

Aumento en la producción de semillas de soja (*Glycine max*) empleando abejas melíferas (*Apis mellifera*)

Santos Estela¹, Mendoza Yamandú², Vera Máximo², Carrasco-Letelier Leonidas³, Díaz Sebastián², Invernizzi Ciro¹

¹Sección Etología, Facultad de Ciencias. Iguá 4225, Montevideo, 11400, Uruguay.

²Laboratorio de Apicultura, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Ruta 11 km, Colonia, 70000, Uruguay.

³Programa Nacional de Producción y Sustentabilidad Ambiental, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Ruta 11 km, Colonia, 70000, Uruguay.

Recibido: 10/5/12 Aceptado: 8/3/13

Resumen

En Uruguay el incremento sostenido de los cultivos de soja (*Glycine max*) en los últimos años ha perjudicado a la industria apícola al desplazar a otros cultivos, por ejemplo las leguminosas forrajeras. Aunque la soja es una especie autógama, algunos estudios señalan que la producción de semillas puede incrementarse con insectos polinizadores, especialmente con abejas melíferas (*Apis mellifera*). El objetivo de este estudio fue determinar si las abejas melíferas y otros insectos incrementan la producción de semillas en un cultivo de soja convencional. Para ello se instaló un apiario de 10 colmenas en una parcela de 120 ha de soja. Se registró la presencia de abejas y otros insectos a diferentes distancias del apiario evaluando la producción de semillas a 200 y 500 m. En las colmenas se determinó el origen botánico del néctar y el polen que colectaron las abejas. Los principales resultados encontrados fueron: 1) Las abejas no se distribuyeron en el cultivo siguiendo un gradiente con la distancia al apiario. 2) Las abejas colectaron néctar y polen de las flores de soja, aunque la planta tendría un mayor valor nectarífero que polinífero. 3) La producción de semillas se incrementó significativamente un 25% a 500 m del apiario, pero no a 200 m. Esta diferencia pudo deberse a distintas concentraciones de nitrógeno y potasio en el suelo. Este estudio muestra que la producción de semillas de soja puede incrementarse en presencia de abejas melíferas abriendo una perspectiva para la complementación de la producción sojera y apícola.

Palabras clave: apicultura, polinización, polen, miel, Uruguay

Summary

Increase in Soybean (*Glycine max*) Production Using Honey Bees (*Apis mellifera*)

In Uruguay, the sustained increase of soybean (*Glycine max*) crop in recent years has harmed the bee industry because it displaced other crops such as forage legumes. Although soybean is a self-pollinating species, some studies indicate that seed production can be increased by insect pollinators, especially honey bees (*Apis mellifera*). The aim of this study was to determine whether honey bees and other insects increase seed production in conventional soybean. To do it, an apiary of 10 hives was set in a plot of 120 ha of soybean. We recorded the presence of bees and other insects at different distances from the apiary and seed production was evaluated at 200 and 500 m. In the hives, we determined the botanical origin of nectar and pollen collected by bees. The principal results were: 1) bees were not distributed in the crop following a gradient with distance from the apiary. 2) bees collected nectar and pollen from flowers of soybean, although the plant provides more nectar than pollen. 3) seed production increased significantly by 25% at 500 m of the apiary, but not at 200 m. This difference could be due to different concentrations of nitrogen and potassium in the soil. This study shows that soybean production can be increased in the presence of honeybees opening a perspective for the complementation of soybean production and beekeeping.

Key words: beekeeping, pollination, pollen, honey, Uruguay

Introducción

La soja (*Glycine max*) es una especie autógama (Carlson y Lester, 2004), aunque se ha reportado que la presencia de insectos polinizadores mejora la producción de semillas en diversas variedades, tanto en cantidad como en calidad de las mismas (Erickson, 1975; Erickson et al., 1978; Abrams et al., 1978; Sim y Choi, 1993; Moreti et al., 1998; Chiari et al., 2005a, 2008; Ortiz-Pérez et al., 2007; Zhao et al., 2009). Los resultados reportados sobre la producción de semillas de soja empleando a las abejas melíferas (*Apis mellifera*) como polinizadoras han sido muy variables. Por un lado, en Estados Unidos Erickson (1975), Abrams et al. (1978) y Erickson et al. (1978) utilizaron cultivos en carpas experimentales con y sin abejas obteniendo aumentos de rendimiento moderados, entre 5 y 20%, por efecto de la polinización. En cambio, en Brasil Moreti et al. (1998), Chiari et al. (2005a, 2008) encontraron que las plantas de soja polinizadas por abejas presentaban entre 54,1 y 80,7% más vainas y entre 37,8 y 82,3% más semillas que las plantas cubiertas para excluir a los insectos. Chiari et al. (2005b) también hallaron que las plantas polinizadas por abejas melíferas presentaban menos semillas abortadas que las que no fueron polinizadas (53,3 y 82,9%, respectivamente).

Muchas variedades de soja poseen recompensas de polen y néctar para que diferentes insectos las visiten en busca de proteínas y carbohidratos (Erickson y Garment, 1979). Sin embargo, estas flores no son siempre atractivas para las abejas melíferas, ya que diversas condiciones ambientales durante el crecimiento y floración de las plantas afectan el desarrollo de sus características entomófilas (Robacker et al., 1982, 1983; Severson y Erikson, 1984).

Las abejas melíferas colectan polen y néctar de diversas especies florales. De forma general, algunas abejas salen de la colmena a colectar néctar, otras a colectar polen, y otras a colectar ambos alimentos, pudiendo las abejas cambiar su comportamiento de forrajeo dependiendo de la necesidades de la colonia (Free, 1967; Michener, 1974; Seeley, 1995).

Mientras que el néctar es el alimento energético de las abejas, constituido básicamente por carbohidratos, el polen aporta proteínas, lípidos, azúcares, sales minerales, fibras, enzimas, vitaminas y hormonas. El polen es un componente básico en la dieta de las abejas adultas jóvenes ya que les permite desarrollar las glándulas hipofaríngeas con cuya secreción va a alimentar las larvas y otros miembros de la colonia (Herbert, 1992; Somerville, 2001; Keller et al., 2005).

La composición físico-química del polen depende, fundamentalmente, de los taxones botánicos de los cuales proviene (Roulston et al., 2000; Keller et al., 2005). La cantidad de polen producido, así como el valor nutricional del mismo, es muy variable en diferentes especies vegetales, determinando que tengan diferente importancia como recurso polínifero para las abejas (Somerville, 2001, 2005; Keller et al., 2005; Santos et al., 2009).

En la elección de los recursos alimenticios a explotar (políniferos y/o nectaríferos) inciden varios factores como la cantidad, concentración y composición del néctar, el momento del día en que la flor ofrece el néctar y el polen, la morfología floral (que determinan la accesibilidad al néctar y al polen), la distancia del recurso respecto a la colmena, las condiciones climáticas durante el vuelo y las características morfológicas de las abejas (Michener, 1974; Seeley, 1995).

En cada salida para colectar polen, las abejas presentan una elevada constancia floral (Free, 1963), determinando que la carga polínica tenga una coloración uniforme al contener granos de polen de un mismo origen botánico. Mediante el análisis palinológico del polen colectado por las abejas se puede determinar los recursos políniferos explotados por las diferentes colonias (Erdtman, 1966; Talpay, 1978).

La soja es uno de los granos más cultivados en el mundo. En Uruguay la superficie sembrada ha tenido un gran incremento en los últimos años. Según las estadísticas oficiales en la temporada 2010/2011 se sembraron 862.100 ha (MGAP, 2011), siendo los departamentos de Soriano y Río Negro en el litoral oeste del país los de mayor superficie. Justamente es en estos departamentos donde se encuentra el mayor número de colmenas y productores apícolas del país y donde históricamente se obtenían los mejores rendimientos de miel. El incremento del cultivo de soja desplazando a otros cultivos de valor apícola como las leguminosas forrajeras, especialmente en el litoral oeste del país, trajo como consecuencia una disminución en los rendimientos de miel, lo que llevó a una reducción de la actividad apícola (Díaz y Raudovínche, 2010).

Por otra parte, los cultivos de soja suelen recibir diferentes tipos de agroquímicos, que afectan a las abejas melíferas y a otros insectos polinizadores. Así, las colonias de abejas melíferas sufren despoblamientos por la acción de los insecticidas, aunque no sean el blanco de las aplicaciones, y la pérdida de oferta floral, tanto en cantidad como variedad, causada por la aplicación de herbicidas (Devillers et al., 2002). Patrón (2007) indica que el incremento del cultivo de soja en Uruguay provoca el desplaza-

miento de los apicultores hacia zonas alejadas en busca de mayor productividad, causando situaciones de conflicto en la comunidad rural.

En Uruguay no existen estudios sobre el impacto de las abejas melíferas en la producción de semillas de soja. Los antecedentes positivos reportados por Erickson (1975), Erickson *et al.* (1978), Abrams *et al.* (1978), Moreti *et al.* (1998), Chiari *et al.* (2005a, 2008), de confirmarse en el país, y dependiendo de la magnitud del beneficio, podría generar una complementariedad entre la producción sojera y la apicultura relativizando el antagonismo planteado actualmente.

El objetivo principal de este estudio fue determinar si las abejas melíferas contribuyen a aumentar la producción de semillas de soja en un cultivo convencional.

Materiales y métodos

Sitio de estudio y demarcación de parcelas experimentales

El trabajo se realizó durante el verano del año 2009 en la localidad de Palmitas, departamento de Soriano (33°37' S, 57°57' O) en una parcela de 120 ha de soja de la variedad A6411RG. Esta variedad se caracteriza por poseer una flor rosada y un período de floración que transcurre desde mediados de enero a mediados de febrero. Circundando la parcela había tierras cultivadas con soja de segunda temporada, que florecieron con posterioridad. Para controlar las lagartas, previo al inicio de la floración se aplicaron sobre el cultivo dos productos inhibidores de quitina y un producto acelerador de mudas. El 10 de enero se colocaron en el borde de la parcela 10 colmenas repletas de abejas y con 10 cuadros de cría. Durante la floración de la soja se agregaron alzas melarias en las colmenas cuando fue necesario. A 200 y 500 m del apiario se marcaron 10 parcelas de 3 x 4 m cubriendo cinco de ellas con un tejido de 1 mm de perforación a 1 m de altura para impedir el acceso de insectos.

Identificación y cuantificación de los insectos que visitaron las flores de soja

Para cuantificar los insectos presentes sobre las flores de soja se establecieron transectas en el cultivo a 150, 200, 300, 400, 500 y 600 m del apiario. Estas transectas se recorrieron en tres momentos del día durante 1 a 3 h cada vez, los días 26 de enero y 9 de febrero. Se observaron 600 flores de soja por cada transecta, registrando las especies de insectos presentes sobre las mismas. Los insectos que

no pudieron reconocerse en el campo se colectaron para su posterior identificación. Para el caso de las abejas melíferas se registró además, si las mismas estaban colectando polen y/o néctar de las flores.

La identificación de los diferentes insectos capturados se hizo utilizando las claves de Richards y Davies (1984), Artigas y Hengst (1999), Arnett y Thomas (2001), Arnett *et al.* (2002) y Michener (2007). Ejemplares representantes de todos los grupos taxonómicos fueron incluidos en la colección privada de Estela Santos.

Origen botánico de los pólenes colectados por las abejas

Para colectar el polen corbicular de las abejas pecoreadoras se colocaron trampas cazapolen de piquera en todas las colmenas del apiario de mañana y de tarde (aproximadamente 3 h en cada turno) los días 26 de enero y 9 de febrero. Cada muestra de polen se mantuvo en bolsas de nylon de forma separada para su posterior análisis palinológico en laboratorio. En el laboratorio se procedió a separar y cuantificar por color las pelotitas de polen de cada muestra. Luego se tomó una muestra de cada color montándola en un portaobjetos, para observarse al microscopio con 400 aumentos, observado el polen sin tratamiento químico. La identificación del origen botánico del polen se realizó utilizando las colecciones de referencia del Laboratorio de Palinología Aplicada de la Facultad de Ciencias y la personal de Estela Santos.

Determinación del contenido de proteína cruda del polen de soja

Una muestra de polen corbicular de soja obtenida el 26 de enero con aportes de todas las colmenas fue secada a 60 °C hasta alcanzar un peso constante. El contenido de proteína fue determinado usando la técnica de digestión ácida de Kjeldahl (N x 6,25) (Roulston y Cane, 2000; Somerville, 2001).

Origen botánico del néctar colectado por las abejas

Al finalizar la floración de la soja de cada colmena se extrajo la miel mediante prensado de los panales y se obtuvo una muestra para su posterior análisis palinológico. Una solución de 20 g de miel en agua destilada se centrifugó a 2500 rpm durante 10 min para concentrar los granos de polen. Se retiró el sobrenadante y con el residuo obtenido se realizó un preparado para ser observado en microscopio óptico (Louveau *et al.*, 1978; Von der Ohe *et al.*, 2004). Para realizar un análisis cuantitativo se contaron 600 gra-

nos de polen registrando, con la ayuda de las dos palinotecas de referencia mencionadas anteriormente, el origen botánico de cada uno.

Producción de miel

Una vez finalizada la floración de la soja se determinó la producción de miel de cada colonia como la diferencia entre las alzas melarias con miel y vacías.

Producción de semillas del cultivo de soja

La producción de soja en las parcelas experimentales se determinó una vez que las vainas estuvieron maduras midiendo el número de semillas por planta y el peso de 1000 semillas.

Resultados y discusión

Identificación y cuantificación de los insectos que visitaron las flores de soja

Los insectos observados en el periodo de estudio pertenecen a los órdenes Hymenoptera, Coleoptera, Dictyoptera, Thysanoptera y Díptera. El orden Hymenoptera fue el más abundante representado por las familias Apidae, Megachilidae y Halictidae (Cuadro 1). La ausencia de lepidópteros puede explicarse por la aplicación de insecticidas sobre el cultivo.

Los ápidos fueron los más representativos, destacándose en ambos muestreos, como era de esperar, la presencia de abejas melíferas con un 70,5% de los 325 registros totales (Figura 1).

En el primer muestreo (26 de enero) se registró una mayor cantidad y variedad de insectos ($n = 261$; 9 spp.) que en el segundo (9 de febrero) ($n = 64$; 4 spp.). Esta diferencia coincide con el pico de floración de la soja y la menor cantidad de flora competitiva observada en las zo-

nas linderas de los caminos. Al momento de realizar el segundo muestreo la floración de la soja había disminuido y florecieron en el entorno de la parcela algunas plantas que posiblemente fueron explotadas por los distintos polinizadores. En las abejas melíferas el cambio en el recurso visitado pudo constatararse con el polen colectado en las trampas cazapolen de las piqueras (ver más adelante).

Es posible que la presencia de *Thrips* registrada en la plantación haya sido subestimada debido a la dificultad de visualizarlos. Zhao *et al.* (2009) en un estudio de polinización de soja con abejas cortadoras de hojas (*Megachile rotundata*), estimó que los *Thrips* deben ser importantes polinizadores de las variedades que utilizó. Considerando la condición autógama de la soja, es muy posible que este grupo de insectos participen activamente en la polinización favoreciendo el movimiento de granos de polen dentro de la misma flor. En estudios posteriores sería importante evaluar mejor la presencia de *Thrips* y su eficiencia como polinizadores en cultivos de soja en Uruguay.

Las abejas se distribuyeron de forma bastante uniforme dentro de una distancia de 600 m del apiario (Figura 2). En el registro del 26 de enero las abejas estaban visitando las flores de soja en mucha mayor proporción durante la tarde. En cambio, en el registro del 9 de febrero, en el que la cantidad de abejas observadas fue sensiblemente inferior a las del registro anterior, las abejas trabajaron en el cultivo preferentemente en torno al mediodía. En el segundo registro, la oferta de nuevos recursos botánicos pudo haber afectado tanto la cantidad de abejas en las flores de soja como el horario de visita a las mismas. No es de descartar que abejas provenientes de apiarios más lejanos o colmenas silvestres, estuvieran presentes en el área de estudio y hayan incidido en la distribución observada.

Cuadro 1. Clasificación de los insectos observados visitando las flores de soja.

Orden	Familia	Género	Nombre específico
Hymenoptera	Apidae	<i>Apis</i>	<i>Apis mellifera</i>
Hymenoptera	Apidae	<i>Melissodes</i>	-
Hymenoptera	Halictidae	<i>Augochlora</i>	<i>Augochlora amphitrite</i>
Hymenoptera	Megachilidae	<i>Megachile</i>	-
Coleoptera	Chrysomelidae	-	-
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Diabrotica</i>	<i>Diabrotica speciosa</i>
Thysanoptera	Tripidae	<i>Thrips</i>	-
Diptera	Drosophilidae	<i>Drosophila</i>	-
Dictyoptera	Blattellidae	-	-

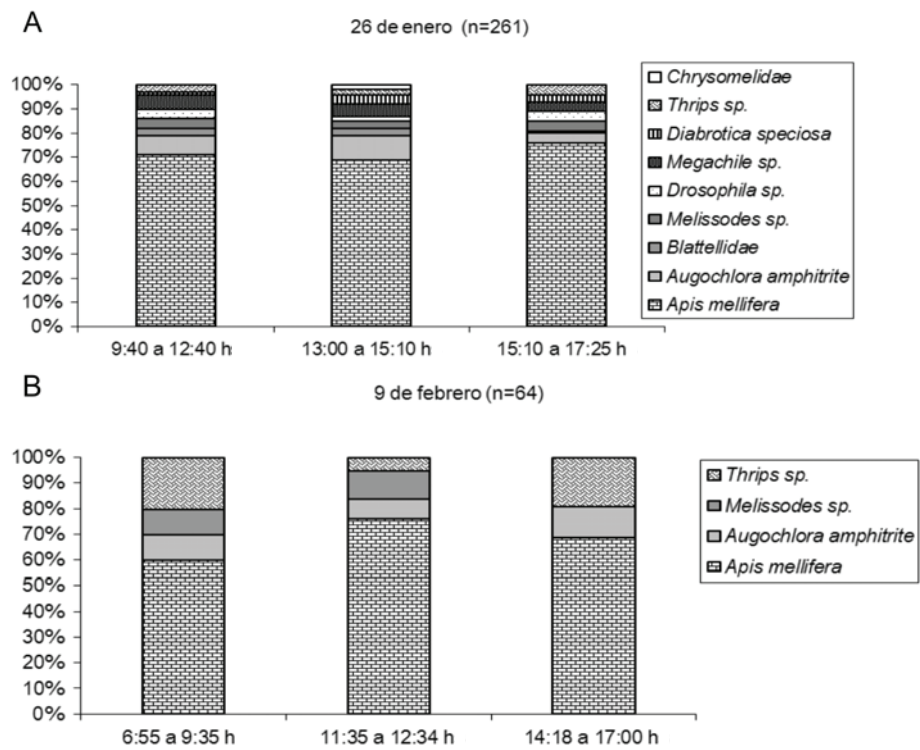


Figura 1. Proporción de los diferentes grupos de insectos que visitaron las flores de soja los días 26 de enero (A) y 9 de febrero (B).

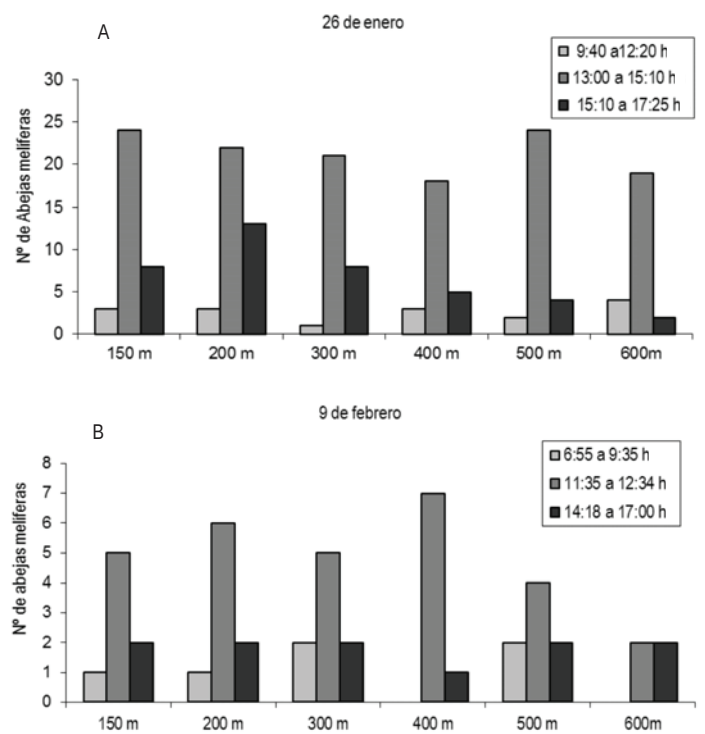


Figura 2. Presencia de abejas melíferas a diferentes distancias del apiario.

El 26 de enero se encontró que en los tres horarios las abejas que no cargaban polen se hallaban en mayor proporción que las que cargaban polen. Esta diferencia se acentuó fuertemente durante la tarde (Figura 3). La misma tendencia se observó en la cantidad de polen capturado en las colmenas durante la mañana y la tarde como se muestra en el siguiente punto. Esta comparación no se hizo con los registros del 9 de febrero debido al bajo número de abejas encontrado.

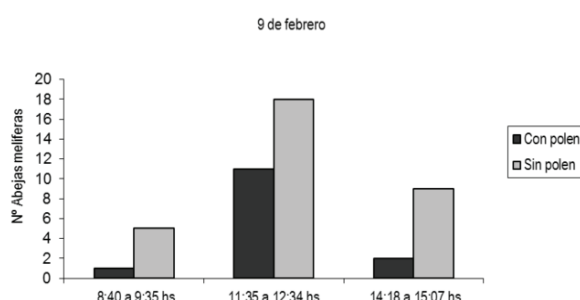


Figura 3. Recurso colectado por las abejas melíferas el día 26 de enero

Utilización de la soja como recurso polínífero y nectarífero

El análisis palinológico de las muestras de polen y miel determinó que las abejas utilizaron esta variedad de soja como recurso polínífero y nectarífero (Figura 4, Cuadro 2). En todas las colonias se capturó polen de soja, siendo mayor el ingreso en horas de la mañana (Figura 4). En el muestreo del 26 de enero se contabilizaron un total de 21363 cargas de polen en la colecta matutina, mientras que por la tarde se colectaron un total de 4274 cargas. De forma similar, en el muestreo del 9 de febrero se colectaron 11666 y 4963 cargas de polen durante la mañana y la tarde, respectivamente. El menor ingreso de polen en el segundo muestreo puede deberse a un menor requerimiento de las colonias al comenzar a reducir el área de cría con el avance del verano.

La diversidad de pólenes encontrada en el muestreo del 26 de enero fue bastante menor a la hallada en el muestreo del 9 de febrero. En el primer muestreo el recurso polínífero más explotado fue el trébol rojo, lo que llama la atención ya que la parcela donde se encontraba estaba a no menos de 4 km del apiario. El segundo recurso en importancia fue la soja. Estas dos especies aportaron casi la totalidad del polen que colectaron las abejas. En cambio, 14 días después las abejas explotaron una mayor cantidad de especies botánicas, siendo el trébol rojo y la soja muy poco visitados

por las abejas. Este cambio puede explicarse por la disminución de flores de ambas plantas (claramente observada en la soja) y/o la aparición de otras fuentes de polen más atractivas.

El 26 de enero no se detectaron cambios importantes entre la mañana y la tarde en la proporción de los diferentes pólenes colectados. En cambio, el 9 de febrero durante la tarde las abejas incrementaron la proporción de pólenes de trébol rojo y cardo negro colectados en relación a la mañana. La capacidad de las colonias de cambiar los recursos explotados en tiempos cortos en función de los flujos de néctar o cambios de floración ha sido claramente verificada por Seeley (1995).

Cuando las abejas colectan polen no tienen capacidad para evaluar su valor proteico (Keller et al., 2005) por lo que pueden llevar a la colmena pólenes de baja calidad (incluso tóxicos), afectando la alimentación de la colonia. En este sentido, el análisis del contenido de proteína cruda del polen de soja arrojó un valor importante (28%), superior al mínimo necesario sugerido por Kleinschmidt y Kondos (1976) para una alimentación adecuada de las abejas (20%). Entonces, la polinización de cultivos de soja no tendría aparejado como efecto negativo un déficit proteico de las colonias. De todos modos, como señala Santos et al. (2009) el valor nutritivo del polen también depende del contenido de aminoácidos esenciales y su digestibilidad, valores desconocidos para la soja.

En cuanto al aporte de néctar que puede brindar la soja, en este estudio se encontró que las colmenas produjeron en promedio $10,5 \pm 1,7$ kg de miel en un periodo de 30 días. El estudio polínico de las mieles producidas revela que la soja fue la principal fuente de néctar en todas las colonias, presentando entre 38% y 50% de los granos de polen encontrados (Cuadro 2). Si se compara este resultado con el encontrado al analizar el origen botánico del polen, donde la soja apareció en segundo lugar detrás del trébol rojo (Figura 4), se puede inferir que la soja es utilizada por las abejas principalmente como un recurso nectarífero. De todos modos, no se puede descartar que el aporte de néctar del trébol rojo esté algo subestimado debido al tamaño grande de su grano de polen (Bryant y Jones, 2001).

Después de la soja las fuentes de néctar más importantes fueron el trébol rojo, los eucaliptos y el lotus (Cuadro 2). Llama la atención que tanto los eucaliptos como el lotus no figuraran como recursos políníferos de las colmenas (Figura 4). Santos et al. (2009) habían reportado que estas dos especies se encuentran entre las principales fuentes de polen de las abejas en Uruguay. El trébol rojo, que como ya se mencionó se encontraba a gran distancia del apiario,

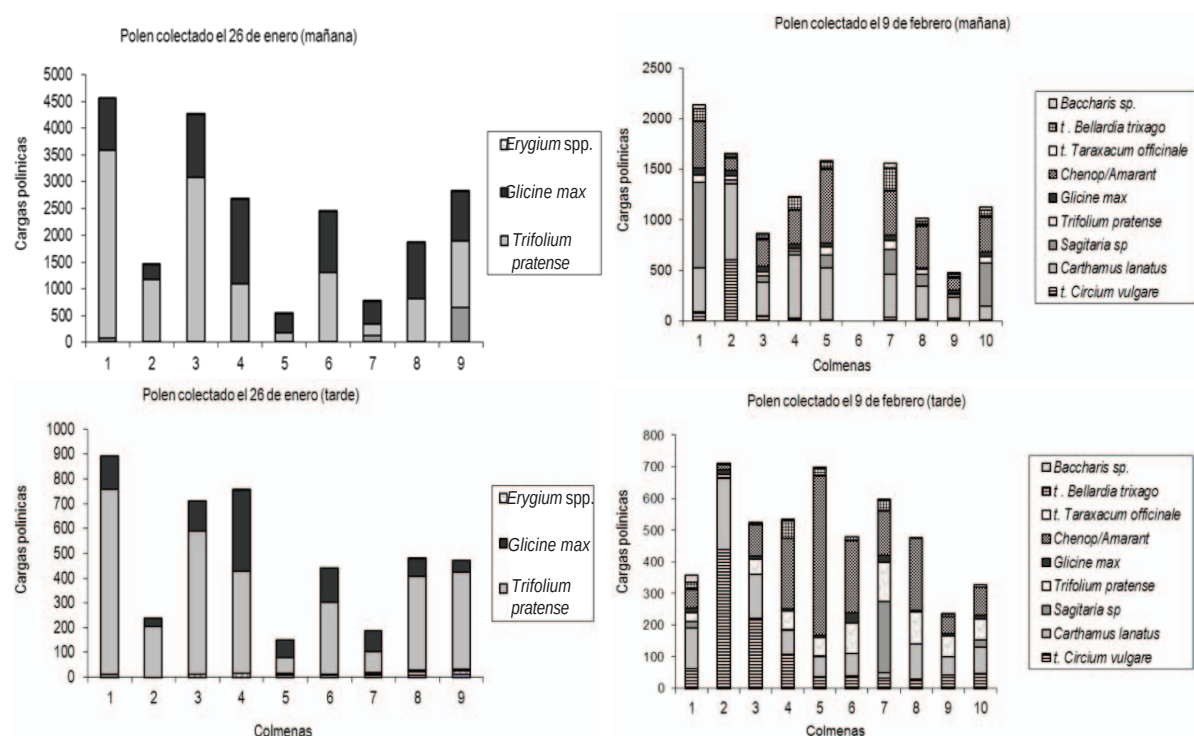


Figura 4. Origen botánico de los diferentes pólenes que ingresaron a las colmenas los días 26 de enero (arriba) y 9 de febrero (abajo) durante la mañana (izquierda) y la tarde (derecha).

Cuadro 4. Origen botánico de las mieles producidas por las diferentes colmenas.

Especie botánica	Cantidad de polen (%)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	x	DS
<i>Glicine max</i>	38	39	42	37	51	45	36	35	50	43	41,6	5,7
<i>Trifolium pratense</i>	29	33	21	25	31	30	27	15	17	22	25,0	6,1
<i>Eucalyptus</i> spp.	10	9	12	7	8	13	12	26	13	17	12,7	5,5
<i>Lotus</i> spp.	12	13	5	11	7	11	9	4	7	8	8,7	3,0
<i>Cynara cardunculus</i>	6	4	5	0	1	1	3	5	10	4	3,9	2,9
<i>Chenopodiaceae/Amaranthaceae</i>	0	1	10	12	1	0	9	12	3	1	4,9	5,2
<i>Sagitaria</i> sp.	5	1	5	8	1	0	4	3	0	5	3,6	2,6

aparece como una especie que compite fuertemente con la soja, tanto como fuente de polen como de néctar. Esta leguminosa forrajera, ampliamente utilizada en Uruguay, puede ser uno de los principales problemas al momento de intentar polinizar los cultivos de soja con abejas.

Efecto de los polinizadores en la producción de semillas de soja

La evaluación de la incidencia de los polinizadores en el cuajado de los frutos estimada mediante el conteo de las semillas por planta presentes en las parcelas de libre polini-

zación y las parcelas con exclusión de polinizadores se muestra en la Figura 5. Para el análisis no fueron consideradas dos parcelas con exclusión de polinizadores ubicadas a 200 y 500 m del apiario por presentar valores *outliers* (fuera del rango determinado por los cuartiles $[Q1 - 1.5 (Q3 - Q1), Q3 + 1.5 (Q3 - Q1)]$). A 200 m del apiario el promedio de semillas por planta obtenido en las parcelas de libre polinización fue 5% superior al de las parcelas con exclusión de polinizadores, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa (ANOVA; $F = 0,63$; $P = 0,45$). A 500 m del apiario la diferencia entre ambos tipos de parce-

las fue de 25% (ANOVA; $F = 7,65$; $P = 0,03$). Considerando que todos los insectos participaron de la polinización en igual medida, podemos determinar que en este estudio el 70% del incremento en semillas se debió a la presencia de las abejas melíferas. En un estudio similar Losey y Vaughan (2006) asignan a las abejas melíferas el 50% de la responsabilidad en el incremento de semillas de soja. En cambio Chiari *et al.* (2005a, 2005b, 2008) comparando la producción de semillas de cultivos en carpas con abejas melíferas y cultivos al aire libre con presencia de diferentes insectos polinizadores, incluidas las abejas melíferas, determinaron que estas fueron responsables del 95,5, 87,7 y 97,4% de la producción en cada uno de los estudios, respectivamente. La diferencia encontrada al momento de determinar la responsabilidad de las abejas en la producción de semillas posiblemente se deba a la cantidad de abejas y otros insectos polinizadores presentes en el cultivo durante el periodo de floración.

Los polinizadores no tuvieron ningún efecto en el peso de las semillas. A 200 m del apiario el peso de 1000 semillas en presencia y ausencia de polinizadores fue de $187,3 \pm 14,6$ g y de $198,0 \pm 2,7$ g (eliminando un valor *outlier*), respectivamente (ANOVA; $F = 1,98$; $P = 0,20$). A 500 m del apiario los valores encontrados en presencia y ausencia de polinizadores fue de $184,9 \pm 14,0$ g y de $180 \pm 6,7$ g, respectivamente (ANOVA; $F = 0,33$; $P = 0,58$). Es destacable que la variación en el peso de las 1000 semillas fue mucho mayor en las plantas que recibieron polinizadores.

El efecto de los polinizadores en la producción de semillas a 200 y 500 m del apiario no puede explicarse por el número de abejas presentes en ambas distancias, ya que no se constataron diferencias claras en ambos puntos, fundamentalmente en el registro del día 26 de enero donde la floración de la soja fue mayor (Figura 2). Además, las parcelas con libre acceso de polinizadores a 200 y 500 m del apiario produjeron ambas en torno a 70 semillas por planta. Fueron las parcelas con exclusión de polinizadores las que se diferenciaron en la producción de semillas en las dos distancias estudiadas, siendo menor a 500 m. Robacker *et al.* (1983) encontraron que la composición del suelo incide sobre las características de la floración de la soja y, en forma asociada, el efecto de los polinizadores. Para determinar si las diferencias en el efecto de las abejas sobre la producción de semillas a 200 y 500 m del apiario podría explicarse por factores edáficos se determinó el contenido de nitrógeno y potasio en ambos sitios. Se encontró que el suelo a 200 m del apiario contenía $0,23 \pm 0,01\%$ de nitrógeno, mientras que a 500 m la concentración era de $0,26 \pm 0,02\%$, siendo esta cantidad significativamente mayor (ANOVA; $F = 12,90$; $P = 0,002$). En relación al potasio la concentración hallada a 200 m fue de $1,31 \pm 0,07$ meq/100g mientras que a 500 m fue de $0,94 \pm 0,14$ meq/100g, determinando diferencias significativas (ANOVA; $F = 53,75$; $P < 0,001$). Por otra parte, se constató que el suelo a 500 m del apiario era más superficial, con menos espacio para la exploración radicular, que a 200 m (Figura 6).

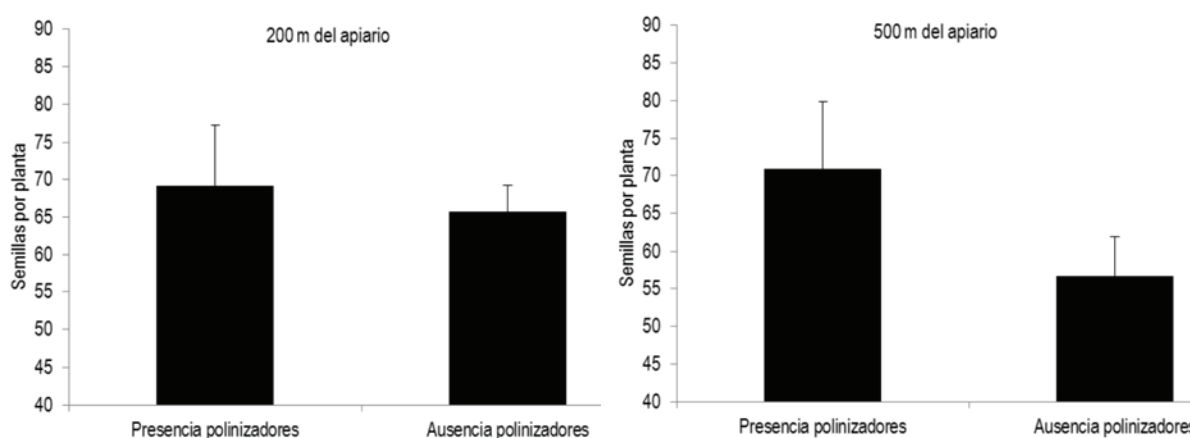


Figura 5. Producción de semillas por planta en las parcelas con presencia y ausencia de polinizadores, a 200 y 500 metros del apiario.

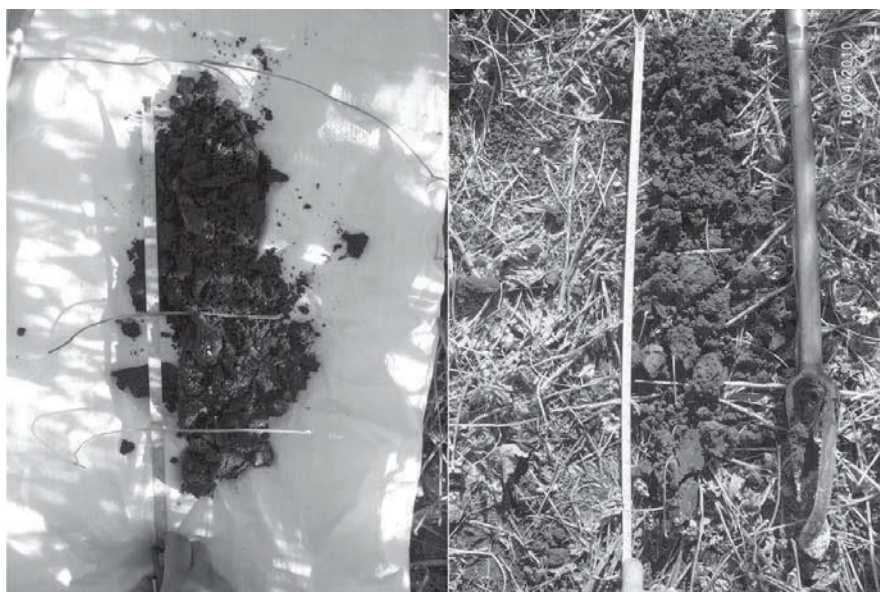


Figura 6. Profundidad del suelo a 200 m (izquierda) y 500 m (derecha) del apiario.

Consideraciones finales

El desarrollo de la agricultura en Uruguay, con fuerte presencia de los cultivos de soja, constituye un fenómeno que seguramente se mantendrá estable en los próximos años. Los resultados obtenidos en este estudio muestran que existe la potencialidad de un desarrollo complementario entre la actividad sojera y la apicultura, principalmente a través de los servicios de polinización. De todos modos, es necesario realizar más estudios sobre los beneficios de polinizar los cultivos de soja con abejas melíferas, atendiendo fundamentalmente la presencia de recursos botánicos que compitan con la soja en la atracción de los polinizadores.

La complementación entre la industria sojera y apícola puede estimularse en el futuro tomando un par de medidas. En primer lugar, se deben buscar variedades de soja que, sin sacrificar otras características favorables, tengan mayor producción de néctar, lo que acarrearía un claro beneficio para los productores sojeros (mayor atracción de abejas) y la apicultura (mayor cosecha de miel). Por otro lado, se debe extremar el cuidado en el momento de aplicar insecticidas, favoreciendo aquellos productos que no sean nocivos para las abejas.

Los beneficios que puede recibir el productor apícola, ya sea brindando servicios de polinización como obteniendo cosechas de miel razonables, ayudaría a paliar las pérdidas causadas en los últimos años de gran parte de las tradicionales fuentes de néctar por el avance de la agricultura.

Bibliografía

- Abrams RI, Edwards CR, Harris T. 1978. Yields and cross-pollination of soybeans as affected by honeybees and alfalfa leaf cutting bees. *American Bee Journal*, 118: 555-558.
- Arnett RH, Thomas MC. 2001. *American Beetles*. Vol. 1. Boca Ratón : CRC Press. 443 p.
- Arnett RH, Thomas MC, Skelley RE, Frank JH. 2002. *American Beetles*. Vol. 2. Boca Ratón: CRC Press. 861 p.
- Artigas JN, Hengst MB. 1999. Clave ilustrada para los géneros de asílidos argentinos (Diptera: Asilidae). *Revista Chilena de Historia Natural*, 72: 107-150.
- Bryant VM, Jones GD. 2001. The R-values of honey: pollen coefficients. *Palynology*, 25: 11-28.
- Carlson JB, Lersten NR. 2004. Reproductive morphology. En: Boerma HR, Specht JE. [Eds.]. *Soybean : improvement, production and uses*. Madison : American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. pp. 59-93.
- Chiari WC, Arnaut de Toledo VA, Hoffman-Campo CB, Colla Ruvolo-Takasusuki MC, Simoes de Oliveira Arnaut de Toledo TC, da Silva Lopez T. 2008. Polinização por *Apis mellifera* em soja transgênica [*Glycine max* (L.) Merrill] Roundup Ready™ cv. BRS133. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30: 267-271.
- Chiari WC, Arnaut de Toledo VA, Colla Ruvolo-Takasusuki M, Braz de Oliveira AJ, Shiguero Sakaguti E, Attencia VM, Martins Costa F, Hitomi Mitsui M. 2005a. Pollination of soybean (*Glycine max* L. Merrill) by honeybees (*Apis mellifera* L.). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48: 31-36.
- Chiari WC, Arnaut de Toledo VA, Colla Ruvolo-Takasusuki M, Attencia VM, Martins Costa F, Satie Kotaka C, Shiguero Sakaguti E, Braz de Oliveira AJ, Shiguero Sakaguti E, Regina Magalhães H. 2005b. Floral biology and behavior of Africanized honeybees *Apis mellifera* in soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48: 367-378.

- Devillers J, Pham-Delegue MH, Decourtye A, Budzinski H, Cluzeau S, Maurin G. 2002. Structure-toxicity modeling of pesticides to honey bees. *SAR and QSAR in Environmental Research*, 13: 641-648.
- Díaz R, Raudovitch L. 2010. Apicultura uruguaya trazabilizada y capacitada para el mundo. *Boletín MGAP-DIGEGRA*, 14 p.
- Erdtman G. 1966. Pollen morphology and plant taxonomy - Angiosperms. New York: Hafner Publishing Company. 553 p.
- Erickson EH. 1975. Effects of honey bees on yield of three soybean cultivars. *Crop Science*, 15: 84-86.
- Erickson EH, Garment MB. 1979. Soya-bean flowers: nectary ultra structure, nectar guides, and orientation on the flower by foraging honeybees. *Journal of Apicultural Research*, 18: 1-11.
- Erickson EH, Berger GS, Shannon JG, Robin JM. 1978. Honey bee pollination increases soybean yields in the Mississippi Delta Region of Arkansas and Missouri. *Journal of Economic Entomology*, 71: 601-603.
- Free JB. 1967. Factors determining the collection of pollen by honey bee foragers. *Animal Behavior*, 15: 134-144.
- Free JB. 1963. The flower constancy of honeybees. *Journal of Animal Ecology*, 32: 119-131.
- Herbert EWJ. 1992. Honey bee nutrition. En: Graham JE. [Ed]. The hive and the honey bee. Hamilton: Dadant & Sons. pp. 197-233.
- Keller I, Fluri P, Imdorf A. 2005. Pollen nutrition and colony development in honey bees: part I. *Bee World*, 86: 3-10.
- Kleinschmidt GJ, Kondos AC. 1976. Influence of crude protein levels on colony production. *Australian Beekeeping*, 78: 36-39.
- Losey J, Vaughan M. 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience*, 56: 311-323.
- Louveaux J, Mauricio A, Vorwohl G. 1978. Methods of melissopalynology. *Bee World*, 59: 139-157.
- MGAP. 2011. Dirección de Estadísticas Agropecuarias [En línea]. Consultado 28 diciembre 2011. Disponible en: www.mgap.gub.uy/diea.
- Michener CD. 2007. The bees of the world. Baltimore: The Johns Hopkins University Press. 953 p.
- Michener CD. 1974. The social behavior of the bees: a comparative study. Cambridge: Harvard University Press. 404 p.
- Moreti ACCC, Silva EAC, Alves MLT. 1998. Observações sobre a polinização entomófila da cultura da soja (*Glycine max* Merrill). *Boletim da Indústria Animal*, 55: 91-94.
- Ortiz-Pérez E, Cianzio SR, Wiley H, Horner HT, Davis WH, Palmer RG. 2007. Insect-mediated cross-pollination in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]: I. Agronomic performance. *Field Crops Research*, 101: 259-268.
- Patrón E. 2007. La apicultura del litoral enfrenta nuevos desafíos. *Actualidad Apícola*, 88: 5-8.
- Richards OW, Davies RG. 1984. Tratado de Entomología Imms. Vol. 2. Barcelona: Omega. 998 p.
- Robacker DC, Flottum PK, Sammataro D, Erickson EH. 1983. Effects of climatic and edaphic factors on soybean flowers and on the subsequent attractiveness of the plants to honey bees. *Field Crops Research*, 6: 267-278.
- Robacker DC, Flottum PK, Sammataro D, Erickson EH. 1982. Why soybean attract honey bees? *American Bee Journal*, 122: 481-484.
- Roulston T, Cane JH. 2000. Pollen nutritional content and digestibility for animals. En: Dafni A, Hesse M, Paccini E. [Eds]. Pollen and pollination. Viena: Springer. pp. 187-209.
- Roulston T, Cane JH, Buchmann SL. 2000. What governs protein content of pollen: pollinator preferences, pollen-pistil interactions, or phylogeny? *Ecological Monographs*, 70: 617-643.
- Santos E, Invernizzi C, García E, Cabrera C, Di Landro R, Saadoun A, Daners G. 2009. Contenido de proteína cruda del polen de las principales especies botánicas utilizadas por las abejas melíferas en Uruguay. *Agrociencia*, 13(2): 9-13.
- Seeley T. 1995. The wisdom of the hive: The social physiology of honey bee colonies. Cambridge: Harvard University Press. 317 p.
- Severson DW, Erikson EH. 1984. Quantitative and qualitative variation in floral nectar of soybean cultivars in Southeastern Missouri. *Environmental Entomology*, 13: 1091-1096.
- Sim YG, Choi YE. 1993. Influence of honey bee pollination on soybean yield and yield components. *Korean Journal of Applied Entomology*, 32: 271-278.
- Somerville D. 2005. Fat bees skinny bees: A manual on honey bee nutrition for beekeepers. Kingston: RIRDC. 150 p.
- Somerville D. 2001. Nutritional value of bee collected pollens: A report for the rural industries research and development corporation. Kingston: RIRDC. 176 p.
- Talpay B. 1978. El polen floral: una reseña. *Apiacta*, 1: 103-105.
- Von der Ohe W, Oddo LP, Piana ML, Morlot M, Martin P. 2004. Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie*, 35: 18-25.
- Zhao L, Sun H, Peng B, Li J, Wang S, Li M, Zhang W, Zhang J, Wang Y. 2009. Pollinator effects on genotypically distinct soybean cytoplasmic male sterile lines. *Crop Science*, 49: 2080-2086.