

**Universidad Nacional de Córdoba**  
**Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**  
**Escuela de Biología**



**Evaluación de la calidad del fruto y del rendimiento en cultivos de girasol  
(*Helianthus annuus*) con añadido de colmenas de *Apis mellifera***

Tesinista:	Mauro Santiago Ferrarese	Firma: .....
Director:	Dr. Leonardo David Amarilla	Firma: .....
Co-directora:	Dra. Diana Labuckas	Firma: .....

**Cátedra de Diversidad Biológica III (FCEfyN), Instituto Multidisciplinario de  
Biología Vegetal (CONICET-UNC) e Instituto de Ciencia y Tecnología de los  
Alimentos (CONICET-UNC)**

**2019**



## ÍNDICE

RESUMEN .....	4
PALABRAS CLAVE .....	5
INTRODUCCION .....	6
OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y PREDICCIONES .....	10
MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
RESULTADOS .....	16
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	27
TABLAS.....	36
AGRADECIMIENTOS.....	44
ANEXOS.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	47

## RESUMEN

El cultivo de girasol es importante en la economía de la Argentina, aporta aproximadamente 25.500 millones de dólares anualmente y para la temporada 2018/2019, se destinaron 1,75 millones de hectáreas ubicadas principalmente en las provincias de Córdoba y Buenos Aires. Los cultivares de girasol en general presentan autogamia espontánea, sin embargo, en alguna medida aprovechan la polinización cruzada para formar y completar sus aquenios. En este sentido, el servicio ecosistémico de polinización resulta indispensable para conseguir los altos rendimientos esperados por semilleras y productores. En escenarios donde el servicio ecosistémico de la polinización está disminuido o ausente, la estrategia más ampliamente utilizada para conseguir los rendimientos deseados es el agregado artificial de colmenas de *Apis mellifera* como principal fuente de polinizadores. Sin embargo, a la fecha no se han reportado estudios que evalúen de forma conjunta la calidad integral de los aquenios y la productividad de los cultivos de girasol en relación con el agregado de colmenas de *A. mellifera*. En este trabajo se evalúa el efecto del agregado de colmenas de *A. mellifera* en un cultivar de girasol alto-oleico sobre la calidad general de sus aquenios y sobre el rendimiento. Se consideraron como indicadores de calidad a la cantidad de aceite, de proteína, de humedad, de ceniza y de hidratos de carbono en plantas expuestas y aisladas a los polinizadores en parcelas con y sin agregado de colmenas. En el mismo diseño experimental se consideraron los indicadores de rendimiento masa seca y cantidad de aceites (ambos en Tn/ha). Las plantas con flores expuestas a polinizadores provenientes de las parcelas con agregado de colmenas produjeron mayor cantidad de aceite, cantidad que se acerca a los estándares internacionales y lo indicado en el prospecto del cultivar, en comparación a las plantas con flores expuesta del ensayo sin colmenas. En las plantas con flores expuestas de ambos ensayos se evidencia una relación aceites/proteínas más altas que en las flores aisladas, lo que redundaría en beneficios al considerar que se trata de un cultivar alto-oleico. Al considerar la cantidad de carbohidratos, se observa una alta producción en ambos ensayos (con y sin agregado de colmenas) y la relación aceites/carbohidratos resultó mayor

en las plantas con flores expuestas de las parcelas con agregado de colmenas que las flores aisladas. En cuanto a la cantidad de cenizas y humedad, este es el primer trabajo que considera estas variables en la evaluación integral de la calidad de los aquenios. Al considerar la masa seca, las plantas con flores expuestas a polinizadores provenientes del ensayo con colmenas evidenció un aumento en el 24% al compararlas con las plantas con flores expuestas del ensayo sin colmenas. Al establecer comparaciones entre las plantas con flores expuestas y las plantas con flores aisladas de ambos ensayos por separado se evidenció un aumento significativo en el rendimiento de plantas con flores expuestas. Al considerar la cantidad de aceites, las plantas con flores expuestas a polinizadores provenientes del ensayo con colmenas evidenció un aumento en el 24% al compararlas con las plantas con flores expuestas del ensayo sin colmenas. Al establecer comparaciones entre las plantas con flores expuestas y las plantas con flores aisladas de ambos ensayos por separado se evidenció un aumento significativo en el rendimiento de plantas con flores expuestas. Todos los análisis y resultados reportados en este trabajo permite proponer que tanto la mejora (en términos agronómicos) en los índices de calidad de los aquenios como el incremento en los rendimientos del cultivo se deben fundamentalmente al servicio de polinización diferencial ofrecido por los polinizadores, particularmente cuando se agregan colmenas de *A. mellifera*. Con bases en lo anterior, proponemos un manejo integrado de polinizadores y el ejercicio de prácticas amigables con el ambiente como estrategia adecuada cuando se busque obtener aquenios de calidad y maximizar la productividad en las cosechas de cultivos de girasol alto-oleico.

### **PALABRAS CLAVE**

abeja doméstica, agroecosistemas, calidad de aquenios, manejo de cultivos, rendimiento, servicio ecosistémico.

## INTRODUCCIÓN

Las variedades de especies vegetales utilizadas en la agricultura son principalmente híbridas y se producen por mejoramiento genético y selección de atributos de interés comercial tales como, crecimiento rápido, uso eficiente de los recursos del medio, altos rendimientos, tolerancia a estrés abiótico y biótico, etc. (Manavella y col., 2008; Bommarco y col., 2013; Sarandón y Flores, 2014). Las variedades de girasol (*Helianthus annuus* L., Asteraceae) no son la excepción y a la fecha, constituyen uno de los cultivos más importantes en la economía de la Argentina, aportando aproximadamente 25.500 millones de dólares anualmente (Bolsa de Comercio de Rosario, 2018). Considerando el total de la producción, el 30% es consumido en el mercado interno, mientras que el 70% restante se exporta como aceite crudo y como harinas (ASAGIR, 2005). En Argentina, para la temporada 2018/2019, se destinaron 1,75 millones de hectáreas a este cultivo y estuvieron ubicadas principalmente en Córdoba y Buenos Aires (Bolsa de Comercio de Rosario, 2018).

El girasol generalmente presenta diferentes mecanismos fisiológicos de auto-incompatibilidad (Neff y Simpson, 1990; Minckley y col., 1994, en Tesfay, 2010). Sin embargo, el girasol aún se puede autopolinizar curvando el estigma sobre la fuente de polen, pero deviene en una pobre fertilización y abortos de semillas (du Toit, 1988, en Tesfay, 2010). En este sentido, las abejas solitarias y otros insectos tienen efectos suplementarios en el proceso de polinización del girasol, pero las abejas domésticas (*Apis mellifera* L.) son los visitantes florales dominantes en estos cultivos. Es así como los visitantes florales -y polinizadores- refuerzan las posibilidades de polinización y por consiguiente la producción de semillas heteróticas (Moreti y col., 1993; Hoffman, 1994; Torretta y col., 2009; Torretta y col., 2010; Sáez y col., 2014; Galetto y col., 2016; Iglesias y col., 2018), y su presencia aumenta el rendimiento de este cultivo (Neff y Simpson, 1990; Free, 1993; Basualdo y col., 2000; Hernandez, 2008; Nderitu y col., 2008; Galetto y col., 2016).

El fruto del girasol, el “aquenio”, es uniseminado y sus componentes sobre base seca son: los lípidos (34%-55%), las proteínas (10%-27%), los carbohidratos

(18%-26%), y los minerales (4%) (e.g., Rodríguez y col., 2002; Pérez, 2003). En términos agronómicos se entiende por “aquenios de calidad” aquellos que cumplen con los porcentajes antes mencionados. Existen reportes que demuestran que tanto la geitonogamia como la polinización cruzada (intervienen diferentes flores de diferentes individuos) favorecida por insectos es crucial para la producción de aquenio de girasol de calidad (Fell, 1986; Neff y Simpson, 1990; Free, 1993; Basualdo y col., 2000; Paiva y col., 2002; Paiva y col., 2003; Hernandez, 2008; Nderitu y col., 2008; Oz y col., 2009, Tesfay, 2010). Sin embargo, en todos los casos antes referenciados, diferentes indicadores de calidad han sido evaluados separadamente. Además, es conocido que la polinización insuficiente disminuye significativamente tanto el rendimiento de las cosechas, lo que impacta negativamente en las economías locales y regionales (Langridge y Goodman, 1974, 1981; Moreti y col., 1993; Hoffmann, 1994; Sunmangala y Giriraj, 2003; Greenleaf y Kremen, 2006; Nderitu y col., 2008; IPBES, 2016).

Con la finalidad de obtener un alto potencial de rendimiento y utilizar la mayor cantidad de superficie posible, el modelo agrícola con manejo convencional (o intensivo) modifica fuertemente el paisaje natural o seminatural (*i.e.* provocando su simplificación por pérdida de hábitat, de biodiversidad y de los servicios ecosistémicos asociados), siembra grandes áreas de un único tipo de cultivo (monocultivo, el que en general, a excepción del girasol ofrece menos o no ofrece néctar a los visitantes florales) y utiliza agroquímicos de forma indiscriminada (Chapman y Bourke, 2001; Kremen y col., 2002; Chandel y col., 2004; Staffen-Dewenter, y col., 2005; Morandin y Winston; 2005; Bartual y col., 2018; Garibaldi y col., 2019 y trabajos allí citados). Los monocultivos en general y los cultivos de girasol en particular, se desarrollan bajo esta modalidad, afectando negativamente a las poblaciones de plantas nativas y, por consiguiente, provocando la pérdida de los sitios de reproducción, anidamiento e hibernación de animales, lo que contribuye a la disminución de las poblaciones de visitantes florales y/o insectos polinizadores (e.g., Nderitu y col., 2008; Bommarco y col., 2013; Sarandón y Flores, 2014; IPBES, 2016, Garibaldi y col., 2019).

La pérdida del servicio ecosistémico de polinización ocasiona, entre otras cosas, la disminución en el rendimiento de los cultivos dependientes de polinizadores tales como el girasol, algunos cultivares de soja, la manzana, etc. Esta información cobra relevancia al advertir que más del 30% de la provisión de alimento humano depende directa o indirectamente de los polinizadores (Richards, 2001; Kremen y col., 2002; Cáceres, 2003; Ricketts, 2004; Ghazoul, 2005; Ricketts y col., 2008; Aizen y col., 2009; Aizen y Harder, 2009; Garibaldi y col., 2011; Bommarco y col., 2013; Pettis y col., 2013; Garibaldi y col., 2014; Goulson y col., 2015; IPBES, 2016; Garibaldi y col., 2019). En este contexto, algunos productores modifican parcialmente el sistema agrícola convencional y adicionan artificialmente insectos polinizadores en la matriz de cultivos de girasol en Argentina. Esta modificación consiste en la adición de colmenas con *A. mellifera* (abeja doméstica). En este sentido, existen estudios desarrollados en diferentes países que reportan el efecto de la polinización en el rendimiento de cultivos de girasol cuando se agregan colmenas de la abeja doméstica en particular y cuando quedan naturalmente expuestos a los polinizadores en general (en contraposición con los aislados a polinizadores) (e.g., Neff y Simpson (1990) en EE. UU., Langridge y Goodman (1974, 1981) en Australia, Sumangala y Giriraj (2003) India, Nderitu y col. (2008) para Kenya, du Toit (1988) y Tesfay (2010) en Sudáfrica, Kamler (1997) en Republica Checa, Paiva y col. (2003) en Brasil, Oz y col. (2009) para Turquía y Astiz y col. (2011) para argentina.

Las abejas domésticas aseguran el transporte del polen entre flores de un mismo capítulo y desde un capítulo de girasol hacia otro, ya que cuentan con una estructura corporal adecuada y, en general se presentan en un elevado número de individuos y con alta intensidad de actividad diaria. Esto proporciona una alta calidad de polinización a las flores de girasol, lo que se traduce en el aumento del rendimiento (en masa seca) del cultivo de girasol en un 30% y en el aumento del contenido de aceite en más de un 6% en variedades híbridas comerciales (Free, 1993, en Puškadija y col., 2007; Nderitu y col., 2008). Al evaluar el comportamiento de las abejas domésticas, Kovács (2013) reportó que al momento de la selección de la “pastura”, las abejas “tienen en cuenta” la calidad y cantidad

nutritiva del polen y del néctar, así como la distancia a la fuente de polen y néctar desde la colmena. En este sentido, los estudios realizados en Argentina en cultivos de girasol manejados convencionalmente muestran diferentes tendencias, por ejemplo: i- en La Pampa, la frecuencia de visitas de *A. mellifera* a los capítulos de girasol disminuyeron cuando la fuente (semi)natural de la abeja doméstica se encontraba a más de 100 metros (m) de distancia (Saez y col., 2012); ii- en Córdoba, las visitas variaron no significativamente en relación con la distancia (110 m) a la fuente (semi)natural (borde de cultivo) de la abeja doméstica (Galetto y col., 2016); iii- en Mar del Plata, las visitas variaron no significativamente en relación con la distancia (110m) a la fuente artificial (colmenas agregadas) de la abeja doméstica (Galetto y col., 2016; Iglesias y col., 2018). Adicionalmente, el estudio desarrollado en Córdoba (en el que no se agregaron colmenas artificialmente) mostró que la abeja doméstica representó un 90% de las visitas a los capítulos del girasol, mientras que el 10% restante estuvo representado por visitantes nativos (Galetto y col., 2016). En el estudio desarrollado en Mar del Plata (en el que se agregaron colmenas artificialmente) la abeja doméstica representó el 97% de las visitas, mientras que el 3% restante estuvo representado por visitantes nativos (Galetto y col., 2016; Iglesias y col., 2018). Al comparar estigmas expuestos a polinizadores provenientes de parcelas con y sin agregado de colmenas, la cantidad de granos de polen fue mayor en los estigmas expuestos provenientes de parcelas con agregado de colmenas (Galetto y col., 2016). En ambos casos la cantidad de granos de polen depositado sobre los estigmas fue mayor en aquellos que estuvieron expuestos a los polinizadores con respecto a aquellos que estuvieron aislados de los mismos. Además, la cantidad de granos de polen varió con la distancia; siendo mayor en los estigmas de flores expuesta más cercanas a la fuente de polinizadores.

A la fecha no se han reportado estudios que evalúen de forma conjunta la calidad integral de los aquenios (mediante indicadores como: el contenido de proteínas, de aceites y de carbohidratos, la cantidad de cenizas y humedad) y la productividad de los cultivos de girasol en relación con la estrategia de manejo de los sistemas agrícolas convencionales, por ejemplo: sin el agregado de colmenas

de *A. mellifera* y con el agregado de éstas. Considerando lo anterior y lo reportado por Galetto y col., (2016) e Iglesias y col., (2018), surgieron las siguientes preguntas de investigación: ¿Qué efecto tendrá el agregado de colmenas de *A. mellifera* en cultivos de girasol sobre la calidad (en términos agronómicos) de sus aquenios? ¿Qué efecto tendrá el agregado de estas colmenas sobre el rendimiento de los cultivos de girasol? Para responder a estas preguntas se utilizaron muestras (aquenios) provenientes de los estudios desarrollados en Córdoba y en Mar del Plata (Galetto y col., 2016; Iglesias y col., 2018) y se plantearon los objetivos, las hipótesis y las predicciones que a continuación se detallan.

## **OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y PREDICCIONES**

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto del agregado de colmenas de *A. mellifera*, el efecto aislamiento/exposición a polinizadores y el efecto distancia a la fuente de polinizadores en cultivo de girasol sobre la calidad general de los aquenios y sobre el rendimiento.

### **Objetivos específicos**

-Caracterizar aquenios de girasol provenientes de cultivos con diferentes estrategias de manejo (con agregado y sin agregado de colmenas) al cuantificar los siguientes indicadores de calidad: masa seca, aceite, proteínas, humedad, cenizas y carbohidratos.

-Evaluar fluctuaciones en estos indicadores de calidad al relacionarlos con las diferentes estrategias de manejo de los cultivos, el aislamiento/exposición a polinizadores y con diferentes distancias a la fuente de polinizadores (colmenas o borde de cultivo).

-Evaluar el rendimiento (e.g. masa seca, contenido de aceites) en cultivos de girasol para relacionarlos con las diferentes estrategias de manejo, el aislamiento/exposición a polinizadores y con diferentes distancias a la fuente de polinizadores.

### **Hipótesis**

Las colmenas de *A. mellifera* como una fuente adicional de polinizadores para el cultivo de girasol favorecen el servicio de la polinización, por consiguiente, el cultivo de girasol con agregado de colmenas presentará tanto, mejores indicadores de calidad de los achenios que se ajustan a los estándares agronómicos, como un mayor rendimiento en comparación a parcelas sin el agregado de colmenas. A su vez, al establecer comparaciones entre plantas con flores aisladas y expuestas a polinizadores y entre plantas expuestas a diferentes distancias a la fuente de polinizadores, los mejores indicadores de calidad y los mayores rendimientos estarán asociados a las plantas con flores expuestas y ubicadas a menor distancia de la fuente de polinizadores independientemente del ensayo (agregado/no agregado de colmenas). Los indicadores de calidad de los achenios y el rendimiento no variarán en plantas con flores aisladas a polinizadores provenientes de los diferentes ensayos (con agregado y sin agregado de colmenas) y diferentes distancias a la fuente de polinizadores.

### **Predicciones**

- los indicadores de calidad de los achenios provenientes de parcelas con agregado de colmenas serán, en términos agronómicos, mejores que aquellos que provienen de parcelas sin agregado de colmenas; a su vez, serán mejores en plantas expuestas a polinizadores y en plantas más cercanas a la fuente de estos.
- el rendimiento del cultivo con agregado de colmenas será mayor que aquel que proviene de parcelas sin agregado de colmenas; a su vez, será mayor en plantas expuestas a polinizadores y en plantas más cercanas a la fuente de éstos.
- los indicadores de calidad de los achenios y el rendimiento en plantas con flores aisladas a los polinizadores no variarán ni entre los ensayos ni entre las distancias.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Diseño experimental**

Las muestras se obtuvieron de los experimentos que se desarrollaron previamente en dos cultivos del mismo girasol híbrido comercial alto oleico (cultivar Paraíso 102

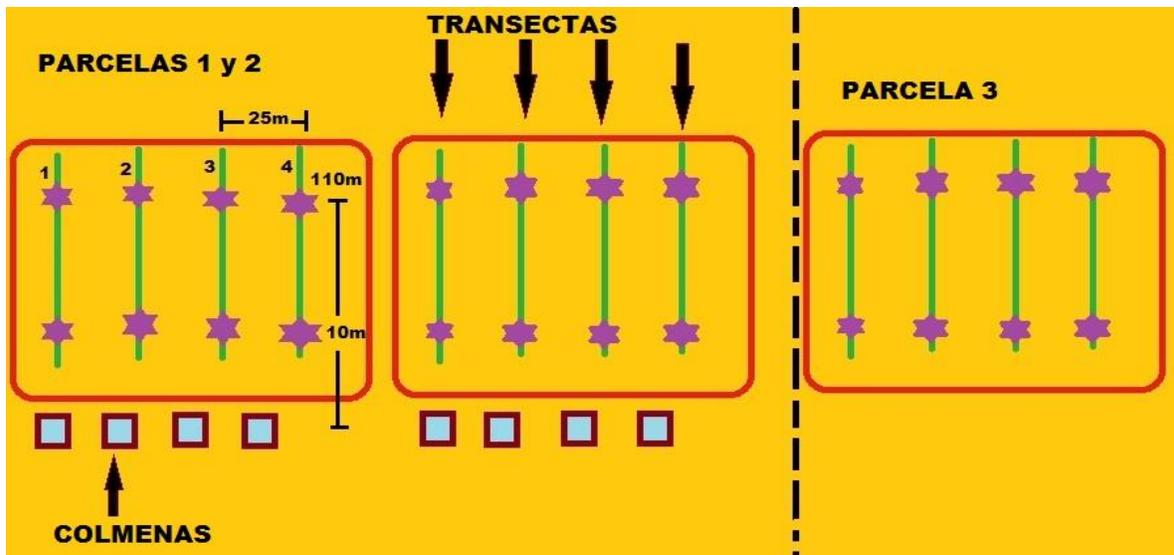
CL de *Nidera*) en la temporada de siembra entre los años 2015 y 2016 (Galetto y col., 2016; Iglesias y col., 2018). A los fines del estudio se seleccionaron tres parcelas, las “parcelas 1 y 2” estuvieron situadas en las inmediaciones a la ciudad de Mar del Plata (ruta 226, con dirección a Balcarce), y la “parcela 3” en las inmediaciones de la ciudad de Manfredi (INTA-Manfredi, Córdoba). En todos los casos el área de las parcelas fue de 250 m<sup>2</sup> y estuvieron inmersas en la matriz de cultivo de agroecosistemas fuertemente simplificados y el manejo ha sido equivalente en las tres parcelas en cuanto al agregado de agroquímicos (concentración y frecuencia) y al laboreo en general. Las parcelas estuvieron separadas por al menos cinco kilómetros de radio de cualquier corredor vegetal o fragmento de hábitat seminatural y, en ningún caso, se evidenciaron colmenas artificiales en el mismo radio (cinco km corresponde al desplazamiento medio reportado para *A. mellifera* por Beekma y Ratnieks, 2000). En la zona de estudio los vientos soplan principalmente en dirección norte y noreste. En 2015-2016, los vientos alcanzaron una velocidad promedio de 13,9 km/h, y durante los meses de recolección de datos alcanzaron una velocidad promedio de 7,4 km/h (Estación meteorológica del Aeropuerto Córdoba de la Escuela de Aviación Militar -ver hipervínculo en la sección bibliografía-).

Con la finalidad de evaluar el efecto del agregado de colmenas sobre la calidad de los aquenios y el rendimiento de cultivos de girasol se incluyeron colmenas en las parcelas 1 y 2 (parcelas con colmenas; en adelante PCC). El agregado de colmenas consistió en la instalación de un apiario de 10 colmenas *Langstroth* estandarizadas en reservas y población (Iglesias y col., 2018). La tercera parcela permaneció sin el agregado de colmenas (en adelante PSC) y no se incorporó una segunda parcela con esta condición porque no se consiguió otro sitio que reuniera las condiciones antes descritas (presencia y/o distancias a fuentes naturales o artificiales de polinizadores; Galetto y col., 2016). En esos dos estudios previos, para cada parcela se delimitaron cuatro transectos paralelos separados por 25 m, perpendiculares al borde de las parcelas. En cada transecto se definieron dos sitios focales: el primero a diez metros del borde de la parcela y el segundo a 110 m (figura 1). Los márgenes de campo o borde de parcela se definieron allí como

las estrechas franjas de hábitats seminaturales a lo largo del límite del campo o entre los lotes de cultivo que crean una interfaz con el campo o lote adyacente (Marshall & Moonen, 2002). En cada sitio focal, antes de que inicie la floración, se marcaron, por un lado, cinco capítulos de girasol que permanecieron expuestos a los polinizadores (Tratamiento: plantas expuestas, en adelante, PE), y por otro, cinco capítulos que fueron aislados de los polinizadores mediante la cobertura con una bolsa de voile (Tratamiento control: plantas aisladas, en adelante PA; figura 2a). Las bolsas de voile fueron retiradas inmediatamente después del período de antesis/polinización (un par de semanas). Además, en el caso del girasol, el embolsado involucra a la estructura reproductiva (capítulo) únicamente, sin afectar a las estructuras fotosintéticas de la planta. Entonces, ya que el periodo de desarrollo/cargado de las semillas ocurre en ambos tratamientos en igual condiciones (por el retirado inmediato de la bolsa) y, las estructuras fotosintéticas nunca estuvieron involucradas en el embolsado, no se espera que este tratamiento genere efectos diferenciales (al compararlos con las plantas expuestas) sobre las variables aquí evaluadas. Las bolsas de voile utilizadas en este trabajo tienen una transparencia y porosidad estandarizadas y utilizadas en ocasiones previas (e.g. Paiva y col. 2003; Nderitu y col. 2008)

### **Variables de respuesta**

Masa seca: Las muestras que fueron procesadas en este estudio se obtuvieron una vez finalizada la recolección de los capítulos de girasol, seleccionando diez aquenios al azar de cada uno. El secado se efectuó en estufa a 52°C hasta obtener una masa constante. Se utilizó una balanza analítica *Ohaus Explorer* (precisión 0,0001 g) y la unidad de medida fue el gramo.



**Figura 1:** Esquema representativo del diseño experimental desarrollado previamente (Galletto y col., 2016; Iglesias y col. 2018) de donde se obtuvieron las muestras para este estudio. A las parcelas 1 y 2 (izquierda; Mar del Plata) se les agregaron colmenas en uno de los márgenes, mientras que la parcela 3 (derecha; Córdoba) permaneció sin el agregado de colmenas. Los sitios focales se definieron en 4 transectos, a 10 y 110 metros del margen de las parcelas.

Para el registro de las siguientes variables se requirieron de muestras con una masa mínima de cinco gramos, por lo que los aquenios provenientes de cada sitio focal (cinco capítulos de girasol) fueron considerados como una unidad de muestra.

Contenido de aceite: El contenido de aceite total se cuantificó a partir de 10 g de semillas deshidratadas y molidas mediante extracción continua sólido-líquido en un equipo Soxhlet (durante 8 horas y empleando n-hexano como disolvente). El contenido total de aceite se cuantificó por diferencia de pesos (previo y posterior a la extracción, AOCS, 1998) y se expresó como porcentaje.



**Figura 2:** (a) Capítulos de girasol aislados, mediante una bolsa de voile, de los visitantes florales/polinizadores. (b) Vista parcial de un capítulo de girasol con aquenios desarrollados y no desarrollados. (c) Vista de un cultivo de girasol (Provincia de Buenos Aires, Mar del Plata).

Contenido de proteína: Luego de separar el aceite de la muestra, se pesaron 0.3 g del material molido, deslipidizado y sobre base seca para cuantificar el nitrógeno presente en cada muestra. Para tal fin se utilizó un digestor *Kjeldahl* (AOAC/920.53, 1995) que descompone la muestra en un medio caliente de ácido sulfúrico en presencia de un catalizador (cobre en este caso). El tratamiento transforma el nitrógeno en sulfato de amonio. La posterior adición de hidróxido de sodio libera el amonio que es arrastrado hasta un frasco colector por destilación en corriente de vapor, el cual contiene un volumen medido de ácido bórico al 1% e indicadores que brindan un color violáceo. Esta nueva solución vira al color verdoso, y al ser titulada con solución de ácido clorhídrico al 0.1N permite conocer el contenido de proteína multiplicada por el factor de conversión correspondiente al girasol según la siguiente ecuación:  $\%Proteína = Nitrógeno \times 5,75$  (C.A.A, 2017), que se expresó como porcentaje según base seca (% sbs).

Contenido de humedad: La humedad en la muestra molida y deslipidizada se determinó por diferencia de peso (pre- y post- deshidratación en estufa a 100°C durante una hora) y se expresó como porcentaje según base seca (% sbs).

Contenido de cenizas: Para la obtención del contenido de cenizas que se expresó como porcentaje según base seca (% sbs) se procedió a la combustión y posterior calcinación de la muestra (600°C).

Contenido de carbohidratos (HdeC): Se obtuvo por diferencia, según la siguiente ecuación:  $\%HdeC = 100 - (\%Humedad + \%Aceite + \%Proteínas + \%Cenizas)$  y se expresó como porcentaje según base seca (% sbs).

Rendimiento: esta variable fue estimada a partir de la masa seca y del contenido de aceite total de los aquenios según la siguiente ecuación: Rendimiento = masa seca de 10 aquenios x el promedio de la cantidad de semillas por planta x 50.000 (plantas viables en una hectárea de siembra); y se expresó en toneladas (Tn) x hectárea (ha). Para estimar el rendimiento medido en cantidad de aceite, se debió convertir la unidad porcentaje (%) a tonelada (Tn), para lo cual se multiplicó el valor de masa seca en Tn/ha por el porcentaje de aceite obtenido para cada muestra.

### **Análisis estadísticos**

En el análisis de datos se consideraron tres factores fijos, dos factores aleatorios y siete variables de respuesta. Los factores fijos se detallan a continuación: “Ensayo”, con dos niveles: parcelas con el agregado de colmenas (PCC) y sin el agregado de colmenas (PSC); “Distancia”, con 2 niveles: 10m, 110m; y “Tratamiento” con 2 niveles: plantas aisladas (PA) y expuestas (PE). Los factores aleatorios se detallan a continuación: “Parcelas”, con tres niveles: “Parcela 1” y “Parcela 2” (Mar del plata) y “Parcela 3” (Córdoba) (para considerar posibles variaciones entre las parcelas 1 y 2 debida a diferencias físico-químicas del terreno entre las mismas, por ejemplo); “Transecto”, con 4 niveles, cada uno referenciado a cada transecto (1, 2, 3 y 4) (para considerar posibles variaciones dentro de la misma parcela debida a diferencias físico-químicas del terreno dentro de ella, por ejemplo). Las variables de respuesta y las unidades de medida se detallan a continuación: masa seca (g), porcentaje de aceite (%), porcentaje de

proteína (%), porcentaje de humedad y cenizas (%), porcentaje de carbohidratos (%) y rendimiento (Tn/ha). Cada una de las variables fueron analizadas por separado para cada factor, y los resultados numéricos y de significancia se presentan por separado en el texto de este trabajo. A fin de sistematizar y sintetizar la información presentada todas las variables fueron graficadas considerando dos factores a la vez (*ggplot2*). Sin embargo, el análisis y discusión de éstas, se presentará por separado en acuerdo con el análisis de datos.

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando R (R Core Development Team, 2016) a través de modelos lineales generalizados (GLMs) y modelos lineales generalizados mixtos (GLMMs) según el tipo de factores considerados y utilizando la función *glmer* del paquete estadístico *lme4* (Bates y col., 2015). Se evaluaron diferentes distribuciones para modelar las variables respuestas, por ejemplo, la distribución *Gamma* de los errores. Se consideraron diferentes modelos para evaluar la importancia de los factores y así determinar aquel que mejor explique la variabilidad de los datos, por ejemplo, modelos nulos vs modelos con factores fijos y aleatorios. Los mejores modelos fueron seleccionados de acuerdo con el criterio de información de *Akaike* (AIC), los que fueron comparados mediante la función *anova* (análisis de la varianza) del paquete *stats* para determinar la significancia de los factores individuales. Cuando la diferencia entre los AIC de dos o más modelos resultó igual o inferior a cinco, se presentan todos los modelos. Las gráficas se hicieron utilizando el paquete *ggplot2* (Wickham, 2009).

## RESULTADOS

### Variable masa seca

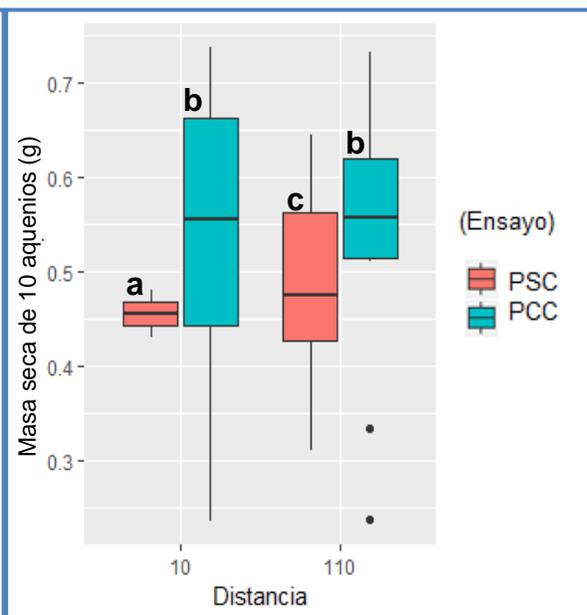
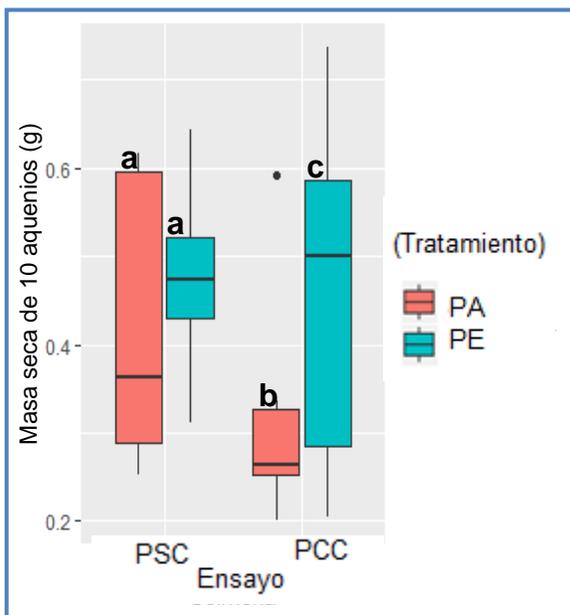
Los modelos de interacción que resultaron significativos para explicar la variación del conjunto de datos (masa seca) son los siguientes: Al considerar el factor ensayo de plantas con y sin el agregado de colmenas (PCC/PSC) como factor fijo, el mejor modelo para las PE (plantas expuestas) fue el modelo independiente (es decir, el que no incluyó factores aleatorios), indicando que el conjunto de datos sólo depende del factor fijo ensayo (Tabla 1); y para las PA (plantas aisladas) resultó mejor aquel que incluyó al factor aleatorio “Parcela” (anexo 1).

Cuando se consideró a cada ensayo (PCC/PSC) por separado y se definió al tratamiento como factor fijo (aquí estamos estableciendo comparaciones entre todas las PE y todas las PA de cada ensayo por separado), el mejor modelo fue, para las plantas provenientes de PCC, aquel que incluyó el factor aleatorio “Parcela” (Tabla 2) y para las provenientes de PSC, aquel que incluyó los factores aleatorios “Distancia” y “Transecto” (Tabla 3).

Al considerar la masa seca de las PE provenientes de PCC y a la Distancia como factor fijo, el mejor modelo fue aquel que incluyó al factor aleatorio “Parcela” (Tabla 4). Al considerar la masa seca de las PA y PE provenientes de PSC y de las PA de PCC y a la Distancia como factor fijo, el mejor modelo fue el modelo nulo, es decir, aquel que no considera a los factores analizados en este estudio (no se muestra).

Al evaluar la masa seca de los aquenios provenientes de los diferentes ensayos se encontró que las medianas fueron de 0,5g y de 0,46g en PE provenientes de PCC y PSC respectivamente. Las diferencias resultaron significativas para un  $p < 0,05$  (Fig. 3. Tabla 5). Por su parte la masa seca de los aquenios de PA provenientes de PCC y PSC fueron de 0,27g y 0,35g respectivamente y las diferencias resultaron significativas ( $p < 0,05$ , Fig. 3. No se muestra en tabla). Al evaluar las diferencias entre las PE y PA de cada ensayo por separado, se observa que la masa seca en las PE fue mayor que las PA en ambos ensayos. Las diferencias resultaron significativas únicamente para el ensayo PCC ( $p = 0,05$ , tablas 6 y 7 respectivamente). En las PE del ensayo PCC las medianas fueron de

0,55g a los 10m y 0,56g a los 110m, estas diferencias resultaron no significativas ( $p>0,05$ , Fig. 4. Tabla 8). En las PA del ensayo PCC las medianas fueron de 0,28g a los 10m y 0,3g a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p>0,05$ , no se muestra). En las PE del ensayo PSC las medianas fueron de 0,455g a los 10m y 0,478g a los 110m, siendo las diferencias significativas para un  $p<0,05$  (Fig. 4. No se muestra en tabla). En las PA del ensayo PSC las medianas fueron de 0,34g a los 10m y 0,3g a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p>0,05$ , No se muestra).



**Figura 3:** se muestra la variación de la masa seca de 10 aquenios provenientes de parcelas con y sin agregado de colmenas (PCC y PSC). Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el tratamiento (PA y PE). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

**Figura 4:** se muestra la variación de la masa seca de 10 aquenios provenientes de diferentes distancias (en metros) a la fuente de polinizadores. Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el ensayo (PCC y PSC). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

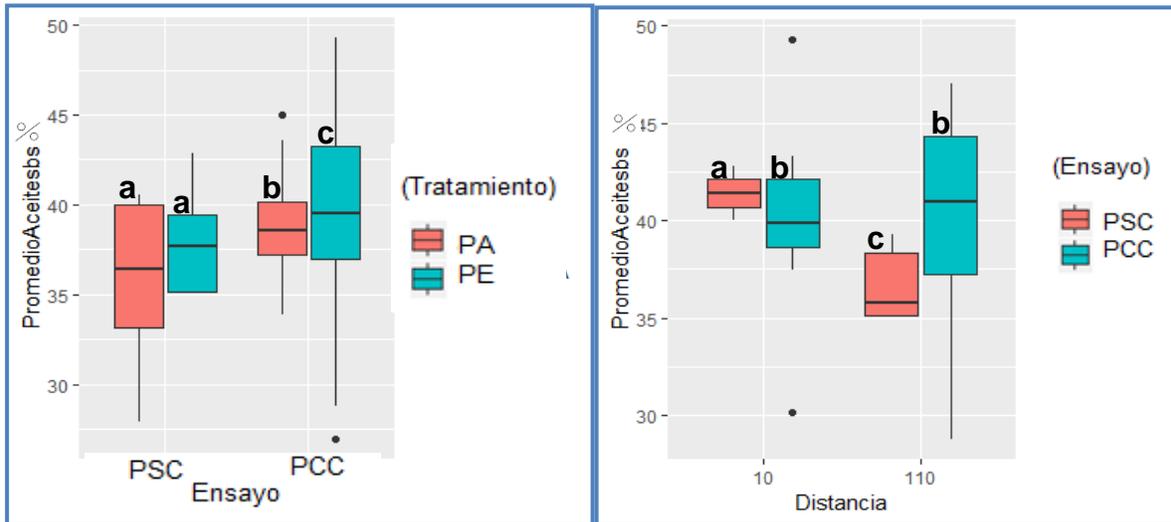
### Variable cantidad de aceite total

Los modelos de interacción que resultaron significativos para explicar la variación del conjunto de datos son los siguientes: Al considerar los ensayos (PCC/PSC) como factor fijo, el mejor modelo fue, para las PE, el que incluyó a los factores aleatorios "Parcela" y "Transecto" (Tabla 9); y para las PA aquel que incluyó a los factores aleatorios "Distancia" y "Transecto" (anexo 2).

Cuando se consideró a cada ensayo por separado y se definió al tratamiento como factor fijo (PE vs PA), el mejor modelo fue, para las plantas provenientes de PCC, aquel que incluyó a los factores aleatorios "Parcela" y "Transecto" (Tabla 10); y para las provenientes de PSC, el nulo (Tabla 11). Al considerar las PE de PCC y a la Distancia como factor fijo, el mejor modelo fue aquel que incluyó a los factores aleatorios "Parcela" y "Transecto" (Tabla 12). Al considerar las PA y PE provenientes de PSC y a las PA de PCC y a la Distancia como factor fijo, el mejor modelo fue el modelo independiente (no se muestra).

Al evaluar la cantidad de aceite total en aquenios de girasol provenientes de los diferentes ensayos, se encontró que las medianas fueron de 39,5% y 37,6% en PE provenientes de PCC y PSC respectivamente y las diferencias resultaron significativas ( $p < 0,05$ , Fig. 5. Tabla 13). Por su parte, las medianas de la misma variable de PA provenientes de PCC y PSC fueron 38% y 36,2% respectivamente y las diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , Fig. 5. No se muestra en tabla). Al evaluar las diferencias entre las PE y PA de cada ensayo por separado, se observa que la cantidad de aceite total en las PE fue mayor que las PA en ambos ensayos. Las diferencias entre los tratamientos resultaron significativas para el ensayo PCC ( $p < 0,05$ , Fig. 5. Tabla 14 y Tabla 15). En las PE de PCC las medianas fueron de 38,7% a los 10m y 41% a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , Fig. 6. Tabla 16). En las PA de PCC las medianas de la cantidad de aceite total fueron de 37,5% a los 10m y 38,5% a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , no se muestra). En las PE de PSC las medianas fueron de 41,6% a los 10m y 36% a los 110m, siendo las diferencias significativas ( $p < 0,05$ , Fig. 6, no se muestra en tablas). En las PA de

PSC las medianas fueron de 36,8% a los 10m y 37,5% a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p>0,05$ , no se muestra).



**Figura 5:** se muestra la variación del contenido de aceite total de achenios provenientes de parcelas con y sin agregado de colmenas (PCC y PSC). Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el tratamiento (PA y PE). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

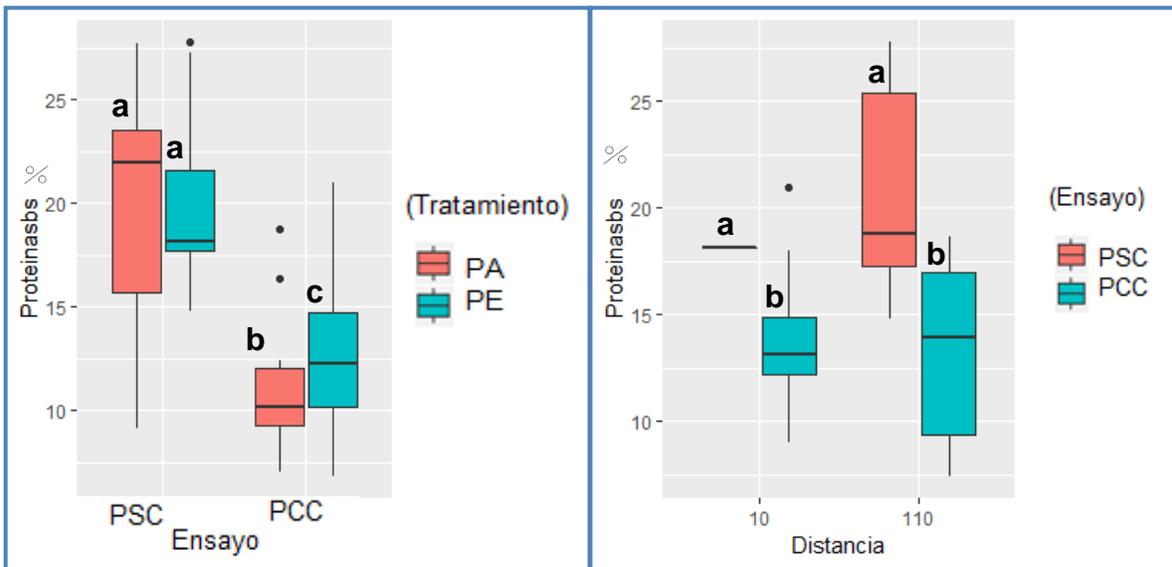
**Figura 6:** se muestra la variación del contenido de aceite total de achenios provenientes de diferentes distancias (en metros) a la fuente de polinizadores. Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el ensayo (PCC y PSC). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

### Variable cantidad de proteína total

Los modelos de interacción que resultaron significativos para explicar la variación del conjunto de datos (cantidad de proteína total) son los siguientes: Al considerar a los ensayos (PCC/PSC) como factor fijo, el mejor modelo fue, para las PE, el independiente (Tabla 17); y para las PA el que incluyó a los factores aleatorios “Distancia” y “Transecto” (anexo 3). Cuando se consideró a cada ensayo por separado y se definió al tratamiento como factor fijo el mejor modelo resultó, para las PCC, el que incluyó a los factores aleatorios “Distancia” y “Transecto” (Tabla 18); y para PSC fue el modelo nulo (Tabla 19). Al considerar a la Distancia como factor fijo para PE de PCC, el mejor modelo fue el modelo nulo (Tabla 20). Al

considerar las PA y PE provenientes de PSC y a las PA de PCC y a la Distancia como factor fijo, el modelo que mejor modelo fue el nulo (no se muestra).

Al evaluar la cantidad de proteína total en aquenios de girasol provenientes de los diferentes ensayos, se encontró que las medianas fueron de 12% y 18% en PE provenientes de PCC y PSC respectivamente y las diferencias resultaron significativas ( $p < 0,05$ , Fig. 7. Tabla 21). Por su parte, las medianas de la misma variable de PA provenientes de PCC y PSC fueron 10,5% y 22% respectivamente (Fig. 7) y las diferencias resultaron significativas ( $p < 0,05$ , Fig. 7. No se muestra en Tabla).



**Figura 7:** se muestra la variación del contenido de proteína total de aquenios provenientes de parcelas con y sin agregado de colmenas (PCC y PSC). Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el tratamiento (PA y PE). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

**Figura 8:** se muestra la variación del contenido de proteína total de aquenios provenientes de diferentes distancias (en metros) a la fuente de polinizadores. Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el ensayo (PCC y PSC). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

Al evaluar la cantidad de proteína total en los aquenios provenientes de las PE y las PA para cada ensayo por separado, se observa que, en las PE de las PCC, la cantidad de proteína total resultó significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) a las PA,

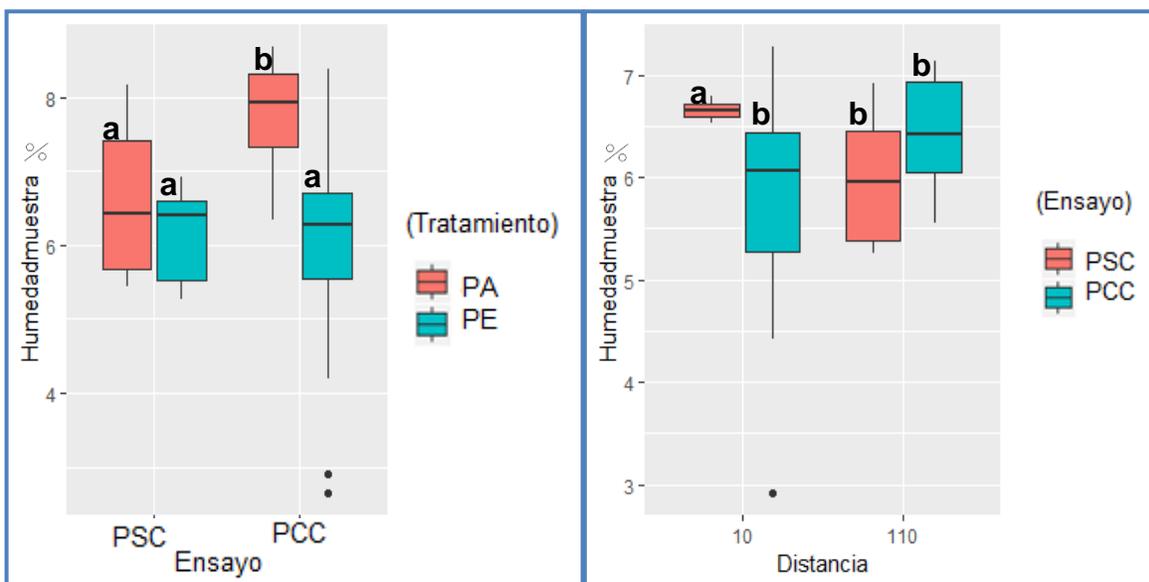
mientras que en las PE de las PSC resultó menor ( $p>0,05$ ) a las PA (Fig. 7. Tabla 22 y 23 respectivamente). En las PE de PCC las medianas de la cantidad de proteína total fueron de 13,2% a los 10m y 13,7% a los 110m, estas diferencias resultaron no significativas ( $p>0,05$ , Fig. 8. Tabla 24). En las PA de PCC las medianas de la cantidad de proteína total fueron de 9% a los 10m y 10,7% a los 110m, estas diferencias resultaron no significativas ( $p>0,05$ , no se muestra). En las PE de PSC las medianas de la cantidad de proteína total fueron de 18% a los 10m y 18,5% a los 110m, siendo las diferencias no significativas ( $p>0,05$ , Fig. 8. No se muestra en Tabla). En las PA de PSC las medianas de la cantidad de proteína total fueron de 17,5% a los 10m y 18,5% a los 110m, siendo las diferencias no significativas ( $p>0,05$ , No se muestra).

#### Variable cantidad de humedad

Los modelos de interacción que resultaron significativos para explicar la variación del conjunto de datos son los siguientes: Al considerar los ensayos (PCC/PSC) como factor fijo el mejor modelo fue, para las PE, el modelo nulo (Tabla 25); y para las PA el que incluyó a los factores aleatorios “Distancia” y “Transecto” (anexo 4). Cuando se consideró a cada ensayo por separado y se definió al tratamiento como factor fijo, el mejor modelo fue, para las PCC, el modelo independiente (Tabla 26); y para PSC, el modelo nulo (Tabla 27). Al considerar a la Distancia como factor fijo para PE de PCC, el mejor modelo fue el modelo nulo (Tabla 28). Al considerar las PA y PE provenientes de PSC y a las PA de PCC y a la Distancia como factor fijo, el modelo que mejor explicó la interacción entre la variable y los factores fue el modelo nulo (no se muestra).

Al evaluar la cantidad de humedad en muestras deslipidizadas de aquenios de girasol provenientes de los diferentes ensayos, se encontró que las medianas fueron de 6,2 % y 6,35% en PE provenientes de PCC y PSC respectivamente y las diferencias resultaron no significativas ( $p>0,05$ , Fig. 9. Tabla 29). Por su parte, las medianas de la misma variable de PA provenientes de PCC y PSC fueron 7,9% y 6,35% respectivamente y las diferencias resultaron significativas ( $p<0,05$ , Fig. 9. No se muestra en tablas). Al considerar las PE y PA provenientes de cada ensayo

por separado, se observa que, en las PE de las PCC la cantidad de humedad resultó significativamente menor ( $p < 0,05$ ), mientras que en PSC los valores no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ , Fig. 9. Tabla 30 y 31 respectivamente). En las PE de PCC las medianas de la cantidad de humedad fueron de 6,1% a los 10m y de 6,4% a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , Fig. 10. Tabla 32). En las PA de PCC las medianas de la fueron de 7,5% a los 10m y de 8% a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , no se muestra). En las PE de PSC las medianas fueron de 6,6% a los 10m y de 5,95% a los 110m y las diferencias resultaron significativas ( $p < 0,05$ , Fig. 10. No se muestra en tabla). En las PA de PSC las medianas fueron de 6,3% a los 10m y de 6,5% a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , no se muestra).



**Figura 9:** se muestra la variación en la humedad de aquenios provenientes de parcelas con y sin agregado de colmenas (PCC y PSC). Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el tratamiento (PA y PE). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

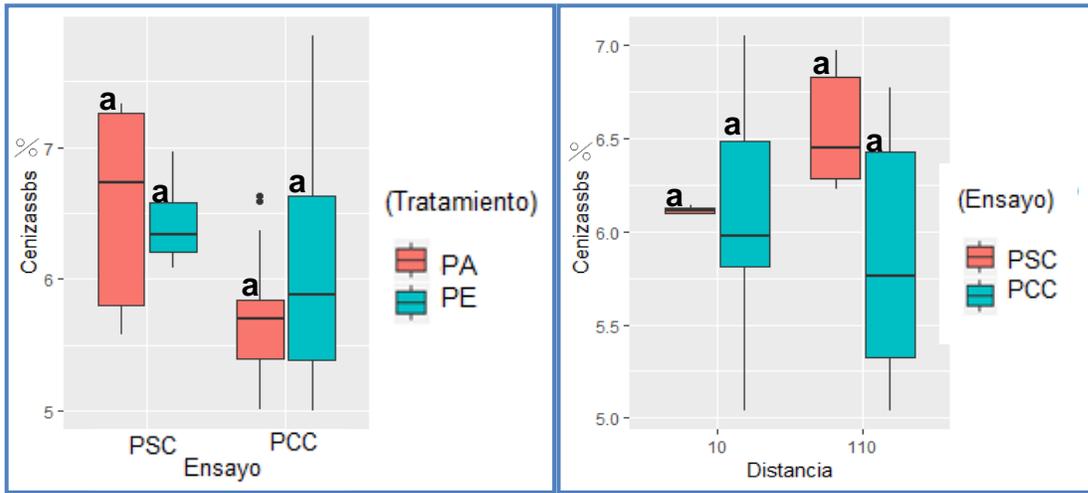
**Figura 10:** se muestra la variación en la humedad de aquenios provenientes de diferentes distancias (en metros) a la fuente de polinizadores. Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el ensayo (PCC y PSC). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

### Variable cantidad de ceniza

Los modelos de interacción que resultaron significativos para explicar la variación del conjunto de datos de la cantidad de ceniza son los siguientes: Al considerar los ensayos (PCC/PSC) como factor fijo el mejor modelo fue, para las PE, el modelo independiente (Tabla 33); y para las PA aquel que incluyó a los factores aleatorios “Distancia” y “Transecto” (anexo 5). Cuando se consideró a cada ensayo por separado y se definió al tratamiento como factor fijo el mejor modelo fue, para las PCC, el que incluyó a los factores aleatorios “Distancia”, “Transecto” y “Parcela” (Tabla 34); y para PSC fue el modelo nulo (Tabla 35). Al considerar a la Distancia como factor fijo para PE de PCC, el mejor modelo fue el modelo nulo (Tabla 36). Al considerar las PA y PE de PSC y a PA de PCC y a la Distancia como factor fijo, el mejor fue el modelo nulo (no se muestra).

Al evaluar la cantidad de ceniza de aquenios de girasol provenientes de los diferentes ensayos, se encontró que las medianas fueron de 5,8% y 6,3% en PE provenientes de PCC y PSC respectivamente y estas diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , Fig. 11. Tabla 37). Por su parte, las medianas de la misma variable de PA provenientes de PCC y PSC fueron 5,75% y 6,75% respectivamente y estas diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , Fig. 11. No se muestra en Tablas). Al evaluar la cantidad de ceniza total en los aquenios provenientes de PE y PA para cada ensayo por separado, se observa que, en PE de las PCC la cantidad de cenizas total resultó mayor ( $p > 0,05$ ), mientras que en la cantidad de cenizas total de PE en PSC resultó menor ( $p > 0,05$ ) (Fig. 11. Tabla 38 y 39 respectivamente). En las PE de PCC las medianas de la cantidad de ceniza total fueron de 5,95% a los 10m y de 5,75% a los 110m, estas diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , Fig. 12. Tabla 40). En las PA de PCC las medianas de la cantidad de ceniza total fueron de 5,7% a los 10m y de 5,8% a los 110m, estas diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , no se muestra). En las PE de PSC las medianas de la cantidad de ceniza total fueron de 6,1% a los 10m y de 6,46% a los 110m, estas diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , Fig. 12. No se muestra en tablas). En las PE de PSC las medianas de la cantidad

de ceniza total fueron de 6,5% a los 10m y de 6,6% a los 110m, estas diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , No se muestra).



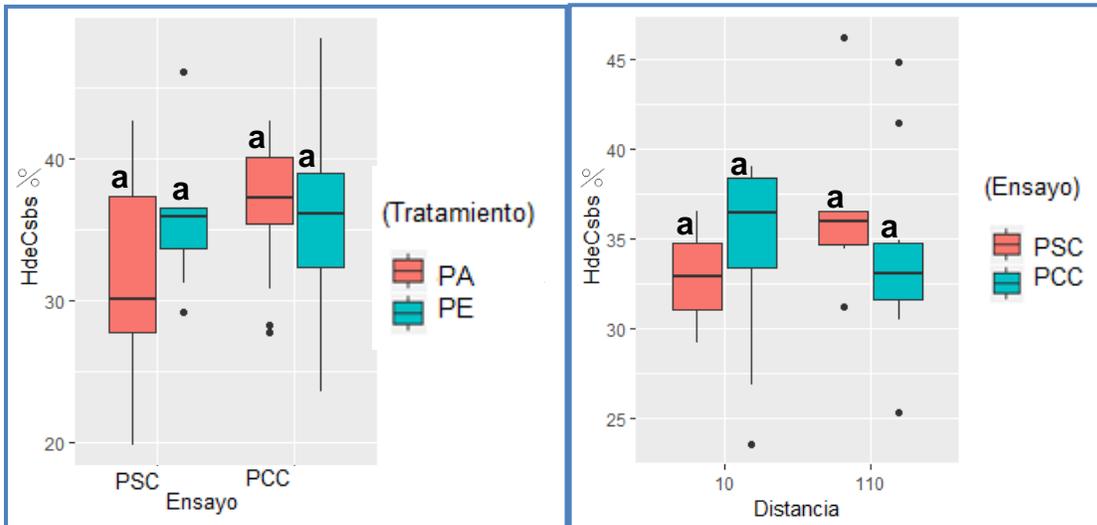
**Figura 11:** se muestra la variación en la cantidad de ceniza de aqueños provenientes de parcelas con y sin agregado de colmenas (PCC y PSC). Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el tratamiento (PA y PE). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

**Figura 12:** se muestra la variación en la cantidad de ceniza de aqueños provenientes de diferentes distancias (en metros) a la fuente de polinizadores. Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el ensayo (PCC y PSC). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

### Variable hidratos de carbono total

Los modelos de interacción que resultaron significativos para explicar la variación del conjunto de datos de la cantidad de hidratos de carbono total son los siguientes: Al considerar los ensayos (PCC/PSC) como factor fijo el mejor modelo fue, para las PE, el modelo que incluyó a los factores aleatorios “Parcela” y “Transecto” (Tabla 41); y para las PA aquel que incluyó a los factores aleatorios “Distancia”, “Transecto” y “Parcela” (anexo 6). Cuando la Exposición se definió como factor fijo el mejor modelo fue, para las PCC, el que incluyó a los factores aleatorios “Distancia” y “Transecto” (Tabla 42); y para PSC fue el modelo nulo (Tabla 43). Al considerar a la Distancia como factor fijo para PE de PCC, el mejor

modelo fue el que incluyó al factor aleatorio “Parcela” (Tabla 44). Al considerar las PA y PE de PSC y las PA de PCC y a la Distancia como factor fijo, el mejor modelo fue el modelo nulo (no se muestra). Al evaluar la cantidad de hidratos de carbono total en aquenios de girasol provenientes de los diferentes ensayos, se encontró que las medianas de esta variable fueron de 35.5% y 35.3% en PE provenientes de PCC y PSC respectivamente y las diferencias resultaron no significativas ( $p > 0,05$ , Fig. 13. Tabla 45).



**Figura 13** se muestra la variación en la cantidad hidratos de carbono en aquenios provenientes de parcelas con y sin agregado de colmenas (PCC y PSC). Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el tratamiento (PA y PE). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

**Figura 14:** se muestra la variación en la cantidad de hidratos de carbono en aquenios provenientes de diferentes distancias (en metros) a la fuente de polinizadores. Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el ensayo (PCC y PSC). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada subconjunto de datos.

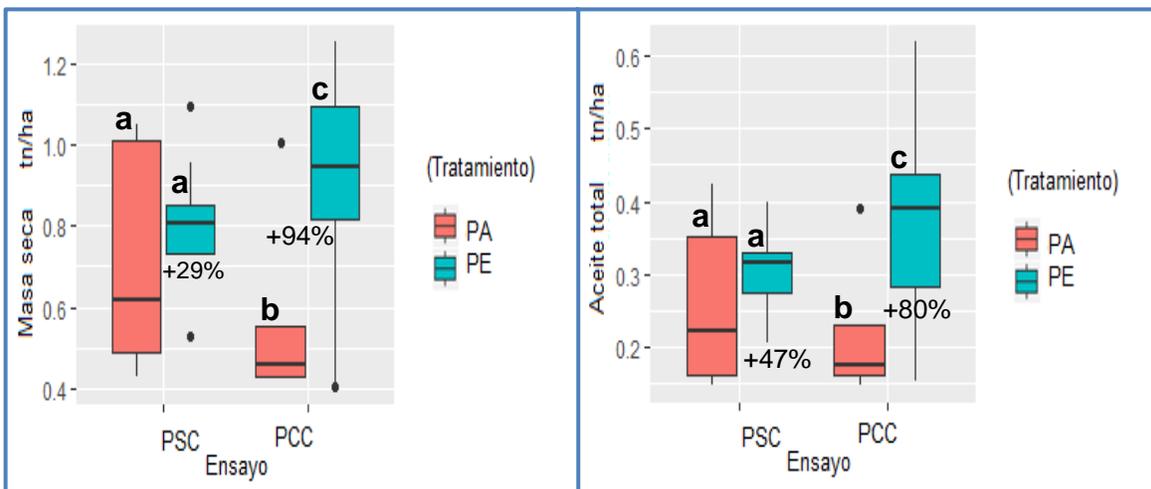
Por su parte, las medianas de la misma variable en PA provenientes de PCC y PSC fueron 37% y 31% respectivamente y las diferencias resultaron significativas ( $p < 0,05$ , Fig. 13. No se muestra en tablas). Al evaluar esta variable en los aquenios provenientes de PE y PA para cada ensayo por separado, se observa que, para PE, en PCC, la cantidad de hidratos de carbono total resultó menor,

mientras que en PSC la cantidad de hidratos de carbono total en PE resultó mayor y, en ningún caso las diferencias fueron significativas ( $p>0,05$ ) (Fig. 13. Tabla 46 y 47). En las PE de PCC las medianas fueron de 36,7% a los 10m y de 34,6% a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p>0,05$ , Fig. 12. Tabla 48). En las PA de PCC las medianas fueron de 36,5% a los 10m y de 37,6% a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p>0,05$ , no se muestra). En las PE de PSC las medianas fueron de 33,9% a los 10m y de 36,2% a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p>0,05$ , Fig. 12. No se muestra en Tabla). En las PA de PSC las medianas de la cantidad de hidratos de carbono total fueron de 33% a los 10m y de 30% a los 110m y las diferencias resultaron no significativas ( $p>0,05$ , no se muestra).

#### Variable Rendimiento

Al evaluar, el rendimiento de las PA (estimada a partir de la masa seca) se encontró que en las PSC se produjeron 0,62 Tn/ha (valor que se consideró como el 100%) y en las PCC 0,49 Tn/ha. Al evaluar el rendimiento de las PE, se encontró que en PSC se produjeron 0,8 Tn/ha (+29%) y en las PCC 0,95 Tn/ha (+94%) (Fig. 15). Las diferencias entre ensayos y tratamientos y el modelo de interacción que explicó la distribución de los datos, fueron los mismos a los reportados para la variable masa seca.

Al evaluar el rendimiento de las PA (estimada a partir de la cantidad de aceite total) se encontró que en la PSC se produjeron 0,21 Tn/ha y en las PCC 0,20 Tn/ha. Al evaluar el rendimiento de las PE, se encontró que en las PSC se produjeron 0,31 Tn/ha (+47%) y en las PCC 0,36 Tn/ha (+80%) (Fig. 16). Las diferencias entre ensayos y tratamientos y el modelo de interacción que explicó la distribución de los datos, fueron los mismos a los reportados para la variable aceite total.



**Figura 15:** se muestra la variación del rendimiento (según masa seca) de parcelas de cultivos de girasol con y sin agregado de colmenas. Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el Tratamiento (PA y PE). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada subconjunto de datos. Los números que se ubican por debajo de cada caja indican la diferencia porcentual en el rendimiento.

**Figura 16:** se muestra la variación del rendimiento (según cantidad de aceite total) de parcelas de cultivos de girasol con y sin agregado de colmenas. Además, el conjunto de datos se muestra discriminado según el Tratamiento (PA y PE). Las cajas indican el 95% de la dispersión de los datos y la línea negra dentro de las cajas indica el valor de la mediana de esta variable. Las letras por encima de las cajas indican si existe (diferentes letras) o no (misma letra) diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada subconjunto de datos. Los números que se ubican por debajo de cada caja indican la diferencia porcentual en el rendimiento.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó la calidad integral (en términos agronómicos) de los aquenios de un cultivar de girasol alto-oleico y autocompatible, y el rendimiento de este cultivo en parcelas ubicadas en las provincias de Córdoba (Manfredi) y Buenos Aires (Mar del Plata). Esta evaluación se realizó al relacionar las variables (calidad y rendimiento) con el agregado/no agregado de colmenas de *A. mellifera* como principal fuente de polinizadores, la exposición/aislamiento a los polinizadores y la distancia (10m/110m a la fuente de polinizadores).

En cuanto a la calidad de los aquenios con relación a factores ecológicos (e.g. servicio ecosistémico de la polinización), la información aquí generada es inédita y constituye una línea de base para establecer comparaciones entre las relaciones de composición química (aceites/proteínas/carbohidratos) de aquenios producidos

bajo diferentes estrategias de manejo de cultivos (convencionales/intensificación ecológica, convencional/adición artificial de colmenas, etc.).

Seguidamente se discutirán cada uno de los indicadores de calidad (variables) que estuvieron influenciadas por los factores considerados en este trabajo (no se presentan discusiones acerca de las variables que resultaron explicadas por el modelo nulo (*i.e.* cuando ninguno de los factores aquí analizados explicó la distribución en de los datos).

Al considerar la cantidad de aceite total las PE de las PSC produjeron un 1,4% más que las PA del mismo ensayo. Por su parte las PE de PCC produjeron un 1,5% más que las PA del mismo ensayo. Con bases en lo anterior, se reporta un incremento del 1,9% en la producción por las PE de las PCC al compararlas con las provenientes de las PSC. Los valores reportados en este trabajo son similares a los obtenidos por Kumar y Singh (2003) y Nderitu y col. (2008) en condiciones experimentales similares (36,3% y 44,8% de aceites respectivamente), a la vez que se encuentran dentro del rango propuesto por Pérez (2003) (34%-55%) y por la ASAGIR (Asociación Argentina de Girasol, 2009) (44%-49%) para variedades de girasol alto-oleico. La cantidad de aceite reportada en este trabajo es inferior a lo estimado por *Nidera semillas* (ver enlace en la sección bibliografía), empresa que comercializa el cultivar aquí estudiado y que reporta el porcentaje de producción ideal de aceite (47%). Sin embargo, estos valores se encuentran en el rango de producción del cultivar al considerar las zonas de siembra (zona óptima/zona de adaptación).

Los análisis de GLMMs indicaron que la distribución de estos datos de cantidad de aceite está explicada por el factor fijo “Ensayo” y los factores aleatorios “Parcela” y “Transecto”. Estos resultados permiten proponer que el incremento se debe principalmente al agregado de colmenas y a las diferencias en el ensamble de visitantes florales de cada parcela. Esta propuesta cobra sentido al considerar la cantidad de abejas domésticas y de visitantes nativos que visitaron las PE de PCC (Galletto y col., 2016; Iglesias y col., 2018), las que fueron mayores a y las cantidades que visitaron las PE de PSC (Galletto y col., 2016).

Al considerar el tratamiento (las PE y las PA para sendos ensayos por separado), los análisis de GLMMs indicaron que el factor fijo “Tratamiento” y los factores aleatorios “Transecto” y “Parcela” contribuyeron a explicar la distribución de los datos de las PE provenientes de PCC. Todo lo anterior muestra el efecto positivo que genera el ensamble de visitantes florales/polinizadores sobre la cantidad de aceite total producida por plantas de girasol. Resultados semejantes fueron reportados Nderitu y col. (2008) (26,9% en PA y 44% en PE) quien propone una interpretación equivalente al argüir que tanto las abejas domésticas como el ensamble de polinizadores generan un efecto positivo en la acumulación de aceites a través del servicio ecosistémico de la polinización. Este servicio ecosistémico de la polinización podría estar favoreciendo la geitonogamia o polinización cruzada con la consecuente fecundación de las flores por medio de granos de polen “foráneos”. Esta diversidad de granos de polen compitiendo durante la formación de tubos polínicos aseguraría que la fecundación de las flores ocurra a través del mejor fenotipo/genotipo polínico (aquel que superó la barrera esporofítica y gametofítica de incompatibilidad), esto incrementa la heterosis (vigor híbrido) de la descendencia. Las descendencias heteróticas potenciarían a las vías metabólicas comunes de producción de aceites, lo que redundaría en cambios (incrementos o disminuciones) al compararlos con posibles homocigotos productos de la autopolinización. Lo antedicho ha sido propuesto para cultivares de girasol y de otros cultivos productores de aceites (Depar y col., 2017; Delucchi y col., 2019).

Cuando se evalúan las relaciones entre la cantidad de aceite producida y la distancia de las plantas a la fuente de polinizadores, se encuentra que la producción fue superior en las PE de las PSC a los 10m y varió no significativamente a través de las distancias en las PE de las PCC, siendo mayor la producción total en estas últimas. La diferencia entre la cantidad de aceite producida en sendos puntos de estudio (10m y 110m) es de 5,6% para las PE de PSC y de 2,3% en las PE de PCC. Se propone que la abundancia y la movilidad de *A. mellifera* en particular y el ensamble de visitantes florales en general contribuyen a diluir el efecto distancia en las PCC, favoreciendo un cultivo más

homogéneo y una mayor producción total de aceite (ver porcentajes en la gráfica). Esta propuesta se fundamenta en los resultados obtenidos por los análisis de GLMMs, al indicar que el modelo que mejor explica la variabilidad de los datos es el que considera al factor fijo “Distancia” y a los factores aleatorios “Parcela” y “Transecto”.

Al considerar la cantidad de proteína total las PE de las PSC produjeron un 4% menos que las PA del mismo ensayo. Por su parte, las PE de las PCC produjeron 1.5% más que las PA del mismo ensayo. Con bases en lo anterior, se reporta una disminución del 6% en la producción de proteínas por parte de las PE de las PCC al compararlas con las PE de las PSC. Los análisis de GLMMs indicaron que la distribución de estos datos esta explicada por el factor fijo “Ensayo”, lo que nos permite proponer que los resultados encontrados se deben fundamentalmente al agregado de colmenas, las cuales estarían contribuyendo a mejorar la calidad del aquenio al disminuir la cantidad de proteínas en el cultivar alto-oleico. Atribuimos estos resultados a la relación inversa que generalmente se observa entre la carga total de proteínas y el contenido de aceites (Duffus y Shaugter, 1980; Abbadi y col. 2008).

Este hallazgo es interesante y novedoso ya que, el servicio ecosistémico de la polinización, al estar aparentemente relacionado con el aumento en los niveles altos de contenidos de aceites (resultados reportados en este trabajo), podría estar contribuyendo a mantener o a aumentar la relación típica de aceites/proteínas (2,2-2,4) de cultivares alto-oleico (Pérez, 2003; FAO - (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-, 1995). En este sentido, el servicio ecosistémico de la polinización estaría evitando que la planta tenga que compensar la carga total del grano con proteínas por falta de aceites, como lo haría en ausencia de polinizadores (cfr. también con PE de PSC de este trabajo). Esto podría resultar de interés para mejoradores y productores, ya que el servicio de polinización se constituiría en un factor más para tener en cuenta si se pretende mantener la calidad integral de un cultivar de girasol alto-oleico.

Cuando evaluamos relaciones entre la distancia a la fuente de polinizadores con la producción de proteínas en las PE, no se encontraron diferencias significativas entre ambos sitios (10m y 110m), ni para las PSC ni para las PCC. Solo resta mencionar que, en ambos sitios, la cantidad de proteínas fue menor en PCC que en PSC. Estos hallazgos podrían estar vinculados a que la frecuencia de visita no varió en relación con la distancia. Sin embargo, es contradictorio a la cantidad diferencial de polen encontrado sobre los estigmas de las flores expuestas en ambos tratamientos en ración con la distancia (Galletto y col., 2016; Iglesias y col. 2018). Pensamos entonces que la calidad de polen es la variable que estaría influenciando en nuestros hallazgos. Estudios de calidad de polen en relación con estas variables y factores serían necesarios para poner a prueba esta sentencia.

Al considerar la cantidad de humedad de los aquenios de girasol reportamos que existieron variaciones no significativas cuando se compararon las PE de los ensayos (PSC/PCC). Al evaluar la cantidad de humedad en los aquenios de PE y PA, se encontró un incremento del 1,7% en PA de PCC, mientras que para las PA y PE de las PSC se encontraron variaciones no significativas. Los análisis de GLMMs indicaron que el factor fijo "Tratamiento" contribuyó a explicar la distribución de los datos de las PE provenientes de PCC. La influencia del factor fijo podría deberse a la atmosfera diferencial que genera la bolsa de exclusión (voile) con respecto a las condiciones ambientales circundantes, aunque este patrón sólo se encontró al estudiar esta variable en PA de PCC. Cuando evaluamos relaciones entre la cantidad de humedad total y la distancia a la fuente de polinizadores, ninguno de los factores aquí analizados pudo explicar la distribución de los datos. Este es el primer trabajo en el que se incorpora a esta variable para ser analizada con este conjunto de factores. El único reporte de humedad con el que se cuenta es el que provee ASAGIR (2009), y ronda en el 11% al momento de la cosecha.

Al evaluar la cantidad de ceniza se encontró que las variaciones entre ensayos, tratamientos y distancias fueron no significativas. Entonces se propone que la cantidad de cenizas en estas parcelas está influenciada por una combinación de factores, entre ellos, las variaciones fisicoquímicas locales entre y dentro de los

sitios de estudio. Esto último cobra sentido al considerar la composición de las cenizas, siendo principalmente minerales. Cuando se consideran los aquenios provenientes de PE y PA, reportamos una disminución del 0,5% en las PE provenientes de PCC (5,8%) con respecto a las PE provenientes de PSC (6,3%), estas diferencias se mantuvieron en los dos puntos de estudio, a los 10m y a los 100m. Esto permite proponer que el agregado de colmenas estaría contribuyendo a mejorar la calidad del aquenio al disminuir la cantidad de cenizas ya que este indicador está relacionado con la proporción no comestible del aquenio. Este es el primer trabajo en el que se incorpora a esta variable para ser analizada con este conjunto de factores.

Al evaluar la cantidad de hidratos de carbono se encontró que las variaciones entre ensayos, tratamientos y distancia fueron no significativas. Este es el primer trabajo en el que se incorpora a esta variable para ser analizada con este conjunto de factores. Además, cabe mencionar que los valores de carbohidratos obtenidos son superiores a los reportados por Pérez (2003) y FAO (1995) y que no se cuenta con información del cultivar en particular.

Para todas aquellas variables en que la distribución de los datos estuvo influenciada por los factores aleatorios Parcela, Transecto y/o Distancia, se propone que la influencia de estos factores podría deberse a las variaciones fisicoquímicas locales del terreno entre y dentro de las parcelas y a la movilidad de los visitantes florales desde la fuente hacia la matriz de cultivo.

En el cuadro 1, se sintetizan los valores asociados a los diferentes indicadores de calidad obtenidos en este trabajo, los reportados por Pérez (2003), la FAO, la ASAGIR y *Nidera semillas*. Al observar la cantidad de aceite producida, se evidencia que las PE del ensayo con PCC produjeron la cantidad de aceite que más se acerca a lo reportado por *Nidera semillas* para este cultivar, y a lo reportado por Pérez (2003), FAO (1995), ASAGIR (2009) para otros cultivares alto-oleicos relacionados. A la vez, en este grupo de plantas se evidencia la más alta relación aceites/proteínas, lo que redundaría en beneficios al considerar que se trata de una variedad alto-oleico. De acuerdo con los análisis antes presentados, estos resultados están vinculados con el agregado de colmenas de *A. mellifera*.

Al considerar la cantidad de carbohidratos, se observa una alta producción en ambos ensayos y la relación aceites/carbohidratos es, aunque leve, mayor en las plantas expuestas de las PCC. En cuanto a la cantidad de cenizas y humedad, este es el primer trabajo en que se los incluye para evaluar la calidad integral de los achenios.

**Cuadro 1:** se muestran los valores (%) de los indicadores de calidad analizados en este trabajo con lo reportado por, Pérez (2003), FAO (1995), y *Nidera semillas*. \*valor indicado al momento de la cosecha.

		Información generada en este trabajo		Información disponible en la literatura y sitios web oficiales			
		PSC (PE)	PCC (PE)	Pérez	FAO	ASAGIR	<i>Nidera semillas</i>
Indicadores de calidad en %	Aceite	37,6	39,5	44	49	43	47
	Proteínas	18	12	18,5	22,5	-	-
	<b>Aceite/Proteínas</b>	<b>2</b>	<b>3,2</b>	<b>2,4</b>	<b>2,2</b>	-	-
	Carbohidratos (HdC)	35,3	35,5	22	18,5	-	-
	<b>Aceite/HdC</b>	<b>1</b>	<b>1,1</b>	<b>2</b>	<b>2,6</b>	-	-
	Cenizas	6,3	5,8	-	-	-	-
	Humedad	6,3	6,3	-	-	11*-	-

Seguidamente se analizarán los indicadores (variables) de rendimiento que estuvieron influenciadas por los factores considerados en este estudio (no se presentan discusiones acerca de las variables que resultaron explicadas por el modelo nulo). Si bien la cantidad de aceites es un indicador de rendimiento, también es un indicador de calidad, y por ello se lo presentó anteriormente. Cómo ya se mencionó, para establecer las comparaciones entre ensayos y tratamientos, se tomó como valor de referencia a los valores de las variables que fueron recuperados desde las PA de PSC.

Al considerar la masa seca de las 10 semillas extraídas al azar de las PA se observa que las medianas de las PE produjeron 0,46g en las PSC (31% más que en PA del mismo ensayo) y 0,5g en las PCC (85.2% más que en PA del mismo ensayo). Con bases en lo anterior, se reporta un incremento del 8.7% en la masa seca de las PE de PCC al compararlas con las PE de las PSC. Los análisis de GLMMs indicaron que la distribución de los datos se explica únicamente por el factor fijo “Ensayo” (PCC y PSC), lo que nos permite proponer que el incremento

reportado está asociado al servicio ecosistémico de la polinización diferencial otorgado por la abeja doméstica y el ensamble de visitantes florales luego del agregado artificial de colmenas (Galetto y col., 2016; Iglesias y col., 2018). Estos resultados guardan relación con los reportados por du Toit (1990) en cultivares de girasol en Sudáfrica, quien reportó incrementos en la masa seca de aquenios de plantas expuestas a visitantes florales en diseños experimentales comparables.

Al evaluar la masa seca de los aquenios provenientes de los tratamientos (PE y PA), se encontraron valores de masa seca significativamente mayores en las PE y, los análisis de GLMMs indicaron que el factor fijo “tratamiento” y el factor aleatorio “Parcela” contribuyeron a explicar la distribución de los datos de las PE en las PCC, mientras que los factores “Distancia” y “Transecto” contribuyeron a explicar la distribución de los datos de las PE en las PSC. Todo lo anterior muestra que la interacción entre visitantes florales y las plantas de girasol redundó en incrementos de la masa seca. Resultados semejantes fueron reportados por DeGrandi-Hoffman y Watkins (2000) y por Oz y col (2009) (0,36g en PA y 0,54g en PE de 10 aquenios). En acuerdo con DeGrandi-Hoffman y Watkins (2000) y Greenleaf y Kremen (2006) se plantea que estos resultados pueden ser explicados por el efecto positivo que genera el servicio ecosistémico de la polinización diferencial generado luego del agregado artificial de colmenas de *A. mellifera* y que estuvieron presentes en los sitios de trabajo (Galetto y col., 2016; Iglesias y col., 2018).

Cuando evaluamos las relaciones entre la masa seca y la distancia a la fuente de polinizadores, se encontró que, en las PE de PSC, la masa fue superior a los 110m. Por su parte, la masa seca en las PE de PCC no resultaron diferentes a lo largo del transecto. Sin embargo, podemos advertir que en presencia de colmenas de *A. mellifera*, el cultivo tiende a ser más homogéneo en cuanto a la masa seca producida.

Al expresar los valores de masa seca en toneladas por hectárea (Tn/ha), el rendimiento de las PE en las PSC fue 29% mayor que en PA para el mismo ensayo. Por su parte, las PE de PCC mostraron un 94% de aumento en el rendimiento al compararlas con PA del mismo ensayo (Fig. 15). A la par, se

reporta que el aumento en el rendimiento ronda el 24% al comparar plantas expuestas provenientes de los diferentes ensayos (PCC/ PCS), siendo mayores en las PCC.

Al expresar los valores de aceite en Tn/ha se encontró que las PE de PSC produjeron un 47% más que las PA dentro del mismo ensayo. Por su parte, las PE de PCC produjeron un 80% más al compararlas con PA dentro del mismo ensayo (Fig. 16). Con bases en lo anterior se reporta que las plantas de girasol expuestas a visitantes florales/polinizadores generan un aumento en el rendimiento de aceite de entre un 47% y un 80% cuando se las compara con las plantas aisladas de los mismos. Además, se reporta que al comparar plantas expuestas provenientes de PCC y PCS, el agregado de colmenas genera una ganancia del 24% en el rendimiento total a favor de las PCC.

Los resultados obtenidos para los indicadores de rendimiento en este trabajo y el número de visitas diferencial de *A. mellifera* (y otros visitantes florales nativos) a los capítulos de girasol en las PCC (Galetto y col., 2016; Iglesias y col., 2018), nos permite proponer que los incrementos reportados se deben fundamentalmente al servicio de polinización diferencial ofrecido por *A. mellifera* mediante el agregado de colmenas.

Finalmente podemos mencionar que el cultivo con agregado de colmenas presentó indicadores de calidad de los achenios que se ajustan mejor a los estándares agronómicos, como así mayores rendimientos. Con bases en lo anterior, proponemos el manejo integrado de polinizadores y el ejercicio de prácticas amigables con el ambiente (i.e., para mantener las poblaciones naturales o seminaturales de polinizadores) como estrategia adecuada cuando se busque obtener achenios de calidad y maximizar la productividad en cultivares de girasol alto-oleico.

## TABLAS

**Tabla 1:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable masa seca en PE y al ensayo como factor fijo. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ . En negrita se indica el mejor modelo.

Modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>				<b>193,85</b>	<b>0,001374*</b>
2			✓	195,00	< 2,2e-16*
3	✓		✓	197,00	< 2,2e-16*

**Tabla 2:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable masa seca y al tratamiento como factor fijo en el ensayo PCC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

Modelo	Distancia	Parcela	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>		✓		<b>279,24</b>	<b>&lt;2e-16*</b>
2	✓			281,22	0,89839
3	✓	✓		281,24	<2,2e-16*

**Tabla 3:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable masa seca y al tratamiento como factor fijo en el ensayo PSC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

Modelo	Distancia	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>	✓	✓	<b>-7,5639</b>	<b>1,0000</b>
2			-9,5639	1,0000
3			-12,973	<2,2e-16*

**Tabla 4:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable masa seca y a la Distancia como factor fijo en PE del ensayo PCC. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

Modelo	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>		✓	<b>138,91</b>	<b>0,02152 *</b>
2			140,32	-
3	✓	✓	140,91	0,99993

**Tabla 5:** Efecto del ensayo (PCC y PSC) sobre la masa seca de las PE. El símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,15335	0,03530	
Ensayo	0,09122	0,03794	0,0162*

**Tabla 6:** Efectos del tratamiento (PA y PE) sobre la masa seca de los aquenios provenientes del ensayo PCC. El símbolo \* indica un  $p = 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,12221	0,03003	
Tratamiento	-0,03770	0,01973	0,05*

**Tabla 7:** Efectos del tratamiento (PA y PE) sobre la masa seca de los aquenios provenientes del ensayo PSC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	2,3954	0,2949	
Tratamiento	-0,2629	0,3333	0,43**

**Tabla 8:** Efecto de la Distancia sobre la masa seca de los aquenios provenientes de PE del ensayo PCC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,109970	0,035838	
Distancia	0,003218	0,018597	0,86**

**Tabla 9:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de aceite en PE y al ensayo (PCC/PSC) como factor fijo. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

Modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
1		✓	✓	<b>167,25</b>	<b>0,1157</b>
2			✓	167,72	< 2,2e-16 *
3	✓	✓	✓	169,25	0,1157

**Tabla 10:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de aceite y al tratamiento como factor fijo en el ensayo PCC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

Modelo	Distancia	Parcela	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
1		✓	✓	<b>232,80</b>	<b>0,07916</b>
2		✓		233,88	< 2e-16*
3	✓	✓	✓	234,78	0,13793

**Tabla 11:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de aceite y al tratamiento como factor fijo en el ensayo PSC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

Modelo	Distancia	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
1			<b>92,000</b>	
2			92,998	0,3169
3	✓	✓	96,121	0,1132

**Tabla 12:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de aceite y a la Distancia como factor fijo en PE de PCC. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

Modelo	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
1	✓	✓	<b>125,34</b>	<b>0,024317 *</b>
2		✓	128,41	0,007662 *
3			131,53	

**Tabla 13:** Efecto del ensayo (PCC y PSC) sobre la cantidad de aceite en aquenios de las PE. El símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,0267429	0,0028421	
Ensayo	-0,0009491	0,0030543	0,041*

**Tabla 14:** Efecto del tratamiento sobre la cantidad de aceites en aquenios provenientes del ensayo PCC. El símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,0266767	0,0014241	
Tratamiento	-0,0012906	0,0006988	0,046*

**Tabla 15:** Efecto del tratamiento sobre la cantidad de aceites en aquenios provenientes del ensayo PSC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,0269708	0,0022752	
Tratamiento	-0,0009304	0,0011945	0,436**

**Tabla 16:** Efecto de la distancia sobre la cantidad de aceites en aquenios provenientes de PE del ensayo PCC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0.0261965	0.0025213	
Distancia	-0.0001666	0.0008459	0.844**

**Tabla 17:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de proteína total en PE y al ensayo como factor fijo. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
1				<b>164,52</b>	<b>0,0005249 *</b>
2		✓	✓	165,35	0,0547033,
3		✓		165,85	< 2,2e-16 *

**Tabla 18:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de proteína total y al tratamiento como factor fijo en PCC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

modelo	Distancia	Parcela	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
1	✓		✓	<b>219,69</b>	<b>&lt; 2,2e-16 *</b>
2			✓	219,72	< 2,2e-16 *
3	✓	✓	✓	220,17	0,019368 *

**Tabla 19:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de proteína total y al tratamiento como factor fijo en PSC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

modelo	Distancia	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
1			<b>105,97</b>	
2			107,92	0,8199
3		✓	111,92	1,0000

**Tabla 20:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de proteína total y a la Distancia como factor fijo en PE de PCC. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

Modelo	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>			<b>116,23</b>	-
2			117,86	0,5446
3		✓	119,08	0,3774

**Tabla 21:** Efecto del ensayo (PCC y PSC) sobre la cantidad de proteína total en aquenios de las PE. El símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,05672	0,01706	
Ensayo	0,02541	0,01654	0,03*

**Tabla 22:** Efecto del tratamiento sobre la cantidad de proteína total en aquenios provenientes del ensayo PCC. El símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,095649	0,015050	
Tratamiento	-	0,005838	0,048 *

**Tabla 23:** Efecto del tratamiento sobre la cantidad de proteína total en aquenios provenientes del ensayo PSC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,051556	0,005575	
Tratamiento	-0,001765	0,007750	0,82**

**Tabla 24:** Efecto de la distancia sobre la cantidad de proteína total en aquenios provenientes de PE del ensayo PCC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,080065	0,013190	
Distancia	0,006638	0,007336	0,36**

**Tabla 25:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de humedad total en PE y al ensayo como factor fijo. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>				<b>94,752</b>	-
2				96,710	0,8361
3			✓	99,986	$< 2e-16$ *

**Tabla 26:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de humedad total y al tratamiento como factor fijo en PCC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

modelo	Distancia	Parcela	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>				<b>133,16</b>	<b>2,288e-06</b> *
2			✓	135,90	$< 2,2e-16$ *
3		✓		137,09	1,0000

**Tabla 27:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de humedad total y al tratamiento como factor fijo en PSC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

modelo	Distancia	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
1			<b>44,525</b>	
2			45,363	0,2261
3		✓	45,898	0,9998

**Tabla 28:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de humedad total y a la Distancia como factor fijo en PE de PCC. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

Modelo	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
1			<b>116,23</b>	-
2			117,86	0,5446
3		✓	119,08	0,3774

**Tabla 29:** Efecto del ensayo (PCC y PSC) sobre la cantidad de humedad total en akenios de las PE. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,183025	0,026778	
Ensayos	0,004044	0,027451	0,88**

**Tabla 30:** Efecto del tratamiento sobre la cantidad de humedad total en akenios provenientes del ensayo PCC. El símbolo \* indica un  $p < 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,135493	0,009662	
Tratamiento	0,047140	0,008430	2,24e-08*

**Tabla 31:** Efecto del tratamiento sobre la cantidad de humedad total en akenios provenientes del ensayo PSC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,150279	0,010470	
Tratamiento	0,016652	0,008795	0,06**

**Tabla 32:** Efecto de la distancia sobre la cantidad de humedad total en akenios provenientes de PE del ensayo PCC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,080065	0,013190	
Distancia	0,006638	0,007336	0,36**

**Tabla 33:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de ceniza total en PE y al ensayo como factor fijo. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
1				<b>48,011</b>	<b>0,01804 *</b>
2			✓	48,936	< 2e-16 *
3		✓	✓	50,895	0,83980

**Tabla 34:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de ceniza total y al tratamiento como factor fijo en PCC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

modelo	Distancia	Parcela	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
1	✓	✓	✓	<b>62,406</b>	<b>0,004203 *</b>
2		✓	✓	62,447	0,003959 *
3			✓	62,564	< 2,2e-16 *

**Tabla 35:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de ceniza total y al tratamiento como factor fijo en PSC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

Modelo	Distancia	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
1			<b>31,470</b>	
2			33,291	0,6717**
3		✓	35,281	0,9208**

**Tabla 36:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de ceniza total y a la Distancia como factor fijo en PE de PCC. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

Modelo	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
1			<b>40,088</b>	-
2			41,748	0,5598**
3		✓	43,578	0,6803**

**Tabla 37:** Efecto del ensayo (PCC y PSC) sobre la cantidad de ceniza total en aquenios de las PE. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,16671	0,01277	
Ensayo	0,01439	0,01448	0,32**

**Tabla 38:** Efecto del tratamiento sobre la cantidad de ceniza total en aquenios provenientes del ensayo PCC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,189921	0,012916	
Tratamiento	-0,007258	0,004350	0,095 **,

**Tabla 39:** Efecto del tratamiento sobre la cantidad de ceniza total en aquenios provenientes del ensayo PSC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,1545290	0,0071135	
Tratamiento	-0,0008765	0,0062894	0,88 **

**Tabla 40:** Efecto de la distancia sobre la cantidad de ceniza total en aquenios provenientes de PE del ensayo PCC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,179590	0,009345	
Distancia	0,003700	0,007403	0,61 **

**Tabla 41:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de hidratos de carbono total en PE y al ensayo como factor fijo. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>		✓	✓	<b>174,52</b>	<b>0,1247</b>
2			✓	174,88	< 2e-16 *
3	✓	✓	✓	176,52	0,1245

**Tabla 42:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de hidratos de carbono total y al tratamiento como factor fijo en PCC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

modelo	Distancia	Parcela	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>	✓		✓	<b>235,30</b>	<b>0,008437 *</b>
2	✓	✓	✓	236,58	0,064082,
3	✓	✓		238,01	< 2,2e-16 *

**Tabla 43:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de hidratos de carbono total y al tratamiento como factor fijo en PSC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

modelo	Distancia	Transecto	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>			<b>109,43</b>	
2			109,65	0,1820
3		✓	112,53	1,0000

**Tabla 44:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de hidratos de carbono total y a la Distancia como factor fijo en PE de PCC. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ .

Modelo	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>		✓	<b>121,79</b>	<b>4,363e-15 *</b>
2	✓	✓	123,41	0,5396
3			179,38	--

**Tabla 45:** Efecto del ensayo (PCC y PSC) sobre la cantidad de hidratos de carbono total en aquenios de las PE. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,04053	0,20858	
Ensayos	0,23548	0,21558	0,27**

**Tabla 46:** Efecto del tratamiento sobre la cantidad de hidratos de carbono total en aquenios provenientes del ensayo PCC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,261245	0,079856	
Tratamiento	0,002259	0,001466	0,12**

**Tabla 47:** Efecto del tratamiento sobre la cantidad de hidratos de carbono total en aquenios provenientes del ensayo PSC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	0,033179	0,003718	
Tratamiento	-0,003252	0,002449	0,18**

**Tabla 48:** Efecto de la distancia sobre la cantidad de hidratos de carbono total en aquenios provenientes de PE del ensayo PCC. El símbolo \*\* indica un  $p > 0,05$ .

	Valor estimado	Desvío estándar	Pr(> z )
Intercepto	2,719e-01	6,802e-02	
Distancia	-2,339e-05	1,874e-03	0,99 **

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a la FCEFyN-UNC, al Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (CONICET-UNC) y al Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CONICET-UNC) por facilitar las instalaciones para el desarrollo de este trabajo. Se agradece a Maggi M., Iglesias A. y equipo de trabajo por facilitar las muestras para el desarrollo de este trabajo. Se agradece a los organismos otorgantes de los fondos para realizar la investigación y cuyos IR/directores/codirectores son los doctores Leonardo Galetto y Leonardo Amarilla: CONICET, SYNGENTA, SECyT (UNC), ANPCyT (FONCyT). Se agradece a los organismos otorgantes de los fondos para realizar la investigación y cuya directora/codirectora es la Dra. Diana Labuckas: SECYT-UNC (PID. Res. N°313/16), SECyT-UNC (P.I.D. Proyecto CONSOLIDAR. Res. SECyT 455).

## ANEXOS

**Anexo 1:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable masa seca en PA y al ensayo como factor fijo. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ . En negrita se indica el mejor modelo.

Modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>			✓	<b>149.99</b>	<b>&lt; 2.2e-16*</b>
2				150.09	
3	✓		✓	150.39	< 2.2e-16*

**Anexo 2:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de aceite en PA y al ensayo como factor fijo. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ . En negrita se indica el mejor modelo.

Modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>	✓	✓		<b>135.39</b>	<b>&lt; 2.2e-16*</b>
2	✓	✓	✓	137.39	3.911e-05*
3		✓		149.86	< 2.2e-16*

**Anexo 3:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de proteína total en PA y al ensayo como factor fijo. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ . En negrita se indica el mejor modelo.

Modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>	✓	✓		<b>154.93</b>	<b>&lt; 2.2e-16*</b>
2	✓	✓	✓	156.93	0.0009887*
3		✓		157.23	< 2.2e-16*

**Anexo 4:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de humedad total en PA y al ensayo como factor fijo. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ . En negrita se indica el mejor modelo.

Modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>				<b>72.183</b>	<b>6.03e-05*</b>
2		✓		73.485	< 2.2e-16*
3	✓	✓		75.185	< 2.2e-16*

**Anexo 5:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de ceniza total en PA y al ensayo como factor fijo. Los mismos están ordenados de manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ . En negrita se indica el mejor modelo.

Modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>	✓	✓		<b>20.962</b>	<b>&lt; 2.2e-16*</b>
2	✓	✓	✓	22.962	3.928e-08*
3		✓		37.942	< 2.2e-16*

**Anexo 6:** Modelos seleccionados (GLMMs) al considerar la variable cantidad de hidratos de carbono total en PA y al ensayo como factor fijo. Los mismos están ordenados de

manera ascendente de acuerdo con el AIC. El símbolo ✓ indica los factores aleatorios considerados, y el símbolo \*indica un  $p < 0,05$ . En negrita se indica el mejor modelo.

Modelo	Distancia	Transecto	Parcela	AIC	Pr(>Chisq)
<b>1</b>	✓	✓	✓	<b>184.23</b>	<b>0.006707*</b>
2	✓		✓	189.58	< 2.2e-16*
3		✓	✓	197.64	0.122259

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbadi, J., Gerendás, J., y Sattelmacher, B. (2008). Effects of nitrogen supply on growth, yield and yield components of safflower and sunflower. *Plant and Soil*. 306(1-2), 167-180.
- Aizen, M. A. y Harder, L. D. 2009. The global stock of domesticated honeybees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current Biology*. 19: 915-918.
- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., y Klein, A. M. (2009). How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of botany*. 103(9): 1579-1588.
- AOCS. 1998. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society (5th ed.). AOCS Press Champaign, USA.
- ASAGIR. 2009. Cuadernillo Informativo N° 15. Chivilcoy continuos S.A. Buenos Aires. Argentina
- Astiz, V., Iriarte, L. A., Flemmer, A., y Hernández, L. F. (2011). Self-compatibility in modern hybrids of sunflower (*Helianthus annuus* L.) fruit set in open and self-pollinated (bag isolated) plants grown in two different locations/autocompatibilidad de híbridos modernos de girasol (*Helianthus annuus* L.). *Helia*. 34(54): 129-138.
- Bartual, A. M., Bocci, G., Marini, S., y Moonen, A. C. (2018). Local and landscape factors affect sunflower pollination in a Mediterranean agroecosystem. *PLoS one*. 13(9): e0203990.
- Basualdo, M., Bedascarrasbure, E. y de Jong, D. (2000). Africanized honeybees (Hymenoptera: Apidae) have a greater fidelity to sunflowers than European bees. *Journal of Economic Entomology*. 93: 304-307.
- Bommarco, R., Kleijn, D., y Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in ecology y evolution*. 28(4): 230-238.
- Breeze, T. D., Bailey, A. P., Balcombe, K. G., Potts, S. G. (2011). Pollination services in the UK: How important are honeybees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 142: 137-143.
- Cáceres, D. (2003). Agricultura orgánica versus agricultura industrial. Su relación con la diversificación productiva y la seguridad alimentaria. *Agroalimentaria*. 16: 29-39.
- Chandel, R. S., Thankur, R. K., Bhardwaj, N. R. y Pathania, N. (2004). Onion seed crop pollination: a missing dimension in mountain horticulture. *Acta Horticulturae*. 631: 79-86.
- Chapman, R. E., y Bourke, A. F. (2001). The influence of sociality on the conservation biology of social insects. *Ecology Letters*. 4(6): 650-662.
- DeGrandi-Hoffman, G., y Watkins, J. C. (2000). The foraging activity of honey bees *Apis mellifera* and non *Apis* bees on hybrid sunflowers (*Helianthus annuus*) and its influence on cross pollination and seed set. *Journal of Apicultural Research*. 39(1-2): 37-45.
- Delucchi, C., Percibaldi, N. M., Trejo, M., & Eyherabide, G. (2019). Mejoramiento genético del perfil de ácidos grasos del aceite de maíz. *Ediciones INTA*.

- Depar, S., Baloch, M. J., Kumbhar, M. B., & Chachar, Q. D. (2017). Heterotic performance of F1 hybrids for phenological, yield, oil and protein traits of sunflower. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, 33(1), 12-22.
- Duffus, C. Y C. Shaugter. (1980). *Seeds and their Uses*. Ed. John Willey and Sons. Chichester, England. 1a. Ed. Pp 154.
- du Toit, A. P. (1988). Pollination ecology of commercial sunflower (*Helianthus annuus* L.) in South Africa with special reference to the honeybee (*Apis mellifera* L.). MSc. Thesis, University of Pretoria, South Africa.
- FAO. 1995. Manejo de proyectos de alimentación y nutrición en comunidades. Santiago. <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/accalim/manejo/faodef1.html>.
- Fell, R. D. (1986). Foraging behaviour of *Apis mellifera* L. and *Bombus* spp. on oilseed sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of the Kansas Entomological Society*. 59: 72-81.
- Free, JB. 1993. *Insect pollination of crops*. Academic, San Diego
- Galetto, L. Amarilla, L. D., Grilli, G. Torres, C., Vesprini, J., Maggi, M., Huais, P. (2016). Conservación de polinizadores y producción de cultivos en agroecosistemas: dos caras de la misma moneda. Informe técnico a la empresa Syngenta e informes técnicos a Conicet.
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., Morales, J. M., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Carvalheiro, L. G., Chacoff, N. P., Dudenhoffer, J.H., Greenleaf, S. S., Holzschuh, A., Isaacs, R., Krewenka, K., Mandelik, Y., Mayfield, M. M., Morandin, L. A., Potts, S. G., Ricketts, T. H., Szentgyorgyi, H., Viana, B. F., Westphal, C., Winfree, R., Klein, A. M., (2011). Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology Letters*. 14:1062-1072
- Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Leonhardt, S. D., Aizen, M. A., Blaauw, B. R., Isaacs, R., y Morandin, L. (2014). From research to action: enhancing crop yield through wild pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 12(8): 439-447.
- Garibaldi, L. A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B. E., Cunningham, S. A., y Breeze, T. D. (2017). Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. *Trends in ecology y evolution*, 32(1), 68-80.
- Garibaldi, L. A., Pérez-Méndez, N., Garratt, M. P., Gemmill-Herren, B., Miguez, F. E., y Dicks, L. V. (2019). Policies for ecological intensification of crop production. *Trends in ecology y evolution*.
- Ghazoul, J. (2005). Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in ecology y evolution*, 20(7), 367-373.
- Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., y Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229), 1255-1257.
- Greenleaf, S. S., y Kremen, C. (2006). Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(37), 13890-13895.
- Hernandez, L. F. 2008. The pattern of foraging paths of the honeybee (*Apis mellifera* L.) can also explain the appearance of located regions with incompletely developed fruits in the sunflower

- capitulum. *Proceedings of the 17 th International Sunflower Conference Córdoba, Spain* 17: 255-260.
- Hoffmann M., 1994. Observações sobre a polinização entomófila de *Helianthus annuus* L. em Viamão, Rio Grande do Sul. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, Londrina* 23(3), 391-397.
- Huais, P.; Grilli, G.; Amarilla, L.; Torres, C; Galetto, L. (2016) Relictos de bosque Chaqueño como fuentes de polinizadores de soja (*Glycine max*) en agro-ecosistemas de Córdoba, Argentina. *XXVII Reunión Argentina de Ecología*.
- Iglesias A. E., Galetto L. y Maggi M. D. (2018). Polinizadores nativos e introducidos asociados a los cultivos de girasol de (*Helianthus annuus*): efectos en la producción de semillas y aceites y su relación con la configuración del cultivo. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- IPBES. 2016. Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Potts SG, Imperatriz-Fonseca VL, Ngo HT, Biesmeijer JC, Breeze TD, Dicks LV, Garibaldi LA, Hill R, Settele J, Vanbergen AJ, et al., editors.
- Kamler, F. 1997. Sunflower pollination in Czech Republic. *Acta Horticulturae* 437: 407- 411
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., y Tschamtker, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313.
- Kovács, A. (2013). The role of beekeeping in production of oil crops. *APSTRACT: Applied Studies in Agribusiness and Commerce*, 7(1033-2016-83976), 77-82.
- Kremen, C., Williams, N. M., y Thorp, R. W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26), 16812-16816.
- Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., y Winfree, R. (2007). Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology letters*, 10(4), 299-314.
- Kumar, M., y Singh, R. (2003). Pollination efficiency of *Apis mellifera* in seed production of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Entomological Research*, 27(2), 131-134.
- Langridge, D. F., y Goodman, R. D. (1974). A study on pollination of sunflowers (*Helianthus annuus*). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 14(67), 201-204
- Langridge, D. F. y Goodman, R. D. 1981. Honeybee pollination of sunflower cultivars Hysun 30 and sunfola. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 21: 435-438.
- Manavella, P. A., Dezar, C. A., Bonaventure, G., Baldwin, I. T., y Chan, R. L. (2008). HAHB4, a sunflower HD-Zip protein, integrates signals from the jasmonic acid and ethylene pathways during wounding and biotic stress responses. *The Plant Journal*, 56(3), 376-388.

- Marshall, E. J. P., y Moonen, A. C. (2002). Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 89(1-2), 5-21.
- Minckley, R. L., Wcislo, W. T., Yanega, D. y Buchmann, S. L. 1994. Behaviour and phenology of a specialist bee (*Dieunomia*) and sunflower (*Helianthus*) pollen availability. *Ecology* 75: 1406-1419.
- Morandin, L. y Winston, M. 2005. Wild bee abundance and seed production in conventional, organic and genetically modified canola. *Ecological Applications* 15: 871-881
- Moreti A.C.DeC.C., Silva E.C.E.D., Alves M.L.T.M.F., Silva R.M.B., Otsuk I.P., 1993. Initial observations regarding the pollination of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by *Apis mellifera* L. Pindamonhangaba, São Paulo. *Boletim de Indústria Animal* 50, 31-34.
- Nderitu, J., Nyamasyo, G., Kasina, M., y Oronje, M. L. (2008). Diversity of sunflower pollinators and their effect on seed yield in Makueni District, Eastern Kenya. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(2), 271-278.
- Neff, J. y Simpson, B .B. 1990. The role of phenology and reward structure in the pollination biology of wild sunflower (*Helianthus annuus* L. Asteraceae). *Israel Journal of Botany* 39: 197-216
- Oz, M., Karasu, A., Cakmak, I., Goksoy, A., T. y Turan, Z. M. 2009. Effect of honeybee (*Apis mellifera*) pollination on seed set in hybrid sunflower (*Helianthus annuus* L.). *African Journal of Biotechnology* 8: 1037-1043.
- Paiva, G. J., Terada, Y. y de Toledo, V. A. A. 2002. Behaviour of *Apis mellifera* L. Africanized honeybees in sunflower (*Helianthus annuus* L.) and evaluation of *Apis mellifera* L. colony inside covered area of sunflower. *Maringa* 24: 851-855.
- Paiva, G. J., Terda, Y. y de Toledo, V. A. A. 2003. Seed production and germination of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) in three pollination systems. *Maringa* 25: 223-227
- Palombo N. Maestri D., Galetto L. 2017. Evaluación del efecto de polinizadores y de la configuración del agroecosistema sobre el rendimiento y la composición del aceite de semillas de soja (*Glycine max*). Tesina. FCEFyN. UNC.
- Perez, S. G. (2003). *Physico-chemical and functional properties of sunflower proteins*. Wageningen Universiteit.
- Pettis, J. S., Lichtenberg, E. M., Andree, M., Stitzinger, J., y Rose, R. (2013). Crop pollination exposes honey bees to pesticides which alters their susceptibility to the gut pathogen *Nosema ceranae*. *PLoS one*, 8(7), e70182.
- Puškadija, Z., Štefanić, E., Mijić, A., Zdunić, Z., Parađiković, N., Florijančić, T., y Opačak, A. (2007). Influence of weather conditions on honey bee visits (*Apis mellifera carnica*) during sunflower (*Helianthus annuus* L.) blooming period. *Poljoprivreda*, 13(1), 230-233.
- Richards, A. J. 2001. Does low biodiversity resulting from modern agricultural practice affect crop pollination and yield? *Annals of Botany* 88: 165-172

- Ricketts, T. H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., Bogdanski, A., y Morandin, L. A. (2008). Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecology letters*, 11(5), 499-515.
- Ricketts, T. H. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* 18: 1262-1271.
- Rodriguez, D. J., Romero-García, J., Rodríguez-García, R., y Angulo-Sanchez, J. L. (2002). Characterization of proteins from sunflower leaves and seeds: relationship of biomass and seed yield. *Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA*, 143-149.
- Sáez, A., Sabatino, M., y Aizen, M. (2014). La diversidad floral del borde afecta la riqueza y abundancia de visitantes florales nativos en cultivos de girasol. *Ecología austral*, 24(1), 94-102.
- Sarandón, S. J., y Flores, C. C. (2014). *La insustentabilidad del modelo agrícola actual. Agroecología. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Editores: Sarandón, Santiago Javier y Flores, Claudia Cecilia.
- Staffen-Dewenter, I., Potts, S. G. y Packer, L. 2005. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 651-652
- Sumangala, S., y Giriraj, G. (2003). Seed yield, test weight and oil content in sunflower genotypes as influenced by various pollination methods and seasons. *Helia*, 26(38), 143-148.
- Tesfay, G. B. (2010). Contribution of managed honeybees (*Apis mellifera scutellata* Lep.) to sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed yield and quality. Doctoral dissertation, University of Pretoria.
- Torretta, J. P., Medan, D., Roig Alsina, A., y Montaldo, N. H. (2010). Visitantes florales diurnos del girasol (*Helianthus annuus*, Asterales: Asteraceae) en la Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69(1-2), 17-32.
- Torretta, Juan P, Navarro, Fernando, y Medan, Diego. (2009). Visitantes florales nocturnos del girasol (*Helianthus annuus*, Asterales: Asteraceae) en la Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 68(3-4), 339-350.
- Wickham, H. (2009). ggplot2: elegant graphics for data analysis. *Springer New York*, 1(2), 3.

#### **Sitios web consultados y referenciados**

- [https://www.bcr.com.ar/Pages/Publicaciones/informativosemanal\\_noticias.aspx?pldNoticia=1313](https://www.bcr.com.ar/Pages/Publicaciones/informativosemanal_noticias.aspx?pldNoticia=1313).
- [https://www.meteored.com.ar/tiempo-en\\_Cordoba-America+Sur-Argentina-Cordoba-SACO-sactual-13585.html](https://www.meteored.com.ar/tiempo-en_Cordoba-America+Sur-Argentina-Cordoba-SACO-sactual-13585.html).
- <http://www.fao.org/3/y5740s/y5740s16.pdf>.
- <https://niderasemillas.com.ar/argentina/productos/girasol>.