

Caracterización acústica de la colmena para la detección temprana de contaminación por agroquímicos

NOTA TÉCNICA

Pérez, N.*; Niell, S.**; Jesús, F.**; Pérez, C.***; Carrasco Letelier, L.****; Mendoza, Y.*****; Díaz-Cetti, S.*****

INTRODUCCIÓN

Desde el año 2000, Uruguay ha desarrollado un cambio de uso del suelo muy importante, pasando de aproximadamente 200.000 a casi un millón de hectáreas bajo cultivos agrícolas. Un cambio de uso centrado principalmente en la región Litoral Oeste, donde históricamente se había desarrollado la producción apícola nacional (Figura 1).

La apicultura es una actividad agropecuaria importante para Uruguay, como lo indican los valores anuales de exportación de miel, los cuales alcanzan al menos el 0,5% del PBI, de acuerdo a las estadísticas de la DIEA (DIEA, 2009). En el 2009, Uruguay exportó 6.484 toneladas de miel, producidas por un total de 504.514 colmenas y 3.180 apicultores registrados, lo que proporcionó un ingreso por exportaciones de 17,6 millones US\$ (DIEA, 2010; DIGEGRA, 2010). El cambio de uso de suelo mencionado, y los paquetes tecnológicos utilizados en los cultivos, han incrementado el uso de agroquímicos. Esto trae como consecuencia, un incremento de efectos adversos sobre la apicultura. Por lo cual, se ha incrementado la posibilidad de desarrollo de escenarios agropecuarios con capacidad de intoxicar colmenas, que en un extremo puede conducir a su pérdida total como unidades productivas.

Para poder evaluar este fenómeno integralmente, es necesario contar con mecanismos de detección temprana de la contaminación y desarrollar métodos objetivos que permitan cuantificar adecuadamente la presencia de residuos de contaminantes (Bogdanov, 2006). Estos datos químicos deben ser correlacionados con datos biológicos de los agroecosistemas en estudio. Varios investigadores han propuesto el uso

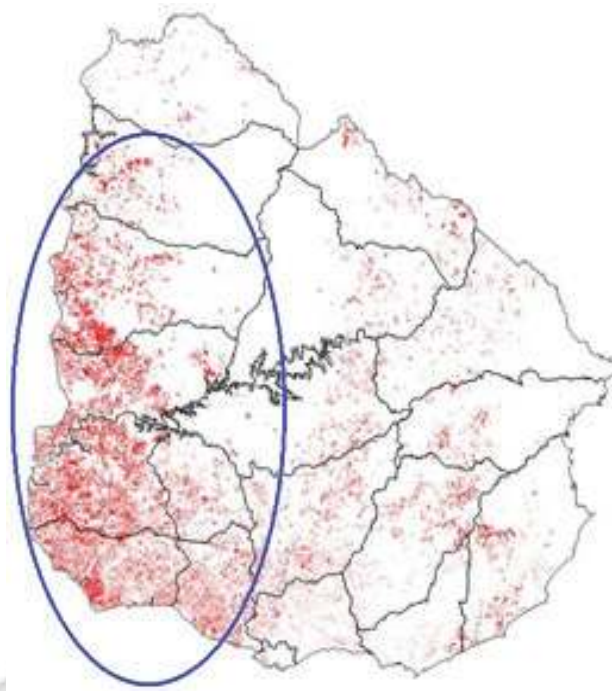


Figura 1. Relación espacial entre el área bajo cultivo de secano (zonas marcadas en rojo) en el período 2008 – 2009 y la región tradicionalmente empleada por la producción apícola (óvalo azul). La definición de las áreas bajo cultivos de secano se hizo mediante una clasificación supervisada de imágenes LANDSAT.

Fuente: AGESIC

de agentes biológicos para evaluar la presencia de contaminantes en diversos ecosistemas (Peakall y Shuggart, 1993). Ejemplo de dichos agentes biológicos pueden ser ciertas especies de peces o insectos; en particular, se ha planteado el uso de abejas por el gran radio de acción de las mismas (Devillers y Pham-Delegue, 2002; Porrini *et al.*, 2003), sobre lo cual existen algunas experiencias en el país (Carrasco-Letelier *et al.*, 2012). En este sentido, el grupo de investigadores radicado en el Polo Agroalimentario Agroindustrial de Paysandú está desarrollando un proyecto conjunto con los investigadores del INIA, con el fin de utilizar la colmena de abejas, y sus productos, para la detección de residuos contaminantes. Es un proyecto multidisciplinario enmarcado en las nuevas líneas de trabajo del Polo, en el cual participan además investigadores de Facultad de Ingeniería, Dr. Héctor Cancela, y de la Facultad de Química, Dr.

* Ing. Elec., Grupo de Ingeniería Aplicada a los Procesos Agrícolas y Biológicos, Polo Agroalimentario y Agroindustrial de Paysandú (PAAP), EEMAC.

**Quim., Dpto. Química del Litoral, PAAP, EEMAC.

***Ing. Agr., Dpto. Protección Vegetal, EEMAC.

****Bioquim., Programa Nacional de Investigación de Producción y Sustentabilidad Ambiental, INIA.

*****Ing. Agr., Unidad de Apicultura, INIA.

*****Téc. Agr., Unidad de Apicultura, INIA.

Horacio Heinzen y Dra. Verónica Cesio. El proyecto titulado “*Uso de la colmena como monitor cuantitativo de residuos de pesticidas aplicados en soja y su influencia en la sustentabilidad del agroecosistema*”, financiado por un fondo CSIC I+D para su ejecución 2013 – 2015, apunta a dos objetivos básicos:

- Relacionar trazas de contaminante en las abejas incluyendo sus productos y la colmena con la presencia de contaminante en su hábitat.
- Desarrollar un método de detección temprana de contaminación basado en el análisis de sonido emitido por la colmena.

Este trabajo apunta a describir la metodología planteada y los primeros resultados obtenidos en el segundo objetivo: uso de los patrones de sonido para la detección temprana de contaminación en las colmenas. Se intentan presentar las ideas básicas de las medidas de audio en tiempo y frecuencia de forma intuitiva para un lector no especialista.

El problema puede ser visto desde dos perspectivas diferentes; la primera consiste en utilizar la colmena como monitor de la contaminación en el ambiente que la rodea. En este caso, la colmena actúa como un sensor distribuido, donde lo importante es la estimación de las cantidades de productos aplicados en su entorno a partir de medidas en la misma. Otra forma de enfocar el problema, es como técnica de prevención para evitar daños en la colmena. En este caso se trata de cuidar la salud de la misma, detectando en forma temprana factores que alteran su comportamiento a fin de tomar acciones que la protejan (Lefebvre y Beattie, 1991).

En principio, ambos enfoques son complementarios, aunque nuestro proyecto actual está enfocado a su uso como monitor de agroquímicos. A continuación se describen las principales características de las medidas acústicas, el montaje experimental planeado y los primeros resultados obtenidos.

USO DE PATRONES DE SONIDO PARA EL MONITOREO DE LA COLMENA

Como primer montaje experimental para el estudio de los patrones de sonido producidos por la colmena, se implementó un sistema de medición continuo de sonido basado en la adquisición

a partir de la tarjeta de audio de un computador portátil. La figura 2 muestra un diagrama esquemático de este montaje.



Figura 2. Montaje para adquisición de señales de audio en colmenas. Se colocó un micrófono de PC dentro de la colmena en un entrepiso técnico para evitar que las abejas lo cubran con cera. Aproximadamente a 50 m se encuentra un computador portátil alimentado a baterías que permite la grabación y almacenamiento de las señales.

Este tipo de esquema de adquisición ya ha sido utilizado por otros investigadores que actualmente se encuentran desarrollando la técnica (Atauri y Llorente, 2009). Se han realizado pruebas con sistemas automáticos basados en computadores, en módulos de hardware específicos e incluso utilizando teléfonos celulares (Favre, 2011). Actualmente, se encuentra en desarrollo junto con Facultad de Ingeniería un módulo de hardware autónomo que permita adquirir las trazas de sonido y temperatura de la colmena y transmitir los datos en forma remota. Este primer dispositivo se instaló en el mes de noviembre de 2013 en el predio de la EEMAC. Se instalaron tres colmenas con abejas, con una población y tratamientos sanitarios previos similares y una reserva adecuada de miel para asegurar su funcionamiento durante las evaluaciones. El sistema puede funcionar en forma autónoma hasta 48 h alimentado con baterías.

Lo primero que debe determinarse para adquirir señales de un parámetro físico, que varía con el tiempo, es la cantidad de muestras que deben tomarse por segundo. Este parámetro es llamado frecuencia de muestreo. Para la determinación de la frecuencia de muestreo hay que conocer la rapidez con que la señal a medir varía en el tiempo. La Figura 3, muestra un ejemplo de

una señal de audio adquirida durante los experimentos.

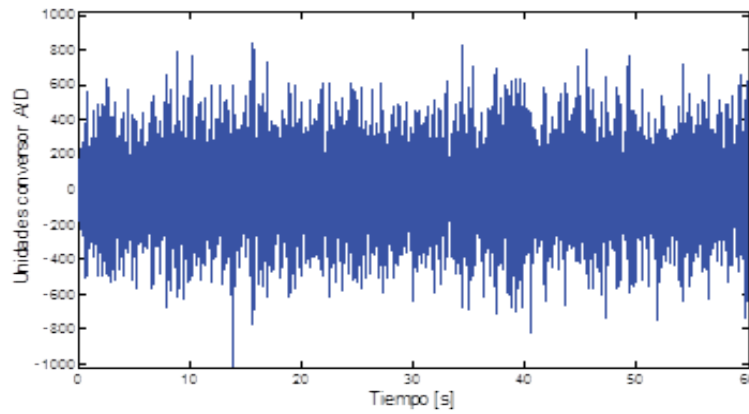


Figura 3. Señal de audio muestreada a 22 KHz.

Para determinar la “rapidez” del cambio de una señal se utiliza su espectro de frecuencias. Uno de los tipos más simples de señal es la sinusoidal; se trata de una señal periódica que queda determinada por tres parámetros, amplitud A , frecuencia f y fase α .

$$y(t) = A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \alpha) \quad \text{Eq. 1}$$

Una señal proveniente de un fenómeno físico, por ejemplo una señal de audio, puede formarse como una suma de componentes sinusoidales, como las de la Eq. 1. En el caso que la señal sea periódica, la suma tiene un conjunto discreto de frecuencias, conocido

como serie de Fourier, mientras que una señal no periódica puede descomponerse en una suma continua de frecuencias. La operación que permite el pasaje de una señal en el dominio del tiempo a una señal en el dominio de la frecuencia es llamada transformada de Fourier. Puede construirse un diagrama donde se representa la amplitud de cada componente en función de la frecuencia. La Figura 4, muestra un diagrama típico para el caso de la señal de audio presentada en la Figura 3. Generalmente, suele llamarse espectro de frecuencias a la información de la Figura 3.

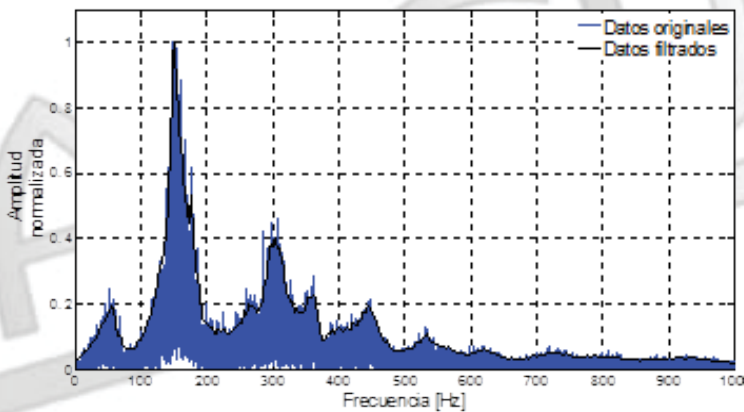


Figura 4. Módulo de la transformada de Fourier. La línea azul indica los datos originales mientras que la línea negra es el espectro filtrado utilizando una ventana de 100 puntos.

Como puede verse en la Figura 4, en este ejemplo la señal de audio proveniente de la colmena tiene un espectro con una frecuencia máxima, esto es, no se registran componentes apreciables mayores a 1.200 Hz. En la figura se indica también que hay un espectro filtrado, este cálculo corresponde al valor medio en una ventana de 100 puntos del espectro original.

El teorema de Nyquist-Shannon determina la relación entre el número de muestras que se toma de

una señal y la posibilidad de reconstruirla a partir de estas muestras (Oppenheim, 1998). Una señal física es un evento continuo, mientras que lo que se adquiere en un computador es un conjunto discreto de números a los que llamamos muestras. Una señal puede reconstruirse completamente a partir de sus muestras si la frecuencia de muestreo es superior al doble de la frecuencia más alta del espectro de la señal. En nuestro ejemplo, la frecuencia de muestreo es 22 KHz,

que es mucho mayor que la máxima frecuencia de la señal 1.200 KHz.

La metodología propuesta en estos primeros ensayos es la siguiente:

- Adquirir una señal de audio de 30 s en intervalos de 30 s.
- Calcular el espectro de la señal.
- Identificar los picos de las frecuencias relevantes de la colmena.
- Estudiar la variación de estos picos con el tiempo.

Para que la metodología sea aplicable a la detección de cambios en el patrón normal de comportamiento de las abejas, debe determinarse el comportamiento normal de las mismas. Esto es, qué espectro es emitido por la colmena en condiciones normales y cómo se afecta esto con el ciclo diario y las condiciones climáticas.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Como primeros resultados experimentales, se muestran ejemplos de diferentes espectros de frecuencia a lo largo del tiempo. A fin de interpretar los patrones obtenidos se muestran:

- Señales de audio en puntos representativos

del diagrama.

- Evolución del espectro en el tiempo.
- Espectro promedio en la ventana de tiempo considerada. Para determinar patrones asociados al ciclo de trabajo de la abeja, se analizan períodos de media hora, adquiriendo señales de 30 s espaciadas 30 s. La evolución temporal de los espectros de frecuencia se analiza de la siguiente manera:

• Cálculo del espectro medio correspondiente al intervalo de tiempo considerado. Esto corresponde a tomar las 30 señales adquiridas en la media hora considerada, calcular su espectro y hacer el promedio. Solo sobreviven a la media las componentes que son persistentes a lo largo del tiempo.

• Sonograma, o diagrama de evolución del espectro con el tiempo. Aquí se forma una imagen colocando un espectro en cada fila de la misma. Las puntos de intensidad mayor corresponden a rojos y los de baja intensidad a azules. Este diagrama permite apreciar si hay cambios en el patrón de frecuencias en instantes determinados del día.

Ejemplo: Datos adquiridos el 4/12/2013 en tres ventanas temporales, una correspondiente a la mañana (9:15 a 9:45) (Figura 5), otra al medio día (12:30 a 13:00) (Figura 6) y otra a la tarde (16:30 a 17:00) (Figura 7).

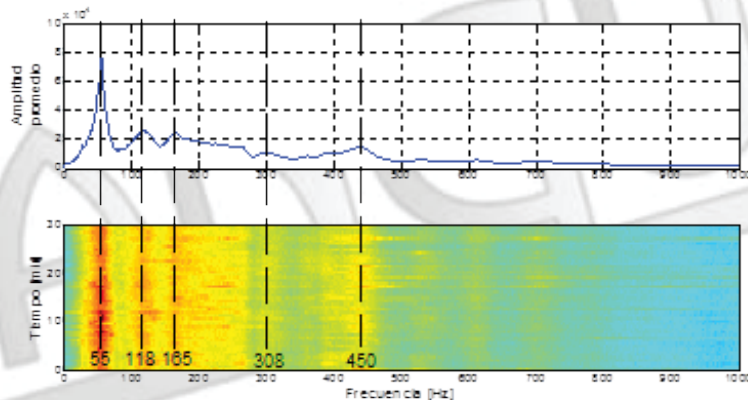


Figura 5. Espectro medido en la mañana. Una frecuencia dominante en 55 Hz.

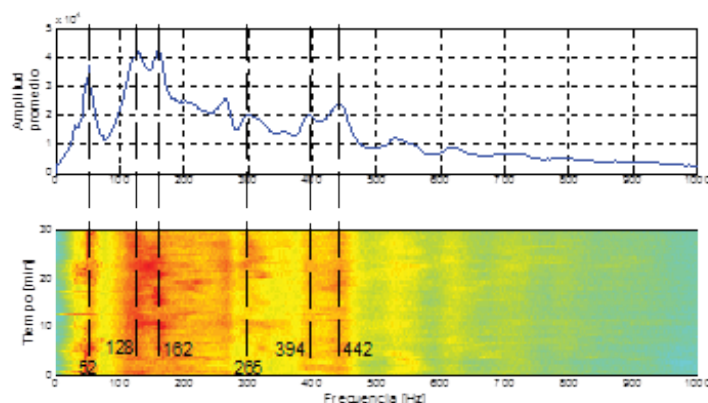


Figura 6. Espectro medido a medio día. Varias frecuencias equivalentes, se resaltan las componentes de 128 y 162 Hz.

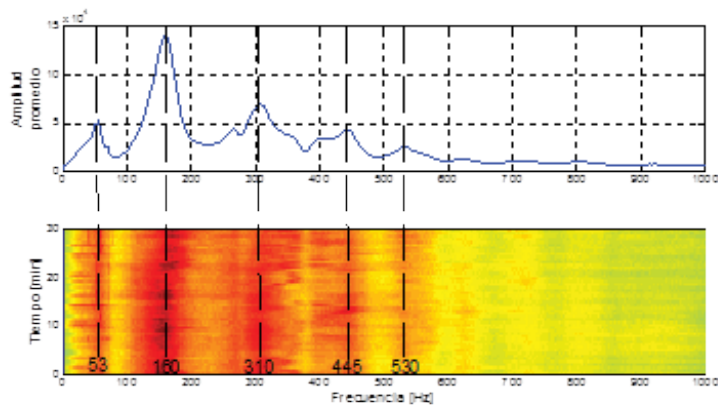


Figura 7. Espectro de la tarde. Se destaca la componente de 160 Hz.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Se realizaron los primeros estudios sistemáticos por parte de nuestro grupo de los patrones de sonido emitidos por las abejas. Como primera conclusión, se encuentran patrones repetitivos asociados al ciclo de trabajo de estos insectos. Estos patrones coinciden en forma cualitativa con los observados y publicados por otros investigadores. Sin embargo, no se encontró en la bibliografía un estudio que permita relacionar patrones de sonidos con actividades concretas de la colmena. Tampoco se encontró un estudio sistemá-

tico de las alteraciones sufridas por los patrones de sonido cuando cambian las condiciones climáticas, fundamentalmente la temperatura y precipitaciones. Como paso previo a la determinación de alteraciones debidas a contaminantes u otros factores que ataquen la colmena, es necesario hacer un estudio de las condiciones de normalidad de la misma. Para realizar este estudio se comenzó el análisis de los patrones de sonido de cuatro colmenas en forma simultánea en el predio de La Estanzuela. Este estudio se realizará a lo largo de 2014 en forma continua.

BIBLIOGRAFÍA

- ATAURI, D.; LLORENTE, J. 2009.** Platform for bee-hives monitoring based on sound analysis. A perpetual warehouse for swarm's daily activity. Spanish Journal of Agricultural Research, 7(4): 824 – 828.
- BOGDANOV, S. 2006.** Contaminants of bee products. Apidologie, 37: 1 –18.
- CARRASCO-LETELIER, L.; MENDOZA-SPINA, Y.; BRANCHICCELACET, M. B. 2012.** Acute contact toxicity test of insecticides (Cipermetrina 25, Lorsban 48E, Thionex 35) on honeybees in the southwestern zone of Uruguay. Chemosphere 88: 439 – 444.
- DEVILLERS, J.; PHAM-DELEGUE, M. A. 2002.** Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals, Taylor & Francis, 347 p.
- DIEA. 2009.** Anuario Estadístico Agropecuario 2009. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Editorial Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay, 223 p.
- DIEA. 2010.** Anuario Estadístico Agropecuario 2010. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Editorial Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay, 220p.
- DIGEGRA. 2010.** Registro Apícola 2010. Dirección General de la Granja. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Uruguay.
- FAVRE, D. 2011.** Mobile phone-induced honeybee worker piping. Apidologie 42: 270 – 279.
- FERRARI, S.; SILVA, M.; GUARINO, M.; BERCKMANS, D. 2008.** Monitoring of swarming sounds in bee hives for early detection of the swarming period. Computers and electronics in agriculture, 64: 72 – 77.
- LEFEBVRE, M.; BEATTIE, A. 1991.** Sound responses of honey bees to six chemical stimuli. Journal of Apicultural Research 30: 156 - 161.
- OPPENHEIM, A.; WILLISKY, A. S. 1998.** Señales y Sistemas. (2da Edición). México, Mc Graw Hill.
- PEAKALL, D. B.; SHUGART, L. R. 1993.** Biomarkers: research and application in the assessment of environmental health, Springer-Verlag, 119 p.
- PORRINI, C.; SABATINI, A. G.; 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.



ir a sumario