



Estudio por Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR) del Material Magnético Presente en la Abeja *Apis Melífera*

C. Daza¹, C. Corredor², O. Almanza¹

¹Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

²Profesor (pensionado) Universidad Nacional de Colombia

Recibido 22 de Oct. 2007; Aceptado 15 de Oct. 2008; Publicado en línea 5 de Ene. 2009

Resumen

Se presentan los resultados de un estudio hecho con la técnica de resonancia paramagnética electrónica (EPR) a abejas comunes de miel (*apis melífera*). El interés está centrado en ayudar a entender el mecanismo mediante el cual este tipo de abejas se orientan. Se tomaron espectros para cabeza, tórax y abdomen encontrando sustancias magnéticas como iones de Fe^{+3} en las tres partes y nanopartículas magnéticas o clusters de ellas en el abdomen. Una hipótesis aceptada es que tales nanopartículas sean magnetita, en comparación con trabajos similares. Estos resultados se complementan con ensayos de EDAX y fluorescencia de rayos X realizados a las muestras.

Palabras claves: EPR, *apis melífera*, EDAX.

Abstract

The results of a study with the technique of Paramagnetic Electronic Resonance (EPR) to common honey bees (*apis mellifera*) are presented. The interest is centered in help us to understand the mechanism that the bees use to guide themselves. Spectra were taken for head, thorax and abdomen finding magnetic substances as Fe^{+3} ions in the three parts and magnetic nanoparticles or clusters of them in the abdomen. An accepted hypothesis is that such nanoparticles are magnetite is formulated, in comparison with similar works. These analyzes are complemented with EDAX and X - rays fluorescence results.

Keywords: EPR, *apis mellifera*, EDAX

© 2009 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

Los animales utilizan distintos mecanismos para su orientación y navegación, entre ellos el campo magnético terrestre [1]. Este último mecanismo es lo que denominamos *magnetorecepción* y debido a su complejidad ha focalizado la atención de muchos investigadores durante los últimos 40 años. Para entender mejor la magnetorecepción se ha postulado varios mecanismos, uno de esos mecanismos, muy interesante por demás, es la hipótesis ferromagnética la cual involucra la existencia de partículas magnéticas permanentes en los animales como transductoras del campo magnético [3].

En el caso de algunos insectos sociales como las abejas, múltiples observaciones realizadas conducen a que este mecanismo sea la hipótesis más aceptada para explicar la magnetorecepción en estas especies. En el caso particular de la abeja común de miel (*apis*

mellifera) se ha encontrado a partir de mediciones de magnetización y microscopía electrónica de barrido la presencia de partículas de magnetita, Fe_3O_4 en la región del abdomen de las abejas. Se supuso que estas partículas eran las transductoras del campo magnético en las abejas [3]. Basados en la hipótesis ferromagnética para la magnetorecepción, los estudios de resonancia paramagnética electrónica (EPR) se constituyeron posteriormente en otra herramienta útil para detectar e identificar la estructura del material magnético contenido en la abeja *apis melífera*. En este trabajo, se implementó esta última técnica con miras a detectar partículas magnetoreceptoras presentes en muestras recolectadas de colmenas locales y cuyo tratamiento previo y toma de espectros se llevó a cabo en el laboratorio de EPR del departamento de Física de la UNAL. Las abejas se discriminaron según su tratamiento y se tomaron espectros para la cabeza, el tórax y el abdomen. Tales experimentos no están dilucidados claramente en la

literatura además de no haberse realizado ensayos del tipo EDAX y fluorescencia de rayos X a dichas muestras.

2. Espectroscopía EPR

La espectroscopía EPR mide las diferencias de energía entre los estados originados por el desdoblamiento que se genera al poner un sistema con electrones desapareados en un campo magnético externo (efecto Zeeman). La diferencia de energías entre dos estados será de la forma $g\mu_B H_z$, donde g es el factor de Landé, μ_B es el magnetón de Bohr y H el campo magnético aplicado. La denominada *condición de resonancia* para obtener en el espectro un pico de resonancia es:

$$h\nu = g_J \mu_B H_z \quad (1)$$

y este campo H_z será el campo de resonancia. De aquí puede despejarse el factor de Landé g . Este factor g puede llegar a ser muy útil a la hora de identificar la muestra, pero no es único, va a depender de la frecuencia elegida para la radiación. Otros datos arrojados por el espectro como intensidades, número de líneas distancia entre ellas, su forma y ancho entre otros también constituyen otras fuentes de información muy útil a la hora de identificar y caracterizar la muestra.

3. Montaje y Procedimiento experimental

3.1 Tratamiento de la muestra

Las abejas obreras de la especie *apis mellifera*, recolectadas de una misma colmena, fueron congeladas con nitrógeno líquido y depositadas, sin patas ni alas, en un tubo de vidrio conectado a una bomba de vacío a una presión de 10^{-2} mbar, durante 2 horas aproximadamente, con el objeto de secarlas vía sublimación e impedir la oxidación del tejido orgánico (proceso denominado liofilización). Ya desecadas las abejas y para efectos de análisis, se cortaron en tres partes: cabeza, tórax y abdomen. Para evitar su rehidratación y por ende oxidación al contacto con el aire, el sistema de liofilización y la manipulación de las muestras se dispuso en una cámara diseñada para tal fin en la cual fue posible mantener un flujo de nitrógeno gaseoso que garantizó una atmósfera inerte. Posteriormente dentro tal cámara se maceró cada sección por aparte en un mortero de ágata. El polvillo resultante se depositó en tubos de cuarzo para tomar el respectivo espectro de EPR. Cabe anotar que también se tomaron espectros de abejas sin liofilizar, maceradas en mortero de ágata y dentro de la cámara para efecto de comparación.

3.2. Procedimiento experimental.

La toma del espectro de las muestras por EPR se realizó con un espectrómetro BRUKER ESP 300, banda X, a 300°K.

4. Resultados

4.1 EDAX y fluorescencia de rayos X.

EDAX es la espectroscopia de análisis de dispersión de rayos x. De la Fig. 1 se deduce que se conservarían los elementos componentes fundamentales de la abeja al liofilizarla. Las intensidades cambian en algunos elementos pero estas intensidades no fueron consideradas en vista de que dependían ampliamente de la zona elegida para dirigir los rayos x, por lo tanto no fue posible deducir porcentajes confiables de los elementos a partir de las intensidades. Cabe anotar que estos datos por sí solos tampoco son comple-

tamente concluyentes en cuanto a composición total de la abeja, pues al ser un análisis superficial arrojó mayormente la composición de la queratina, la capa exterior o “coraza” de la abeja. Para confirmar la composición, a su vez se realizó una toma del espectro de un abdomen liofilizado, por fluorescencia de rayos x para la cual se maceró el abdomen, garantizando así que los elementos encontrados no eran solo los superficiales. Los elementos encontrados, prescindiendo de su presencia porcentual en la abeja fueron los siguientes: carbono, fósforo, silicio, aluminio, azufre, cloro, potasio, calcio, hierro, flúor, magnesio y níquel. Se encontraron unos elementos más que con el EDAX como son el níquel, el flúor y el hierro.

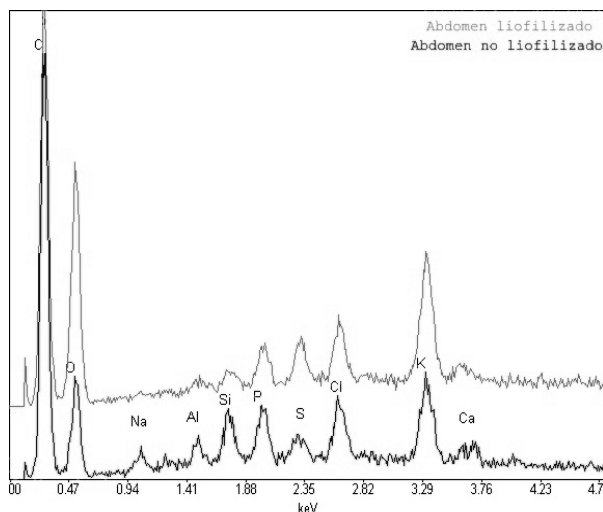


Fig.1.1 Espectro de análisis de dispersión de Rayos X (EDAX) de abdomen.

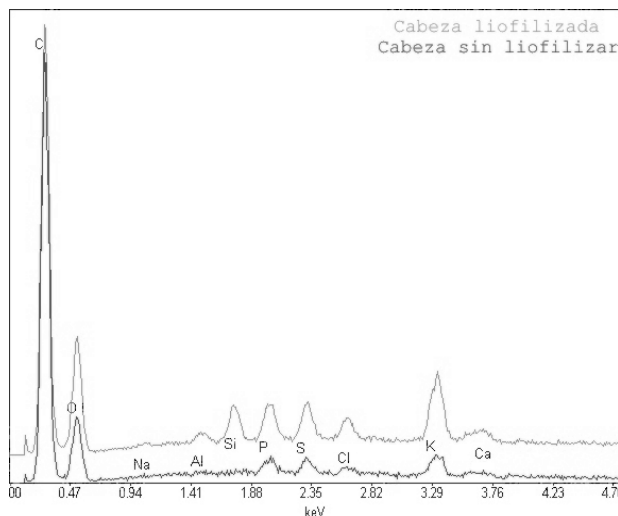


Fig.1.2 Espectro de análisis de dispersión de Rayos X (EDAX) de cabeza..

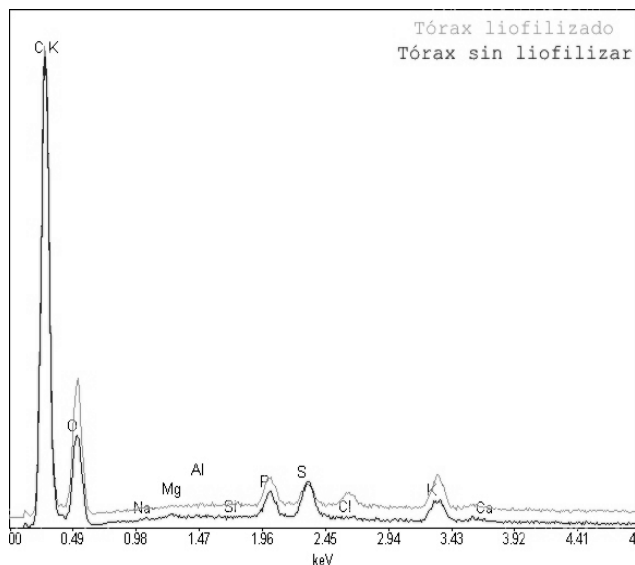


Fig.1.3 Espectro de análisis de dispersión de Rayos X (EDAX) de tórax

4.2 Espectros de EPR.

4.2.1 Comparación cabeza, tórax y abdomen no liofilizados

En el espectro de las muestras no liofilizadas, Fig. 2, se observa la presencia de un pico en EPR en $H \approx 3360$ (marcado como 3 en la figura), común para todas las muestras. Esta señal ha sido asociada a radicales libres. El espectro obtenido a partir del abdomen muestra una respuesta por EPR que no es observada en los espectros de las otras dos regiones de la abeja. Primero se observa una señal, marcada como 1 en la figura, asociada a la presencia de Fe^{+3} en baja simetría con un g de 4.3 [2]. También es observada una señal amplia con un g aproximado de 1,95 (marcada con 2 en el espectro), que puede estar asociado a clusters magnéticos.

La tabla 1 muestra los parámetros básicos de una señal de EPR para las tres partes analizadas. Las señales marcadas con 1, 2, y 3 están referenciadas en el espectro.

Tabla No.1 Picos detectados para comparación de partes en muestra no liofilizada a $T. ambiente$.

Parte	PICO #	$\Delta B(G)$	$B(G)$	G
Abdomen	1	70	1570	4.14
	2	450	3325	1.95
	3	20	3360	1.93
Tórax	3	20	3360	1.93
Cabeza	3	20	3360	1.93

Cuando las muestras en análisis son liofilizadas, el espectro de EPR es como se muestra en la Fig. 3. Aparecen los radicales libres y se observa una clara señal adicional en el espectro EPR de la región abdominal. Esta es la señal que hemos asociado a la presencia de cluster magnéticos en los cuales, por la ausencia de agua, han cambiado sus mecanismos de agregación.

Los parámetros de medida fueron los mismos y los datos tomados con EPR están listados en la tabla 2.

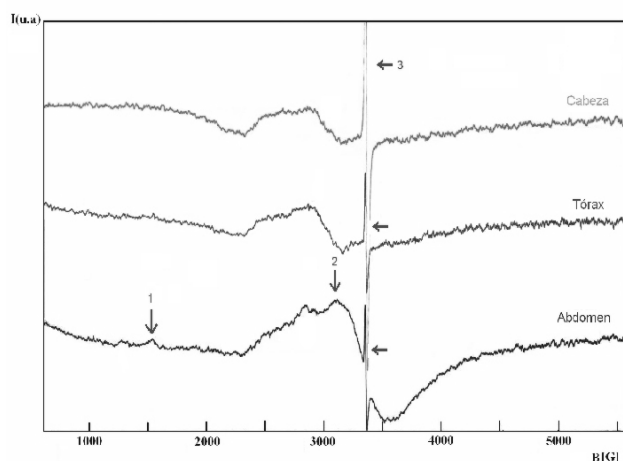


Fig.2 Espectros de cabeza, tórax y abdomen para muestras no liofilizadas a temperatura ambiente.

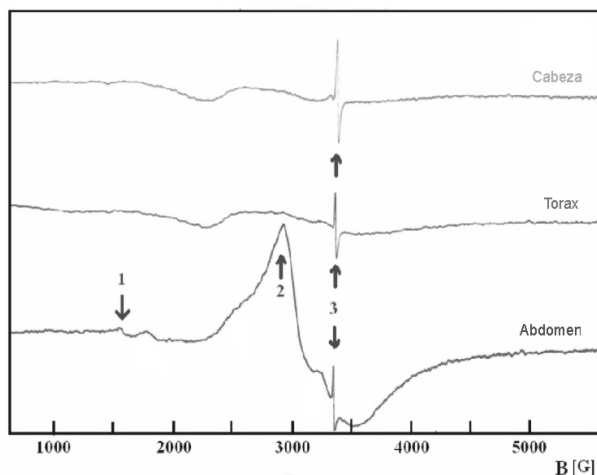


Fig.3 Espectros de cabeza, tórax y abdomen para muestras liofilizadas a temperatura ambiente.

Tabla No.2 Picos detectados para comparación de partes en muestra liofilizada a $T. ambiente$.

Parte	PICO #	$\Delta B(G)$	$B(G)$	G
Abdomen	1	50	1565	4.15
	2	580	3200	2.03
	3	20	3350	1.94
Tórax	3	20	3360	1.93
Cabeza	3	20	3360	1.93

5. Conclusiones

A partir de los resultados de EDAX y fluorescencia de rayos X se puede decir que básicamente los elementos que componen las muestras se conservan después de liofilizar.

Se encontraron partículas magnéticas en las abejas, localizadas mayormente en sus abdomenes: iones de Fe^{+3} y clusters magnéticos. Tales partículas pueden ser magnetita, esto por comparación con la evidencia encontrada para otras especies en otros trabajos.

Referencias

- [1] Wajnberg E. et al., *Biophysical Journal* 78, 1018–1023, 2000.
- [2] Esquivel D. et al, *Naturwissenschaften* 86, 30–32, 1999.
- [3] Kirschvink J. and Gould J., *BioSystems* 13, 181-201, 1981.
- [4] El-Jaik L. et al., *Eur. Biophys. J.* 29, 579-586, 2001.