



ARTÍCULO ORIGINAL

Las abejas melíferas (*Apis mellifera*) como biomonitores de contaminación ambiental por metales pesados

Manuel Cecchi ¹, Marilina Basso ², Delfina Cantatore ⁵, María de la Paz Moliné ^{1,3}, Natalia J. Fernández ^{1,3}, Enzo Domínguez ^{1,3}, M. Sandra Churio ⁴, Liesel Brenda Gende ^{1,3}

¹ Centro de Investigación en Abejas Sociales (CIAS), Universidad Nacional de Mar del Plata, B7600, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

² Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Centro Atómico Ezeiza, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina.

³ Instituto de Investigaciones en Producción, Sanidad y Ambiente (IIPROSAM), CONICET-UNMdP. Centro de Asociación Simple CIC PBA. Funes 3350. 7600. Mar del Plata. Argentina.

⁴ Instituto de Investigaciones Físicas de Mar del Plata (IFIMAR), Departamento de Química y Bioquímica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN), CONICET, Universidad Nacional de Mar del Plata. Funes 3350. 7500 Mar del Plata. Argentina.

⁵ Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN), Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET). Grupo de Investigación Ictioparasitología (FCEyN). Funes 3250. 7600 Mar del Plata. Argentina.

E-mail de contacto: lieselgende@gmail.com

Recibido: 19 diciembre 2022; aceptado: 10 marzo 2023; publicado: 30 junio 2023

Resumen

En este trabajo se estudió el uso de colonias de abejas (*Apis mellifera*) como biomonitores de contaminación ambiental por metales pesados. Para ello se evaluó la concentración de Cd (cadmio), Cr (cromo), Ni (níquel), Pb (plomo) y Zn (cinc) en abejas, polen y miel colectadas en apiarios ubicados en tres zonas con diferentes fuentes de contaminación. Los muestreos para la determinación de metales pesados se realizaron en cada apiario una vez al mes, durante doce meses. Las muestras de abejas y polen fueron procesadas mediante digestión ácida y las soluciones resultantes fueron analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica. En tanto que las muestras de miel se procesaron por digestión en microondas y la detección fue realizada en espectrómetro de fluorescencia de rayos X por reflexión total. Las concentraciones de cada uno de los metales fueron determinadas en relación al peso seco de las muestras. Los datos obtenidos indicaron que los cinco metales pudieron ser detectados en abeja y polen y solo pudo ser determinado el cinc en las muestras de miel. La matriz que mejor resultado como biomonitor de contaminación por metales pesados resultó ser la abeja.

Palabras clave: abejas, biomonitores, miel, metales pesados, polen.

Honeybees (*Apis mellifera*) as biomonitors of environmental pollution by heavy metals

Abstract

In this work, bee's colonies (*Apis mellifera*) as biomonitors of environmental contamination by heavy metals was studied. The concentration of Cd (cadmium), Cr (chromium), Ni (nickel), Pb (lead) and Zn (zinc) in bees, pollen and honey collected in apiaries located in three areas with different sources of contamination was evaluated. Sampling for determination of heavy metals was conducted in each apiary once a month, for twelve months. Bee and pollen samples were processed by acid digestion, and the resulting solutions were analyzed by atomic absorption spectrophotometry. Honey samples were processed by microwave digestion, and detection was performed using total reflection X-ray fluorescence spectrometry. The concentrations of each of the metals were determined in relation to the dry weight of the samples. Findings showed that the five metals could be detected in bee and pollen, while only zinc could be determined in honey samples. The bee matrix proved to be the most effective biomonitor for heavy metal contamination.

Keywords: bees, biomonitors, heavy metals, honey, pollen.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de fuentes antropogénicas de contaminación produce un aumento de las concentraciones de metales pesados en el aire, el suelo, el agua, las plantas y otros elementos (Diels *et al.*, 2002; Kumpiene *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2001). Los metales pesados presentes en el medio ambiente pueden encontrarse también en las colonias de abejas y sus productos. En este sentido, el cadmio (Cd), el cromo (Cr) y el plomo (Pb) son frecuentemente estudiados por considerarse metales pesados *tóxicos* para estos organismos (Bogdanov, 2006); mientras que el hierro (Fe), el cobre (Cu), el cinc (Zn) y el manganeso (Mn), metales pesados esenciales, por tener un papel importante en los sistemas biológicos (Yazgan *et al.*, 2006; Temamogullari *et al.*, 2012).

El biomonitoreo es una herramienta útil para integrar el flujo de contaminantes al que se ven expuestos los organismos en el tiempo (Markert & Wünschmann, 2011). En el caso particular de la abeja melífera, se evidencia en la acumulación de contaminantes en el insecto y en sus productos: miel, cera, jalea, polen y propóleos (Matuszewska *et al.*, 2021). El caso de la abeja resulta aprovechable ya que actúa como indicador biológico de la degradación ambiental, al ser organismos casi ubicuos, capaces de visitar diversos ambientes (suelo, vegetación, aire y agua) dentro de su área de vuelo que puede abarcar un radio superior a los 3 km (Devillers & Pharm Deleque, 2002). Además, su cuerpo cubierto de pelos, retiene algunas sustancias que entran en contacto con ellas y, en consecuencia, las almacena en sus colmenas. Estas características las convierten a ellas y a sus productos en potenciales bioindicadores de contaminación ambiental (Bogdanov *et al.*, 2003; Celli & Maccagnani, 2003; Porrini *et al.*, 2003; Wakgari & Yigezu, 2020).

El objetivo de este trabajo fue determinar y comparar los niveles de Cd (cadmio), Cr (cromo), Ni (níquel), Pb (plomo) y Zn (cinc) presentes en abejas pecoreadoras de *Apis mellifera* y en sus productos polen y miel, provenientes de tres apiarios ubicados en diferentes zonas geográficas con potencial riesgo diferencial de contaminación ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestras

Para la determinación de metales pesados, se seleccionaron tres apiarios ubicados en diferentes zonas

geográficas del Partido de General Pueyrredón, Provincia de Buenos Aires, teniendo en cuenta su proximidad a sectores con potencial riesgo diferencial de contaminación ambiental: a) zona con influencia marítima (38°10'06" S, 57°38'10" O) (apiario costero, AC), b) zona con influencia agrícola ganadera (38°13'14" S, 58°04'34" O) (apiario rural, AR), c) zona urbana en las proximidades del Centro de Disposición Final de Residuos de Mar del Plata (apiario basural, AB) (38°5'13" S, 57°37'19" O).

Entre agosto de 2011 y julio de 2012 inclusive, se tomaron muestras mensuales de abejas, polen y miel en una colmena seleccionada de cada apiario. Para la recolección de las abejas pecoreadoras, se cubrieron las piqueras de las colmenas para realizar la captura al retornar de sus vuelos de forrajeo. Las muestras de polen y miel fueron tomadas por corte de una porción de cuadro en el apiario y posterior transferencia a tubos plásticos en el laboratorio. Las muestras se almacenaron a -18 °C hasta su procesamiento y análisis.

Procesamiento de las muestras por digestión ácida

Las muestras de abejas y polen se secaron a 105°C durante una hora. A un gramo de cada muestra seca se le agregó 10 ml de HNO₃ 1:1 (Cicarelli). La mezcla se calentó suavemente hasta los 95°C, se dejó enfriar, y una vez fría se le agregó 5 ml de HNO₃ concentrado, se tapó y calentó suavemente durante 30 minutos. Este procedimiento fue repetido hasta no visualizar vapores pardos. Posteriormente, se calentó destapado hasta obtener 5 ml de solución, evitando el punto de ebullición. Finalmente, se llevó a un volumen final de 100 ml con agua destilada. Cada muestra fue almacenada a temperatura ambiente hasta su análisis. Se efectuaron los blancos con los solventes tratados de la misma manera que las muestras.

Las muestras de miel fueron procesadas en el Laboratorio de Espectrometría de la División Aplicaciones Pecuarias del Departamento Aplicaciones Agropecuarias y Ambientales del Centro Atómico Ezeiza de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Argentina. Un gramo de miel se colocó en vasos de teflón del sistema de digestión por microondas Milestone 1200; se mezcló con 1 ml de peróxido de hidrogeno 30% v/v (Merck Suprapur) y 3 ml de ácido nítrico 65 % v/v sub-boiling obtenido con el destilador Distillacid BSB-939-IR marca Berghof. Se trató según rampa de temperatura y tiempo programada (Enrich *et al.*, 2007) y la solución resultante después del enfriado

hasta temperatura ambiente fue llevada a un volumen de 10 ml con agua ultrapura de resistividad eléctrica 18,2 MΩ-cm obtenida por sistema de purificación de agua marca Sartorius.

Determinación de metales pesados

Se determinaron las concentraciones de cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb) por su importancia toxicológica, y de níquel (Ni) y cinc (Zn) por su función como micronutrientes.

Las muestras de abejas y polen se analizaron utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica marca Shimadzu modelo AA-6800, mediante la técnica de atomización por método directo de llama u horno dependiendo del metal a analizar y del nivel de sensibilidad requerido. Se realizaron las curvas de calibración para cada metal en rangos de 0 a 6 ppb para Cd, 0 a 2 ppb para Cr y Ni, 0 a 40 ppb para Pb, y 0 a 600 ppb para Zn.

A las muestras de miel obtenidas se les agregó galio 1 ppm (solución Ga 1000 mg/l Certipur® trazable a SRM de NIST) como estándar interno, y se sembraron 10 µl en los portamuestras, se secaron con lámpara infrarroja y se analizaron con el espectrómetro de fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF) S2 PICOFOX Marca Bruker. Se utilizó la calibración interna del equipo, verificada con soluciones estándares Merck Certipure. El tratamiento de los espectros de rayos X y los cálculos se efectuaron con el software de SPECTRA 5,3e FRXRT S2 Picofox de BRUKER.

Expresión de los resultados

Las determinaciones fueron realizadas por triplicado sobre la misma muestra y los valores informados corresponden a su promedio. Las concentraciones expresadas como ppb fueron calculadas en función del peso seco de la matriz correspondiente (abejas o polen). Los valores graficados corresponden a las concentraciones con la corrección de los blancos de solventes. Las determinaciones superiores a la curva de calibración fueron diluidas y ajustadas por su debido factor de dilución. Los resultados para las muestras de miel fueron expresados en mg/kg y convertidos a ppb para efectuar las comparaciones entre matrices.

Análisis estadísticos

Con el objetivo de determinar si existen diferencias en las concentraciones de los metales pesados (Cd, Cr, Pb, Ni y Zn) determinadas en abejas provenientes de

apiarios con potencial riesgo diferencial de contaminación ambiental (AC, AR, AB) y entre estaciones (verano, otoño, invierno y primavera) se realizó un análisis multivariado de la varianza basado en permutaciones PERMANOVA (Anderson, 2008) luego de 9999 permutaciones, utilizando permutaciones de residuales en un modelo reducido y una suma parcial de los cuadrados (Tipo III), seguido por comparaciones múltiples a posteriori mediante un análisis pareado cuando fuera necesario. Dado que PERMANOVA es sensible a diferencias en la dispersión multivariada entre grupos, el mismo modelo fue testeado para determinar diferencias en la dispersión utilizando la rutina PERMDISP (Anderson *et al.*, 2008), midiendo las dispersiones como distancias a los centroides. Se realizó un análisis similar para determinar si la concentración de metales difiere entre matrices (abeja, miel y polen) provenientes de distintos apiarios (AC, AR, AB) considerando solo aquellos metales cuya medición se encuentre por encima del límite de detección en las tres matrices y la estacionalidad.

La exploración multivariada de los datos fue realizada a través de un análisis de Coordenadas Principales (PCO) mediante la superposición de vectores de correlación de Pearson de las variables medidas.

Para eliminar el efecto debido a las diferentes escalas de magnitud observadas en las concentraciones de los metales, y la influencia de datos extremos, los datos fueron transformados aplicando la raíz cuarta y, posteriormente, estandarizados para todos los análisis. Los análisis multivariados se llevaron a cabo a partir de matrices de distancias Euclidianas, utilizando los paquetes PRIMER V6 (Clarke & Gorley, 2006; Clarke & Warwick, 2001) y PERMANOVA+ for PRIMER (Anderson *et al.*, 2008).

RESULTADOS

Determinación de metales en muestras de abejas

En la figura 1 se muestra la concentración de cada metal pesado, determinada en abejas colectadas mensualmente en tres apiarios expuestos a potencial riesgo diferencial de contaminación ambiental.

La concentración de cadmio (Cd) en el "apiario costero" alcanzó un valor máximo en el mes de octubre de 469,6 ppb y un valor medio de 242,0±87,1 ppb para los meses restantes y en el mes de agosto se encontró debajo del límite de detección (DLL). En el "apiario rural" se observó la máxima concentración durante el mes de agosto (1601,8 ppb), la cual se redujo hasta más

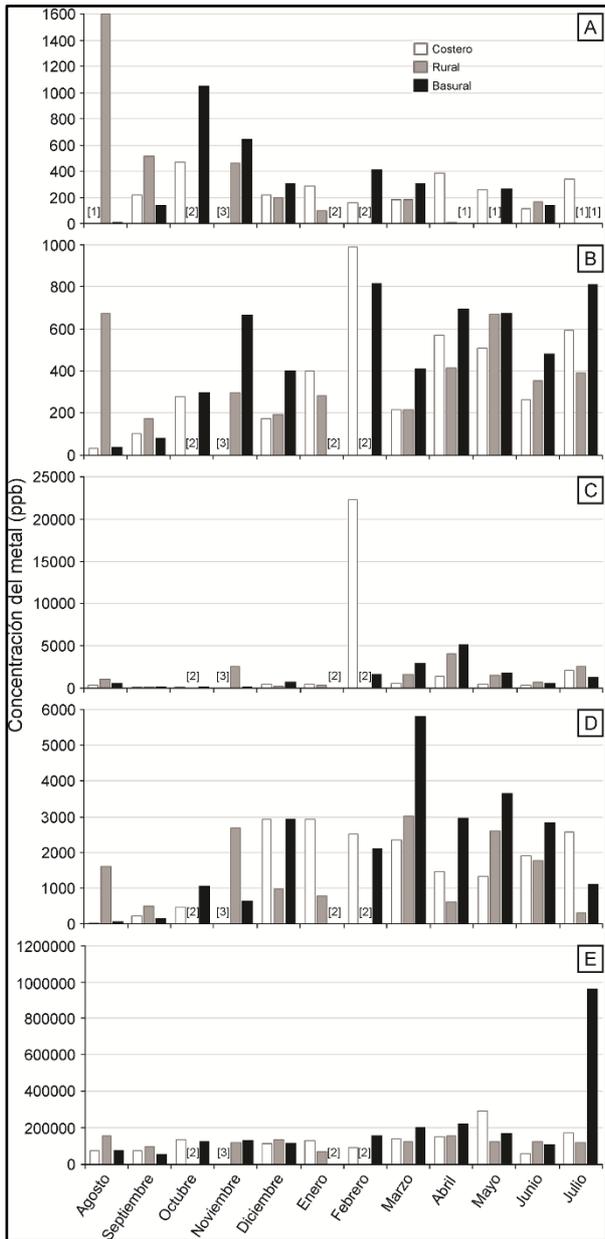


Figura 1. Concentración de metales pesados en abejas muestreadas mensualmente en tres apiarios expuestos a influencia diferencial de contaminación ambiental. A. Cadmio (Cd). B. Cromo (Cr). C. Níquel (Ni). D. Plomo (Pb). E. Zinc (Zn). Todos los resultados se encuentran expresados en partes por billón (ppb). Referencias: (1) DLL (debajo del límite de detección); (2) Sin muestreo; (3) Colmena enjambrada. Los límites de detección fueron 0,5 ppb en horno para Cd y Ni, 1 ppb en horno para Cr y Pb, y 20 ppb en llama para Zn.

de una tercera parte al mes siguiente, manteniéndose los meses posteriores consecutivos entre valores de 9,4 ppb (abril) y 462,8 ppb (noviembre), las concentraciones en mayo y junio se encontraron debajo del límite de detección (DLL). El "apiario basural" presentó un valor máximo de 1050,6 ppb en el mes de octubre, un valor mínimo de 4,9 ppb en agosto y un valor medio de $315,4 \pm 174,1$ ppb el resto de los meses, en tanto que en los meses de abril y julio las concentraciones fueron menores al límite de detección (Fig. 1 A).

La concentración de cromo (Cr) en el "apiario costero" mostró un valor máximo de 987,9 ppb en febrero y un valor medio de $314,0 \pm 195,7$ ppb para los otros meses del año. En el "apiario rural", las mayores concentraciones se observaron en agosto (672,4 ppb) y mayo (671,2 ppb), para el resto de los meses el valor medio fue de $289,7 \pm 90,5$ ppb. En el "apiario basural" se obtuvo un valor máximo de 817,1 ppb en febrero, un valor mínimo de 36,6 ppb en agosto y un valor medio para el resto de los meses de $345,5 \pm 178,8$ ppb (Fig. 1 B).

La concentración de níquel (Ni) durante el mes de febrero en el "apiario costero" presentó un valor elevado de 22372,0 ppb. Los valores mínimos se encontraron en septiembre y octubre de 25,3 ppb y 43,7 ppb, respectivamente, mientras que para el resto de los meses el valor medio encontrado fue $749,1 \pm 650,9$. En el "apiario rural" el valor más bajo de este metal se observó en septiembre (60,4 ppb), el valor máximo en abril (4095,2 ppb) y para el resto de los meses un valor medio de $1312,3 \pm 981,6$ ppb. En la zona del basural el valor más bajo de este metal fue de 79,2 ppb en noviembre, el máximo 5101,3 ppb en abril y para el resto de los meses una media de $1085,6 \pm 897,9$ ppb (Fig 1.C).

Para el plomo (Pb) en el apiario ubicado en la zona costera el valor mínimo de 21,5 ppb se observó en agosto, mientras que el máximo 2936,6 ppb en diciembre y para el resto de los meses el valor medio fue de $1757,0 \pm 952,8$ ppb. En la zona rural el valor medio anual fue de $1489,8 \pm 995,2$ ppb. Para el apiario emplazado en la zona del basural se observó un valor máximo en marzo (5791,4 ppb) y un valor mínimo en

Tabla 1. Análisis multivariado de la varianza basado en permutaciones (PERMANOVA) para analizar las concentraciones de los metales Cd, Cr, Pb, Ni y Zn determinados en abejas provenientes de distintos apiarios (costero, rural y basural) y estaciones (verano, otoño, invierno y primavera).

	MS	Pseudo-F	P(perm)
Apiario	2,14	0,44	0,89
Estación	10,43	2,15	0,03*
Apiario * Estación	3,47	0,72	0,82
Residual	4,83		
Total	155		

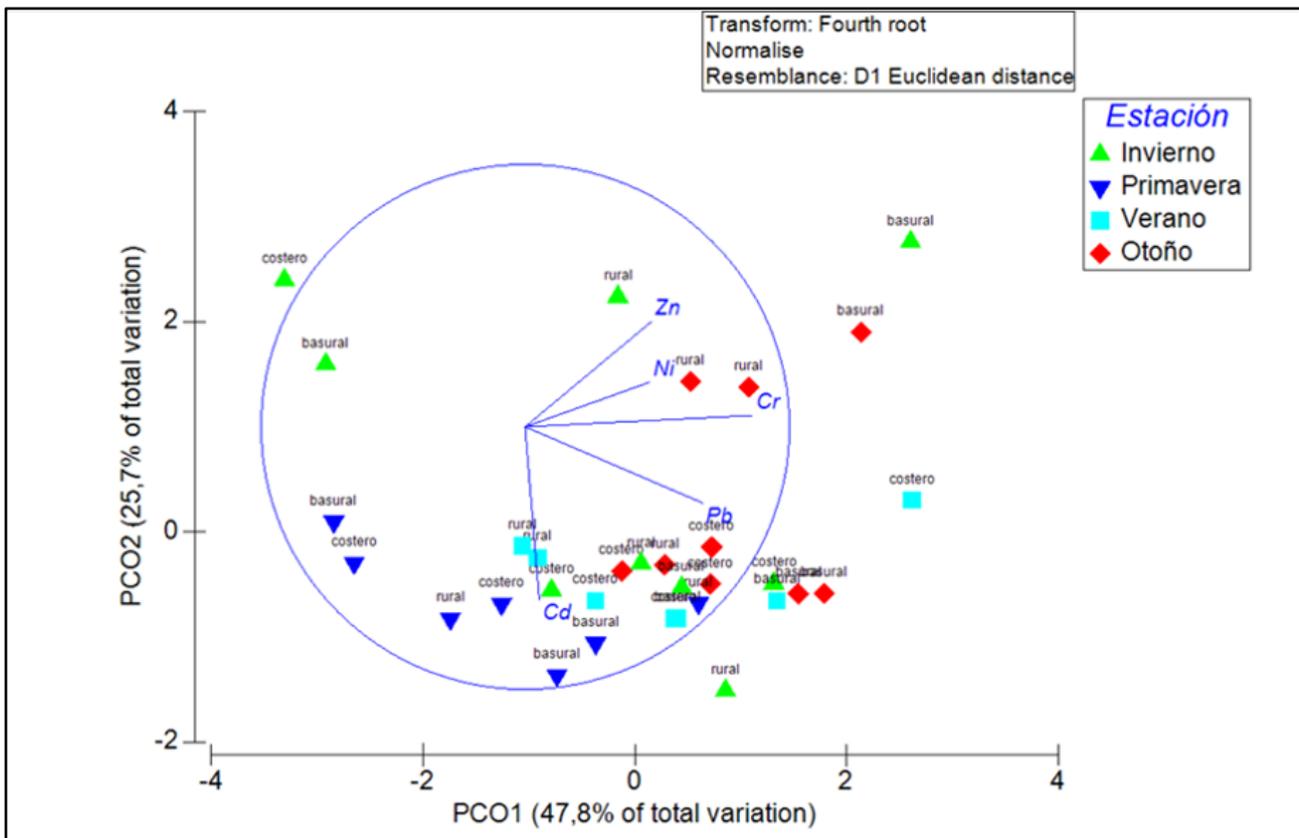


Figura 2. Análisis de ordenamiento de coordenadas principales (PCO) de la concentración de los metales Cd, Cr, Pb, Ni y Zn determinados en abejas provenientes de distintos apiarios (costero, rural y basural) y estaciones (verano, otoño, invierno y primavera). Se indica el porcentaje total de la variación explicada por los ejes PCO1 y PCO2. Mediante vectores se señala la correlación de cada una de las variables en relación a la distribución multivariada del conjunto de ellas.

agosto (56,2 ppb) y el valor medio para el resto de los meses muestreados fue de $1936,8 \pm 1234,0$ ppb. En el apiario cercano al basural se observó un mayor contenido de este metal en los meses de octubre-marzo-abril-mayo-junio y los valores medios anuales $2116,2 \pm 1738,5$ ppb fueron superiores al resto de los apiarios. El valor medio anual más bajo se observó en el apiario de la zona rural ($1489,8 \pm 995,2$ ppb) (Fig 1. D).

Las concentraciones de Cinc (Zn) en los tres apiarios presentaron valores altos, $129301,44 \pm 63548,4$ ppb para el apiario de la zona costera, $121048,4 \pm 28014,2$ ppb en la zona rural y $133657,3 \pm 52780,8$ ppb para la del basural (en este último caso no se tuvo en cuenta el valor máximo hallado en julio de $960053,3$ ppb) (Fig 1.E).

La concentración de metales (Cd, Cr, Pb, Ni y Zn) no fue diferente entre abejas provenientes de distintos apiarios (AC, AR, AB) ($p = 0,89$), mientras que presentó cambios significativos entre estaciones ($p = 0,05$) (Tabla 1). No se observó interacción entre estos factores ($p = 0,82$). El test a posteriori muestra diferencias entre primavera-verano ($p = 0,05$) y primavera-otoño ($p = 0,00$). No se observaron diferencias en la dispersión multivariada entre estaciones ($p = 0,14$). (Tabla 1, Fig. 2).

Comparación de metales entre matrices

El Zn fue el único metal de los medidos en abejas (Cd, Cr, Ni, Pb, Zn) que se encontró por encima del

Tabla 2. Análisis multivariado de la varianza basado en permutaciones (PERMANOVA) para analizar las concentraciones de los metales Cd, Cr, Pb, Ni y Zn determinados en abejas y polen.

	MS	Pseudo-F	P(perm)
Matriz	8,03	1,69	0,15
Apiario	5,39	1,13	0,35
Matriz * Apiario	6,25	1,31	0,25
Residuales	4,76		
Total	130		

límite de detección en la matriz miel. Pudo observarse que las cantidades de cinc en abejas fueron muy superiores que las encontradas en mieles. Los resultados hallados en la matriz miel no fueron incluidos en los análisis estadísticos grupales de comparación entre abejas y polen.

Para el apiario costero el valor medio de Zn en todos los meses de muestreo en la matriz abeja fue de 129301,44 ppb ($sd \pm 63548,39$), en tanto que para la matriz miel el valor fue de 753,4 ppb ($sd \pm 345,94$). En el apiario rural el valor medio resulto de 121012,89 ppb ($sd \pm 26412,24$) en abejas y para miel los valores hallados fueron de 663,63 ppb ($sd \pm 313,04$). Para el apiario cercano al basural el valor medio en abejas fue de 208784,21 ppb ($sd \pm 254149,20$) mientras que para miel los valores resultaron de 740,20 ppb ($sd \pm 250,63$).

Debido a que el polen suele encontrarse en las colmenas en ciertas etapas del año debido a la variabilidad estacional, la comparación de la concentración multivariada de metales entre las matrices abeja y polen entre apiarios fue realizada solo considerando las mediciones de invierno y primavera.

En este sentido, no se encontraron diferencias entre las concentraciones medidas en los distintos apiarios y en ambas matrices (Tabla 2).

DISCUSIÓN

La determinación de metales pesados desde abejas y polen pudo cumplirse ya que el cadmio, cromo, níquel, plomo y cinc fueron detectados en las muestras de los diferentes apiarios seleccionados, sin encontrar diferencias significativas entre las matrices. En cuanto a la miel sólo el cinc se encontró por encima de los límites de detección.

El cadmio es un metal que presenta toxicidad similar a la del mercurio, se enlaza selectivamente a la metalotioneína que ha sido identificada como agente detoxificante de metales pesados (cadmio, mercurio, plata y platino) (García Rico *et al.*, 1999). Naturalmente el cadmio es liberado al ambiente por las actividades humanas y diferentes procesos industriales y entra en la cadena alimentaria a partir de la absorción por suelo o agua contaminada (Nascimento *et al.*, 2018). Perugini *et al.* (2011) en su estudio de abejas como biomonitores de metales pesados tales como Hg, Cr, Cd y Pb en diferentes zonas de contaminación (áreas urbanas y reservas de vida silvestre) encontraron que los niveles de Cd fueron significativamente mayores en las zonas urbanas que en las no residenciales. En nuestro estudio, la estación costera mostró las menores concentraciones de cadmio ($242,0 \pm 87,1$ ppb) resultando prácticamente

constantes durante el año. La mayor concentración fue hallada en el mes de agosto en apiario rural (1601,8 ppb). Disminuyendo su valor los meses siguientes. En el apiario del basural la máxima concentración se dio en los meses de primavera (octubre y noviembre) con un valor medio anual de 362,6 ppb. Estos resultados indican que no se cumple una tendencia en relación a las áreas de estudio y que la concentración resulto variable. Lo cual pudo haber dependido de factores botánicos y condiciones climáticas.

El cromo es un elemento natural en la corteza terrestre y es liberado al medio ambiente por la acción natural y fuentes antropogénicas, pudiendo pasar este al aire, el agua o quedar en forma de sedimentos. Este es utilizado en la industria metalúrgica, como en enchapado, curtido de cuero, fabricación de colorantes y pigmentos, utensilios de cocina y conservantes de la madera (Nascimento *et al.*, 2018). Se ha encontrado este metal en muestras de miel (Oroian *et al.*, 2016), también se ha demostrado que puede hallarse en las abejas (Porrini *et al.*, 2003). Y los valores encontrados en Bogdanov *et al.* (2007) indicaron que en las zonas urbanas resultaron 2,5 veces superiores en relación a las zonas rurales. Las concentraciones obtenidas de cromo en nuestro estudio no superaron en ninguno de los tres apiarios los 987,9 ppb (valor máximo observado en la estación costera durante el mes de febrero de 2012).

Los estudios abocados al níquel se centran principalmente en su presencia en miel (Salihaj & Bani, 2017), ya que la misma puede ser una buena fuente de oligoelementos que necesita el ser humano y varios metales resultan esenciales pudiendo desempeñar un rol importante en una serie de procesos bioquímicos (Falco *et al.*, 2013), aunque algunos de ellos están presentes en trazas y pueden volverse tóxicos si superan los límites seguros (Codex Alimentaris Commission 1993). El níquel por su parte se lo asocia a alergias dermatológicas y la presencia de cantidades suficientes en la dieta de una persona sensible al níquel puede provocar dermatitis (Salihaj & Bani, 2017). Así mismo, se observó su presencia en néctar, particularmente en el trabajo desarrollado por Meindl & Ashman (2013) estudiaron si los metales en la solución azucarada de las flores alteraban el comportamiento de alimentación de insectos polinizadores, para ello incorporaron dos contaminantes comunes del suelo tales como Al o Ni al néctar. Si bien la presencia de Al no influyó en los patrones de alimentación de los abejorros, las flores que contenían soluciones de Ni fueron visitadas por períodos de tiempo más cortos en relación con los controles y disuadieron a las abejas de visitar flores cercanas contaminadas con Ni. Los hallazgos de estos autores

sugieren que los metales del suelo podrían generar una cascada de efectos negativos sobre los polinizadores en ambientes contaminados. En nuestro estudio no pudo detectarse níquel en las muestras de miel, pero sí en las de abejas y polen. El pico máximo de concentración de níquel fue de 22372,1 ppb en febrero en el 'apiario costero'. En el 'apiario rural' el pico se dio en el mes de noviembre y fue de 2556,1 ppb. Las zonas del basural mostraron mayor concentración de este metal con un máximo en abril de 5101,3 ppb.

De acuerdo con Di *et al.* (2016) lo más probable es que la contaminación de las abejas por plomo se deba al transporte a través del aire y los residuos que se desprenden resultantes de la deposición en las superficies en contacto con ellas. Principalmente, debido a que el Pb no se traslada fácilmente dentro de las plantas (Hladun *et al.*, 2015), aunque las cantidades relativamente pequeñas de Pb que se translocan dentro de ellas pueden acumularse en las flores, lo que llevaría también a un aumento en la concentración en las abejas. La incidencia de plomo en los diferentes apiarios respondió a las tendencias esperadas para cada uno de ellos. Las concentraciones de este metal en el apiario costero presentaron valores máximos durante los meses de verano (2602,1±288,5 ppb) disminuyendo durante el otoño (1583,6±304,1 ppb). Esta tendencia pudo haber sido consecuencia de la cercanía del apiario a solo metros de la ruta provincial interbalsearia 11, altamente transitada en la época estival. Esto concordaría con los datos observados (Morgano *et al.*, 2010) en Brasil, donde observaron que en áreas de alta emisión vehicular las concentraciones de Pb en polen resultaron mucho más altas en comparación con las concentraciones encontradas en zonas rurales. En el apiario ubicado en la zona rural la concentración de plomo no superó el máximo de 3012,5 ppb, registrado en marzo de 2012, con un valor medio anual de 1489,8 ppb. Esta tendencia de baja concentración del metal era esperable ya que el lugar geográfico donde se encuentra emplazado el apiario no presenta, al menos a priori, fuentes de exposición al plomo. En cuanto al apiario cercano al basural las mediciones fueron aún mayores, el valor máximo llegó a 5791,4 ppb durante el mes de marzo de 2012. Los meses restantes las concentraciones se mantuvieron en un valor medio anual de 2116,3 ppb. Estos altos valores en las concentraciones de plomo en el apiario cercano al basural podrían deberse al tipo de residuos desechados. Principalmente los residuos electrónicos son, en la actualidad, la mayor causa de presencia de plomo y el aumento de estos desechos durante las últimas décadas, unido a una falta de una gestión adecuada de los productos manufacturados que

se vuelven obsoletos constituye un foco de contaminación (Leung *et al.*, 2008). También, se ha visto en Hoffel (1985) que el contenido de Pb en los tejidos de abejas de regiones industrializadas puede ser hasta diez veces más altos en relación al de áreas no industrializadas.

En los tres apiarios las concentraciones de cinc determinadas en abejas fueron más elevadas que las obtenidas con los otros metales (entre 1 y 1000 órdenes de magnitud), resultados similares fueron reportados por Aghamirlou *et al.* (2015) pero en muestras de miel con valores medios de 148 µg/kg (con rangos desde 122 a 6638 µg/kg). Los valores de cinc en el apiario costero coinciden con el rango de valores medios del apiario rural 129301,4 ppb y 121048,4 ppb, respectivamente. En el apiario cercano al basural el valor medio fue superior (208784,2 ppb) debido principalmente este incremento al alto valor encontrado en este apiario en el mes de julio 960053,3 ppb. Al analizar los datos de cinc en relación a las estaciones climáticas, en primavera-verano el valor medio encontrado para todos los apiarios fue de 144654,2 ppb, en tanto que para los meses comprendidos en otoño-invierno este valor fue mayor 164910,3 ppb. Estos datos concuerdan con los reportados por Amdam *et al.* (2004) en que las abejas en condiciones climáticas desfavorables presentan mayor contenido de este metal asociado a la vitelogenina. Esta proteína es el principal portador de cinc en la hemolinfa de las abejas. El cinc es un ión importante desde un punto de vista metabólico, actúa como catalizador, ión estructural y regulador de diferentes procesos. Su deficiencia induce estrés oxidativo, por lo tanto, la vitelogenina protegería a las abejas de sufrir daños oxidativos (Padilla Alvarez, 2009).

Los metales analizados en este trabajo, fueron comparados con los obtenidos por Salis (2008) en donde se determinaron las concentraciones de Cd, Cu, Mn, Pb, Cr, Co y Ni en 6 apiarios ubicados en zonas mineras, minero-industriales y urbanas de la región italiana de Cerdeña. Los resultados indicaron niveles elevados de metales como Cd (rango entre 112-50000 ppb), Pb (rango entre 44-33400 ppb) y Cr (4-167000 ppb). En cambio, los valores obtenidos en nuestras determinaciones, fueron menores siendo los mismos entre 5 y 1600 ppb para Cd, 21 y 5800 ppb para Pb, 30 y 990 ppb para el Cr. Esta diferencia podría deberse a la ubicación geográfica cercana a centros mineros en Salis (2008) que influiría en valores más altos en la concentración de metales pesados encontrados.

Por otra parte, los valores reportados en este trabajo, resultaron mayores a los reportados por Leita *et al.* (1996). No obstante, estas diferencias pueden deberse a

que, en el mencionado trabajo, las abejas fueron lavadas antes de la digestión ácida, de manera de barrer los metales superficiales y las colmenas utilizadas se reemplazaron semanalmente. Mientras que nuestras estaciones de muestro y colmenas se mantuvieron fijas durante todo el año.

Las variables climáticas deben considerarse a la hora de monitorear los metales pesados. Las estaciones del año también pueden ser de influencia, el contenido de polen, el flujo de néctar, alto en primavera y verano en relación al otoño e invierno podrían diluir al poluente (Porrini *et al.*, 2003). Los muestreos realizados en el presente trabajo, fueron efectuados en los tres apiarios, en la misma semana para evitar diferencias en las condiciones climáticas. Además, cabe destacar que se evitó la toma de muestras luego de la lluvia.

En relación a la miel, los metales (Cr, Cd, Ni, Pb) mostraron concentraciones por debajo del límite de detección. EL único metal que pudo ser comparado en ambas matrices (abeja y miel) fue el Zn, cuyos valores fueron menores en las muestras de miel en relación a las abejas, con resultados similares a Borsuk *et al.* (2021). Nuestros resultados concuerdan también con los hallados por Conti *et al.* (2022) donde la miel mostró una baja capacidad de transferencia de contaminantes del medio ambiente al producto, confirmando así que la misma no resulta apropiada como un indicador medioambiental de contaminación.

Las abejas pecoreadoras resultaron mejores indicadores comparativos de metales pesados en relación a las muestras de miel y no presentan diferencias en relación a las muestras de polen. A partir de los resultados obtenidos, puede concluirse que las abejas resultaron ser buenos biomonitores de contaminación por metales pesados en relación a las otras matrices.

CONCLUSIONES

Las abejas pueden considerarse como el bioindicador de elección y un centinela e instrumento de monitorización ambiental. Este estudio muestra que las abejas melíferas podrían ser más útiles como bioindicadores de la deposición de elementos ambientales que la miel e incluso que el polen. Las abejas junto con su posibilidad de transporte y un adecuado manejo pueden asegurar la realización de monitoreos en cualquier región o zona geográfica, lo que las convierte en un excelente bioindicador.

FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue financiado por PICT 1625 ANCyT, PIP 0804 CONICET y UNMDP.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Análisis FARES TAI AE, en particular a la Dra. Sandra Medici, Ing. Valeria Venturino, Lic. Agustín Costas, Lic. Martín Blando y equipo, por la colaboración en los análisis realizados con el equipo de absorción atómica.

A los apicultores Rubén Dorsch y Darío Porrini por haber puesto a mi disposición sus apiarios para la toma de muestras.

A Mirko Balan, Valeria Pozzoli, Federico Quiroz y Ruth Schmarsow que como pasantes del Centro de investigación en abejas sociales colaboraron en la digestión ácida de las muestras.

REFERENCIAS

- Aghamirlou, H. M., Khadem, M., Rahmani, A., Sadeghian, M., Mahvi, A.H., Akbarzadeh, A., Nazmara, S. (2015) Heavy metals determination in honey samples using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. *Journal of Environmental Health Science & Engineering* 13, 39.
- Amdam Gro, V., Simões Zilá L. P., Hagen, A., Norberg, K., Schrøder, K., Mikkelsen, Ø., Kirkwood, T. B.L., Omholt S. W. (2004) Hormonal control of the yolk precursor vitellogenin regulates immune function and longevity in honeybees. *Experimental Gerontology* 39, 767-773.
- Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, K.R. (2008). PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Borsuk, G., Sulborska, A., Stawiarz, E., Olszewski, K., Wiącek, D., Ramzi, N., Nawrocka, A., Jędryczka, M. (2021). Capacity of honeybees to remove heavy metals from nectar and excrete the contaminants from their bodies. *Apidologie* 52:1098–1111.
- Bogdanov, S., A. Imdorf, J. Charriere, P. Fluri, Kilchenmann, V. (2003). The contaminants of the bee colony. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*, 6 (2), 59-70
- Bogdanov, S. (2006). Contaminants of bee products. *Apidologie*, 37 (1), 1-18.
- Bogdanov, S., Haldimann, M., Luginbühl, W., Gallmann P. (2007) Minerals in honey: environmental, geo-graphical and botanical aspects. *Journal of Apicultural Research and Bee World* 46(4): 269–275.
- Celli, G. & Maccagnani B. (2003). Honey bees as bioindicators of environmental pollution. *Bulletin of Insectology*, 56, 137-139.

- Clarke, K.R., Gorley, R.N. (2006). PRIMER V6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Clarke, K.R., Warwick, R.M. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edn. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Conti, M., Astolfi, M., Mele, G., Ristorini, M., Vitiello, G., Massimi, L., Canepari, S., Finoia, M. (2022) Performance of bees and beehive products as indicators of elemental tracers of atmospheric pollution in sites of the Rome province (Italy). *Ecological Indicators* 140, 109061.
- Codex Alimentaris Commission. Standard for Honey, Ref. no. CL 1993/14, SH, Codex Alimentarius Commission. F.A.O./W.H.O. Rome, 1993.
- Devillers, J. & Pharm-Delegue, M.H. (editors). (2002). Honey bees: Estimating the Environmental Impact of chemicals. Taylor & Francis, London and New York.
- Di, N., Hladun, K.R., Zhang, K., Liu, T.X. & Trumble, J.T. (2016). Laboratory bioassays on the impact of cadmium, copper and lead on the development and survival of honeybee (*Apis mellifera* L.) larvae and foragers. *Chemosphere*, 152, 530-538.
- Diels, L., Van Der Lelie, N., Bastiaens, L. (2002) New developments in treatment of heavy metal contaminated soils. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 1, 75–82.
- Enrich, C., Boeykens, N. Caracciolo, G. Custo & Vazquez C. (2007). Honey characterization by total reflection x-ray fluorescence: evaluation of environmental quality and risk for the human health. *X-ray Spectrometry X-Ray Spectrom*, 36, 215–220.
- Falco, G., Gomez-Catalan, C., Llobet, J.M., Domingo, J.L. (2003) Contribution of medicinal plants to the dietary intake of various toxic elements in Catalonia, Spain. *Trace Element Electrolyte*, 20, 120-124.
- García Rico, L., Robles Burgueño, M. & Valenzuela Soto, E. M. (1999). Las metalotioneínas y su relación con la toxicidad del cadmio en los mamíferos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 15 (2), 113-120.
- Hladun, K.R., Parker, D.R., Trumble, J.T. (2015). Cadmium, copper, and lead accumulation and bioconcentration in the vegetative and reproductive organs of *Raphanus sativus*: implications for plant performance and pollination. *Journal of Chemical Ecology* 41, 368-395.
- Hoffel, I., 1985. Heavy metals in bees and bee products. *Apidologie* 16, 196-197, 141.
- Kumpiene, J., Lagerkvist, A., Maurice, C. (2008) Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments - A review. *Waste Management*, 28 (1), 215-225.
- Leita, L., Muhlbachova, G., Cesco, S., Barbattini, R., Mondini, C. (1996) Investigation of the use of honey-bees and honeybee products to assess heavy metals contamination. *Environmental Monitoring and Assessment* 43, 1–9.
- Leung, A., Duzguren-Aydin, N., Cheung, K.C. & Wong, M. (2008). Heavy metal concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in Southeast China. *environmental science and technology*. 42(7), 2674-2680.
- Markert, B., Wünschmann, S., (2011). bioindicators and biomonitoring: Use of organisms to observe the influence of chemicals on the environment. In: Schroder, P., Collins, C.D. (Eds.), *Organic Xenobiotics and Plants. Plant Ecophysiology*, 8, 217–236.
- Matuszewska, E., Klupeczynska, A., Maciołek, K., Kokot, Z. J., & Matysiak, J. (2021). Multielemental Analysis of Bee Pollen, Propolis, and Royal Jelly Collected in West-Central Poland. *Molecules* 26(9), 2415.
- Meindl, G.A., Ashman, T.L. (2013) The effects of aluminum and nickel in nectar on the foraging behavior of bumblebees. *Environmental pollution*, 177, 78–81.
- Morgano, M.A., Teixeira Martins, M.C., Rabonato, L.C., Milani, R.F., Yotsuyanagi, K., Rodriguez-Amaya, D.B. (2010). Inorganic contaminants in bee pollen from southeastern Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(11), 6876-83.
- Nascimento, A.S., Chambó, E.D., Oliveira, D.J., Andrade, B.R., Bonsucesso, J.S., Carvalho, C. (2018). Honey from Stingless Bee as Indicator of Contamination with Metals. *Sociobiology* 65(4): 727-736.
- Oroian, M., Prisacaru, A., Hretcanu, E.C., Stroe, S.G., Leahu, A. & Buculei, A. (2016) Heavy Metals profile in honey as a potential indicator of botanical and geographical origin. *International Journal of Food Properties*, 19:1825-1836.
- Padilla Alvarez, F. (2009). El envejecimiento de las abejas: abejas de verano y abejas de invierno. *El colmenar* 93, 40-51.
- Perugini, M., Manera, M., Grotta, L., Abete, M.C., Tarasco, R. & Amorena, M. (2011). Heavy metal (Hg, Cr, Cd, and Pb) contamination in urban areas and wildlife reserves: honeybees as bioindicators. *Bio-logical Trace Element Research*, 140, 170-176.
- Porrini, C., Sabatini A., Girotti S., Ghini S., Medrzycki P., Grillenzoni F., Bortolotti L., Gattavecchia E. & Celli G. (2003). Honey bees and bee products as monitors of the environmental contamination. *Apiacta* 38, 63- 70.
- Salihaj, M., Bani, A. (2017) The nickel content in honey derived from serpentine and non-serpentine areas of Kosovo. *Albanian journal of agricultural science*, 557-563.
- Salis, S. (2008). Stima dell’impatto ambientale di attività minerarie ed industriali attraverso la determinazione di metalli in tracce in api e matrici d’alveare. Tesis Doctoral. Università degli Studi di Sassari. (En italiano).
- Temamogullar, F., Yazar, S., Baskaya, R. (2012) Determination of some heavy metals in honey. *Eurasian journal veterinary sciences*, 28(1), 38-40.
- Wang, Y.M., Chen, T.C., Yeh, K.J., Shue, M.F. (2001) Stabilization of an elevated heavy metal contaminated site. *Journal of Hazardous Materials*, 88 (1), 63-74.
- Wakgari, M. & Yigezu G. (2021) Honeybee keeping constraints and future prospects, *Cogent Food & Agriculture*, 7(1), 1-31.
- Yazgan, S., Horn, H., Isengard, H.D. (2006) Honey as bio indicator by screening the heavy metal content of the environment. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 102, 192.

Derechos de Autor (c) 2023 Manuel Cecchi



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) [Texto completo de la licencia](#)