturaleza y por lo tanto, una vez liberado al medio ambiente permanecer en circulación, además tiene una vida media muy amplia y tiende a ser bioacumulable [4].

Para conocer el efecto de los metales pesados en los organismos vivos se requiere del uso de bioindicadores, ya que éstos pueden presentar un panorama de la calidad de su hábitat [5]. Algunos grupos de aves son frecuentemente reportados en la literatura cuando se habla de bioindicadores y metales pesados, en particular las aves rapaces y las acuáticas debido a su jerarquía dentro de la red trófica [6].

El tecolote llanero (*Athene cunicularia*) es un ave rapaz que se distribuye en el continente Americano desde el sur de Canadá hasta Sudamérica, se alimenta principalmente de invertebrados (insectos y

arácnidos), pero también consume mamíferos, anfibios, reptiles y otras aves; es una especie que llega a desplazarse de uno a tres kilómetros al día dependiendo de la disponibilidad de recurso, su hábito de anidación es a nivel de suelo [7]. En Canadá *Athene cunicularia* es considerada como amenazada, en Estados Unidos, como una especie de preocupación menor y en México está sujeta a protección especial [7]. Es importante considerar que al trabajar con especies amenazadas o en peligro de extinción, el sacrificio de los individuos para evaluar el contenido de metales tóxicos no sólo implica perturbaciones de la dinámica de la población, sino también la disminución de individuos, por lo tanto, por razones éticas, el sacrificio de individuos es cada vez menos utilizado y en su lugar se utilizan técnicas de muestreo y análisis no invasivas, las cuales han adquirido mayor auge [8].

El contar con respuestas anticipadas a un posible daño por metales es una de las funciones principales de los indicadores biológicos, es por esta razón que en el presente estudio se hace énfasis en el uso y evaluación de dos indicadores no invasivos, las plumas y egagrópilas obtenidos de tecolote llanero (*Athene cunicularia*) sin necesidad de manipular o sacrificar individuos.

Burger, [9] propuso el uso de plumas como bioindicadores, destacando que éstas pueden secuestrar los elementos metálicos provenientes del torrente sanguíneo, y en ellas se refleja la concentración de metales de los tejidos internos del ave; también reporta que existe correlación entre los niveles de metales en plumas respecto a la dieta del ave. Las plumas son buenas indicadoras de contaminación por metales, especialmente para aquellos ligados a compuestos orgánicos como mercurio (Hg) o selenio (Se) que se acumulan en el plumaje [10]. La pluma es muy útil debido a que posterior a su proceso de formación, el suministro de sangre se atrofia y la pluma queda aislada del resto del cuerpo, consecuentemente no puede existir futura acumulación de elementos tóxicos provenientes del flujo sanguíneo. [11] [12]

Por otro lado, las aves rapaces regurgitan periódicamente materiales no digeridos de su dieta tales como pelo, plumas, huesos, partes esclerotizadas de insectos, etc. Las egagrópilas o bolos de regurgitación son materiales de suma utilidad para estudiar la dieta de las aves que las producen [8], además de que los materiales que las componen pueden ser utilizados como indicadores de contaminación ambiental por metales pesados [13]. Mc Lean, Koller, Rodger y MacFarlane [14], han mencionado particularmente que el pelo de roedores ofrece un panorama amplio de la concentración de elementos contaminantes en los tejidos internos de los organismos, evitando su sacrificio; de esta manera, las egagrópilas pueden proporcionar información de la cantidad de elementos metálicos contenidos en los diferentes organismos que se encuentran en la dieta de los tecolotes y permiten tener un panorama de bioacumulación de los metales en los diferentes niveles de la red trófica.

Por lo anterior, en el presente estudio se utilizó el tecolote llanero para investigar la presencia de cadmio (Cd) en tejidos internos y externos y conocer si las plumas y egagrópilas pueden ser útiles como modelo que permita monitorear contaminación por elementos metálicos en diversos ambientes mediante técnicas no invasivas, a bajo costo y que ofrezcan datos confiables. Se eligió el elemento Cd porque es uno de los cinco elementos más tóxicos y con mayor tiempo de permanencia y vida media; en pequeñas concentraciones produce efectos de toxicidad en los organismos, y su importancia toxicológica radica en que es mutágeno, teratógeno y cancerígeno [15]. El Cd suele sustituir a otros elementos metálicos durante las fases de formación y desarrollo de los tejidos [16].

El estudio se realizó en la laguna de Tecocomulco, Hidalgo; donde el aprovechamiento inadecuado de los recursos naturales, así como la presión por cambio de uso del suelo hacia las actividades agrícolas y el pastoreo desmedido han tenido un efecto negativo no sólo en los ecosistemas terrestres y en los agrosistemas, si no en el ambiente en general [17].

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Área de estudio

Un cadáver de tecolote llanero *Athene cunicularia* fue donado al Laboratorio de Interacciones Biológicas del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. El individuo provino de un área adyacente a la laguna de Tecocomulco, en el municipio de Cuatepec de Hinojosa, estado de Hidalgo (entre los 20° 46' y los 28° 26' LN y 98° 17" y 98° 30' LO). La temperatura media anual es de 15 °C, con un clima templado frío. El suelo es de tipo semidesértico rico en materia orgánica y nutrientes su uso es principalmente de agostadero, forestal y agrícola.

### B. Obtención y preparación de muestras

Plumas. Se separaron las plumas primarias de ambas alas (10 de cada ala), siguiendo la metodología propuesta por Dauwe, Bervoets, Pinxten, Blust, y Eens [18]; se enumeraron de la P1 a P10 y se segmentaron como se muestra en la figura 1. De cada pluma se tomó el segmento 1 (barbas) y el segmento 5 (cálamo) para el análisis de contenido de Cd.

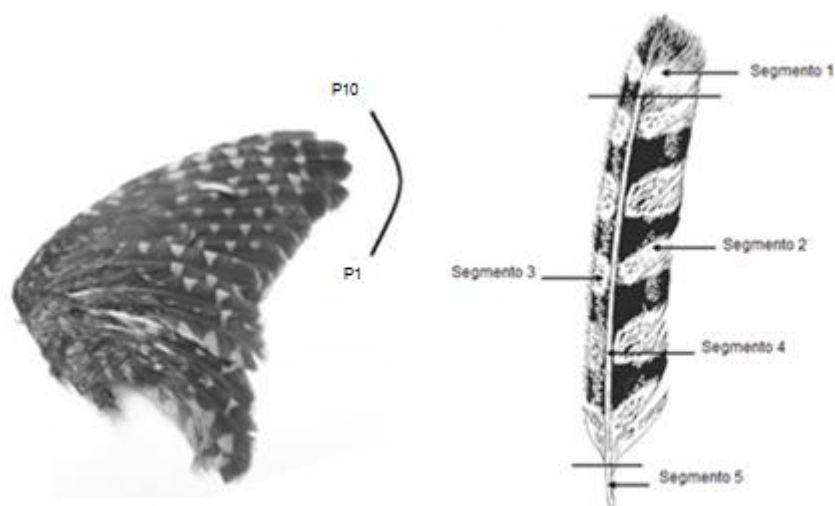


Fig. 1. Separación y fragmentación de plumas (Dauwe, Bervoets, Pinxten, Blust, y Eens [18]).

Tejidos. Se realizó la taxidermia del organismo y se extrajeron 11 muestras: hígado, riñón, pulmones, fémur, esternón, pico, garras, corazón, estómago, músculo y glándula uropigeal. Las muestras de tejido se lavaron con agua desionizada y se secaron en una estufa a una temperatura de 80 °C hasta alcanzar un peso constante.

Egagrópilas: Se colectaron egagrópilas alrededor de la madriguera, estas muestras fueron hidratadas con agua desionizada por 30 min para facilitar su separación, una vez hidratadas se separó el contenido en hueso, pelo y artrópodos.

Suelo. Se colectaron tres muestras de 100 g de suelo superficial cerca de la madriguera, éstas, fueron secadas a temperatura ambiente hasta que se mantuvieron a peso constante para su posterior análisis.

### C. Procesamiento de las muestras

**Digestión de muestras orgánicas.** Las muestras se pesaron en una balanza analítica, se colocaron en vasos de polipropileno para microondas y a cada vaso se les adicionaron 2 ml ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), 1 ml de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y 5 ml agua desionizada. La digestión se realizó en un horno de microondas MARSX, bajo las siguientes condiciones de trabajo: 1200 W de potencia, 190 °C de temperatura y 200 PSI de presión máxima, con una rampa de calentamiento de 25 °C a 190 °C en un tiempo de 25 min. Una vez terminada la digestión, se enfriaron a temperatura ambiente y cada muestra se llevó a un volumen de 10 ml en matraz volumétrico

**Digestión de suelo.** Se colocaron 0.2 g de suelo en un vaso de polipropileno, se adicionaron 5 ml agua desionizada, 5 ml de ácido fluorhídrico (HF), 1 ml de HNO<sub>3</sub> y 3 ml de HCl. La digestión se realizó en las mismas condiciones mencionadas anteriormente, las muestras se enfriaron, se adicionaron 35 ml de ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> al 4 %) y se realizó otra digestión con una rampa de calentamiento de 25 °C a 190 °C en 15 min para neutralizar el HF; finalmente las muestra se aforaron a 50 ml con agua desionizada.

**Análisis de Cd.** Las muestras fueron analizadas por la técnica de espectroscopia de emisión atómica de plasma por acoplamiento inductivo (ICP) utilizando un equipo Perkin Elmer, Mod. Optima 8300, USA. A partir de un estándar certificado de Cd se prepararon estándares de trabajo para realizar la curva de calibración.

El Cd se determinó en las muestras en base seca utilizando la ecuación 1

$$Cr = \frac{C_l}{P_m} \times V_{af} \times F_d \quad (1)$$

Donde:

Cr: es concentración real (mg·Kg<sup>-1</sup>)

C<sub>l</sub>: Concentración leída en el espectrofotómetro de plasma (µg L<sup>-1</sup>)

V<sub>af</sub>: Volumen de aforo (L)

F<sub>d</sub>: Factor de dilución= volumen de aforo/ volumen de alícuota

P<sub>m</sub>: Peso de la muestra (g)

**Análisis estadísticos.** Los datos de concentración de Cd entre las plumas internas y externas del ala se analizaron mediante pruebas de t pareada. La normalidad de los datos se verificó con la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov. Se utilizó un  $\alpha=0.05$  y, en caso de haber réplicas, se reporta la media±error estándar. Los análisis se realizaron utilizando el programa Sigma Stat 3.5.

## III. RESULTADOS

Los valores medios de la concentración de Cd en suelo, plumas, egagrópilas y tejidos de *Athene cunicularia* se muestran en la Tabla 1. Los rangos de concentración en la mayoría de las muestras analizadas son muy amplios debido a que son diferentes entre tipo de muestra. La mayor concentración de Cd se presentó en suelo. En todos los tejidos, así como en plumas y egagrópilas, se comprobó la presencia de Cd. Dentro de los diferentes tejidos del tecolote la mayor concentración se presentó en

plumas y las menores concentraciones en tejidos internos como músculo, hígado y fémur. Por otra parte, en las egagrópilas la cantidad de Cd más alta se observó en los restos de artrópodos.

Tabla I. Concentraciones promedio de Cd en suelo, plumas y egagrópilas de *Athene cunicularia* de Tecocomulco, Hgo

Suelo	MUESTRA	Cd (mg·Kg <sup>-1</sup> )*	N
	Suelo	66.82±6.73	3
Plumas	Pluma cálamo	3.32 ±0.2	10
	Pluma barbas	2.80±0.2	10
	Pluma cálamo **	2.96±0.40	10
	Pluma barbas **	3.09±0.31	10
Egagrópilas	Pelo (roedor)	0.87 ± 0.09	4
	Hueso (roedor)	0.69 ± 0.05	4
	Artrópodos	0.93 ± 0.22	3
Tejidos	Fémur	0.216	1
	Pico	0.262	1
	Hígado	0.228	1
	Riñón	0.618	1
	Estómago	0.224	1
	Esternón	0.352	1
	Glándula uropigial	0.533	1
	Garras	0.866	1
	Corazón	0.261	1
	Pulmón	0.621	1
	Músculo	0.186	1

\*Concentración promedio ± error estándar. N= número de muestras; \*\* Correspondiente al ala 2.

Las concentraciones promedio de Cd determinadas para cada pluma (P1-P10) y para ambas alas se muestran en la Tabla 2. El contenido de Cd en las plumas varió entre 1.65 y 4.37 mg·Kg<sup>-1</sup>. Se encontró una mayor concentración de Cd en los cálamos de las plumas de la parte interna del ala (P1-P5) que en la parte externa (P6-P10) (t = 7.451, g.l= 4, P = 0.002). Para las barbas se observó el mismo patrón (t = 10.170, g.l=4, P = 0.001). Al comparar los cálamos del ala 1 contra los cálamos del ala 2 no se encontraron diferencias significativas (t = 1.369, g.l=9, P = 0.204).

Tabla II. Concentraciones promedio de Cd en plumas por segmento y posición en el ala ( $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ).

Muestra	Cd ( $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ )	
	Pluma	Barbas
P1	3.74	3.57
P2	4.37	3.39
P3	4.19	3.57
P4	3.59	3.41
P5	3.61	3.73
$\bar{x} \pm \text{E.S}^*$	$3.89 \pm 0.16$	$3.53 \pm 0.06$
Muestra	Cd ( $\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ )	
	Pluma	Barbas
P6	2.97	2.73
P7	2.73	2.32
P8	2.38	2.33
P9	1.65	2.24
P10	2.18	2.17
$\bar{x} \pm \text{E.S}^*$	$2.38 \pm 0.23$	$2.36 \pm 0.09$

\*Concentración promedio  $\pm$  error estándar.

#### IV. DISCUSIÓN

##### A. Suelo

El contenido de Cd en suelo fue de  $66.82 \pm 6.73 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ , y este valor excede los límites permisibles para tierras de uso agrícola, residencial o comercial de acuerdo con la norma mexicana [19], ya que no debe sobrepasar los  $37 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ . Por lo tanto, se considera a los suelos de la laguna de Tecocomulco como suelos contaminados por Cd. En los terrenos aledaños a la laguna de Tecocomulco se realizan algunas prácticas no reguladas, como las actividades agrícolas y el pastoreo desmedido y de acuerdo con Ramírez [20], estas prácticas contribuyen al incremento de cadmio en el ambiente y particularmente en suelo, ya que del total de la carga de este elemento, el 54% se debe a fertilizantes fosfatados, el 41 % a deposiciones aéreas y el 5 % a estiércol de animales.

##### B. Plumas

Burger y Gochfeld [21], determinaron que a partir de  $2 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  de cadmio en plumas se pueden presentar distintos desórdenes de conducta, fisiológicos y alimentarios en las aves. En el presente estudio, la concentración observada en plumas ( $2.96 \pm 0.40$ - $3.32 \pm 0.2 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ) supera lo reportado, sin embargo, hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio que describa anomalías en la etología de las aves de Tecocomulco, Hgo.

##### C. Egagrópilas

Los restos de artrópodos analizados, presentaron la mayor concentración de cadmio en comparación al resto de las muestras obtenidas de las egagrópilas. Los artrópodos que consumen los tecolotes son principalmente artrópodos que viven en el suelo (e.g., escarabajos, hormigas, arañas, etc.), por lo tanto incorporan contaminantes del mismo. Los artrópodos constituyeron el mayor porcentaje en la dieta de *A. cunicularia*, por lo que puede pensarse que estos animales contribuyen de manera importante a la incorporación de cadmio a la especie. Godwin, Smits y Barclay [22], mencionan que las oncentraciones

de Cd varían de 0.008 a 1.339 mg·Kg<sup>-1</sup> en contenidos estomacales de *Tachycineta bicolor*, en zonas de explotación de arenas petrolíferas en Canadá. Por lo tanto los valores obtenidos en el presente estudio se encuentran en el rango de lo reportado previamente

En cuanto al pelo de roedor, los datos del presente estudio son superiores al intervalo de datos reportados por Pereira, Pereira, Ribeiro y Gonçalves [23], quienes obtuvieron concentraciones de 0.228±0.027 a 0.401±0.214, en diferentes especies de roedores en una zona contaminada por minería en Portugal. La presencia de Cd se atribuye a la contaminación del área y a que el pelo es un tipo de tejido formado por queratina, lo que de acuerdo con Khazaei *et al.*, [1] facilita que algunos metales como el cadmio se acumulen.

Hueso de roedor, al comparar los resultados obtenidos en el presente estudio, éstos son superiores a lo reportado por Martiniakova, Omelka, Jancová, Stawarz y Formicki [16], quienes encontraron concentraciones de Cd de 0.00274 a 0.00376 mg·Kg<sup>-1</sup> en hueso de diferentes especies de roedores del género *Apodemus*, en una zona contaminada de Eslovaquia. La importancia del cadmio en el hueso radica en que suele sustituir al calcio durante la formación y desarrollo del tejido óseo y de esta manera se bioacumula en este tejido.

Al confirmar la presencia de cadmio en egagrópilas, se infiere que parte de la concentración encontrada en plumas de *Athene cunicularia* puede atribuirse a la dieta, ya que la pluma es uno de las principales vías de excreción de metales en aves; así mismo estos datos permiten verificar la presencia de cadmio tanto en roedores como en artrópodos de una manera no invasiva, para ambos niveles tróficos.

#### D. Tejidos

A pesar de que todas las muestras de tejidos analizadas presentaron Cd, no existe literatura suficiente para comparar y conocer el estado en el que se encuentra este organismo. En músculo se encontró que la concentración promedio de Cd fue de 0.186 mg·Kg<sup>-1</sup>, una concentración alta al compararla con lo reportado por Ansara-Ross, Ross, y Wepener, [24], en *Tyto capensis* y *Tyto alba* (0.015 ± 0.005 mg·Kg<sup>-1</sup> y 0.007 ± 0.001 mg·Kg<sup>-1</sup> respectivamente).

En el caso de los órganos internos, la concentración de Cd en pulmón fue alta (0.621 mg·Kg<sup>-1</sup>), confirmando con esto lo reportado previamente por Goyer y Clarkson [25] y Ramírez [20], ya que la principal vía de ingreso del Cd a los seres vivos es por inhalación. Cui, Zhang, Zhang, Liu, Zhang [26], reportaron para *Columba livia*, en un área urbana de Amsterdam una concentración de 0.116 mg·Kg<sup>-1</sup>, la concentración en el tejido analizado en el presente estudio es mayor y puede atribuirse tanto a la distribución como a los hábitos de anidación de la especie.

En hígado de *Athene cunicularia* se encontró una concentración de 0.228 mg·Kg<sup>-1</sup>, lo cual se encuentra dentro del intervalo reportado por Castro, Aboal, Fernandez y Carballeira [27] en hígado de *Buteo buteo* y *Strix aluco* (0.36 mg·Kg<sup>-1</sup> y 0.178 mg·Kg<sup>-1</sup>) en Galicia, España.

La mayor concentración de Cd en el organismo se encontró en el riñón (0.618 ± 0.15 mg·Kg<sup>-1</sup>) lo cual confirma que la orina es una de las principales vías de eliminación de Cd. [28]

Para el análisis de hueso se tomaron muestras de fémur y esternón, obteniendo una concentración 0.216 mg·Kg<sup>-1</sup> y 0.352 mg·Kg<sup>-1</sup> respectivamente. De acuerdo con García, Sánchez, Gómez y Luna [29], el 3.5 % aproximadamente de Cd que se encuentra en un organismo está alojado en huesos. Así mismo, de acuerdo con Martiniakova, Omelka, Jancová, Stawarz y Formicki [16], la importancia de analizar el Cd en hueso, radica en que es un metal que se aloja en el mismo y es bioacumulable, por lo tanto el

tejido óseo brinda basta información sobre el nivel de contaminación en el ambiente en que se encuentran los organismos.

La concentración encontrada en muestras de pico, glándula uropigeal y garras fue de  $0.262 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ,  $0.533 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ , y  $0.866 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  respectivamente, sin embargo a pesar de que no se cuenta con literatura para realizar la comparación de los datos, se puede observar, que en el caso de las garras, el contenido es mayor a la concentración del resto de los tejidos, lo que sugiere que la contaminación proviene del suelo donde habita el ave, además de que, de acuerdo con Khazae *et al.*, [1], la mayoría de los metales presentan una alta afinidad a los grupos sulfhidrilo de la queratina.

#### E. Comparación entre plumas

Al comparar las concentraciones de cadmio en las plumas para ambas alas no se encontraron diferencias significativas, lo cual implica que existe una distribución homogénea de Cd entre ambas alas y durante el proceso de formación de la pluma.

Las concentraciones de Cd encontradas en el segmento apical de las plumas (barbas) son altas en comparación a los presentados por otros autores. Por ejemplo, Dauwe, Bervoets, Pinxten, Blust, y Eens [18], encontraron concentraciones de  $0.570 \pm 0.07 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  para *Tyto alba* y de  $0.340 \pm 0.20 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  para *Accipiter nissus*. La concentración de cadmio en las plumas de *A. cunicularia* del presente estudio se atribuye a la contaminación que existe en el suelo y a su hábito de anidación en madrigueras en el suelo, las diferencias en concentraciones con respecto a la ubicación de la pluma dentro del ala, puede deberse a que las plumas p1-p5 son las primeras en formarse, lo que conlleva a una mayor acumulación de contaminantes respecto a las últimas, en las cuales el cadmio provendría de los alimentos. Martínez, Crespo, Fernández, Aboal, y Carballeira [30]

El comparar las concentraciones entre plumas de acuerdo a su posición y por segmentos, permite confirmar la importancia en el reconocimiento de la pluma colectada durante los muestreos, para interpretar de manera adecuada los resultados en cuanto a la concentración de cadmio y el origen del contaminante. Actualmente existe un método estandarizado por Martínez, Crespo, Fernández, Aboal, y Carballeira [30], el cual propone la pluma a muestrear (p6- p7), dependiendo de la especie en estudio, sin embargo en dicho trabajo sólo se trabajó con mercurio. En el presente estudio se observó que la excreción es mayor en las plumas p1 a p5, lo que se atribuye a la cinética del cadmio y posiblemente a los hábitos particulares de esta ave rapaz.

## V. CONCLUSIONES

Las plumas y egagrópilas son una herramienta eficaz en el monitoreo de metales pesados. Se verificó la presencia de Cd en el ecosistema de Tecocomulco, Hidalgo, y se comprobó que este metal se está incorporando a la fauna silvestre del sitio.

De manera general se observó que *Athene cunicularia* presentó una mayor concentración de cadmio en tejidos externos; sin embargo, en los tejidos internos se confirmó presencia, bioacumulación y cinética del contaminante, principalmente en pulmón (vía de entrada de Cd) y en riñón que es la ruta de eliminación del mismo, ya que ambas muestras presentaron las mayores concentraciones con respecto al resto de los tejidos internos.

El monitoreo de las concentraciones de cadmio en plumas y egagrópilas permitieron confirmar la presencia de este elemento en diferentes niveles tróficos, además de brindar un panorama de lo que está sucediendo en el área aledaña a la laguna de Tecocomulco.



Usar herramientas no invasivas en el monitoreo de contaminantes permite conocer la calidad del ambiente sin necesidad de recurrir al sacrificio de los organismos. El Cd se encuentra listado como un metal altamente tóxico y la constante exposición al mismo puede ser causa de cáncer, por lo tanto continuar con el monitoreo no invasivo podrá proporcionar información que permita regular las fuentes de emisión de cadmio en Tecocomulco, Hgo., y en áreas con problemática ambiental semejante, evitando futuras afectaciones al ambiente y a los seres vivos.

#### REFERENCIAS

- [1] Khazaei, M., Hamidian, A. H., Shabani, A. A., Ashrafi, S., Mirjalili, S. A. A., y Esmailzadeh, E. (2015). Accumulation of heavy metals and As in liver, hair, femur, and lung of Persian jird (*Meriones persicus*) in Darreh Zereshk copper mine, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(4), 3860-3870.
- [2] Beernaert, J., Scheirs, J., Leirs, H., Blust, R. y Verhagen, R. (2007). Non-destructive pollution exposure assessment by means of wood mice hair. *Environmental Pollution*, 145(2), 443-451.
- [3] Tete N, Afonso E, Crini N, Drouhot S, Prudem AS, Schielfer R (2014) Hair as a noninvasive tool for risk assessment: Do the concentrations of cadmium and lead in the hair of wood mice (*Apodemus sylvaticus*) reflect internal concentrations? *Ecotoxicology and Environ Safety* 108:233–241.
- [4] Ehn, C. (2003). Cadmium review. *Nordic Council of Ministers*, 1(4), 2-22.
- [5] Markert B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. (1993). *Bioindicators and Biomonitors: Principles, Concepts, and Applications*, Elsevier Science B.V., Amsterdam, 2003, pp. 677.
- [6] Burger, J. y Gochfeld. M., (2001). Metal levels in feathers of cormorants, flamingos and gulls from the coast of Namibia in Southern Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*, 69(2), pp. 195-203.
- [7] Poulin, Ray, L. Danielle Todd, E. A. Haug, B. A. Millsap y M. S. Martell. (2011). *Burrowing Owl (Athene cunicularia)*. *The Birds of North America Online* (A. Poole, Ed.). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the *Birds of North America Online*: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/061>, consultado: Enero, 2017.
- [8] Trejo, A. y Ojeda, V. (2002). Identificación de egagrópilas de aves rapaces en ambientes boscosos y ecotonales del Noroeste de la Patagonia argentina. *Ornitología Neotropical*, 13, 313-317.
- [9] Burger, J. (2013). Temporal trends (1989-2011) in levels of mercury and other heavy metals in feathers of fledgling great greets nesting in Barnegat Bay, NJ. *Environmental Research*, 122, 11-17. doi: 10.1016/j.envres.2013.01.003
- [10] Zhang, W. y Zhang. M. J., (2011). Waterbirds as bioindicators of wetland heavy metal pollution. *Procedia Environmental Sciences*, 10, pp. 2769-2774.
- [11] Veerle, J., Tom, D., Rianne, P., Lieven, B., Ronny, B. y Marcel, E. (2004). The importance of exogenous contamination on heavy metal levels in bird feathers. A field experiment with free-living great tits, (*Parus major*). *Environmental Monitoring*, 6(4), 356-360.
- [12] Bond, A. L. y Diamond, A. W., (2009). Total and methyl mercury concentrations in seabird feathers and eggs. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56(2): 286-291.
- [13] Demajo, M., Cvetičanin, J., Stoiljković, M., Trpkov, D., Andrić, V., Onjia, A. and Nešković, O. (2011). Detection of elements and radioactivity in pellets from long-eared owls (*Asio otus*) inhabiting the city of Belgrade (Serbia). *Chemical Ecology*, 27(5): 393–400.
- [14] McLean, C. M., Koller, C. E., Rodger, J. C. y MacFarlane, G. R. (2009). Mammalian hair as an accumulative bioindicator of metal bioavailability in Australian terrestrial environments. *Science of the Total Environment*, 407(11), 3588-3596.

- [15] Waalkes, M. P. (2003). Cadmium carcinogenesis. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 533(1), 107-120.
- [16] Martiniaková, M., Omelka, R., Jancová, A., Stawarz, R., y Formicki, G. (2010). Heavy metal content in the femora of yellow-necked mouse (*Apodemus flavicollis*) and wood mouse (*Apodemus sylvaticus*) from different types of polluted environment in Slovakia. *Environmental monitoring and assessment*, 171(1-4), 651-660.
- [17] FIR, (2003). Fichas Informativas Ramsar, disponible en <http://ramsar.conanp.gob.mx>, consultado: Marzo, 2017.
- [18] Dauwe, T., Bervoets, L., Pinxten, R., Blust, R. y Eens, M. (2003). Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: effects of molt and external contamination. *Environmental Pollution*, 124(3), 429-436.
- [19] Norma Oficial Mexicana. NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Diario Oficial de la Federación. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- [20] Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. In *Anales de la Facultad de Medicina* 63 (1), pp. 51-64.
- [21] Burger, J. y Gochfeld, M. (1994). Behavioral impairments of lead-injected young herring gulls in nature. *Toxicological Sciences*, 23(4), 553-561.
- [22] Godwin, C. M., Smits, J. E. y Barclay, R. M. (2016). Metals and metalloids in nestling tree swallows and their dietary items near oil sands mine operations in Northern Alberta. *Science of the Total Environment*, 562, 714-723.
- [23] Pereira, R., Pereira, M. L., Ribeiro, R., y Gonçalves, F. (2006). Tissues and hair residues and histopathology in wild rats (*Rattus rattus L.*) and Algerian mice (*Mus spretus Lataste*) from an abandoned mine area (Southeast Portugal). *Environmental Pollution*, 139(3), 561-575.
- [24] Ansara-Ross, T. M., Ross, M. J. y Wepener, V. (2013). The use of feathers in monitoring bioaccumulation of metals and metalloids in the South African endangered African grass-owl (*Tyto capensis*). *Ecotoxicology*, 22(6), 1072-1083.
- [25] Goyer, R. A. y Clarkson, T. W. (1996). Toxic effects of metals. Casarett y Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons, Fifth Edition, Klaassen, CD [Ed]. McGraw-Hill Health Professions Division, ISBN, 71054766.
- [26] Cui BS, Zhang QJ, Zhang KJ, Liu XH, Zhang HG (2011) Analyzing trophic transfer of heavy metals for food webs in the newly formed wetlands of the Yellow River Delta, China. *Environmental Pollution* 159:1297–1306.
- [27] Castro I., Aboal J.R., Fernandez J.A., Carballeira A. (2011). Use of raptors for biomonitoring of heavy metal: gender, age and tissue selection. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86, 347-351.
- [28] Burger, J. (1993). Metals in feathers of brown noddy (*Anous stolidus*): Evidence for bioaccumulation or exposure levels? *Environmental monitoring and assessment*, 24(2), 181-187.
- [29] García F, A. J., Sánchez G, J. A., Gómez Z, M., y Luna, A. (1996). Distribution of cadmium in blood and tissues of wild birds. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 30(2), 252-258.
- [30] Martínez, A., Crespo, D., Fernández, J.A., Aboal, J.R., Carballeira, A., (2012). Selection of flight feathers from *Buteo buteo* and *Accipiter gentilis* for use in biomonitoring heavy metals contamination. *Science of the Total Environment*. 425, 254–261.