

# Niveles de cadmio, cromo y plomo en abejas (*Apis mellifera*) y sus productos en Hidalgo, México

Janice Montiel<sup>1</sup>, Yolanda Marmolejo<sup>1</sup>, Ignacio Castellanos<sup>2</sup>, Fidel Pérez<sup>3</sup>, Francisco Prieto<sup>1</sup>, Juan Gaytán<sup>2</sup> y Maryev Fonseca<sup>1</sup>

Área Académica de Química<sup>1</sup>, Área Académica de Biología<sup>2</sup>, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales<sup>3</sup>  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
Pachuca, Hidalgo, México  
yolandam@uaeh.edu.mx, izuria@uaeh.edu.mx

**Abstract**— Honey bees (*Apis mellifera*) are pollinators that have been employed to monitor environmental pollution. The objective of the present study was to quantify cadmium, chromium and lead content in honey bees and their products in three zones with different land use to determine any correlation of these elements with risk potential in organisms and their products. It was found that metal content varied among land use types: urban>agricultural>rural and that element concentrations varied among bee products: propolis> bee wax>honey. These results show that honey bees can be employed as environmental quality bioindicators of different land use types and that propolis was the bee product that detected the highest metal concentration, followed by wax and honey.

**Keyword**— Bees, heavy metals, bioindicator, environmental quality

**Resumen**— Las abejas (*Apis mellifera*) son polinizadores que han sido utilizadas para monitorear contaminantes ambientales. En este estudio se cuantificaron niveles de cadmio, cromo y plomo en abejas y sus productos en tres zonas con diferente uso del suelo para determinar si existen concentraciones de estos elementos con potencial de riesgo en los organismos y sus productos. Los resultados demostraron que los metales en las abejas varían entre zonas: urbana>agrícola>rural y entre los productos: propóleo>cera>miel. Estos resultados muestran que las abejas pueden ser utilizadas como bioindicadores de calidad ambiental de diferentes tipos de uso de suelo y que el producto apícola con el que se detectó la mayor concentración de metales fue el propóleo, seguido de la cera y la miel.

**Palabras claves**—Abejas, metales pesados, bioindicador, calidad ambiental

## I. INTRODUCCIÓN

Las abejas de la especie *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) son el grupo de mayor importancia en procesos de polinización y se considera que es el principal proveedor de servicios de polinización de cultivos a nivel mundial, se conoce que cerca del 85% de las especies de plantas que producen frutas y/o semillas para consumo humano en México dependen en algún grado de los polinizadores para una producción eficiente [1] y *A. mellifera* es la especie de polinizador más utilizada comercialmente en el país [2 y 3]. Se ha documentado un considerable número de trabajos que destacan el impacto de la acumulación de metales pesados en abejas, miel, polen, néctar y jalea real que disminuyen su calidad [4-9].

La pérdida de poblaciones de abejas, ha sido estudiada en los últimos años y puede estar relacionada con la prevalencia de patógenos, pérdida y fragmentación de hábitats, disponibilidad de recurso, así como con la presencia de elementos potencialmente tóxicos [1, 10-11]; se ha observado que la acumulación de metales en *A. mellifera* tiene como resultado efectos letales y subletales, principalmente en el desarrollo de larvas y adultos [7, 12-15]. Estos contaminantes se incorporan a la abeja por adhesión a su cuerpo durante el vuelo o mediante el consumo del néctar para la elaboración de productos como miel, propóleo, cera y jalea real. La relevante disminución de poblaciones de abejas que se ha observado

los últimos años, está estrechamente relacionada con el aumento de elementos, muchas veces tóxicos para el insecto [7, 10, 12 y 15].

El presente trabajo se llevó a cabo en diez sitios dentro de tres zonas con diferente uso de suelo, en el estado de Hidalgo. Como primera zona de estudio, se consideró un área agrícola, dentro del Valle del Mezquital, ya que los suelos agrícolas están relacionados con el incremento de cadmio como resultado del uso intensivo de fertilizantes fosfatados [16, 17]. La siguiente zona corresponde a un área conurbada, en Pachuca de Soto, ya que se ha observado que el plomo y el cadmio se encuentran en mayores concentraciones en áreas urbanas, debido principalmente al tráfico vehicular [18-20]; también se ha observado que la dinámica de los materiales en un área urbana es importante en la presencia de metales ya que existe una mayor concentración de plomo en zonas urbanas con materiales con poca filtración [21]. El cromo es un elemento que se encuentra en sitios en donde se desarrollan actividades industriales [17] y es uno de los principales elementos potencialmente tóxicos que pueden ser bioacumulados [22 y 23]. Por último, se seleccionó una zona rural con vegetación nativa como zona control, en la Huasteca Hidalguense.

Los metales pesados como el cadmio, cromo y plomo han sido objeto de estudio en diversos trabajos por su importancia toxicológica; la presencia de estos elementos está relacionada con actividades industriales, agrícolas y de urbanización [24-28]. Es de gran importancia entender la cinética ambiental de los contaminantes, así como su biodisponibilidad en el proceso de incorporación a los sistemas biológicos y los efectos a la salud que ocasionan, para contribuir al conocimiento del impacto ambiental y biológico de estos contaminantes. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue cuantificar el contenido de cadmio, cromo y plomo en muestras de abeja, miel, propóleo y cera, mediante técnicas espectroscópicas, en tres zonas con diferente uso de suelo, dentro del estado de Hidalgo, para determinar si existen concentraciones de estos elementos con potencial de riesgo en los organismos y sus productos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Área de estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en diez sitios pertenecientes a tres zonas de acuerdo al uso de suelo y a la presencia de actividades apícolas, en el estado de Hidalgo (Tabla I).

*Zona agrícola*, El Valle del Mezquital es una macrorregión con 7,065.04 km<sup>2</sup>, compuesta por 28 municipios, con clima semiárido y en donde predomina la actividad agrícola principalmente de maíz blanco, amarillo y forrajero con sistema de riego y temporal [29]. Se eligieron seis sitios dentro de esta zona (Atitalaquía, Almoloya, Mixquiahuala de Juárez, Progreso de Obregón, Tepeji del Río y Tezontepec de Aldama), con antecedentes de contaminación por elementos potencialmente tóxicos asociados al cultivo de riego con aguas residuales.

*Zona urbana*, La zona metropolitana de Pachuca es un área urbana que contempla siete municipios en 1,358.8 km<sup>2</sup> [29]. En ésta zona se llevan a cabo actividades humanas, como tráfico vehicular, así como incineración de desechos que llegan al relleno sanitario municipal, muy cercano a los sitios seleccionados; "El Huixmi", en el municipio de Pachuca de Soto.

*Zona rural con vegetación nativa*, La huasteca hidalguense cuenta con un clima templado con amplias áreas boscosas de cedro y pino, sin ninguna fuente de contaminación aparente; está ubicada dentro de la Sierra Madre y contempla 15 municipios, de los cuales, dos fueron seleccionados para este estudio: Huejutla (ITHS y El Cerro) y San Felipe Orizatlán [30].

Tabla I. Sitios de muestreo de acuerdo al uso de suelo en el estado de Hidalgo.

Uso de suelo	No.	Sitios	Coordenadas		Altitud m.s.n.m
<b>Zona rural con vegetación nativa</b>	1	ITSH Huejutla	21° 09' 13" N	98° 23' 14" O	115
	2	El Cerro Huejutla	21° 09' 25" N	98° 22' 13" O	185
	3	Ahuatitla San Felipe Orizatlán	21° 09' 53" N	98° 40' 00" O	228
<b>Urbano</b>	4	El Huixmi, Pachuca	20° 03' 45" N	98° 49' 12" O	2,443
	5	Atitalaquia	20° 04' 32" N	99° 13' 49" O	2,080
<b>Agrícola</b>	6	Almoleya	19° 41' 19" N	98° 23' 40" O	2,525
	7	Mixquiahuala	20° 13' 44" N	99° 12' 54" O	2,004
	8	Progreso de Obregón	20° 15' 38" N	99° 11' 32" O	1,944
	9	Tepeji del río	19° 53' 41" N	99° 19' 46" O	2,215
	10	Tezontepec de Aldama	20° 09' 59" N	99° 17' 26" O	2,034

En cada uno de los diez sitios existe actividad apícola y se eligió un apiario por sitio para la obtención de muestras.

#### B. Colecta de muestras

Las colectas se realizaron en campo en junio de 2015, de la siguiente manera:

**Abejas.** En cada apiario, se colectaron quince adultos vivos de *Apis mellifera*, tomados directamente de cada colmena y transportados en frascos cerrados hasta el laboratorio [31], en donde se congelaron a -18°C para su conservación [9].

**Miel:** se colectó con espátula de teflón directamente de la colmena, 10 g de miel madura por apiario [32].

**Propóleo y cera:** Se raspó manualmente con espátula de teflón, la superficie interna del apiario para la obtención de 5 g de propóleo y 5 g de cera [33].

Todas las muestras se trasladaron al laboratorio, para realizar los análisis posteriormente [9].

#### C. Procesamiento de las muestras

**Digestión de muestras.** Las abejas se secaron a 60 °C en estufa Lab Oven durante 72 h hasta obtener peso constante, se trituraron en mortero y se homogenizó la cantidad necesaria para analizar cada muestra por triplicado. La miel se llevó a cenizas primero calentando las muestras en una flama con mechero Bunsen y posteriormente calentando en una mufla a 800 °C [34]. Se pesaron muestras de 0.05 g de cenizas, 0.1 g de abejas secas, 0.1 g propóleo y 0.1 g cera, en vasos de polipropileno para microondas, se adicionaron 5 mL de agua desionizada, 2 mL de HNO<sub>3</sub> y 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en cada una de las muestras [35]; se digirieron las muestras en horno de microondas Marca CEM modelo MARS 5 mediante calentamiento de muestras a 190 °C y 190 psi en 25 min, manteniéndose la temperatura y la presión por 15 min a 190 °C y 190 psi y posteriormente se enfriaron durante 10 min. Las muestras se llevaron a un volumen final de 10 mL con agua desionizada. La determinación de metales totales presentes en las muestras se realizó en un espectrofotómetro de plasma por acoplamiento inductivo de la marca Perkin Elmer modelo Optima 8000, USA. Se realizó la curva de calibración para cada uno de

los elementos de interés preparada de un estándar multi elemental. La concentración de los elementos en las muestras se determinó utilizando la ecuación 1:

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

Donde:

Cr: es concentración real ( $\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ )

$C_l$ : Concentración leída en el espectrofotómetro de plasma ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )

$V_{af}$ : Volumen de aforo (L)

$F_d$ : Factor de dilución= volumen de aforo/ volumen de alícuota

$P_m$ : Peso de la muestra (g)

#### D. Análisis estadísticos

Una vez obtenidos los resultados se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para conocer si existen diferencias significativas entre las concentraciones de metales encontradas en las muestras de cada zona estudiada ( $p < 0.05$ ) La normalidad de los datos se verificó con la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov. Los datos fueron analizados con el programa Sigma Stat 3.5.

### III. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados de las concentraciones de cadmio (Tabla II), cromo (Tabla III) y plomo (Tabla IV) encontradas en las abejas y sus productos en las tres zonas estudiadas.

La mayor concentración de cadmio fue de  $8.28 \mu\text{g g}^{-1}$  en abejas de la zona urbana. Al obtener el promedio de las concentraciones, se observó que difiere significativamente de las de la zona rural con vegetación nativa que aparente no está contaminada. Las concentraciones de cadmio en las muestras de propóleo de la zona urbana muestran diferencias estadísticamente significativas con respecto a las de la zona agrícola y rural; la mayor concentración de cadmio en propóleo fue de  $4.29 \mu\text{g g}^{-1}$  en la zona urbana y difiere significativamente con las concentraciones promedio determinadas en las zonas agrícola y rural.

La concentración de cromo más alta que se determinó en las muestras de abejas fue de  $3.93 \mu\text{g g}^{-1}$  y en propóleo de  $4.52 \mu\text{g g}^{-1}$  de la zona agrícola, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas al compararlas con las otras zonas estudiadas, en miel y cera no se detecta la presencia de cromo.

Para el caso del plomo, las concentraciones más altas fueron encontradas en las muestras de abeja  $3.76 \mu\text{g g}^{-1}$  y propóleo  $4.75 \mu\text{g g}^{-1}$  de la zona agrícola, sin embargo, no se presentan diferencias al compararlas con las zonas urbana y rural; las concentraciones de plomo en miel de la zona urbana son estadísticamente diferentes con las de la zona rural, la mayor concentración de plomo en miel fue de  $2.76 \mu\text{g g}^{-1}$  de la zona urbana.

Tabla II. Concentración de cadmio en abejas y sus productos en el estado de Hidalgo.

Muestra	Parámetro	Concentración de Cd (mg·Kg <sup>-1</sup> )*		
		Agrícola	Urbana	Rural
Abeja	<i>Media</i>	1.69±0.43ab	5.43±2.85a	0.39±0.03b
	<i>Mínimo</i>	0.44	2.58	0.33
	<i>Máximo</i>	2.85	8.28	0.42
	<i>N</i>	6	2	3
Miel	<i>Media</i>	0.006±0.005	<LD	<LD
	<i>Mínimo</i>	0.001	<LD	<LD
	<i>Máximo</i>	0.02	<LD	<LD
	<i>N</i>	4	3	3
Propóleo	<i>Media</i>	0.91±0.16b	3.87±0.60a	0.64±0.01b
	<i>Mínimo</i>	0.4	3.18	0.63
	<i>Máximo</i>	1.67	4.29	0.65
	<i>N</i>	7	3	3
Cera	<i>Media</i>	0.26±0.07	0.18±0.06	0.33±0.15
	<i>Mínimo</i>	0.001	0.13	0.18
	<i>Máximo</i>	0.46	0.25	0.62
	<i>N</i>	6	3	3

<LD=debajo de los límites de detección. Letras en cada dato representan diferencias estadísticamente significativas.

Tabla III. Concentración de cromo en abejas y sus productos en el estado de Hidalgo.

Muestra	Parámetro	Concentración de Cr (mg·Kg <sup>-1</sup> )*		
		Agrícola	Urbana	Rural
Abeja	<i>Media</i>	1.49±0.83	3.77±2.38	<LD
	<i>Mínimo</i>	0.001	0	<LD
	<i>Máximo</i>	3.93	3.77	<LD
	<i>N</i>	6	2	3
Miel	<i>Media</i>	<LD	<LD	<LD
	<i>Mínimo</i>	<LD	<LD	<LD
	<i>Máximo</i>	<LD	<LD	<LD
	<i>N</i>	4	3	3
Propóleo	<i>Media</i>	1.7±0.58	2.32±0.43	2.42±1.17
	<i>Mínimo</i>	0.001	2.04	1.08
	<i>Máximo</i>	4.52	2.82	4.74
	<i>N</i>	7	3	3
Cera	<i>Media</i>	<LD	<LD	1.12±0.51
	<i>Mínimo</i>	<LD	<LD	0.001
	<i>Máximo</i>	<LD	<LD	4.47
	<i>N</i>	3	3	4

<LD= debajo de los límites de detección. Letras en cada dato representan diferencias estadísticamente significativas.

**Tabla IV.** Concentración de plomo en abejas y productos en el estado de Hidalgo  
**Concentración de Pb (mg·Kg<sup>-1</sup>)\***

Muestra	Parámetro	Concentración de Pb (mg·Kg <sup>-1</sup> )*		
		Agrícola	Urbana	Rural con vegetación nativa
Abeja	<i>Media</i>	1.95±0.56	3.14±0.1	1.24±0.22
	<i>Mínimo</i>	0.001	3.04	0.9
	<i>Máximo</i>	3.76	3.23	1.66
	<i>N</i>	6	2	3
Miel	<i>Media</i>	0.86±0.32ab	2.38±0.4a	0.20±0.01b
	<i>Mínimo</i>	0.29	1.98	0.18
	<i>Máximo</i>	1.75	2.76	0.22
	<i>N</i>	4	3	3
Propóleo	<i>Media</i>	1.50±0.61	<LD	1.48±0.39
	<i>Mínimo</i>	0.001	<LD	0.71
	<i>Máximo</i>	4.75	<LD	1.94
	<i>N</i>	7	3	3
Cera	<i>Media</i>	0.65±0.48	0.20±0.03	1.09±0.9
	<i>Mínimo</i>	0.001	0.18	0.001
	<i>Máximo</i>	2.88	0.24	3.28
	<i>N</i>	6	3	3

<LD= por debajo de los límites de detección. Letras en cada dato representan diferencias estadísticamente significativas.

## IV. DISCUSIÓN

### A. Abeja

Al analizar las concentraciones de los tres metales pesados (Cd, Cr y Pb) en abejas, se observó que cumplen un patrón, urbanas> agrícolas> zona rural con vegetación nativa, esto confirma lo publicado por Ozcan [36] y Lambert [5], quienes reportaron mayores concentraciones de metales en abejas de ambientes contaminados con respecto a menos contaminados. Las concentraciones de Cr estuvieron por debajo de los límites de detección del equipo en los sitios con escasa contaminación, lo que indica que el nicho que ocupan estos organismos no representa un riesgo de toxicidad en ellos.

Los niveles de metales en las muestras de abejas del presente estudio, se encuentran en el rango reportado en la literatura [37, 39-42]; Roman [18], no mencionaron efectos adversos con las concentraciones obtenidas, sin embargo, se sugiere continuar monitoreando las abejas de las áreas de estudio. Se ha observado que en sitios contaminados las abejas pueden interceptar contaminantes atmosféricos que se adhieren a su cuerpo y obtener polen con ciertos contaminantes por la transferencia del suelo a la planta [23] y [41]. A pesar de que el Cd y Cr se acumulan en el suelo de zonas agrícolas mediante los fertilizantes fosfatados [42], en la ciudad, algunas actividades humanas como la pirotecnia, y procesos de combustión pueden generar e incrementar las concentraciones de metales en el ambiente. Uno de los sitios seleccionados en ésta zona, se encuentra muy cerca del relleno sanitario de la ciudad; se han encontrado mayores concentraciones de cadmio y plomo en zonas cercanas a

desechos [43], esto puede deberse a la incineración de residuos o a la presencia de desechos electrónicos.

En algunos estudios se han presentado efectos de los metales como disminución de tamaño poblacional de organismos del suelo [44], en la diversidad y abundancia de abejas silvestres [45] y en la densidad de ácaros y colémbolos [46]. En el país se tiene escasa información acerca del estado de los polinizadores y la disminución de sus poblaciones. En las zonas estudiadas en el presente trabajo, no existe información que documente los efectos de metales en las poblaciones de abejas.

El Cd estuvo presente en mayores concentraciones en abejas con respecto a los otros metales, esto puede deberse a que el cadmio es considerado un metal biopersistente [44] con gran capacidad de mantener sus propiedades fisicoquímicas en el ambiente y por tanto con alta disponibilidad para tomar parte en las cadenas alimenticias. Se encontraron mayores concentraciones de cadmio y cromo en abejas que en miel en las diferentes zonas, esto puede deberse a lo propuesto por Dzugan [47], quien menciona que la abeja puede hacer la función de “biofiltro” de metales tóxicos que evitan la contaminación en miel, a pesar de la biodisponibilidad de éstos.

### *B. Miel*

La miel es un producto natural elaborado por la abeja a partir del néctar y sus características dependen del tipo de flor que la abeja visita, así como factores climáticos y composición del suelo, pero también esto puede intervenir en las concentraciones de metales que se encuentran en la miel [19]. Los niveles de Cd y Cr en muestras de miel se encontraron por debajo de los límites de detección del equipo.

A pesar de que las muestras de miel analizada en las diferentes zonas presentan bajas concentraciones (<LD) de cadmio y cromo, las concentraciones de plomo en muestras de miel de las tres zonas, se encontraron excediendo los niveles permisibles para consumo humano ( $0.1 \mu\text{g g}^{-1}$ ); de acuerdo con Kalbande [48] y Boyd [49], la miel puede acumular contaminación si el polvo metálico del aire se asienta por deposición atmosférica, se diluye con agua de lluvia contaminada o el néctar tiene metales que la planta absorbe del suelo. Ruschioni [13] menciona que es importante el tipo de miel que se toma para la muestra, ya que la variación de agua entre una miel madura y una joven, puede repercutir en la variación de la concentración de metales, una miel madura puede presentar hasta un 33.3 % menos de metales pesados [50].

Se detectó una baja concentración de metales en miel en la mayoría de los sitios de muestreo, lo cual concuerda con lo mencionado en el trabajo de Fakhimzadeh [31], en el que se reporta poca o nula cantidad de metales pesados en muestras de miel. Las concentraciones de Cd encontradas en miel, están dentro de los límites permisibles de la Norma Internacional (Brasil  $0.50 \mu\text{g g}^{-1}$  y Suiza  $0.03 \mu\text{g g}^{-1}$  en jarabes y zumos naturales; Polonia  $0.1 \mu\text{g g}^{-1}$  en miel). Sin embargo, la miel de las tres zonas, de acuerdo con las normas internacionales, se encuentra contaminada por plomo, ya que excede el límite permisible ( $0.1 \mu\text{g g}^{-1}$ ) establecido por el codex alimentario de Polonia [51], esto podría deberse al origen botánico de la miel, a la composición del suelo o incluso a los instrumentos utilizados en la práctica apícola [52].

### *C. Propóleo*

El propóleo es una resina producida por las abejas tras la mezcla de sustancias recogidas de plantas en brotes, botones florales y exudados resinosos, usados para la protección de la colmena y es un producto altamente utilizado con fines terapéuticos [53]; sus características lo hacen ser un material

pegajoso y esto puede contribuir a la incorporación de contaminantes atmosféricos [54], por lo que es importante su estudio.

El Cd estuvo presente en las muestras de propóleo de las tres zonas; las concentraciones variaron en las zonas urbana>agrícola>rural y se encontró que la zona urbana presenta diferencias significativas con respecto a agrícola y rural. La mayor concentración de Cd en propóleo ( $3.87 \mu\text{g g}^{-1}$ ) se encontró en la zona urbana. Las concentraciones de Cd encontradas son mayores que las reportadas por Finger [55], quien estudió la presencia de metales en propóleo de Brasil.

Las concentraciones de Cr en propóleo de todas las zonas estudiadas, son superiores al límite permisible en alimentos de acuerdo con las normas brasileñas ( $0.1 \mu\text{g g}^{-1}$ ). La mayor concentración de Cr ( $4.74 \mu\text{g g}^{-1}$ ), se encontró en muestras de propóleo de la zona rural con vegetación nativa, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas con las otras zonas estudiadas.

Las concentraciones de Pb en las muestras de propóleo de la zona urbana se encontraron por debajo de los límites de detección. La mayor concentración de Pb ( $4.75 \mu\text{g g}^{-1}$ ), se encontró en la zona agrícola, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las zonas estudiadas. Las concentraciones de Pb coinciden con las reportadas por [33], quien estudió la presencia de metales en abeja y sus productos en Polonia.

El propóleo constituye una técnica importante de muestreo para contribuir con información en aquellas épocas en las que no se pudiera recoger néctar ya que representa la incorporación de metales a la vegetación del entorno [35].

#### *D. Cera*

De acuerdo con Gutiérrez [35], la cera es probablemente más útil para detectar compuestos lipófilos que metales pesados, sin embargo, al formar parte de la biología de la especie, es importante tomar en cuenta la información que aporta, en el presente estudio los tres metales (Cd, Cr y Pb) estuvieron presentes en las muestras de cera.

Las concentraciones de Cd fueron mayores en las muestras de cera de la zona rural con vegetación nativa, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las zonas estudiadas.

El Cr se encontró por debajo de los límites de detección en las muestras de cera de las zonas agrícola y urbana. La zona rural presenta la mayor concentración de Cr ( $4.47 \mu\text{g g}^{-1}$ ), sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre zonas.

Se encontró una mayor concentración de Pb en las muestras de cera de la zona rural con vegetación nativa, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las zonas estudiadas. Al igual que en propóleo, las concentraciones encontradas en muestras de cera, corresponden a lo reportado por [33] en productos de abeja de Polonia. Los niveles de metales encontrados en las muestras se encuentran dentro del rango reportado por Conti [38], en el área metropolitana de la ciudad de Roma; el presente estudio concuerda con el patrón de concentración de metales que ellos reportan (Pb> Cr> Cd).

Se sugiere que la presencia de contaminantes en muestras de cera, puede estar relacionada con las prácticas apícolas, ya que Taha [56], asocia valores mayores de elementos traza en miel y cera de panales reutilizados por más de 4 años. Por lo tanto, en estudios futuros sería conveniente considerar el origen, calidad y tiempo de la cera en la colmena. A pesar de no ser un producto con riesgo toxicológico, ya que no es consumido por el hombre, la cera puede usarse como un método no invasivo de detección de metales.



## V. CONCLUSIONES

El presente estudio permitió comprobar la presencia de Cd, Cr y Pb en abejas, miel, propóleo y cera, en las zonas con diferentes grados de perturbación. Hasta el momento, las publicaciones en México sobre metales pesados en abejas y sus productos, aún son limitadas; así mismo, la normatividad y parámetros permisibles para la miel, propóleo y cera en México, son nulos. Es necesario continuar con el monitoreo de metales pesados en particular los de mayor importancia toxicológica, así mismo, es indispensable abarcar mayor área de estudio, con la finalidad de contemplar algunas otras problemáticas como la minería y actividades industriales, para evitar afectaciones humanas y efectos sobre el medio ambiente.

*Apis mellifera* puede servir como bioindicador para la detección y monitoreo de los agentes causantes de contaminación como los metales pesados, buscando entender los procesos para incluir medidas de remediación que mejoren la calidad de los factores ambientales. Es de gran importancia la información aportada por el presente trabajo, para detectar con exactitud la presencia y concentración de elementos potencialmente tóxicos en los productos de abeja, para establecer medidas que disminuyan los efectos sobre la salud humana y ambiental.

Por último, no existe información acerca de la situación actual de las poblaciones de *A. mellifera* en el estado de Hidalgo, por lo que los resultados aquí presentados forman parte de un aporte a la información base que permita conocer el estado actual de *A. mellifera*, así como para regular los límites permisibles de los elementos estudiados en los productos de abeja consumidos por el hombre en México.

## REFERENCIAS

- [1] Ashworth, L., Quesada, M., Casas, A., Aguilar, R. and Oyama, K. (2009). Pollinator-dependent food production in Mexico. *Biological Conservation*, 142(5), 1050-1057.
- [2] Torres, R.A., Wallace, R. and Ayala, R. (2013). Present and potential use of bees as managed pollinators in Mexico. *Southwestern Entomologist*, 38(1), 133-148.
- [3] Frausto, C.R., Casillas, R.P., Quintanar, S.J.L., Macias, L.E., Bujdud, P.J.M. and Medina, I.R. (2017). Spectroscopic study of honey from K from different regions in Mexico. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 178, 212-217.
- [4] García, J.C., Rodríguez, R., Crecente, J.B., García, S., Martín, G. and Latorre, C. (2006). Preliminary chemometric study on the use of honey as an environmental marker in Galicia (northwestern Spain). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(19), 7206-7212.
- [5] Lambert, O., Veyrand, B., Durand, S., Marchand, P., Le Bizec, B., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., Delbac, F. and Pouliquen, H. (2012). Polycyclic aromatic hydrocarbons: Bees, honey and pollen as sentinels for environmental chemical contaminants. *Chemosphere*, 86(1), 98-104.
- [6] Sadeghi, A., Mozafari, A., Bahmani, R. and Shokri, K. (2012). Use of honeybees as bio-indicators of environmental pollution in the Kurdistan Province of Iran. *Journal of Apicultural Science*, 56(2), 83-88.
- [7] Hladun, K.R., Kaftanoglu, O., Parker, D.R., Tran, K.D. and Trumble, J.T. (2013). Effects of selenium on development, survival, and accumulation in the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32(11), 2584-2592.
- [8] Meindl, G.A. and Ashman, T.L. (2013). The effects of aluminum and nickel in nectar on the foraging behavior of bumblebees. *Environmental Pollution*, 177, 78-81.

- [9] Giglio, A., Ammendola, A., Battistella, S., Naccarato, A., Pallavicini, A., Simeon, E., Tagarelli, A. and Giulianini, P.G. (2017). *Apis mellifera linguistica*, Spinola 1806 as bioindicator for detecting environmental contamination: a preliminary study of heavy metal pollution in Trieste, Italy. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(1), 659-665.
- [10] Xie, Z., Qiu, J. and Chen, X. (2013). Decline of nest site availability and nest density of underground bees along a distance gradient from human settlements. *Entomological Science*, 16(2), 170-178.
- [11] Cutler, C., Purdy, J., Giesy, J. and Solomon, K. (2014). Risk to pollinators from the use of chlopyrifos in North America. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 231, 219-265.
- [12] Johnson, R., Ellis, M. and Mullin, C. (2010). Pesticides and honey bee toxicity. *Apidologie*, 41(3), 312-331.
- [13] Ruschioni, S., Riolo, P., Minuz, R.L., Stefano, M., Cannella, M., Porrini, C. and Isidoro, N. (2013). Biomonitoring with honeybees of heavy metals and pesticides in nature reserves of the Marche Region (Italy). *Biological Trace Element Research*, 154(2), 226-233.
- [14] Di, N., Hladun, K.R., Zhang, K., Liu, T.X. and Trumble, J.T. (2016). Laboratory bioassays on the impact of cadmium, copper and lead on the development and survival of the honeybee (*Apis mellifera* L.) larvae and foragers. *Chemosphere*, 152, 530-538.
- [15] Van der Steen, J.J.M., Cornelissen, B., Blacquiére, T., Pijnenburg, J.E.M.L. and Severijnen, M. (2016). Think regionally, act locally: metals in honeybee workers in the Netherlands (surveillance study 2008). *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(8), 463-471.
- [16] Jacob, D.L., Yellick, A.H., Kisson, L.T., Asgary, A., Wijeyaratne, D.N., Bernhardt, S.E. and Otte, M.L. (2013). Cadmium and associated metals in soils and sediments of wetlands across the Northern Plains, USA. *Environmental Pollution*, 178, 211-219.
- [17] Butt, A., Ain, Q., Rehman, K., Khan, M.X. and Hesselberg, T. (2018). Bioaccumulation of cadmium, lead, and zinc in agriculture based insect food chains. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(12), 698.
- [18] Roman, A. (2010). Levels of copper, selenium, lead, and cadmium in forager bees. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(3), 663-669.
- [19] Díaz, S., Paz, S., Rubio, C., Gutiérrez, A.J., González, D., Revert, C., Bentabo, A. and Hardisso, A. (2019). Toxic metals and trace elements in artisanal honeys from the Canary Islands. *Biological Trace Element Research*, 190(1), 242-250.
- [20] Gardiner, M.M. and Harwood, D.J. (2017). Influence of heavy metal contamination on urban natural enemies and biological control. *Current Opinion in Insect Science*, 20, 45-53.
- [21] Murphy, L.U., Cochrane, T.A. and O'Sullivan, A. (2015). The Influence of different pavement surfaces on atmospheric copper, lead, zinc, and suspended solids attenuation and wash-off. *Water Air & Soil Pollution*, 226-232.
- [22] Paš, M., Mila, R., Drašlar, K., Pollak, N. and Raspor, P. (2004). Uptake of chromium (III) and chromium (VI) compounds in the yeast cell structure. *BioMetals*, 17(1), 25-33.
- [23] Davodpour, R., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Abdi, N. and Lorestani, B. (2019). Honeybees (*Apis mellifera* L.) as a potential bioindicator for detection of toxic and essential elements in the environment (Case study: Markazi Province, Iran). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 77(3), 344-358.
- [24] Li, F.; Fan, Z.; Xiao, P.; Oh, K.; Ma, X. and Hou, W. (2009). Contamination, chemical speciation and vertical distribution of heavy metals in soils of an old and large industrial zone in Northeast China. *Environmental Geology*, 57(8), 1815-1823.
- [25] Kabir, E., Ray, S., Kim, K.H., Yoon, H.O., Jeon, E.C., Kim, Y.S., Cho, Y.S., Yun, S.T. and Brown, R.J.C. (2012). Current status of trace metal pollution in soils affected by industrial activities. *The Scientific World Journal*, 2012, 1-18.
- [26] Chabukdhara, M. and Nema, A.K. (2013). Heavy metals assessment in urban soil around industrial clusters in Ghaziabad, India: Probabilistic health risk approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 87, 57-64.

- [27] Xiao, F., Chen, D., Luo, L., Zhong, X., Xie, Y., Zou L., Zeng, M., Guan, L. and Zhong, C. (2013). Time order effects of vitamin C on hexavalent chromium induced mitochondrial damage and DNA protein crosslinks in cultured rat peripheral blood lymphocytes. *Molecular Medicine Reports*, 8(1), 53-60.
- [28] Xia, F., Qu, L., Wang, T., Luo, L., Chen, H., Dahlgren, R.A., Zhang, M., Mei, K., and Huang, H. (2018). Distribution and source analysis of heavy metal pollutants in sediments of a rapid developing urban river system. *Chemosphere*. 207, 218-228.
- [29] INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2017). Principales resultados del censo de población y vivienda 2017.
- [30] Madueño, P.R. (2000). La Huasteca hidalguense: pobreza y marginación social acumulada. *Sociológica*, 15(44), 97-131.
- [31] Fakhimzadeh, K. and Lodenius, M. (2000). Heavy metals in finish honey, pollen and honey bees. *Apiacta*, 35(2), 85-95.
- [32] Roman, A., Madras, M.B. and Popiela, P.E. (2011). Comparative study of selected toxic elements in propolis and honey. *Journal of Apicultural Science*, 55(2), 97-106.
- [33] Formicki, G., Gren, A., Stawarz, R. Zysk, B. and Gal, A. (2013). Using honey bee as bioindicator of chemicals in Campanian agroecosystems (South Italy). *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(1), 99-106.
- [34] Fredes, C. and Montenegro, G. (2006). Heavy metals and other trace elements contents in Chilean honey. *Ciencia e Investigación Agraria*, 33(1), 50-58.
- [35] Gutiérrez M., Molero, R., Gaju, M., Steen, J., Porrini, C. and Ruiz, J.A. (2015). Assessment of heavy metal pollution in Córdoba (Spain) by biomonitoring foraging honeybee. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 1-15.
- [36] Ozcan, M.M. and Al Juhaimi, F.Y. (2012). Determination of heavy metals in bee honey with connected and not connected metal wires using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(4), 2373-2375.
- [37] Leita, L., Muhlbachova, G., Cesco, S., Barbattini, R. and Mondini, C. (1996). Investigation of the use of honey bees and honey bee products to assess heavy metals contamination. *Environmental Monitoring and Assessment*, 43(1), 1-9.
- [38] Conti, M.E. and Botre, F. (2001). Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination. *Environmental Monitoring and Assessment*, 69(3), 267-282.
- [39] Goretti, E., Pallottini, M., Rossi, R., La Porta, G., Gardi, T., Goga, B.C. and Selvaggi, R. (2019). Heavy metal bioaccumulation in honey bee matrix, an indicator to assess the contamination level in terrestrial environments. *Environmental Pollution*, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113388>.
- [40] Zhou, X., Taylor, M.P., Davies, P.J. and Prasad, S. (2018). Identifying sources of environmental contamination in European honey bees (*Apis mellifera*) using trace elements and lead isotopic compositions. *Environmental Science & Technology*, 52(3), 991-1001.
- [41] Desoky, A.E.A.S., Omran, N.S., Omar, M.O.M., Hussein, M.H., and Abd-Allah, M.M. (2019). Heavy metals concentrations in bee products collected from contaminated and non contaminated areas from Upper Egypt Governorates. *Journal of Advances in Agriculture*, 10, 1657-1666.
- [42] Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 63(1), 51-64.
- [43] Islam, S., Ahmed, K., Habibullah-Al-Mamun, M. and Masunaga, S. (2015). Potential ecological risk of hazardous elements in different land use urban soils of Bangladesh. *Science of the Total Environment*, 512, 94-102.
- [44] Wahl, J.J., Theron, P.D. and Maboeta, M.S. (2012). Soil mesofauna as bioindicators to assess environmental disturbance at a platinum mine in South Africa. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 86, 250-260.

- [45] Moron, D., Grzes, I.M., Skorka, P., Szentgyorgyi, H., Laskowski, R., Potts, S.G. and Woyciechowski, M. (2012). Abundance and diversity of wild bees along gradients of heavy metal pollution. *Journal of Applied Ecology*, 49(1), 118-125.
- [46] Santamaría, J.M., Moraza, M.L., Elustondo, D., Baquero, E., Jordana, R., Lasheras, E., Bermejo, R. and Ariño, A.H. (2012). Diversity of Acari and Collembola along pollution gradient in soils of a prepyrenean forest ecosystem. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11(6), 1159-1169.
- [47] Dzugan, M., Wesolowska, M., Zagula, G., Kaczmarek, M., Czernicka, M. and Puchalski, C. (2018). Honeybees (*Apis mellifera*) as a biological barrier for contamination of honey by environmental toxic metals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(2), 101.
- [48] Kalbande, D.M., Dhadse, S.N., Chaudhari, P.R. and Wate, S.R. (2008). Biomonitoring of heavy metals by pollen in urban environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 138(1-3), 233-238.
- [49] Boyd, R. (2010). Heavy metal pollutants and chemical ecology: exploring new frontiers. *Journal of Chemical Ecology*, 36(1), 46-58.
- [50] Roman, A. (2004). The heavy metals content in bees nectar and mature honey. *Zootechnika*, 501, 297-302.
- [51] Turkey. (2012). Turkish Food Codex Regulation: directive on honey 2012/58. Official Journal.
- [52] Perna, A., Simonetti, A., Intaglietta, I., Sofo, A. and Gambacorta, E. (2012). Metal content of southern Italy honey of different botanical origins and its correlation with polyphenol content and antioxidant activity. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(9), 1909-1917.
- [53] López, A.S., Martí, A., Subovsky, M. and Castillo, A. (2016). Métodos de recolección de Propóleos: su incidencia en rendimiento y calidad. *Agrotecnia*, 10, 10-14.
- [54] Martin, G., Kargar, N. and Buyukisik, H.B. (2016). Biomonitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering*, 90, 331-335.
- [55] Finger, D., Filho, I.K., Torres, Y.R. and Quinafia, S.P. (2014). Propolis as an indicator of environmental contamination by metals. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92(3), 259-264.
- [56] Taha, E.A., Manosur, H.M. and Shower, M.B. (2010). The relationship between comb age and the amounts of mineral elements in honey and wax. *Journal of Apicultural Research*, 49(2), 202-207.