

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CALIDAD NUTRICIONAL DEL POLEN DE COLZA (*Brassica napus*) Y
DETERMINACIÓN DE LA FLORA APÍCOLA ACOMPAÑANTE PARA
LAS ABEJAS MELÍFERAS**

por

Sofía DE LEÓN GUEDES

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Directores: -----

Dra. Estela Santos

Ing. Agr. Mag. Arnaldo Moreni

Tribunal: -----

Dra. Estela Santos

Ing. Agr. Dra. Silvana Abbate

Dra. Belén Branchiccela

Fecha: 18 de diciembre de 2023

Estudiante: -----

Sofía De León Guedes

AGRADECIMIENTOS

A los que hicieron realidad este trabajo final: los apicultores Guzmán Martínez, Rodrigo Méndez y Julio Casas, que nos prestaron con entusiasmo sus lugares de trabajo. A las docentes Silvina Niell y Cristina Cabrera, que nos facilitaron los análisis de laboratorio. Al docente Pablo González Barrios, por ayudarnos a mejorar nuestro análisis estadístico. A Isabel Carriquiry y Sebastián Mazzilli, que con buena disposición me guiaron y respondieron a mis cuantiosas dudas.

A Estela y Lalo, por acompañarme con esmero y llevarme a hacer kilómetros para enseñarme un mundo nuevo. Escucharon mis ideas, atendieron mis errores y fueron pacientes. Fui afortunada de que ellos me introdujeran a la apicultura. Gracias por ocuparse personalmente que este trabajo fuera lo mejor posible y exigir de mí lo necesario para que ello ocurra.

También a los docentes que me acompañaron durante toda esta carrera, dándole un sentido especial a la mejor vocación del mundo. Varios de ellos hicieron más de lo que competía a sus obligaciones para que pudiésemos cumplir nuestros objetivos. Muy especialmente a Ana González, quien fue mi primera puerta para conocer lo que es hacer ciencia y me enseñó la importancia de ser una profesional con humanidad.

A aquellos que establecieron los andamios de mi formación desde siempre: mi mamá y mi papá, mis celadores de sueños, que son casi tan artífices de este título como yo lo soy. A mi familia y mis amigos, que están disfrutando de esta recta final tanto o quizá más que yo. Sus mensajes y miradas de orgullo hablan implícitamente del camino que hemos recorrido, la complicidad que han tenido en el proceso y el reconocimiento de mis esfuerzos. Soy dichosa de tenerlos.

A quienes ya no están: a mis abuelos, especialmente mi abuela Aurora, que luchó ferozmente por la educación de sus hijos y me transmitió el mismo mensaje de forma ineludible desde la infancia hasta el último día. A mi tío Hugo, que el día que me encontró en casa desmotivada me subió a su camioneta para abrirme nuevas perspectivas sobre esta carrera e incidió en el curso de todas las cosas.

Mi egreso es posible gracias a la Universidad pública, gratuita y cogobernada. Me formó con excelencia, pero por sobre todas las cosas lo hizo como profesional crítica al servicio de la prosperidad. Es un orgullo formar parte de ella. Gracias por haberme permitido ser alumna de esta Facultad y también de intercambio. Por el honor de formar parte del Cogobierno Universitario. Por haberme permitido conocer mejor este hermoso país y haberme dado no solo uno, sino dos hogares: Sayago y la gran EEMAC. Por siempre.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN.....	8
SUMMARY.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 SECTOR APÍCOLA.....	12
2.2 <i>BRASSICA NAPUS</i>	13
2.3 POLINIZACIÓN ENTOMÓFILA EN <i>BRASSICA NAPUS</i>	15
2.4 <i>APIS MELLIFERA</i>	17
2.4.1 <i>Características y organización social</i>	17
2.4.2 ALIMENTACIÓN	18
2.4.3 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE POLEN	18
2.5 POLEN.....	20
2.5.1 CONTENIDOS NUTRICIONALES DEL POLEN.....	21
2.5.1.1 Minerales	22
2.5.1.2 Lípidos.....	22
2.5.2 <i>Pecoreo por polen</i>	24
2.6 NÉCTAR Y MIEL	25
2.6.1 <i>Néctar y miel de Brassica napus</i>	25
2.7 GLIFOSATO EN PRODUCTOS DE LA COLMENA.....	26
2.7.1 <i>Efectos en las colmenas</i>	26
2.7.2 <i>Comportamiento químico</i>	28
3. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1 <i>SITIOS DE ESTUDIO</i>	30
3.1.1 <i>Sauce, Canelones</i>	30
3.1.2 <i>Arrayanes, Maldonado</i>	31
3.2 DISEÑO	31
3.3 MUESTREO	32
3.4 DETERMINACIONES	33
3.4.1 <i>Análisis palinológico</i>	34
3.4.2 <i>Proteína cruda</i>	36
3.4.3 <i>Extracto etéreo</i>	37
3.4.4 <i>Minerales</i>	38
3.4.5 <i>Miel</i>	39
3.4.6 <i>Glifosato</i>	41
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	42
3.5.1 <i>Composición relativa de colza</i>	42
3.5.2 <i>Análisis de proteína cruda, extracto etéreo y minerales</i>	43
3.5.3 <i>Análisis de Componentes Principales</i>	43
3.6 CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS DE LOS CULTIVARES.....	43
3.7 CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA.....	44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45

4.1	CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA.....	45
4.1.1	<i>Precipitación acumulada y temperatura</i>	45
4.1.1.1	Sauce	45
4.1.1.2	Arrayanes.....	46
4.1.2	<i>Precipitación diaria durante el período de muestreo</i>	47
4.1.3	<i>Temperatura media diaria y heladas durante el período de muestreo</i>	48
4.1.3.1	Sauce	48
4.1.3.2	Arrayanes.....	49
4.2	ANÁLISIS FENOLÓGICO DE LOS CULTIVARES.....	49
4.3	CARACTERIZACIÓN DE LA FLORA APÍCOLA.....	51
4.3.1	<i>Distribución relativa</i>	52
4.3.1.1	Sauce	52
4.3.1.2	Arrayanes.....	53
4.4	ANÁLISIS DE LA CONTRIBUCIÓN DE <i>BRASSICA NAPUS</i>	55
4.5	CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA Y EXTRACTO ETÉREO	59
4.5.1	<i>Proteína cruda</i>	60
4.5.2	<i>Extracto etéreo</i>	62
4.6	CONTENIDO DE MINERALES	65
4.7	CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES ANALIZADAS	68
4.8	ANÁLISIS PALINOLÓGICO DE LA MIEL	70
4.9	ANÁLISIS DE GLIFOSATO EN POLEN	72
5.	CONCLUSIONES	73
6.	BIBLIOGRAFÍA	76
7.	ANEXOS	86

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Figura No.	Página
Figura 1 Ubicación del apiario y del cultivo de colza en Sauce, Canelones.....	30
Figura 2 Ubicación del apiario y del cultivo de colza en Arrayanes, Maldonado	31
Figura 3 Extracción de muestras en colmenas junto al cultivo en Sauce, Canelones	32
Figura 4 Muestras de polen apícola (o corbicular) extraído de colmenas seleccionadas al azar en Sauce, Canelones	33
Figura 5 Polen apícola separado por color mediante observación	35
Figura 6 Granos de polen corbicular en el microscopio óptico a 40x	36
Figura 7 Homogeneización y afinamiento de polen apícola de <i>B. napus</i> en mortero	37
Figura 8 Determinación de peso conocido para medición de parámetros	38
Figura 9 Proceso de obtención de parámetros de calidad del polen	39
Figura 10 Granos de polen presentes en muestras de miel	40
Figura 11 Preparación de muestras para análisis en espectrómetro de masas para la detección de glifosato y AMPA.....	41
Figura 12 Temperatura media mensual y precipitaciones en comparación con serie histórica en Sauce, Canelones	45
Figura 13 Temperatura media mensual y precipitaciones en comparación con serie histórica en Arrayanes, Maldonado	46
Figura 14 Ubicación temporal de las precipitaciones diarias durante el período de muestreo para los respectivos apiarios.....	47
Figura 15 Temperatura media diaria registrada e indicador de heladas agrometeorológicas registradas durante el período de muestreo para el Sauce, Canelones	48
Figura 16 Temperatura media diaria registrada e indicador de heladas agrometeorológicas registradas durante el período de muestreo para Arrayanes, Maldonado.....	49
Figura 17 Cultivo de <i>B. napus</i> cv. INTA Guyunusa el 29/8 (48% de inflorescencias abiertas) en Sauce, Canelones	50
Figura 18 Cultivo de <i>B. napus</i> cv. Nuvette (20% de inflorescencias restantes) el 25/10 en Arrayanes, Maldonado.....	51
Figura 19 Distribución relativa de las especies botánicas según fecha de muestreo en Sauce, Canelones.....	53
Figura 20 Distribución relativa de las especies botánicas según fecha de muestreo en Arrayanes, Maldonado	54
Figura 21 Floración de cvs. INTA Guyunusa y Nuvette con media por apiario para contribución de colza.....	57
Figura 22 Media y variabilidad de la composición relativa de colza según fecha de muestreo para cada apiario	58
Figura 23 Media y variabilidad de la composición relativa de colza según colmena y apiario.....	59
Figura 24 Contenido de proteína cruda según fecha de muestreo y momento de floración por apiario.....	61
Figura 25 Media ajustada de proteína cruda según apiario.....	62
Figura 26 Contenido de extracto etéreo según fecha de muestreo acorde al momento de floración en cada apiario	64
Figura 27 Contenido de extracto etéreo según apiarios	65

Figura 28 Contenido de calcio, magnesio, hierro y zinc en cada apiario según fecha de muestreo	67
Figura 29 Media y variabilidad de calcio, magnesio, hierro y zinc.....	68
Figura 30 Análisis de Componentes Principales para los parámetros de calidad del polen de <i>B. napus</i> evaluados.....	69
Figura 31 Proporción de las distintas especies botánicas presentes en la miel según colmena	71

Tabla No.	Página
Tabla 1 Medias y desvío estándar de los niveles de composición relativa de polen de <i>B. napus</i>	56
Tabla 2 Medias ajustadas y desvío estándar de los niveles de proteína cruda en polen de <i>B. napus</i>	61
Tabla 3 Medias ajustadas y desvío estándar de los niveles de extracto etéreo.....	63
Tabla 4 Medias ajustadas y desvío estándar de los niveles de calcio, magnesio, hierro y zinc.....	66

RESUMEN

La colza (*Brassica napus L.*), oleaginosa invernal, tiene importancia agrícola y apícola debido a su aporte de polen y néctar al final del invierno. La polinización mejora el rendimiento y calidad del cultivo, además de promover la uniformidad en la formación y maduración de silicuas. Es vital entender la relación entre las abejas melíferas y la floración de la colza. En un estudio realizado en Sauce, Canelones y Arrayanes, Maldonado, se analizaron los recursos que *Apis mellifera L.* utiliza del cultivo para alimentar tres colmenas seleccionadas al azar en cada apiario. Se investigó el polen y la miel recolectados durante la floración usando técnicas palinológicas. Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo fueron considerablemente inferiores al promedio histórico. Resultados clave incluyen: a) Además del polen de colza, las abejas recolectaron de dieciocho especies botánicas adicionales. Lo hicieron proporcionalmente más de lo esperado. b) El polen de colza fue una importante fuente de alimento a pesar del déficit hídrico. Las colmenas mostraron variabilidad en el momento de máximo aprovechamiento de la colza, indicando diferentes preferencias pese a la misma oferta floral. c) Se encontraron valores particularmente bajos de proteína cruda y extracto etéreo, similares a los reportados en condiciones semiáridas. d) Los niveles minerales fueron bajos para magnesio, pero altos para calcio, hierro y especialmente zinc, con valores tres veces mayores a los reportados. e) La miel de una única colmena resultó monofloral de colza (>60%), existiendo un aporte importante de plantas perennes. f) No se detectaron trazas de glifosato ni AMPA en las muestras tomadas después de 100 días de su aplicación. g) Aunque no hubo una colmena que muestre una preferencia prominente por la colza, hubo diferencias entre colmenas y apiarios. h) Las abejas concurren más al cultivo a medida que avanza la floración y aumenta el contenido lipídico. i) Se hallaron correlaciones positivas entre varios parámetros de calidad. La investigación destaca la importancia de entender las preferencias alimenticias de las abejas para asegurar un buen desarrollo de las colmenas y anticiparse a contingencias dadas por anomalías climáticas. La abeja se reconoce como un valioso vector polinizador de colza.

Palabras Clave: colmenas, colza, miel, nutrición, polen

SUMMARY

Rapeseed (*Brassica napus* L.), a winter oilseed, holds agricultural and apicultural significance due to its contribution of pollen and nectar at the end of winter. Pollination enhances crop yield and quality, as well as promotes uniformity in pod formation and maturation. It is crucial to understand the relationship between honeybees and rapeseed flowering. In a study conducted in Sauce, Canelones, and Arrayanes, Maldonado, the resources utilized by *Apis mellifera* L. from the crop to feed three randomly selected hives in each apiary were analyzed. Pollen and honey collected during flowering were investigated using palynological techniques. Precipitation during the crop cycle was considerably below the historical average. Key results include: a) In addition to rapeseed pollen, bees collected from eighteen additional plant species, in proportions higher than expected. b) Rapeseed pollen was a significant food source despite the water deficit. Hives showed variability in the timing of peak rapeseed utilization, indicating different preferences despite the same floral offer. c) Particularly, low levels of crude protein and ether extract were found, similar to those reported in semi-arid conditions. d) Mineral levels were low for magnesium but high for calcium, iron, and especially zinc, with values three times higher than reported. e) Honey from a single hive was predominantly rapeseed (>60%), with a significant contribution from perennial plants. f) No traces of glyphosate or AMPA were detected in samples taken 100 days after application. g) While no hive showed a prominent preference for rapeseed, differences were observed between hives and apiaries. h) Bees visit the crop more as flowering progresses and lipid content increases. i) Positive correlations were found between various quality parameters. The research highlights the importance of understanding bee feeding preferences to ensure the proper development of hives and anticipate contingencies due to climatic anomalies. Bees are recognized as valuable pollinators of rapeseed.

Keywords: hives, honey, nutrition, pollen, rapeseed

1. INTRODUCCIÓN

La colza (*Brassica napus L.*) es una oleaginosa de la familia de las Brassicáceas que se cultiva durante el ciclo invernal, proveniente de Europa y Asia. Este cultivo es conocido comúnmente por haber sido una alternativa de gran relevancia debido al alza en su precio y su importancia relativa para los márgenes de ganancia de los cultivos de invierno. También se conoce por sus ventajas respecto al manejo de la rotación, entre las que se menciona la posibilidad de cortar el ciclo de enfermedades de invierno (asociadas a los cereales) e incorporar una alternativa a los cultivos de cobertura (“La colza crece”, 2020). A su vez, es un cultivo con ciclo más corto que permite una cosecha más temprana para la implantación de un cultivo de segunda en verano y también aporta la posibilidad de rotar principios activos para el control de malezas.

En Uruguay su principal uso y destino comercial es Reino Unido, Emiratos Árabes Unidos y la Unión Europea, este último el tercer importador mundial (Rava & Souto, 2017) a través de la exportación de granos para la elaboración de biodiésel, mientras posee importancia en la industria local a través de la producción de aceite para consumo humano y harina de colza (Rava, 2022).

Se entiende relevante el rol de los biocombustibles en nuestro país, debido al estímulo a su producción y utilización por parte de Alcoholes del Uruguay y a nivel mundial por su contribución a la seguridad energética, a la vez que se generan alternativas que atenúen los efectos del cambio climático (Hernández & Hernández, 2008; Rava, 2022). Acorde al Canola Council of Canada (2015) y a Alcoholes del Uruguay (s.f.), su producción también deriva en el aprovechamiento de los subproductos de la creación de biocombustibles, (el DDGS o pellets de harina de canola) como ración proteica para ganado, incrementa la eficiencia de uso de recursos y a su vez posee el beneficio de incorporar un suplemento de buena calidad, palatable y de producción nacional.

La formación biológica del grano se da de forma autógena pero depende en gran medida de la fecundación alógama, por lo tanto en la industria agrícola existe interés de fomentar la fecundación alógama a partir de la polinización entomófila. *Apis mellifera L.* en particular, es el polinizador más importante desarrollando una fuerte interacción insecto-planta. Esta interacción permite obtener una alta concentración de lípidos en el endospermo, un mayor establecimiento, rendimiento, mayor número de granos por silicua, cantidad de silicuas y formación temprana de las mismas, cese temprano de la floración, maduración más rápida, uniforme, y mayor germinación de las semillas (Mazzilli et al., 2016; Westcott & Nelson, 2001). Todos estos factores pueden contribuir a obtener un cultivo de mayor calidad que es más fácil de cosechar.

Se espera que el cambio climático modifique los recursos ambientales de las abejas debido a cambios en la fenología y distribución de las plantas. Por lo tanto, es necesario mantener y/o desarrollar recursos florales dentro de los agroecosistemas para prevenir el impacto negativo de la actividad humana y mantener la población de abejas (Di Pasquale et al., 2013).

Los diversos factores que regulan el desarrollo y la productividad de las colonias de abejas, son de particular interés no solo desde un punto de vista científico, sino también económico. Comprendiendo las relaciones causales entre las diferentes variables, se podrían manipular parámetros específicos, como seleccionar colmenas para que la producción de miel tenga una procedencia específica, acorde a la preferencia de las colmenas (Keller et al., 2005b).

Si se ofrece más información a los productores apícolas sobre el valor nutricional del cultivo de colza y se cuantifica el interés en la flora acompañante, se podrá conocer con mayor certeza cómo lograr el desarrollo apropiado de las colmenas, así como el valor de las abejas melíferas como posibles vectores polinizadores de colza.

El objetivo general de este trabajo fue conocer el aporte de polen y néctar que ofrece el cultivo de colza para las colonias de abejas *Apis mellifera* y comparar la oferta floral apícola acompañante, en diferentes ambientes de producción de colza.

Las hipótesis planteadas son: a) las abejas utilizan la colza como fuente de néctar y polen a la vez que utilizan también otros recursos polínicos que estén en el ambiente, b) el polen de colza posee valores nutricionales óptimos para la dieta de las abejas, c) Los niveles de colza pecoreados a través del tiempo cambian acorde al momento fenológico y a la oferta polínica del ambiente y d) No se encuentra glifosato en polen de *B. napus* muestreado a floración si su única vía de contaminación es mediante aplicación durante el barbecho.

Los objetivos específicos fueron determinar, mediante técnicas de palinología, la flora apícola acompañante en el período de floración de la colza, la composición relativa de la colza pecoreada a través del tiempo, el valor nutricional del polen de este cultivo y la presencia de glifosato en él.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 SECTOR APÍCOLA

La actividad apícola en nuestro país existe desde la primera mitad del siglo XIX, pero no fue hasta principios del siglo pasado que se consolidó como actividad comercial. En el año 1929 se hizo la primera exportación de miel, formándose al año siguiente la primera Sociedad de Apicultores. Acorde al Observatorio Granjero (2021), desde ese momento ocurrió un crecimiento sostenido de la actividad en nuestro país.

La producción nacional está enfocada en la producción de miel para la exportación (90-95%) y no se poseen datos certeros sobre el consumo interno, que posee comportamiento variable (aunque con un marcado pico de ventas en otoño-invierno) y muchas veces se venden saldos del mercado interno al regional (Observatorio Granjero, 2021). No obstante, los bajos precios del mercado internacional hacen que exista cierta presión para colocar el producto en el mercado interno y fomentar su consumo a nivel nacional (Bianchi & Carrau, 2021). También se manejan la apicultura y la producción de otros productos en menor medida, como el propóleos, la cera, apitoxina y polen, tanto para consumo de las abejas como para consumo humano.

Los precios promedio de exportación alcanzaron su punto más bajo en el año 2020 y desde entonces la tendencia ha sido al alza, aunque no es suficiente para cubrir los costos. De todas formas se han alcanzado récords de exportación (Bianchi & Carrau, 2021). Según la base de datos de la Food and Agriculture Organization (base de datos FAOSTAT, en la visualización de datos para producto Colza de en subsección Cultivos y Productos de Ganadería de la sección Producción, para el año 2021), China es el líder mundial de producción, alcanzando un cuarto de la producción mundial, mientras Uruguay ocupa el vigésimo lugar. La Oficina de Estadísticas Agropecuarias (DIEA, 2022) indica que, en Uruguay, la miel representa un 0.8% de las exportaciones agropecuarias, alcanzando un valor de 36 millones de dólares al 2021.

La cadena agroalimentaria de miel en nuestro país está compuesta por colmenas, salas de extracción, acopio, industrializadores con envasado, productores y exportadores (Observatorio Granjero, 2021). La última producción anual de miel registrada fue de 12225 toneladas (DIEA, 2022). El promedio de la última década se sitúa en 11622 toneladas. Existen 405 salas habilitadas y 16 establecimientos de acopio (DIEA, 2022).

El número de propietarios de colmenas sufrió su mínimo de la década en 2020 y ahora se encuentra levemente por encima (con 2608 propietarios registrados). Sin embargo, el número de colmenas presenta un crecimiento sostenido (aunque con un descenso entre 2018 y 2020) y números récord (aproximadamente 600000), lo que indica una concentración de la producción (DIEA, 2022).

La cadena de comercialización posee dos segmentos de precios a nivel internacional: la miel comercializada a granel con escasa caracterización o la miel

fraccionada o tipificada. En general, la miel en Uruguay suele ser sin tipificar o a granel, con precios muy fluctuantes. El sector a nivel local posee el desafío de un decrecimiento en los rendimientos de las colmenas, financiamiento, el acceso a mejores mercados y problemas de coexistencia asociados a la forma de uso del suelo que determinan la exposición a agroquímicos con determinados efectos tóxicos (Aguirre et al., 2022).

Una de las fortalezas de nuestro país radica en el vínculo de los productores con el Estado y la existencia del sistema de trazabilidad de la miel, lo que indica que podría crecer la colocación en mercados exigentes. A nivel de ventajas comparativas, el hecho de estar situados en clima templado y nuestro bioma de pradera logra que el Uruguay sea un buen sitio para que prosperen los polinizadores y exista producción sostenida. Estas condiciones suelen resultar en mieles naturales de pradera y eucaliptos, así como otras variedades multiflorales (Uruguay Miel, s.f.).

La incorporación de colza en nuestros sistemas de producción genera una oportunidad en los apicultores al brindar el servicio de polinización (no formalizado aún) y lograr su propia producción de miel, coincidiendo la floración de la misma con un momento de relativa baja oferta de floral (a finales de invierno), por lo que se considera un cultivo particularmente ventajoso para los productores apícolas cuando faltan otros recursos (Mazzilli, Abbate et al., 2020).

2.2 *BRASSICA NAPUS*

El género *Brassica* comprende alrededor de 338 géneros y 3700 especies de importancia científica y económica (Bailey et al., 2006). La tribu *Brassicaceae* comprende 50 géneros de tipo monofilético, (es decir, con un antepasado común), en el cual está comprendido el género *Brassica*, que contiene 37 especies (Bailey et al., 2006). La Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD, 1997), describe que *B. napus L.*, en particular, surge de la hibridación natural entre dos especies diploides, *B. oleracea* (n=9) y *B. rapa* (n=10) (U, 1935, como se cita en OECD, 1997). Esta especie tiene múltiples orígenes y la mayoría de las formas cultivadas de *B. napus* se derivaron de un cruce de especies ancestrales estrechamente relacionadas de *B. rapa* y *B. oleracea*, siendo esta última la donante materna (OECD, 1997).

Acorde a la Canadian Food Inspection Agency (CFIA, 2017) la colza ha sido cultivada desde la antigüedad en Asia, Europa y el noroeste de África. Los escritos sánscritos de 2000 a 1500 a.C se referían a *B. napus* y mostaza, identificándose como plantas de tipo oleaginoso, mientras que los escritos griegos, romanos y chinos de 500 a 200 a.C. mencionan la existencia de *B. rapa* (Downey & Röbbelen, 1989, como se cita en OECD, 1997).

En Europa, se cree que la domesticación ocurrió a principios de la Edad Media. Las plantaciones comerciales de colza se registran en los Países Bajos en el siglo XVI (OECD, 1997). El principal uso de la colza en tiempos antiguos era como aceite para lámparas o jabón, aún no se conocía la variedad apta para consumo. Más tarde llegó a utilizarse como lubricante en máquinas de vapor y otros usos industriales (OECD, 1997; CFIA, 2017).

En Canadá, motivados por problemas de suministros posteriores a la Segunda Guerra Mundial, se empezó a buscar alternativas desde el mejoramiento genético que permitieran el autoabastecimiento en aceite y biomasa para combustible. Así es que para el año 1974, se desarrolló en dicho país la primera variedad agronómicamente de colza, con bajo ácido erúxico y glucosinolatos. Hacia el año 1978 el término Canola que deriva de “Canadian Oil Low Acid” fue adoptado para identificar estas variedades (CFIA, 2017).

B. napus es la segunda oleaginosa de importancia a nivel mundial. Se sembraron 36.7 millones de hectáreas en el año 2021 (FAO, 2021, como se cita en Ritchie et al., 2023), siendo Canadá el país que más tierra cultivable utilizó para este cultivo, estimándose 8.95 millones de hectáreas. Esto representa un cuarto de la superficie sembrada a nivel mundial.

El mayor productor mundial es China, con 14.71 millones de toneladas, mientras que nuestro país produce 183 mil toneladas, ubicándose primero en la región en términos de volumen (base de datos FAOSTAT, en la visualización de datos para Colza en subsección Cultivos y Productos de Ganadería de la sección Producción, para el año 2021). Acorde a datos recopilados por el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI, por su sigla en inglés), de la OECD, la FAO, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco Mundial, publicados por FAO et al. (2022), la colza ocupa el primer lugar en países de ingresos medianos a altos en términos de incentivos de precios a la producción, en relación con su valor productivo (casi un 70%). Esto podría sugerir la importancia de los productos derivados de este cultivo en términos de soberanía energética y acceso a la alimentación en países con cierto nivel de desarrollo.

Rava y Souto (2017) detallan que “el peso relativo del aceite de colza en el comercio total de aceites y grasas ocupa el cuarto lugar y no supera el 5%, correspondiente a 4.5 millones de toneladas en el último trienio” (p. 18). El cultivo de *B. napus* a nivel nacional es la novena materia prima en términos de volumen producido y el doceavo en términos de exportación, generando divisas al país por un valor de 86.043 millones de dólares (base de datos FAOSTAT, en la descarga de datos de Índice de Producción Bruto para grupo de producto Colza en Uruguay, en subsección Índices de Producción de la sección Producción, para el año 2021).

En Uruguay, se cultivaron en la zafra 2021/22 un total de 162 mil hectáreas de *B. napus* y *B. carinata*, lo cual implica un aumento de superficie de un 42% respecto al ciclo previo (Rava, 2022). El rendimiento fue de 300 mil toneladas, lo cual es un volumen 61% mayor a la cosecha anterior y a su vez se espera un rendimiento para la zafra 2022/23 de 470 mil toneladas en 267 mil hectáreas (Rava, 2022; Uruguay XXI, 2022). Acorde a la Asociación Civil Uruguaya para la Protección de los Obtentores Vegetales (URUPOV, 2022), el principal departamento donde se implantó este cultivo es Soriano, acumulándose la mitad del área sembrada entre este departamento, Colonia y Río Negro.

En cuanto a la fenología del cultivo, en nuestro país existen variedades primaverales e invernales clasificadas de esta manera acorde al largo de ciclo y el momento de floración. Las más sembradas en nuestro país son las primaverales,

que poseen una floración más tardía en el año, más acotada en el tiempo y más heterogénea en los estadios de las inflorescencias (Castro et al., 2014; Mazzilli, Bonansea et al., 2020). La colza posee un ciclo corto en comparación con otros cultivos de invierno.

Respecto a los materiales genéticos específicos *Gygunusa INTA* y *Nuvette*, son cultivares de tipo primaveral. Para los ensayos del Instituto Nacional de Semillas e Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INASE & INIA, 2022) en la zona sur del país (INIA La Estanzuela), *Gygunusa INTA* obtuvo un rendimiento de 3.863 ton.ha⁻¹, con contenido de aceite en grano de un 43.75% y peso de 1000 granos de un 2.62%, ambos valores inferiores a casi todos los cultivares primaverales evaluados en La Estanzuela para el año del informe. Para el caso de *Nuvette*, el cultivar obtuvo 4.729 ton.ha⁻¹ de rendimiento, con un 47.16% de contenido de aceite en grano y peso de mil semillas de 2.62 g, en la mediana de los cultivares evaluados (este cultivar se utiliza como testigo en las evaluaciones) (INASE & INIA, 2023).

El cultivo de colza es particularmente sensible al estrés abiótico durante el período de floración. Altas temperaturas y heladas pueden afectar la producción de flores y el rendimiento del cultivo y por consiguiente la oferta floral para las abejas. Es particularmente sensible a heladas en floración y al estrés hídrico, siendo la intensidad menos importante que el momento de ocurrencia (Mazzilli, Bonansea et al., 2020, 2021; Raza, 2020).

La etapa de floración junto a la elongación del tallo son las más sensibles a la sequía, lo que puede conducir a una disminución del rendimiento (Ahmadi & Bahrani, 2009; Tesfamariam et al., 2010). La floración es el momento de mayor uso de agua del cultivo. En condiciones de déficit hídrico, se acelera la senescencia. En condiciones no limitantes, la disponibilidad hídrica potencia la formación de nuevas flores (Tesfamariam et al., 2010) lo cual beneficia directamente a las abejas.

2.3 POLINIZACIÓN ENTOMÓFILA EN *BRASSICA NAPUS*

Cuando el polen de una especie angiosperma se deposita en un pistilo compatible o en un cono femenino (es decir, durante la polinización), germina y forma un tubo polínico que transporta los espermatozoides hasta el óvulo o gametofito femenino (Stephen, 2014). Existe una coevolución dependiente entre las plantas del género *Brassicaceae* y los polinizadores (Palmer, 1959). El polen pegajoso, color amarillo y la simetría bilateral de las flores (zigomorfía) de *B. napus* representan adaptaciones para la dispersión entomófila en lugar del viento, aunque puede ocurrir cierto grado de anemofilia (Cresswell et al., 2004). La mencionada morfología de la flor y la naturaleza de floración concentrada y masiva del cultivo hacen que las flores de la colza sean una fuente atractiva de polen y néctar para los insectos (Westcott & Nelson, 2001).

Las oleaginosas en general dependen en grado considerable de la polinización cruzada. Incluso considerando que *B. napus* es una planta que tiene cierta autocompatibilidad, la alogamia tiene efectos significativos en la formación de silicuas y en la concreción de los componentes del rendimiento (Abrol, 2007; Mazzilli, Abbate et al., 2020).

El incremento de producción de semilla de colza debido a la polinización entomófila puede ir desde el doble (Latif et al., 1960) hasta un 13% (Free & Nuttall, 1968). En estudios realizados en nuestro país, se encontró que los incrementos en rendimiento pueden darse entre 16 y 31% (Mazzilli et al., 2016). La interdependencia entre las abejas y las Brassicáceas se manifiesta en el hecho de que el polen de las Brassicáceas es muy pegajoso y requiere vectores de polen para su transferencia (Abrol, 2007).

Las abejas melíferas que buscan alimentos tienden a moverse de un grupo de flores a otro, en lugar de visitar todas las flores de un mismo grupo (Langridge & Goodman, 1975). Con frecuencia, estos autores observaron que las abejas visitaban uno o dos grupos de flores en una planta antes de pasar a otra planta. Estas actividades de cambio de grupos de flores aumentan la polinización cruzada.

El efecto de los polinizadores sobre el rendimiento también depende de si el cultivo de interés es una oferta floral cercana, más allá de si es la más abundante. A su vez, es de esperar que los polinizadores apuesten a una dieta multifloral y no frecuenten únicamente el cultivo comercial. Koutensky (1958), como se cita en Abrol (2007), demostró que la producción en campos con colmenas junto al cultivo era de 2.095 ton.ha⁻¹, pero con colmenas a una distancia de 2.4 km, la producción era solo de 1.275 ton.ha⁻¹.

Westcott y Nelson (2001) expresan que el cultivo de colza es particularmente atractivo para los polinizadores por producir elevadas cantidades de polen y néctar, viéndose considerables efectos en el rendimiento de la miel por colmena cuando las mismas se sitúan cerca de los cultivos.

Apis mellifera puede llegar a representar en algunos casos aproximadamente el 64% de los visitantes de las flores (Delaplane & Mayer, 2000), mientras que en otros su representación alcanza el 81% (Adegas & Nogueira-Couto, 1992). No obstante, Westcott y Nelson (2001) sugieren que otros polinizadores como los del género *Bombus spp.* poseen mayor resiliencia en condiciones adversas, por lo que no podría subestimarse el efecto de especies nativas para sostener la polinización en el cultivo. De cualquier forma, este efecto solamente podría observarse en el estadio más tardío de la floración, debido a que las especies de *Bombus* presentes en Uruguay se observan fuera de su hibernación -de forma más probable- a partir del mes de octubre.

Para que el servicio de polinización en el cultivo se produzca de manera eficiente es necesario que la colmena sea manejada de forma correcta por los apicultores. Abrol (2007) menciona aspectos fundamentales como la fortaleza de la colonia, la cantidad de colmenas colocadas en el tiempo de floración del cultivo, el momento de colocación, la distribución de las mismas y las condiciones climáticas en el momento del pecoreo.

Se indica específicamente que para maximizar la eficiencia de la polinización si hay otros cultivos florales atractivos cerca, como el trébol, en plena floración, las colonias no deben ser trasladadas al campo de canola hasta que haya suficiente alimento disponible. De lo contrario, muchas abejas

podrían visitar el cultivo adyacente incluso cuando la canola está en plena floración. (Westcott & Nelson, 2001, p. 125)

Según Free (1960), esperar a trasladar las colonias de abejas melíferas a un cultivo hasta que comience la floración, aumenta la efectividad de la polinización, especialmente cuando el cultivo tiene un período de floración corto o es menos atractivo para las abejas que otros cultivos cercanos en floración. La colza es muy atractiva para las abejas y tienen un período de floración prolongado en comparación con otros cultivos en floración, como los árboles frutales, por lo que las colonias podrían ser trasladadas a los campos una vez que se alcance una densidad de floración de 20 flores.(m²)⁻¹. Free (1963) también indica que las colonias no deben ser llevadas a cultivos antes de que las plantas florezcan, de lo contrario, muchas de las abejas seguirán visitando especies a las que estaban previamente condicionadas y, a menos que el cultivo al que se muevan sea más atractivo, es probable que no cambien a él.

Acorde a Hudewenz et al. (2013), es importante también tener en cuenta que las diferentes variedades de canola se comportan diferente respecto a la polinización, dado que dependen en distintos grados de la polinización cruzada y sus características genéticas las hacen producir diferentes calidades de néctar y polen. Esto sumado a la interacción genotipo ambiente del cultivar, sugiere que sea necesario estudiar para distintas regiones y variedades el efecto de la colmena sobre el rendimiento del cultivo, así como sobre el desempeño y desarrollo de las colmenas.

2.4 APIS MELLIFERA

2.4.1 Características y organización social

Apis mellifera es una especie de insecto perteneciente al orden *Hymenoptera* y a la familia Apidae. Esta familia se caracteriza por organizarse mediante *eusocialidad*, un término asociado a la división reproductiva del trabajo, el cuidado cooperativo de las crías y la superposición de generaciones que ha permitido evolucionar a varios himenópteros de forma tal que se transformaron en organismos dominantes para los ecosistemas terrestres (Cardinal & Danforth, 2011).

Según indica Winston (1991), las abejas melíferas probablemente se originaron en África tropical y se extendieron desde el sur de África hasta el norte de Europa y hacia el este hasta India y China. Fueron llevadas a América con los primeros colonizadores y ahora se distribuyen por todo el mundo. Las primeras abejas aparecen en el registro fósil en depósitos que datan de aproximadamente 40 millones de años, en el período del Eoceno. Tienen una anatomía altamente especializada, su cabeza alberga antenas y ojos compuestos para la detección de olores y movimientos. El aparato bucal está adaptado para recolectar néctar y polen. El tórax presenta patas articuladas y alas membranosas que le permiten volar y moverse con agilidad.

Las abejas melíferas han desarrollado pelos ramificados y engrosados en las patas traseras llamadas corbículas, en los cuales pueden transportar 5 millones de granos de polen, y en esa estructura se transporta hasta el nido para utilizarse como

alimento para las crías. Además las abejas poseen comportamientos especializados para la comunicación y la distribución eficiente en el territorio disponible, estando en asociación con las plantas angiospermas (Abrol, 2007).

2.4.2 Alimentación

Las abejas melíferas (*A. mellifera L.*) adultas, dedican la mayor parte de su vida a la fase de recolección de néctar, polen, propóleo o agua (Winston, 1991). Las abejas dependen de las flores para obtener alimentos, lo cual es fundamental para su supervivencia. Los azúcares presentes en el néctar les proporcionan carbohidratos para impulsar el vuelo y llevar a cabo sus actividades vitales, mientras que el polen es la principal fuente de proteínas, grasas, vitaminas y minerales para construir tejidos musculares, glandulares y esqueléticos, siendo crucial su consumo en etapas larvales (Abrol, 2007).

El néctar floral proporciona los carbohidratos necesarios para las necesidades energéticas de una colonia de abejas, mientras que el polen es su principal fuente de proteínas. El polen recolectado se mezcla con néctar y secreciones glandulares de las abejas obreras para crear el “pan de abeja”, que se almacena en las celdas del panal. Las abejas nodrizas consumen este pan de abeja y desarrollan glándulas hipofaríngeas, las cuales producen jalea real, una gelatina rica en proteínas utilizada para alimentar a los individuos de la colmena (Ara Begum et al., 2023; Lau et al., 2019).

El consumo de polen varía según la edad y las tareas realizadas por las abejas, con las larvas consumiendo menos polen y las nodrizas consumiendo cantidades significativas, mientras las pecoreadoras no pueden consumirlo ni digerirlo (Ara Begum et al., 2023). Diferentes factores, como el tipo de alimento disponible, el tamaño de la colonia, la cría de larvas y la disponibilidad de otras fuentes de alimento, tanto dentro como fuera de la colonia, afectan la velocidad de consumo de este polen almacenado (Brodschneider & Crailsheim, 2010).

2.4.3 Requerimientos nutricionales de polen

El interés en la calidad nutricional del polen se incrementa en la medida que el avance de los monocultivos alteran la diversidad floral y la ingesta de las colmenas, pudiendo afectar la satisfacción de los requerimientos en términos de aminoácidos esenciales y equilibrio de la dieta. En momentos clave de falta de biodiversidad y nutrición adecuada, puede ser necesaria la suplementación de las colmenas (Branchiccela et al., 2021; Santos et al., 2009).

Prácticamente, todas las especies de abejas recolectan polen como fuente de alimento para su cría en desarrollo. El contenido de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales del polen varía entre diferentes plantas. Por lo general, las abejas melíferas eligen una dieta mixta de polen, lo que reduce la probabilidad de deficiencias nutricionales. Sin embargo, en situaciones de monocultivo, como la polinización de la colza, puede dificultar el equilibrio nutricional (Schmidt et al., 1995).

El polen es ingerido principalmente por las abejas adultas en los primeros 10 días de vida, para completar la quitinización del exoesqueleto, acumular reservas en los cuerpos grasos e iniciar el desarrollo de las glándulas hipofaríngeas (Santos et al., 2009). La secreción de estas glándulas es el componente básico de las larvas jóvenes y es suministrado a las larvas de 4 y 5 días de edad.

Aunque no se espere necesariamente un decrecimiento absoluto en la cantidad de polen disponible, sí puede existir variabilidad en el tiempo y espacio en tipo de especie, diversidad y abundancia relativa (Di Pasquale et al., 2013). Se estima que la cantidad promedio de polen que una colonia con 10000-15000 obreras necesita de 13.4 a 17.8 kg por año (Lau et al., 2019).

Las colmenas particularmente tienen comportamientos diferentes, y por razones intrínsecas optan por distintas ofertas florales a pesar de provenir un solo apiario. Las preferencias individuales de diferentes colonias se pueden detectar comparando varias colmenas de un mismo lugar, donde la disponibilidad de flores es la misma para todas las colonias (Keller et al., 2005a).

Las abejas de diferentes colonias a menudo recolectan polen de plantas similares, pero a veces en cantidades bastante diferentes. A su vez, también son condicionadas por la temperatura, hallándose el óptimo en torno a los 20-28 °C (Ghosh et al., 2020).

Las deficiencias nutricionales pueden tener severas consecuencias para una colonia, pudiendo diezmar su población. Una consecuencia directa de la deficiencia nutricional (escasez de polen) puede ser una disminución en la población de la colonia y probablemente una salud deficiente en los individuos, lo que también podría afectar el umbral de resistencia de las abejas ante otros factores de estrés (patógenos o pesticidas). De hecho, se sabe que la ingesta de polen influye en el metabolismo fisiológico, la inmunidad, la tolerancia a patógenos como bacterias, virus y microsporidios, y permite mayor tolerancia a pesticidas e incrementa la capacidad de la colmena de combatir enfermedades (Alaux et al., 2010; Di Pasquale et al., 2013).

Di Pasquale et al. (2016) encontraron que una disminución del consumo de polen del 10%, causó un descenso promedio de 2 a 3 días en la longevidad de las abejas. Esto indica que la longevidad de las obreras depende en gran medida de la cantidad de polen disponible, así como también efectos indirectos en la capacidad de crianza de las abejas nodrizas. El desarrollo de las glándulas hipofaríngeas con las que suministran alimento a las crías depende en gran medida de la ingesta de proteínas.

Comprender cómo una dieta exclusiva de polen puede afectar el desarrollo de las abejas es de interés para los apicultores e investigadores en general. Por ejemplo, las colonias alimentadas con una dieta multifloral exhiben una mayor longevidad de las obreras al disminuir su susceptibilidad al patógeno intestinal *Nosema spp.* (Branchiccela et al., 2019; Di Pasquale et al., 2013). Se comprobó que una nutrición adecuada incrementa la respuesta inmune y se correlaciona negativamente con los niveles de infección viral (Antúnez et al., 2015; Corona et

al., 2023). Está claro que tener acceso a un flujo constante de polen de diversas fuentes florales es beneficioso para las abejas melíferas (Lau et al., 2019).

Si bien algunos estudios sugieren que las abejas melíferas tienden a recolectar polen en función de la proximidad a los recursos florales disponibles (Leonhardt & Blüthgen, 2012; Pernal & Currie, 2001; Van der Moezel et al., 1987) otros sugieren que las obreras son capaces de mostrar preferencias de polen en función de los requisitos nutricionales de su colonia (Cook et al., 2003; Hendriksma et al., 2014; Hendriksma & Shafir, 2016). Cuando una colmena se encuentra en un cultivo, es esperable que la composición relativa del polen proveniente de este sea considerable.

Según Schmidt et al. (1995), las abejas que se alimentaron con polen de *B.napus* tuvieron una mayor esperanza de vida, hasta 2.5 veces más que los grupos de control que se alimentaron con sacarosa y agua, o polen de girasol, sésamo o una mezcla de polen. Por lo tanto, las abejas que dependen exclusivamente del polen de canola o colza no deberían una reducción en su esperanza de vida respecto a otras ofertas monoflorales.

Di Pasquale et al. (2013) encontraron que una dieta monofloral de alta calidad podría ser mejor que una dieta polifloral de menor valor nutricional. Este efecto podría no tener consecuencia en la fisiología de las abejas cuando están saludables, pero podría ser particularmente determinante en momentos de estrés externo, como ante la presencia de parásitos.

Ara Begum et al. (2023) encontraron que la recolección de polen de canola era la más preferida en el pool de especies analizado, con una ingesta de $3.03 \text{ mg.abeja}^{-1}.\text{día}^{-1}$, similar al consumo de $3.37.\text{abeja}^{-1}.\text{día}^{-1}$ del pan de abeja. En los experimentos en los que se suministró polen de canola, se observó un aumento de 38 días en la esperanza de vida, mientras que todas las demás dietas basadas en un solo tipo de polen mostraron solo un aumento de 10 días en la esperanza de vida, en comparación con un aumento de 10 días con el testigo de una dieta de azúcar. Las abejas obreras alimentadas con polen de canola mostraron el valor de desarrollo de la HPG más alto, así como más desarrollo de la glándula que el resto.

2.5 POLEN

Acorde a Linneo (1751), como se cita en Stephen (2014), el polen se refiere a las microsporas de las plantas con semillas. Es una célula única que alberga los microgametofitos responsables de generar los gametos masculinos, es decir, las células espermáticas. Los granos de polen poseen una capa resistente llamada exina, que protege las células espermáticas mientras se desplazan desde los estambres hacia el pistilo en las plantas con flores, o desde el cono masculino hacia el cono femenino en las plantas coníferas. Además, la exina presenta características morfológicas distintivas que ayudan a identificar la especie vegetal a la que pertenece, lo que resulta útil en estudios de taxonomía y otros aspectos aplicados relacionados con el polen (Stephen, 2014).

La digestión del polen puede ser bastante difícil debido a las varias capas de pared celular que rodean el citoplasma, rico en nutrientes. La capa más interna de

estas capas se conoce como intina y consiste principalmente en celulosa y pectina. La siguiente capa, la exina, está compuesta de esporopolenina y generalmente está perforada por los llamados poros de germinación. La exina está cubierta por el pollenkit semisólido, que está compuesto de lípidos, proteínas y azúcares (Roulston & Cane, 2000). Los granos de polen presentan una amplia variedad de formas (generalmente esféricas), tamaños y marcas en su superficie características de la especie (Stephen, 2014).

Las abejas recolectoras de néctar mezclan el polen recién recolectado con un poco de néctar antes de guardarlo en sus corbículas. En la colmena, las obreras agregan más néctar y secreciones glandulares al polen. Consecuentemente, la composición química de las muestras de polen dependerá de si se obtuvieron directamente de las flores, de las recolectoras de polen o de los panales de cría (Keller et al., 2005a).

Aunque una colonia en su conjunto puede recolectar polen de varias fuentes de plantas durante un período de tiempo más largo, las obreras generalmente muestran una especialización temporal y una constancia en un tipo de flor para una fuente de polen específica. Una misma especie puede significar entre un 52-79% del polen que una colonia recolecta en una semana (Lau et al., 2019). Es probable que la composición del polen no refleje simplemente las proporciones de diferentes flores en el entorno, sino que esté, al menos en cierta medida, determinada por verdaderas preferencias del polinizador. En este caso, la proporción de un tipo de polen preferido debería ser mayor en las muestras recolectadas por las abejas que en el entorno circundante (Keller et al., 2005a).

Con el fin de poder describir el polen transportado en la corbícula es que se coloca la definición de “polen apícola”:

el polen apícola es el resultado de la aglutinación del polen de las flores efectuado por las abejas pecoreadoras mediante néctar y sus propias sustancias salivares, que el hombre utiliza tras su recolección en las trampas cazadoras de polen y subsiguiente elaboración. (Peris, 1984, como se cita en Cabello Cívico, 2022, p. 37)

Esta definición permite diferenciarlo del polen botánico anteriormente descrito y ser precisos en la descripción de métodos en laboratorio. De cualquier forma, el polen apícola es comúnmente conocido en nuestro país como polen corbicular cuando es capturado en la trampa y polen ensilado cuando es almacenado en la colmena.

2.5.1 Contenidos nutricionales del polen

De acuerdo con Crailsheim et al. (1992), se estima que una abeja obrera consume diariamente un promedio de 3.4 a 4.3 mg de polen. Los contenidos nutricionales del polen presentan gran variabilidad, la cual sucede acorde al origen geográfico, a la especie y a la estación del año (De Melo & Almeida-Muradian, 2017; Taha, 2015; Taha & Al-Kahtani, 2020; Thakur & Nanda, 2020).

Cada abeja ingiere aproximadamente 3.1 mg de polen puro, asumiendo un factor de conversión de nitrógeno a proteína de 5.6 y un contenido promedio de

proteínas en el polen del 20% (Wille et al., 1985, como se cita en Keller et al., 2005a). Ara Begum et al. (2023) estimaron la digestibilidad de pan de abeja en 3.95 mg de polen remanente en la cavidad rectal, mientras que la digestibilidad del pan de polen de canola fue ligeramente menor, estimando el contenido hallado en 4.43 mg.

2.5.1.1 Minerales

Existe muy poca información disponible al respecto, sobre los distintos compuestos y elementos trazas que componen las cenizas de polen y como varía su composición entre especies (Keller et al., 2005a). Todd y Bretherick (1942) encontraron fósforo, calcio, magnesio, hierro y niveles altos de cobre. Más recientemente se ha detectado también azufre, sodio y elementos traza como manganeso, zinc y selenio (Day et al., 1990). Los niveles de minerales evaluados en 34 especies diversas se encuentran en un rango de entre 360 a 3100 ppm para calcio, 220 a 2700 ppm para magnesio, 14 a 520 ppm para hierro y 16 a 320 ppm para zinc (Somerville & Nicol, 2002).

La concentración de una sustancia determinada parece diferir considerablemente entre las especies de plantas. Keller et al. (2005a) encontraron que los niveles minerales en el polen varían a lo largo del año debido a las diferencias en el origen floral del polen. Esto fue cierto para el potasio, magnesio, calcio, manganeso y hierro, mientras que el contenido de zinc y cobre del polen parecía ser más constante.

En cuanto al polen de *B. napus*, Somerville y Nicol (2002) encontraron que las muestras de esta especie se distinguen por sus elevados niveles de calcio y magnesio y bajos niveles de hierro y zinc. Los niveles para calcio variaron entre 1700 y 1800 ppm, el de magnesio se encontró en 1700 ppm, los de hierro entre 25 y 30 ppm mientras los de zinc se encontraron en 36 y 30 ppm. Otro estudio realizado en condiciones semiáridas reporta niveles de 5246.94, 3887.63, 361.32 y 34.57 ppm para calcio, magnesio, hierro y zinc respectivamente (Taha, 2015).

2.5.1.2 Lípidos

La cantidad de lípidos parece desempeñar un papel importante en la preferencia de las abejas melíferas por la recolección de polen. Singh et al. (1999) informaron que el polen de *B. campestris*, que es altamente atractivo para las abejas, tenía un contenido de lípidos del 20.3%, el más alto entre las siete especies vegetales evaluadas. En contraste, se encontró que los pólenes menos atractivos tenían un contenido de lípidos más bajo, alrededor del 12%. Una deficiencia en lípidos afecta significativamente el pecoreo y el envejecimiento de la colmena (Branchiccela et al., 2019)

Evans et al. (1991) indicaron que la metodología de análisis puede inducir a variaciones en el contenido lipídico. Los autores reportaron para *B. napus* un nivel de 25.4% en base seca, mientras otros toman rangos de entre 4.7 y 13.1 % (De Melo et al., 2016; Gaude, 1982; Souza, 2014; Todd & Bretherick, 1942; Yang et al., 2013; Youssef et al., 1978). En condiciones semiáridas se reportan niveles de 3.92 % (Taha, 2015).

Las respuestas gustativas de las abejas fueron más pronunciadas con los extractos de lípidos del polen de *B. campestris*. Singh et al. (1999) sugirieron que estas respuestas podrían indicar que diferentes ácidos grasos en los lípidos del polen podrían tener efectos inhibidores o estimulantes en la percepción gustativa de las abejas, aunque debe tenerse en cuenta que la mayoría de los ácidos grasos pueden ser sintetizados por las abejas (De Groot, 1953).

2.5.1.3 Proteína

Haydak (1935), como se cita en Keller et al. (2005a), demostró que grupos de abejas privadas de acceso al polen utilizaban 3.21 mg de su nitrógeno corporal para la cría de una obrera. Si consideramos un factor de conversión de nitrógeno a proteína de 6.25, un contenido proteico en el polen del 20% y una eficiencia digestiva del 80%, esto equivaldría aproximadamente a 125 mg de polen por individuo. En otro estudio realizado por Schmidt y Buchmann (1985), se encontró que la mezcla de polen-sacarosa consumida por una abeja al día contiene 0.11 mg de nitrógeno.

El contenido de proteína cruda en polen en una misma especie puede variar acorde a factores ambientales (Herbert, 1992). Según Kleinschmidt y Kondos (1976), como se cita en Santos et al. (2009), el polen puede ser clasificado en tres categorías: si es mayor a 25% es excelente, si se encuentra entre 20 y 25% es promedio, y se considera pobre si es menor a 20%, siendo este último valor insatisfactorio para satisfacer los requerimientos de la colonia para el desarrollo óptimo de la cría. Las deficiencias afectan también a la cría y la población adulta (Branchiccela et al., 2019). Conforme constata De Groot (1953), los aminoácidos esenciales que deben recopilar las abejas son: treonina, valina, metionina, leucina, isoleucina, fenilalanina, lisina, histidina, arginina y triptófano.

En el estudio llevado a cabo por de Wille et al. (1985), como se cita en Keller et al. (2005a), se encontró que el contenido de proteínas era bajo a principios de la primavera y alcanzaba un máximo del 25-30% a fines de otoño. Algunas veces se observaron concentraciones bajas de proteínas de polen en verano, pero luego los valores se mantuvieron relativamente constantes alrededor del 20% durante el resto del período de vegetación. El promedio anual parecía ser alrededor del 20%, aunque había cierta variación debido a la ubicación, el año y la colonia. En promedio, las plantas polinizadas por animales no parecieron ser más ricas en proteínas de polen que las plantas polinizadas por el viento (Keller et al., 2005a).

No existen estudios que prueben fehacientemente que la recolección de polen está determinada por la proteína, a pesar de que la mitad de los aminoácidos existentes son esenciales para esta especie (Pernal & Currie, 2001; Roulston & Cane, 2000; Van der Moezel et al., 1987). Podría también estar condicionada por las preferencias de néctar que traen aparejadas consigo la recolección de polen (Ghosh et al., 2020). Se encontró que el contenido de aminoácidos esenciales se correlacionó positivamente con el contenido total de proteínas del polen (Wille et al., 1985, como se cita en Keller et al., 2005a).

La información nacional recabada por Santos et al. (2009) indica que las abejas no deberían tener problemas proteicos en su dieta cuando la oferta es diversa, dado que la oferta floral posee contenidos de proteína de entre 14.5 y 41.5%. Otros estudios citados por los mismos autores registran variaciones entre 7 y 30% (Todd & Bretherick, 1942), 9.5 y 36.9 (Rayner & Landridge, 1985), 8 y 40% (Herbert, 1992), 9.2 y 37.4% (Somerville, 2001), y 2.5 y 61% (Roulston & Cane, 2000). Dentro de una misma especie, la variabilidad entre regiones y período del año es relativamente baja en comparación con la variabilidad inter-especies.

En lo que refiere a la especie botánica en estudio, Santos et al. (2009) encontraron que especies del género *Brassica spp.* en nuestro país presentan contenidos de proteína en polen de 29.9 a 31.6%. Evans et al. (1991) reportaron para *Brassicaceae* un nivel de 26.0% en base seca, mientras otros autores toman rangos de entre 19.63 y 30.3% (Gaude, 1982; Souza, 2014; Thakur & Nanda, 2020; Todd & Bretherick, 1942; Yang et al., 2013; Youssef et al., 1978). En particular, para un análisis realizado en condiciones semiáridas, se registraron niveles de 18.14% (Taha, 2015).

2.5.2 Pecoreo por polen

Podría esperarse que el porcentaje de abejas con cargas de polen en la corbícula aumente a medida que avanza el período de floración, respecto a las que cargan solo néctar (Free & Nuttall, 1968). Esto podría deberse a una menor producción de néctar por parte de las plantas o una reducción en la concentración de azúcar, esperando que más abejas se dediquen a recolectar polen hacia el final de la floración (Free & Nuttall, 1968). La máxima producción de polen ocurre a media mañana y a primera hora de la tarde, y se libera más polen de las anteras y está disponible para los insectos en días cálidos, secos y soleados que en días frescos, húmedos y nublados (Williams, 1984).

Los cambios de una especie a otra presumiblemente reflejan cambios en la disponibilidad y atractivo de su polen, y las diferencias en la constancia en diferentes experimentos reflejan diferencias en las condiciones de pecoreo (Free, 1963). Sin embargo, cuando el polen era temporalmente inaccesible en la especie particular que habían visitado previamente, la mayoría de las abejas se quedaban en la colmena o recolectaban solo néctar en lugar de recolectar polen de otra especie (Free, 1963).

Mohr y Jay (1988), al igual que Mesquida et al. (1988), encontraron que las abejas melíferas tienen preferencia por recolectar polen de canola en la mañana, cuando el néctar tiene una menor concentración de polisacáridos en comparación con el pecoreo vespertino. Se ha observado que las abejas melíferas recolectan grandes cantidades de polen de las flores de *B. napus*.

Free y Nuttall (1968) informaron que las abejas melíferas que se alimentaron de la variedad de canola *B. napus cv. Nilla* recolectaron tanto néctar como polen juntos, pero no se observó que recolectasen exclusivamente polen. Estudios realizados por Rosa et al. (2010) observaron situaciones análogas, con pecoreadoras que buscaban néctar y polen activamente. Durante las horas en las que no había recolección activa de polen, este recurso se obtenía pasivamente mientras las abejas

se desplazaban por las flores. Acorde a lo estudiado por Mohr y Jay (1988), se observó que las abejas melíferas a menudo recolectan polen de forma incidental mientras buscaban néctar, pero en un experimento en particular, el 48% de las abejas recolectan activamente polen de *B. napus*.

Las colmenas podrían tener, en su comportamiento intrínseco, determinada disposición a frecuentar un cultivo como se cita en Free (1963), encontró que las colonias que recolectaban la mayor cantidad de polen de *B. alba* también recolectaban la mayor cantidad de polen de otras especies de la familia *Brassicaceae* disponibles.

2.6 NÉCTAR Y MIEL

Según la definición del Codex Alimentarius de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y la Organización Mundial de la Salud (FAO & OMS, 1981), la miel es

la sustancia dulce natural producida por abejas *Apis mellifera* a partir del néctar de las plantas o de secreciones de partes vivas de estas o de excreciones de insectos succionadores de plantas que quedan sobre partes vivas de las mismas y que las abejas recogen, transforman y combinan con sustancias específicas propias, y depositan, deshidratan, almacenan y dejan en el panal para que madure y añeje. (p. 1)

Los monosacáridos glucosa y fructosa, junto con el disacárido sacarosa, son los azúcares más prevalentes y abundantes en el néctar floral. Las abejas melíferas presentan una preferencia por líquidos con una alta concentración de sacarosa en comparación con la fructosa, y también prefieren la fructosa sobre la glucosa (Waller, 1972). Por otro lado, Barker y Lehner (1974) observaron que las abejas hambrientas recolectaban cantidades similares de sacarosa, glucosa y fructosa cuando se les ofrecía una única solución de un tipo de polisacárido. Sin embargo, consumían aún mayores cantidades de líquidos que contenían tanto sacarosa y glucosa como sacarosa y fructosa. Estos resultados indican que, aunque las abejas melíferas parecen mostrar preferencia por el néctar rico en sacarosa, no es un requisito obligatorio para su alimentación.

Las mieles en Uruguay se caracterizan por la presencia de especies nativas como *Scutia buxifolia*, *Schinus molle*, *Salix huboldtiana* y *Baccharis spp.*. A su vez, se destaca la importancia de especies exóticas como *Eucalyptus spp.*, *Trifolium pratense* o *Lotus corniculatus* (Bazzurro et al., 1995; Daners & Tellería, 1998; Tejera et al., 2005).

2.6.1 Néctar y miel de *Brassica napus*

El néctar producido por las flores de la familia *Brassicaceae* es típicamente dominante en glucosa y fructosa (Westcott & Nelson, 2001). Pham-Delegue et al. (1991), como se cita en por Westcott y Nelson (2001), investigaron las características del néctar de híbridos de *B. napus* y reportaron que el contenido de glucosa era un 3-4% más alto que el contenido de fructosa, y que la concentración total de azúcar en el néctar en el campo era del 40-50%. También encontraron que

la secreción de néctar exhibe fluctuaciones cuantitativas y cualitativas amplias relacionadas con el genotipo, la ubicación, la hora del día y la fecha de recolección.

Westcott y Nelson (2001) indican que las flores de *B. napus* contienen de 0.6 a 1.9 mg de néctar, y las glándulas productoras de néctar pueden reponerse en 30 minutos. La producción total de una flor parece ser mayor si se retira el néctar tres veces al día ($26.7 \text{ mg.flor}^{-1}$) en comparación con una sola vez (9.2 mg.flor^{-1}). Según Malerbo-Souza et al. (2008), como se cita en Rosa et al. (2010), la mayor frecuencia de recolección de néctar en comparación con la recolección de polen está directamente relacionada con las altas demandas energéticas de los insectos durante su búsqueda de alimento, ya que los carbohidratos de este recurso estimulan su actividad de vuelo.

La miel de colza está caracterizada por una rápida cristalización debido a su alto contenido de glucosa. A menudo es utilizada en otros países como “cristalizadora”, añadida en mezclas a otras mieles naturales para obtener granulación más fina. Es una miel clara, de aroma frutal, que no deja sabor amargo o agrídulce ni posee niveles relevantes de acidez (Persano & Piro, 2004).

Para considerar una miel como monofloral de *B. napus*, Ohe et al. (2004) establecen un nivel mayor al 60% de polen en miel presente proveniente de esta especie. Por otra parte, las mieles con valores inferiores a este se consideran como multiflorales.

2.7 GLIFOSATO EN PRODUCTOS DE LA COLMENA

El uso generalizado del glifosato, un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura, ha generado preocupación en relación con sus posibles efectos en las abejas y sus productos (Farina et al., 2019). Es un herbicida sistémico que actúa inhibiendo la vía del Shikimato en las plantas, lo que interrumpe la producción de aminoácidos esenciales y causa la muerte de las malezas (Pesticide Properties DataBase [PPDB], 2023).

A pesar de que, al compararse con otros fitosanitarios, se podría relativizar su degradabilidad y toxicidad para organismos no blanco (particularmente respecto al efecto de los insecticidas), es importante tener en cuenta que su amplio uso incrementa los riesgos. A su vez, genera necesidad de atender los efectos, tanto del glifosato en sí mismo, como de su metabolito de degradación AMPA, de presencia frecuente por su mayor persistencia, aunque menor concentración.

Es de interés comercial conocer su presencia en la miel y el polen comercial para Uruguay, debido a que algunas líneas comerciales de exportación se ven afectadas si el glifosato está presente en estos alimentos.

2.7.1 Efectos en las colmenas

Las abejas han sido reconocidas como especie indicadora, ya que pueden ser testigos del impacto ambiental de fitosanitarios en el ecosistema (Farina et al.,

2019; Niell et al., 2018; Vázquez et al., 2020), especialmente en lo que refiere a sus efectos en los insectos y en particular a los polinizadores.

Los fitosanitarios en general y el glifosato en particular han sido frecuentemente encontrados en cera, polen y néctar, pero evaluar el riesgo asociado es complejo dado que los métodos de medición de toxicidad son limitados, y no se miden efectos de antagonismo o sinergia (Ledoux et al., 2019; Wen et al., 2021). La miel es la que menos residuos de pesticidas contiene (Karise et al., 2017; Thompson et al., 2014).

El riesgo asociado al uso de glifosato en *A. mellifera* no puede ser descrito únicamente en lo que refiere a la letalidad, sino que su uso masivo podría tener efectos sub-letales, que afectan la capacidad de la colmena para desarrollar sus actividades de forma normal.

Las abejas pueden verse afectadas por dos vías principales en relación con el glifosato. En primer lugar, a través de una vía directa, se observa una disrupción en múltiples fases y funciones de crecimiento (De Souza et al., 2021; López-Castaños et al., 2023). Esto se evidencia por la reducción del peso de las larvas y la disminución en la tasa de supervivencia de la cría, lo que potencialmente conlleva consecuencias adversas en la supervivencia global de la colonia a largo plazo. Estos efectos directos se manifiestan en el desarrollo, la reproducción, la navegación, la percepción gustativa, la composición de la microbiota intestinal, la susceptibilidad a patógenos, la desnutrición, la memoria asociativa y el aprendizaje olfativo (De Souza et al., 2021; López-Castaños et al., 2023).

El glifosato puede tener un efecto de retraso en el aprendizaje de las abejas, en la memoria y el “efecto recompensa” que les permite identificar una fuente preferible y a su vez, conservar en el tiempo la memorización formada sobre dicha fuente (Balbuena et al., 2015; Farina et al., 2019; Herbert et al., 2014).

Existen antecedentes que detallan cómo el glifosato afecta la capacidad del vuelo, demorando el retorno a la colmena (Bokšová et al., 2023; Farina et al., 2019). Es posible cuantificar una disminución del pecoreo luego de las pulverizaciones con glifosato (Thompson et al., 2014). Todo esto opera con mecanismos que aún no han sido del todo descritos.

Un estudio previo informó de una mayor prevalencia de la muda retrasada en larvas de abejas expuestas a glifosato (Vázquez et al., 2018). Este efecto se observó principalmente como un crecimiento reducido y una duración prolongada de las etapas larvales tempranas. También se encontró una asociación de la exposición al glifosato con un incremento del estrés oxidativo, lo que se encuentra vinculado a la apoptosis y el agotamiento de energía (Vázquez et al., 2020).

Faita et al. (2018) informaron que el glifosato también podría alterar la estructura de las glándulas hipofaríngeas, lo que podría dañar el desarrollo de las larvas y afectar negativamente la supervivencia de las colonias de abejas. En Uruguay, Castelli et al. (2021) reportaron efectos subletales negativos en las abejas que fueron expuestas a glifosato en el laboratorio.

2.7.2 Comportamiento químico

Para lograr caracterizar el comportamiento químico del glifosato y determinar la probabilidad de hallarlo en productos de la colmena resulta necesario hacer algunas precisiones. El contenido de agua, la temperatura y disponibilidad de nutrientes son las variables más importantes que afectan la absorción de contaminantes en suelo (Beare et al., 1993, como se cita en Mamy et al., 2016). También la detección en la muestra es susceptible a la metodología de análisis (Tong et al., 2017).

Acorde a la PPDB (2023), el glifosato presenta propiedades fisicoquímicas tales como un elevado coeficiente de adsorción (Koc), lo que lo hace altamente retenible en suelo. A su vez, posee bajo coeficiente de partición octanol-agua y baja volatilidad (coeficiente de Henry), lo que lo hace menos probable que otras sustancias para ser retenido en tejidos y transportado por deriva. Según Niell et al. (2017), una sustancia más volátil es detectada en mayor medida en pecoreo y las abejas pueden rechazar las flores contaminadas. Siguiendo estos indicadores, podría ser hallado en aquellas estructuras de la planta que producen sustancias hidrofílicas como el néctar (Zioga et al., 2022).

La vida media del glifosato es de 16 días, sin embargo, la DT90 (tiempo que demora en degradarse el 90% de la sustancia) es de 170 días (PPDB, 2023). En lo que refiere a sus principales destinos ambientales, presenta elevada solubilidad en agua, es relativamente volátil y normalmente no se filtra a las aguas subterráneas. Es moderadamente tóxico para las abejas (PPDB, 2023).

Para poderse hallar en productos de la colmena sin llegar por deriva directa, debe ser absorbido por la planta a través de las raíces. Al tener un elevado Koc, queda altamente retenido en suelo y la probabilidad de que la planta lo absorba es baja. No obstante, en un estudio hecho en *B. napus* por Mamy et al. (2016), cuando el glifosato llega al suelo, la planta puede absorber hasta un 4% de la cantidad retenida. Hay mayor concentración en las raíces y en hojas maduras (Tong et al., 2017).

El glifosato es capaz de translocarse desde las raíces a la planta y luego volver de la planta al suelo (Laitinen et al., 2007). Una vez dentro de la planta, el glifosato puede transportarse dentro del xilema a través de la vía apoplástica o ingresar al floema y ser transportado a las células a través de la vía simplástica (Franz et al., 1997, como se cita en Zioga et al., 2022).

Del total de glifosato, un 54% se transforma en su principal metabolito AMPA, cuya vida media es de 234 días y su DT90 (tiempo de degradación del 90% de la sustancia) es de 1000 días en el campo (PPDB, 2023). Por lo que si bien su concentración máxima posible es la mitad que la de glifosato, su degradación considerablemente más lenta hace que persista más en el suelo.

Respecto a los hallazgos de residuos, se encontró que las concentraciones de glifosato medidas unos días después de su aplicación oscilaron entre 2.78 y 31.3 mg.kg⁻¹ en néctar, y entre 87.2 y 629 mg.kg⁻¹ en polen, con una disminución a lo largo del tiempo y concluyendo consistentemente que los residuos suelen ser

mayores en polen (Thompson et al., 2014). Sin embargo, estos valores pueden variar según la especie de planta y las condiciones ambientales (Farina et al., 2019). Zioga et al. (2022) encontraron que ni al aplicarse en barbecho ni dos meses previo a floración se detectó glifosato o AMPA en muestras de néctar y polen de *B. napus*, muestreadas en el período de floración.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 SITIOS DE ESTUDIO

Los ensayos se realizaron en 2 sitios de muestreo, ubicados en chacras comerciales de la localidad de Sauce, departamento de Canelones, y Los Arrayanes, en el departamento de Maldonado. El primero está ubicado en el km 66,7 a 3,6 km de la Ruta Nacional no.11, latitud 34°33'03,6'' S y longitud 56°01'27,7''O (Figura 1), mientras el de Maldonado se encuentra sobre la Ruta 10 en el km 96, latitud 34°48'12.2''S y longitud 55°13'29.8''O (Figura 2).

3.1.1 Sauce, Canelones

Para el caso de Sauce, Canelones, el predio se ubica sobre la unidad de suelos Tala - Rodríguez que, acorde a su clasificación CONEAT (Dirección General de Recursos Naturales [DGRN], 1976), se tratan de suelos de grupo 10.8b y 03.51. Los primeros mencionados corresponden a Vertisoles Rúpticos Típicos y Lúvicos y Brunosoles Éútricos y Subéútricos Típicos, textura franco arcillo limosa, fertilidad alta y moderadamente bien drenados.

Figura 1

Ubicación del apiario y del cultivo de colza en Sauce, Canelones



Nota. 34°33'03,6'' S, 56°01'27,7''O. Adaptado de Google Earth (2023b).

El segundo grupo de suelos mencionado corresponde a planicies altas con pendientes menores de 1%, excepcionalmente inundables. Los suelos dominantes son Brunosoles Éútricos Lúvicos, textura franco limosa, fertilidad alta y drenaje imperfecto. El tamaño de la chacra es de 116 hectáreas.

3.1.2 Arrayanes, Maldonado

En el caso de Arrayanes, Maldonado, se trata de un predio cuya clasificación CONEAT corresponde a suelos del grupo 10.7 y 2.21 (DGRN, 1976). El grupo 10.7 comprende a la unidad de suelos Alferez, cuyos tipos de suelos son Brunosoles Subéutricos Lúvicos y Argisoles Subéutricos Melánicos Abrúpticos, con pendiente suave, textura franca a franco limosa, fertilidad media y drenaje moderadamente bueno a algo imperfecto (DGRN, 1976). En el caso del grupo 2.21 se trata de la unidad de suelo José Pedro Varela y refiere a Brunosoles Lúvicos (Praderas Pardas máximas), francos y Argisoles Subéutricos Melánicos Abrúpticos, francos a veces moderadamente profundos, con pendiente moderada a severa, textura franca, fertilidad media y buen drenaje (DGRN, 1976). El tamaño de la chacra es de 300 hectáreas.

Figura 2

Ubicación del apiario y del cultivo de colza en Arrayanes, Maldonado



Nota. 34°48'12.2"S, 55°13'29.8"O. Adaptado de Google Earth (2023a).

3.2 DISEÑO

El período de muestreo para el predio de Sauce, Canelones, abarcó desde el 22 de agosto de 2022 hasta el 12 de octubre de 2022, mientras el período de muestreo en Arrayanes, Maldonado, fue desde el 13 de septiembre de 2022 hasta el 25 de octubre de 2022.

Ambas chacras fueron sembradas con *B. napus var. napus*. El cultivar de colza utilizada en Sauce fue *Guyunusa INTA* y en Arrayanes *Nuvette*. Ambas son variedades primaverales con distintas precocidades y duración de floración. Para ambos casos la fecha de siembra fue 15 de mayo. El estudio abarcó para ambos

casos el período de plena floración de la colza acorde a sus respectivas variedades y fechas de siembra, momento de mayor auge de trabajo de la abeja melífera en el cultivo.

La evaluación consistió en muestreos para la caracterización del polen y miel. Se realizó una selección al azar de tres colmenas de *A. mellifera* para cada predio, entendiéndose una colmena como una unidad experimental.

3.3 MUESTREO

Se realizó contacto y coordinación con dos productores que movilizan sus colmenas a cultivos de colza. Luego de identificar los apiarios, se seleccionaron tres colmenas al azar para realizar el muestreo de polen de forma periódica.

Figura 3

Extracción de muestras en colmenas junto al cultivo en Sauce, Canelones



Las colmenas eran de tipo comercial, de calidad productiva, libres de enfermedades y con cámara llena, con una población estimada de 40000 individuos de *Apis mellifera* en 5 tablas con cría por colmena. Las colmenas tenían una media alza melaria.

Todas las semanas se colocaron trampas de polen de piquera para evaluar la entrada de polen en las tres colmenas seleccionadas. Se colocó una trampa comercial para la captura de polen, con rejilla excluidora de plástico. La misma era establecida el día anterior y se hacía el muestreo al otro día en las últimas horas de la tarde, momento en el cual bajaba la intensidad de trabajo de la abeja. La trampa se colocaba en la entrada de la piquera, donde la abeja ingresaba a la colmena y dejaba caer el agregado de polen que llevaba en la corbícula hacia el cajón de la trampa.

El porcentaje de polen que realmente se retiene en una trampa puede ser bastante variable, pero siempre considerablemente menor al 100% (Keller et al.,

2005b). El día 12 de octubre en Sauce, Canelones, se realizó una extracción de miel de cada colmena para muestreo, mediante el corte de una sección del panal operculado.

Figura 4

Muestras de polen apícola (o corbicular) extraído de colmenas seleccionadas al azar en Sauce, Canelones



Los muestreos se hacían una vez a la semana y se recolectaba todo el polen contenido en el cajón de la trampa, etiquetando día y número de colmena del mismo. Las muestras se almacenaron en refrigerador, para realizar las posteriores determinaciones.

Por otro lado, se recolectaron en cada fecha de muestreo distintos ejemplares de estructuras florales de especies de angiospermas presentes en un radio de dos kilómetros a las colmenas, con el fin de comparar las características morfológicas del polen contenido en los estambres de las mismas con el polen muestreado de las colmenas.

3.4 DETERMINACIONES

Las determinaciones de laboratorio fueron realizadas en distintas locaciones, todas ellas pertenecientes a la Universidad de la República. El análisis palinológico fue realizado en el laboratorio de Etología de la Facultad de Ciencias. Los análisis de proteína cruda, extracto etéreo y minerales fueron iniciados en el laboratorio de Calidad de Alimentos y Calidad de Productos de Facultad de Agronomía y finalizados en los laboratorios de Nutrición y Suelos y Aguas, respectivamente, del mismo servicio. El análisis de miel fue realizado en el Laboratorio de Biología Evolutiva de la Facultad de Ciencias. Por último, la medición de presencia de glifosato o su metabolito AMPA en las muestras de polen se hizo a través del espectrómetro de masas localizado en el Departamento de

Química del Litoral de la Universidad de la República, en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, en el departamento de Paysandú.

Para observar los resultados precedentes se sugiere considerar que, en su mayoría, la selección de las muestras de parámetros de calidad analizadas (proteína cruda, extracto etéreo y minerales) fueron dirigidas hacia aquellas colmenas y momentos de muestreo que presentaban mayor pureza de colza en la muestra, con el fin de conocer con mayor precisión las características de calidad de polen de esta especie.

3.4.1 Análisis palinológico

Luego de preservadas las muestras de la trampa, se volvió a tomar una muestra de cada fecha y de cada colmena de la muestra adquirida, midiéndose con una balanza para poder tener la misma cantidad de polen de cada submuestra.

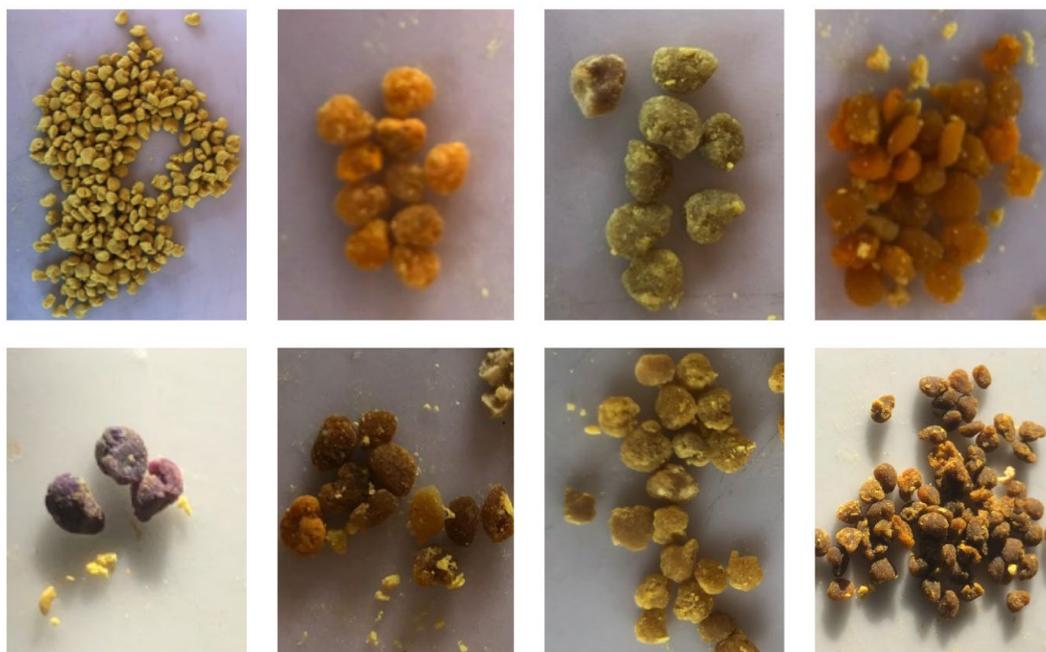
El análisis primario de las muestras consistió en separar cada muestra de cada colmena para una fecha determinada de muestreo, vaciar su contenido en un plato limpio y con una pinza de laboratorio separarlas por color (Figura 5). El criterio dentro de una misma muestra para separar por color fue elegir un grano de polen apícola de fácil distinción, fotografiarlo y agrupar los granos de la misma muestra que se parecieran.

Se contaron la cantidad de granos de cada color para establecer su posible composición relativa. El peso en base fresca de las muestras fue de aproximadamente 2 g. Los granos pertenecientes a un mismo grupo (según el color) fueron separados en bolsas de *nylon* y asociados a sus respectivas fechas de muestreo y colmenas. Debe tenerse en cuenta que se tomaba todo el polen contenido en la trampa, siendo éste variable. Por tanto, esto fue hecho con el objetivo de poder cuantificar la composición relativa de origen botánico en muestras semejantes.

Posteriormente, se procedió a realizar la identificación de la especie o familia botánica de las muestras reagrupadas mediante análisis palinológico en microscopio óptico. Se montó una pequeña fracción de cada color de polen, hidratándose con agua, se cubrió con cubreobjetos y se observó al microscopio, con 40x de objetivo.

Figura 5

Polen apícola separado por color mediante observación



Nota. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: *B. napus*, *Citrus spp.*, *Rosaceae*, *Senecio selloi*, *Echium plantagineum*, *Trifolium repens*, *Prunus spp.* y *Trifolium pratense*.

Al mismo tiempo, utilizando el método descrito por Louveaux et al. (1978), se montaron los granos de polen de las flores colectadas, en un portaobjetos con gelatina-glicerina, conservando los mismos su contenido citoplasmático. Estos preparados fijos sirvieron como colección de referencia para comparar las muestras de polen colectado desde las flores con el polen colectado por las abejas. La glicerina se licuó calentándose a baño María a 40 °C, se colocó el polen desde las anteras y se selló el preparado con parafina. Se utilizó una pipeta de Pasteur para dispersar el sedimento.

A través de las características morfológicas de la exina se pudo identificar las especies presentes (Figura 6). Las muestras fueron descritas morfológicamente y comparadas con las de la colección palinológica del Laboratorio de Etología de Facultad de Ciencias, Universidad de la República y también con el polen extraído de las muestras botánicas recogidas a campo. Las laminillas del portaobjetos fueron cubiertas, rotuladas y conservadas como parte de la palinoteca. Para cada colmena y fecha se registraron las especies o familias botánicas encontradas.

Para cuantificar la composición relativa efectiva del polen, se comprobó que los distintos grupos de colores separados primariamente pertenecieran propiamente a una misma especie botánica o familia, con el montaje anteriormente descrito.

Figura 6

Granos de polen corbicular en el microscopio óptico a 40x



Nota. Se observa un grano monofloral de *B. napus* con leve presencia de contaminación de flora apícola acompañante. Granos de tipo mónadas: a) *Brassicaceae*, con tres colpos y ornamentación reticulada, b) *Eucalyptus spp.*, con tres colporos sin ornamentación, forma triangular y superficie lisa. Grano de tipo poliada: c) *Acacia caven*, con forma de mórula.

Para aquellas muestras donde se encontraba una composición heterogénea, se colocaron granos de la muestra al azar en un tubo de 1.5 ml y se mezclaron con agua. Luego se cuantificaron 100 granos presentes al azar en el microscopio para posteriormente calcular la composición relativa de la muestra, acorde a su identificación morfológica.

3.4.2 Proteína cruda

El muestreo para estimar niveles de proteína cruda se realizó con 8 muestreos en Sauce y 4 muestreos en Arrayanes, pertenecientes cada una a distintas fechas y colmenas. Los análisis se realizaron sobre polen puro de *B. napus*, el cual fue separado por color y verificada su procedencia por caracterización morfológica en microscopio óptico.

El análisis se llevó a cabo sobre la base del procedimiento detallado por Latimer (2012) no. 984.13 para medición de proteína cruda, mediante el método Kjeldahl. El primer paso es obtener 5 gramos de muestra, medir el peso del tubo contenedor y registrar el peso exacto de ambos. Luego la misma debe molerse con mortero para su afinado y homogeneización (Figura 7).

Las muestras de polen se secan a 70 °C durante aproximadamente 72hs, hasta llegar a un peso constante, que debe medirse. Se coloca esta cantidad

determinada en un matraz. Luego se agrega ácido sulfúrico (H_2SO_4) como reactivo en presencia de un catalizador que incrementa la velocidad y eficiencia del proceso.

También se añade sulfato de potasio para incrementar el punto de ebullición del ácido sulfúrico. Se debe calentar la muestra a $380\text{ }^\circ\text{C}$. Se produce una reacción exotérmica, donde se digiere la muestra para formar nitrógeno amoniacal. La muestra se enfría, se diluye en agua y se separa para destilar.

Figura 7

*Homogeneización y afinamiento de polen apícola de *B. napus* en mortero*



La destilación consiste en añadir una solución alcalina (NaOH) para liberar la fracción amoniacal, que se vuelca con vapor de agua a un vaso receptor. El vaso receptor para el destilado se llena con una solución absorbente para capturar el gas amoniacal disuelto. Luego que se mide volumétricamente, la solución amoniacal se multiplica por factor 6.25 para cuantificar el contenido de proteína total, que se calcula sobre la base del peso de la muestra en base seca.

3.4.3 Extracto etéreo

El muestreo de extracto etéreo se hizo sobre la misma base de muestra de colza pura que la proteína cruda. Se realizó mediante el método detallado por la norma no. 920.39 (Latimer, 2012). El mismo es de tipo gravimétrico. Consiste en preparar la muestra de forma homogénea y conocer el peso que se va a medir (Figura 8). Posteriormente, se procede a secarla hasta llegar a peso constante.

Figura 8

Determinación de peso conocido para medición de parámetros



Concluida la deshidratación, se coloca un solvente orgánico que permite extraer la fracción soluble en lípidos. Se destila el solvente con vapor de agua y se seca la fracción restante nuevamente hasta llegar a peso constante. Finalmente, se pesa la fracción soluble en éter y se calcula su porcentaje sobre la base del total de la muestra en base seca.

3.4.4 Minerales

El muestreo para estimar niveles de minerales se realizó con 7 muestreos en Sauce y 5 muestreos en Arrayanes, pertenecientes cada una a distintas fechas y colmenas. Al igual que en el análisis de proteína cruda y extracto etéreo, los análisis se hicieron sobre polen puro de *B. napus*.

Para cuantificar los minerales presentes en las muestras extraídas debe prepararse la fracción ceniza (Figura 9). Para ello, se mide el peso del crisol que soportará una muestra específica en una balanza de precisión. Luego se coloca el mismo con el contenido de la muestra, separándose un gramo aproximadamente para ello. Se procede a colocarse en estufa durante 72 horas a 105 °C para eliminar el máximo posible de humedad presente. Finalmente, se pesa la muestra sin humedad, obteniendo la materia seca de la misma.

Figura 9

Proceso de obtención de parámetros de calidad del polen



Nota. De izquierda a derecha: 1. Crisoles en plancha caliente. 2. Mufla para incineración 3. Fracción ceniza de polen de *B. napus*.

Para la obtención de la fracción ceniza debe incinerarse la materia seca. La muestra se pasa a la mufla a 580 °C (Figura 9), posteriormente se vuelve a medir el peso para cuantificar el total de la ceniza presente en la muestra (Figura 9).

El método de muestreo fue el descrito por Cabrera et al. (2010). La ceniza obtenida en cada muestra se llevó a disolución ácida, con 2 ml de HNO₃ ultrapuro (1M, 65% Merck, p.p.a, destilado por sub ebullición) y 2 ml de HCl (6M, Merck, ACS p.p.a.) en Erlen con dispositivo de trampa de vapor, en plancha caliente (Figura 9), durante una hora. Luego se filtra el contenido con papel y luego es llevado a volumen con H₂O destilada, menor a 18 MΩ-cm de resistividad, en matraz aforado.

Se cuantificó el contenido de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe) y Zinc (Zn), en el polen, con Espectrómetro de Absorción Atómica (Perkin Elmer, AAnalyst 300, USA) equipado con lámpara de Deuterium como corrector de background, con llama (aire-acetileno, 8.0 l.min⁻¹ y 1.4 l.min⁻¹).

3.4.5 Miel

Se caracterizó el polen presente en las muestras de miel acorde a su origen taxonómico, analizándose a su vez su distribución relativa. Se extrajeron tres muestras de miel en una única fecha (12/10/22) pertenecientes a las respectivas colmenas analizadas en la localidad de Sauce, Canelones. Se utilizó el criterio de Ohe et al. (2004) para definir una miel monofloral de colza cuando supera el 60% de presencia de este tipo polínico.

Figura 10

Granos de polen presentes en muestras de miel



Nota. Junto a granos de polen de *B. napus*, se puede observar un grano (residual) de *Cucurbitaceae*, con ornamentación reticulada y múltiples poros. Muestras extraídas mediante método de Louveaux, elaborado a partir de Louveaux et al. (1978).

Para separar la fracción mencionada se recurrió al procedimiento detallado por Louveaux et al. (1978) sin el proceso de acetólisis. El mismo consistió en:

- Calentar la muestra en microondas, con el fin de eliminar la cristalización.
- Se colocan 10 g de miel en vaso de bohemia
- Se agregan 10 ml de agua y se mezcla la solución
- Se quitan manualmente impurezas como pueden ser restos de cera, abeja u otros.
- De ser necesario, se vuelve a revolver la muestra en plancha caliente para eliminar completamente la cristalización.
- Se coloca la solución en tubo de ensayo de plástico y se tapa.
- Las muestras se colocan en centrifugadora a 2.500 rpm durante 10 minutos.
- Se quita el contenido sobrenadante conservando la concentración de polen en la pared del tubo.
- Se coloca agua filtrada o destilada (es decir, sin contaminación por polen) para volver a suspender el polen del fondo y realizar un lavado, preservando la fracción de polen presente.
- Se vuelve a centrifugar a 2.500 rpm durante 10 minutos
- Se descarta el sobrenadante y retenemos el sedimento de polen en el fondo.

Finalmente, se extrae con pipeta la solución de polen para colocarse una gota en portaobjetos, se coloca el cubreobjetos y se analiza en microscopio óptico a 40x la composición relativa de especies presentes, así como su caracterización

morfológica (Figura 10). Deben contarse un total de 200 granos de polen para lograr un análisis palinológico representativo de la muestra.

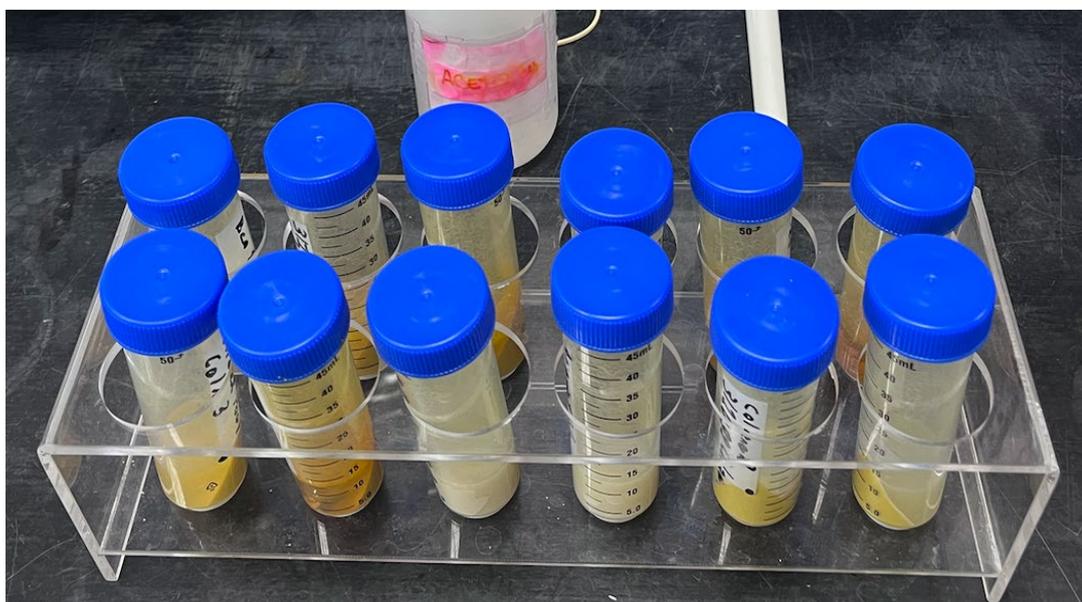
3.4.6 Glifosato

Se analizó la presencia de glifosato o su metabolito primario AMPA en las muestras de polen por efecto de translocación. La composición de las muestras elegidas era heterogénea, algunas contenían polen de colza en estado puro y otras contenían un *pool* de distintas especies en el área de pecoreo.

Las muestras fueron preparadas en el laboratorio. Para ello se homogeneizaron en el molinillo eléctrico y posteriormente en mortero de mármol, para su correcto afinamiento.

Figura 11

Preparación de muestras para análisis en espectrómetro de masas para la detección de glifosato y AMPA



Nota. Muestras blanco y muestras para análisis, con polen puro de *B. napus* y con *pool* de especies recolectadas.

Para que la muestra pudiese ser analizada en el espectrómetro debió pasar por un proceso de preparación (Figura 11), Se mezcla la muestra con agua y luego de agitaciones repetidas se pasa por una centrifugación intensa de 120000 rpm a baja temperatura. Luego se mezcla el extracto con acetonitrilo. Finalmente, se vuelve a centrifugar. De esta manera, la muestra queda disuelta y permite extraer selectivamente los compuestos de interés de forma precisa. Luego de la agitación puede observarse que la muestra tiene un color más claro, producto de la correcta separación de las fases.

Para calibrar el espectrómetro y hacer viable la medición de compuestos en polen debe utilizarse una muestra blanco (matriz), sin componentes de agroquímicos detectables. A su vez, debe construirse una curva de dilución en la

cual se agregan distintas dosis de glifosato y AMPA. Las dosis utilizadas para validar el modelo son de 10, 25 y 50 gr.kg⁻¹ de polen.

Se comparó la cantidad original con la muestra luego de la extracción y se observó un porcentaje equivalente a la extracción presente. El objetivo de esto es comparar la cantidad esperada con la real. Acorde a la guía SANTE de la Unión Europea, los valores de esta comparación deben encontrarse entre el 70 y 120%.

Al obtener los resultados debemos evaluar en la curva de respuesta en matriz la concentración de glifosato, que se mide como el área bajo la curva. La curva se hace en matriz y en solvente. Luego se mide la relación entre las pendientes obtenidas en uno y otro caso para poder corregir errores.

Este análisis se realizó únicamente con una recuperación, que permite ver la cantidad conocida de glifosato para una cantidad conocida de muestra. Se utilizó un estándar interno guardado en refrigerador a -40 °C. Posteriormente se agregó 10 µL de agua y 10 mg.L⁻¹ de glifosato del estándar interno a todas menos a las muestras blanco, la cual está marcada con isótopos.

A la recuperación y a las muestras se le agregó solución de 10 mg. L⁻¹, siendo la cantidad 40 µL. La solución al finalizar el procedimiento queda con una concentración 1:10, con 1000 ml totales agregados.

Finalmente, las muestras son colocadas en centrifugadora una vez que tomen temperatura. Debe separarse el extracto en tubos rotulados. Se agita y se vuelve a centrifugar.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se abordó la respuesta a los objetivos específicos del presente trabajo: estudiar el interés de la abeja melífera al recurso polínico de *B. napus*, su variación en el tiempo y los niveles de proteína, extracto etéreo, minerales y otras variables asociadas (materia seca y fracción ceniza) en el polen de la especie mencionada. Esto fue analizado en función de la fecha de muestreo, el apiario (localidad) y la colmena. Todos los análisis y la verificación de los supuestos asociados a los modelos se realizaron a partir del *software R Studio*, a través de sus paquetes para análisis estadístico.

3.5.1 Composición relativa de colza

Se seleccionó un modelo lineal anidado en tres etapas (Montgomery, 2010), de manera de analizar el comportamiento de las colmenas respecto al recurso polínico de la colza a través de la fecha de muestreo, según las distintas colmenas analizadas para cada apiario. El presente modelo intenta explicar en los distintos apiarios si el contenido relativo de colza en las muestras varía durante el período de floración del cultivo y analizar las posibles diferencias entre los apiarios.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_{k(i)} + \gamma_{j(i)} + (\tau\beta)_{k(i)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde μ es el porcentaje de colza presente en la muestra, τ es el efecto del apiario i , β es el efecto del muestreo k en el apiario i , γ es el efecto de la colmena j en el apiario i , $(\tau\beta)_{k(i)}$ es la interacción entre el muestreo k y el apiario i y ε_{ijk} es término del error. Los efectos son variables aleatorias con residuales provenientes de una distribución normal, media cero y varianza homogénea (Montgomery, 2010).

3.5.2 Análisis de proteína cruda, extracto etéreo y minerales

El modelo seleccionado para descomponer el muestreo de proteína, extracto etéreo y minerales fue un modelo lineal simple (Montgomery, 2010).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde μ representa el nivel de proteína cruda, extracto etéreo o los distintos minerales según corresponda, τ es el efecto del apiario i y ε_{ij} el error asociado a la muestra. Dado que en cada apiario se trabaja sobre un mismo recurso (misma especie de cultivo) se optó por no considerar el efecto de la colmena. El efecto τ es de tipo fijo con distribución normal, media cero y varianza homogénea (Montgomery, 2010).

3.5.3 Análisis de Componentes Principales

Con el objetivo de relacionar las distintas variables numéricas analizadas se realizó un Análisis de Componentes Principales. De esta manera se analizó si las observaciones pueden ser explicadas mayormente por dos componentes en un espacio p -dimensional (Pearson, 1901). El análisis se valida en la medida que se cuantifica que los dos componentes principales explican una proporción considerable de la variabilidad de los parámetros en estudio.

Es de utilidad para buscar parámetros en modelos que puedan predecir el comportamiento de las variables. Al analizar los vectores en el espacio del gráfico, se considera una correlación positiva en aquellos que presentan un ángulo menor a 90° , siendo ésta mayor cuanto más obtuso este sea. Un ángulo de 90° significa que no existe correlación. Se considera una correlación negativa cuando el ángulo presenta 180° .

Este análisis busca responder si el momento de floración del cultivo, la proporción relativa del pecoreo de colza para una colmena dada y los distintos parámetros de calidad del polen cuantificados (proteína cruda, materia seca, fracción ceniza, extracto etéreo, calcio, magnesio, zinc y hierro) presentan correlación alguna entre sí. El mismo se realizó con los datos de una única colmena (Colmena 2) en un único apiario (Sauce).

3.6 CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS DE LOS CULTIVARES

Se caracterizó el ciclo fenológico de los cultivares de cada apiario con el objetivo de compararlos con los resultados evaluados. Fue construido acorde a la base de predicción fenológica elaborada por Verocai et al. (2022) y a la información

del portal *INIA CultiDatos*, basado en la Evaluación Nacional de Cultivares (INASE & INIA, 2022, 2023).

Con el fin de construir las curvas de floración para cada cultivar, se elaboró la suma térmica para las localidades basándose en los registros de temperatura, asumiendo igual fotoperíodo que para La Estanzuela. La información fue ajustada acorde a las fechas de siembra y cosecha efectivas, proporcionadas por los técnicos mediante comunicación personal.

3.7 CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA

Para la caracterización agroclimática se solicitó información histórica al Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) y se utilizó los parámetros indicados en la base de datos del INIA (s.f.). La temperatura media diaria en Arrayanes, la temperatura media mensual histórica, la temperatura durante el ciclo de cultivo 2022 en ambas localidades, la precipitación mensual acumulada y la precipitación diaria fueron proporcionadas por INUMET (comunicación personal, 15 de agosto, 2023). Por otro lado, la temperatura media diaria en Sauce y la ocurrencia de heladas agrometeorológicas proviene de la base de datos del INIA.

Los datos de la temperatura media mensual corresponden a datos recabados para el Aeropuerto de Carrasco en el caso de Sauce y a Laguna del Sauce para el caso de Arrayanes. La precipitación acumulada desde 2006 a 2021 y la precipitación diaria corresponden a la localidad de Santa Rosa para el caso de Sauce y a Pan de Azúcar para el caso de Arrayanes. La temperatura media diaria corresponde a INIA Las Brujas para el caso de Sauce y a Laguna del Sauce para el caso de Arrayanes en la base de datos (INIA, s.f.). Por último, los datos de helada agrometeorológica provienen de la base de datos de INIA Las Brujas para las fechas de muestreo en cada sitio en la base de datos (INIA, s.f.). Los rangos de fechas seleccionados corresponden al muestreo o al ciclo del cultivo según se aclare en cada figura.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA

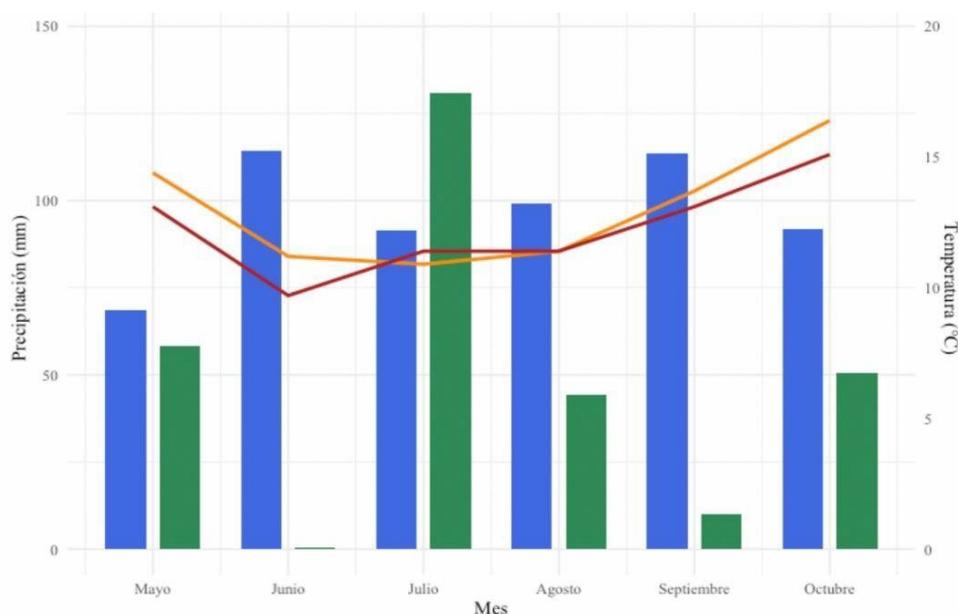
4.1.1 Precipitación acumulada y temperatura

4.1.1.1 Sauce

Las temperaturas durante los primeros estadios del cultivo se encontraron levemente por debajo del promedio. A pesar de ello, las mismas fueron adecuadas para la correcta implantación y desarrollo iniciales que puedan perjudicar a la floración (Figura 12). Durante la floración fueron también inferiores al promedio, sin tampoco representar condicionantes para el desarrollo de la floración ni la actividad apícola.

Figura 12

Temperatura media mensual y precipitaciones en comparación con serie histórica en Sauce, Canelones



	M	J	J	A	S	O
■ PP 2006-2021	68,7	114,3	91,4	99,4	113,5	92,0
■ PP 2022	58,2	0,4	130,8	44,1	10,1	50,5
— T (°C) MED 07-21	14,4	11,3	10,9	11,4	13,8	16,4
— T (°C) 22	13,2	9,7	11,4	11,4	13,1	15,2

Nota. Evaluado durante el desarrollo de *B. napus*. Promedios elaborados a partir de informe solicitado a INUMET (comunicación personal, 15 de agosto, 2023) con datos de media mensual de temperatura y precipitaciones correspondientes a cada año para los meses de ciclo del cultivo (de mayo a octubre).

En cuanto a las precipitaciones acumuladas, puede establecerse que difirieron muy considerablemente del promedio histórico. En todos los meses evaluados con excepción del mes de julio, las precipitaciones fueron inferiores al promedio histórico, llegando a ocurrir únicamente en fracción traza durante todo el

mes de junio (Figura 12). Si se observa el período de floración, la precipitación acumulada de agosto fue menos de la mitad del promedio histórico, mientras en septiembre representó menos de 10% del promedio histórico y en octubre tan solo supera levemente la mitad de dicho promedio (Figura 12).

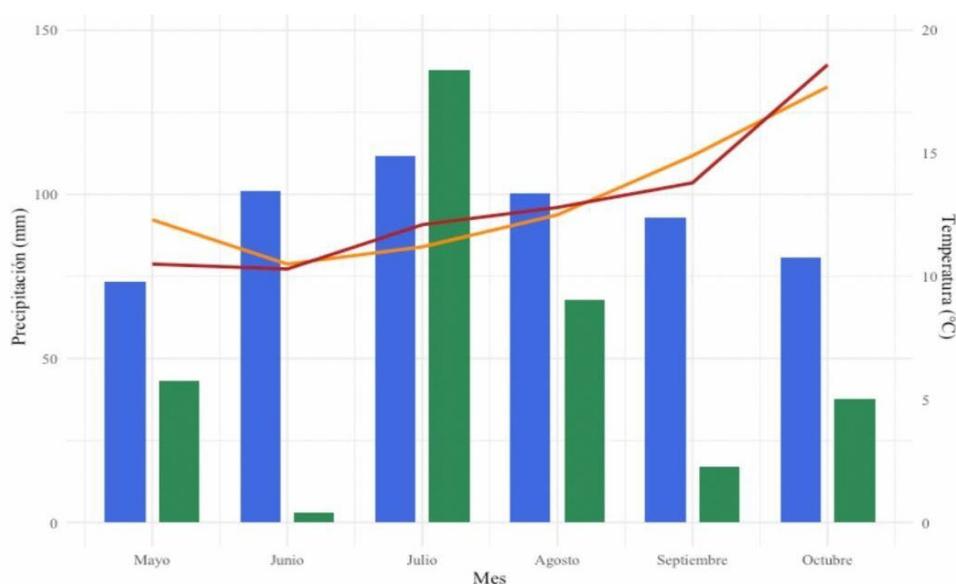
Se puede considerar que estos valores podrían haber tenido efectos en el normal desarrollo del cultivo mediante el desarrollo deficiente del área foliar, en la correcta absorción de nutrientes en solución y, por tanto, podrían ser condicionantes a la llegada del período de floración.

4.1.1.2 Arrayanes

Para la localidad de Arrayanes, las temperaturas medias no difirieron marcadamente del promedio histórico durante el período muestreado, aunque son levemente inferiores de marzo a septiembre (Figura 13).

Figura 13

Temperatura media mensual y precipitaciones en comparación con serie histórica en Arrayanes, Maldonado



	M	J	J	A	S	O
■ PP 2006-2021	73,3	101,0	111,6	100,4	93,0	80,8
■ PP 2022	43,0	3,0	137,8	68,0	17,0	37,8
— T (°C) MED 07-21	12,3	10,5	11,3	12,6	14,9	17,7
— T (°C) 22	10,5	10,3	12,2	12,8	13,8	18,6

Nota. Evaluado durante el desarrollo de *B. napus*. Promedios elaborados a partir de informe solicitado a INUMET (comunicación personal, 15 de agosto, 2023) con datos de media mensual de temperatura y precipitaciones correspondientes a cada año para los meses de ciclo del cultivo (de mayo a octubre).

Se considera las temperaturas que no afectaron el desarrollo del cultivo ni la actividad apícola. Al igual que en la localidad de Sauce, las precipitaciones acumuladas estuvieron condicionadas al régimen de sequía (Figura 13). Todos los meses con excepción de julio se encontraron al menos 30% por debajo del promedio

histórico. Particularmente durante el mes de junio el acumulado fue un 3% del promedio.

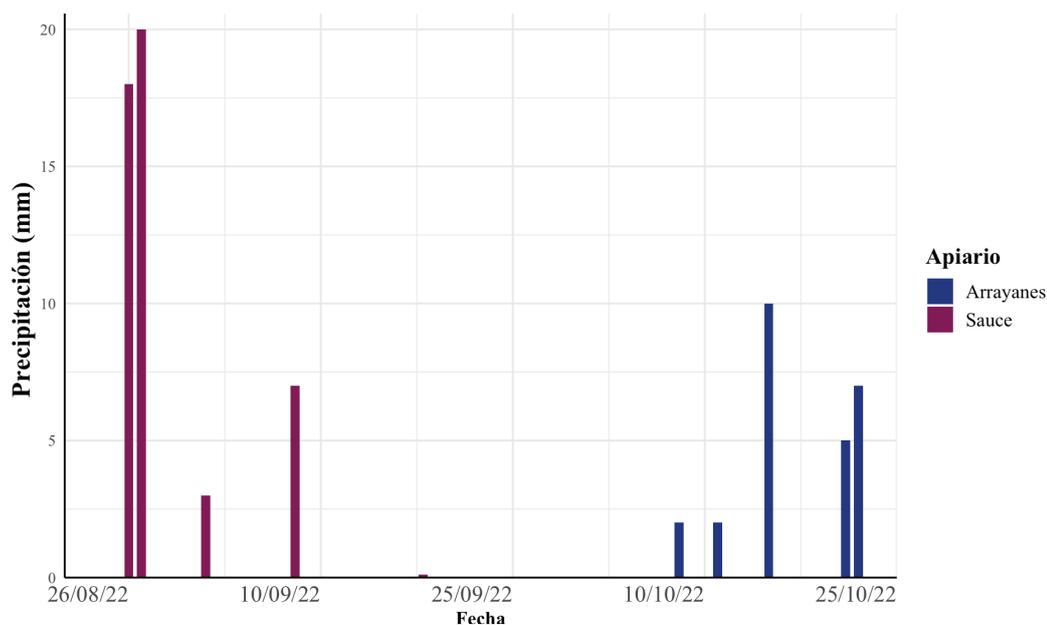
Durante el período de floración, los acumulados fueron 32.4, 76 y 43 mm por debajo del promedio en agosto, septiembre y octubre respectivamente (Figura 13). Es posible, al igual que en Sauce, que esto haya afectado el normal desarrollo del cultivo con consecuencias directas en la floración.

4.1.2 Precipitación diaria durante el período de muestreo

Consecuentemente con el acumulado mensual, la precipitación diaria registrada durante el período de muestreo tuvo un máximo de 20 mm en Sauce y 10 mm en Arrayanes, observándose 5 días con registros de precipitación en cada localidad (Figura 14).

Figura 14

Ubicación temporal de las precipitaciones diarias durante el período de muestreo para los respectivos apiarios



Nota. En la base de datos de INIA se seleccionó la variable “Precipitación Día” para INIA Las Brujas. Datos recabados desde el 22/8 al 12/10 para Sauce, Canelones y del 13/9 al 25/10 para Arrayanes, Maldonado. Elaborado a partir de datos de INIA (s.f.) (Sauce) e informe solicitado a INUMET (Arrayanes) (comunicación personal, 15 de agosto, 2023).

Estas precipitaciones se consideran particularmente escasas. El efecto de esto depende de la acumulación de agua disponible en el perfil del suelo y las condiciones de cada localidad. Según como haya sido el desarrollo del cultivo previo a la floración y el agua disponible hasta el momento, la falta de precipitaciones durante este período tiene efectos que pueden variar. El período de muestreo comprende al período crítico, de mayor demanda hídrica del cultivo y de determinación del rendimiento.

En particular, ante una situación de déficit hídrico como la que se presenta en la Figura 14, se esperarían efectos tales como la menor producción nectarífera del receptáculo floral, el correcto desarrollo de la floración en ambos apiarios, su duración, la cantidad de inflorescencias completamente abiertas y la producción de fotoasimilados.

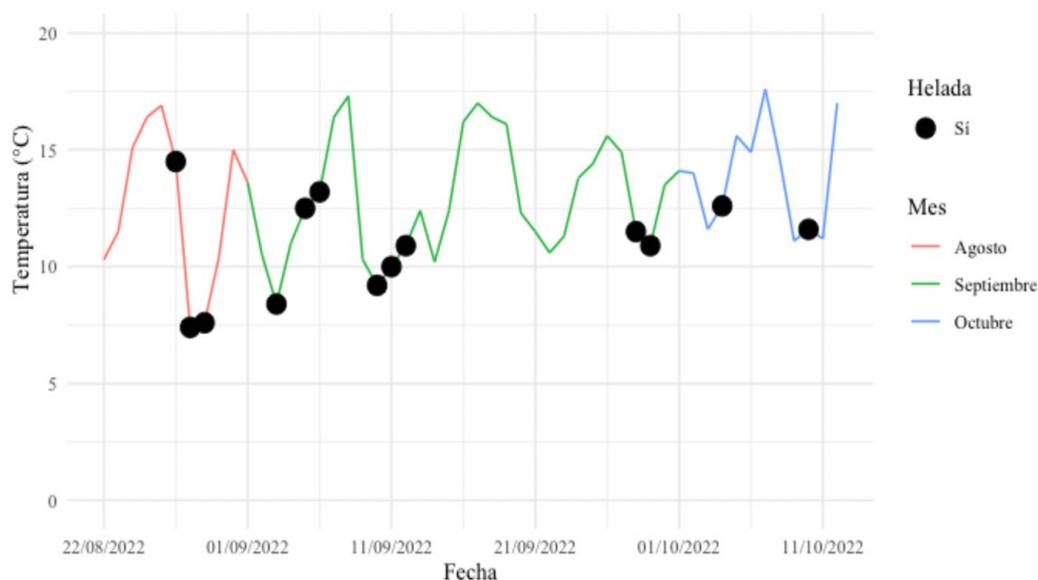
4.1.3 Temperatura media diaria y heladas durante el período de muestreo

4.1.3.1 Sauce

En la presente figura se registra la temperatura media diaria durante el período de muestreo. La misma fue adecuada para el desarrollo del cultivo y para la correcta actividad pecoreadora y funcionamiento de las colmenas (Figura 15). Se entiende la ocurrencia de una helada agrometeorológica como el registro de temperatura a nivel de césped (5 cm del suelo) de un nivel de 0°C o menor (INIA, s.f.).

Figura 15

Temperatura media diaria registrada e indicador de heladas agrometeorológicas registradas durante el período de muestreo para el Sauce, Canelones



Nota. Datos recabados para el período de muestreo del apiario (del 22/8 al 12/10). Promedio de temperatura máxima y mínima elaborado a partir de informe solicitado a INUMET (comunicación personal, 15 de agosto, 2023). Datos de helada correspondientes a INIA: dentro de la base de datos de INIA se seleccionó la variable “helada meteorológica” para INIA Las Brujas correspondiente al período; elaborado a partir de INIA (s.f.).

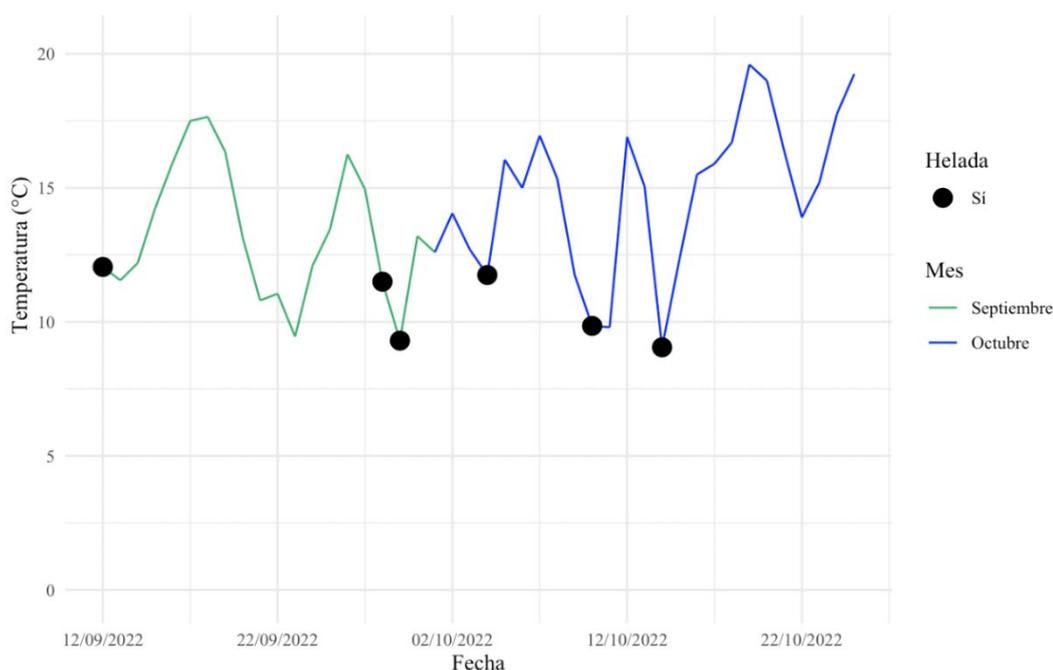
A su vez, la actividad de las abejas pecoreadoras pudo verse afectada por sucesivas heladas de igual manera. El cultivo de colza es más sensible a heladas en floración en períodos tempranos o tardíos y luego de altas temperaturas, que no sucedieron en este caso (Mazzilli et al., 2021).

4.1.3.2 Arrayanes

Para la localidad de Arrayanes, la temperatura media diaria registrada durante el muestreo estuvo dentro de los rangos para el correcto desarrollo del cultivo a floración y el correcto desarrollo de las colmenas, así como su actividad pecoreadora (Figura 16).

Figura 16

Temperatura media diaria registrada e indicador de heladas agrometeorológicas registradas durante el período de muestreo para Arrayanes, Maldonado



Nota. Datos recabados para el período de muestreo del apiario (del 13/9 al 25/10). Promedio de temperatura máxima y mínima elaborado a partir de informe solicitado a INUMET (comunicación personal, 15 de agosto, 2023). Datos de helada correspondientes a INIA: dentro de la base de datos de INIA se seleccionó la variable “Helada Agrometeorológica” para INIA Las Brujas correspondiente al período; elaborado a partir de INIA (s.f.).

Si bien hay registros de algunas heladas agrometeorológicas tardías durante fines de septiembre y durante el mes de octubre (Figura 16), no se considera que hayan afectado el desarrollo de la actividad de las colmenas y la disponibilidad de oferta floral del cultivo.

4.2 ANÁLISIS FENOLÓGICO DE LOS CULTIVARES

Los momentos fenológicos difieren levemente entre los dos cultivares evaluados, dado que los mismos presentan distintas precocidades de llegada a estadio fenológico F1 acorde a la escala CETIOM del Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux et du Chanvre (Terres Inovia, 2019), así como distintas aceleraciones para su llegada al total de inflorescencias florecidas y posteriores fases.

El análisis debería ponderar que la oferta relativa al comienzo del muestreo en Sauce correspondía a un momento de floración incipiente del cultivo, mientras en Arrayanes los muestreos sucesivos partieron de un estadio más avanzado del cultivo. Esto se debió a las diferencias propias entre cultivares y a las fechas a partir de las cuales se iniciaron los muestreos en cada localidad.

Figura 17

Cultivo de B. napus cv. INTA Guyunusa el 29/8 (48% de inflorescencias abiertas) en Sauce, Canelones



Es importante observar que el muestreo para la localidad de Sauce comenzó cuando el cultivo se encontraba con un 36% de inflorescencias florecidas, mientras el muestreo en Arrayanes comenzó en el 67% de inflorescencias abiertas acorde a la curva teórica. Al concluir el muestreo, los cultivos se encontraban posteriores a la máxima floración, pero en distintos momentos, 97% y 77% para Sauce y Arrayanes respectivamente.

Se determinaron distintos comportamientos de los cultivares con el momento, la duración y la abundancia de la oferta floral que ofrecen. Para el caso del cultivar *INTA Guyunusa*, sembrado el 15 de mayo y cosechado el 10 de noviembre, el ciclo tuvo 179 días totales y se estiman 163 días desde emergencia a cosecha. El total de inflorescencias florecidas, entendido como el 100% de la floración, se obtuvo el 20 de octubre.

Figura 18

Cultivo de B. napus cv. Nuvette (20% de inflorescencias restantes) el 25/10 en Arrayanes, Maldonado



El caso del cultivar *Nuvette* (Figura 18), sembrado el 15 de mayo y cosechado el 29 de noviembre, tuvo 169 días totales, estimándose 157 días desde emergencia a cosecha. El 10% de las inflorescencias abiertas se estimó en la segunda quincena de agosto, mientras el 40% ocurrió al final de agosto, al igual que en Sauce. A diferencia del primer apiario, en este caso el total de inflorescencias florecidas se alcanzó en los primeros días de octubre.

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LA FLORA APÍCOLA

Las abejas en ambos apiarios utilizaron el polen de colza como recurso. En ambos sitios de estudio se observó que el polen de dicha especie es utilizado acompañado de otras especies florales. A continuación se detalla la distribución relativa del polen en las distintas colmenas según su procedencia botánica para ambos apiarios. El polen recolectado refleja las distintas especies circundantes al cultivo (Leonhardt & Blüthgen, 2012; Pernal & Currie, 2001; Van der Moezel et al., 1987). Se pueden observar las preferencias de las distintas colmenas (Keller et al., 2005a), comprobándose la especialización temporal en *B. napus* (Lau et al., 2019).

Se considera que en ambos apiarios en general, la contribución relativa de la flora apícola acompañante fue importante y mayor a la esperable. Aunque la abundancia relativa y el momento fenológico de muestreo en ambos cultivos, determinan que el potencial de *B. napus* como oferta floral, no fue igual en ambos casos.

4.3.1 Distribución relativa

4.3.1.1 Sauce

El análisis palinológico detalló que existieron un total de dieciocho especies pecoreadas para esta localidad. Se puede observar que al principio de la floración existía una altísima concurrencia al cultivo de colza, complementando la oferta con polen de Acacia (de floración intensa), que resultó el polen mayoritario en la colmena 1 y de bastante importancia en la colmena 3 (Figura 19).

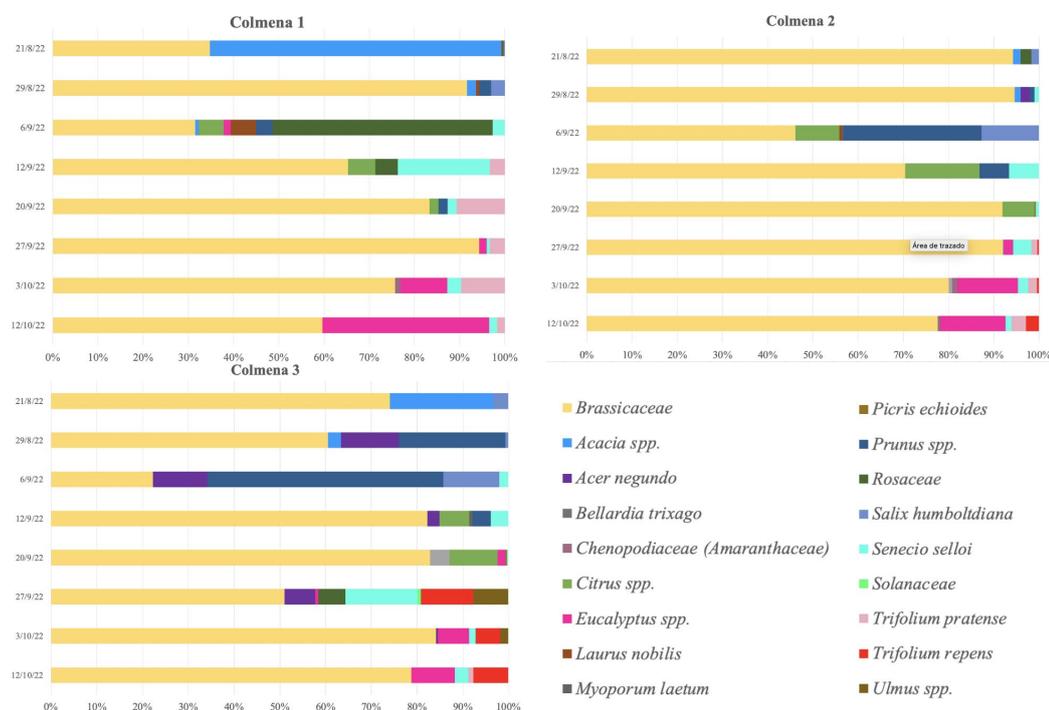
Para las tres colmenas, en el muestreo del 6/9 el polen de colza disminuyó drásticamente su aporte, viéndose la importancia significativa de las rosáceas (compuestas por *Rosaceae* y *Prunus sp.*) que en ese momento del muestreo se encontraban en plena floración y resultaban una oferta preferible, llegando a más de la mitad de la composición total en las colmenas 1 y 3 (Figura 19).

Durante el mes de septiembre en Sauce también puede observarse el aporte significativo de especies como las del género *Citrus spp.* y de *Senecio selloi* (Figura 17). Durante el mes de octubre, en el descenso de la floración y últimos muestreos, se ve claramente un incremento de interés de las colmenas por especies del género *Eucalyptus spp.*, que comienzan su floración sobre esta época.

Sobre dicho momento, en todas las colmenas también apareció un pequeño aporte de *Trifolium repens* y *Trifolium pratense*. No obstante, el aporte de *Brassicaceae* siguió siendo ampliamente mayoritario. El momento de máximo aporte relativo del cultivo de colza no fue idéntico para ninguna de las colmenas, comprobando sus distintas preferencias y esquemas de pecoreo a pesar de contar con la misma oferta floral (Figura 19).

Figura 19

Distribución relativa de las especies botánicas según fecha de muestreo en Sauce, Canelones



Nota. Especies botánicas encontradas en las muestras de polen durante los sucesivos muestreos en las colmenas seleccionadas.

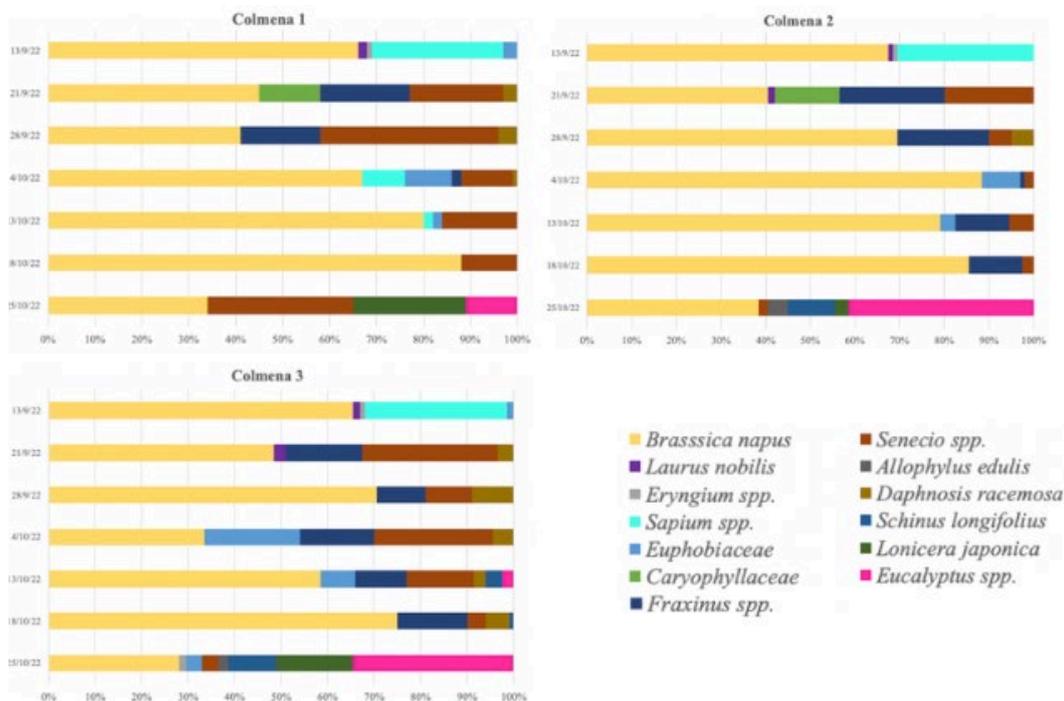
El motivo de estas diferencias de comportamiento podría radicar en distintas características inherentes a las colmenas: diferencias genéticas que determinen su comportamiento de pecoreo o distintas demandas nutricionales en las colmenas. Las diferencias genéticas pueden configurar elecciones de pecoreo en especies botánicas determinadas (Louveaux, 1954, como se cita en Free, 1963) o también que las pecoreadoras tengan más o menos capacidad de vuelo, en frecuencia de visitas a flores o en distancia recorrida. En lo que refiere a las demandas nutricionales, estas pueden estar dadas por la población de la colmena, por la cantidad de postura que determine el número de crías y por tanto una demanda proteica asociada para alimentarlas, la edad de la reina que determine su capacidad ovopositora o eventualmente distintas situaciones en el desarrollo de la colmena que limiten o acrecenten la capacidad de buscar alimento, como enfermedades u otros agentes externos.

4.3.1.2 Arrayanes

En este apiario la oferta en términos de diversidad de especies vegetales es menor a Sauce para todas las colmenas, con un total de trece especies recabadas. Sin embargo, en términos de cantidad, el apiario se destaca por una proporción relativa de flora acompañante mayor a la esperada (Figura 20).

Figura 20

Distribución relativa de las especies botánicas según fecha de muestreo en Arrayanes, Maldonado



Nota. Especies botánicas encontradas en las muestras de polen durante los sucesivos muestreos en las colmenas seleccionadas.

El comienzo del muestreo registra en todas las colmenas un aporte significativo de *Sapium spp.*, que luego se vuelve residual. A partir de la segunda semana de muestreo se consolida un aporte sostenido de gran relevancia de *Senecio spp.*, que disminuye para las colmenas 2 y 3 en el último muestreo, más no así en la colmena 1.

También a partir del momento mencionado comienza en todas las colmenas un aporte importante de *Fraxinus elegans*, que desapareció sobre el final del muestreo en las colmenas 2 y 3, pero a principios de octubre en la colmena 1 (Figura 20). En este apiario se puede observar de forma sostenida la competencia de la flora apícola acompañante sobre el cultivo.

Al igual que en Sauce, sobre el final del ciclo del cultivo se hace sumamente importante el aporte de *Eucalyptus spp.* (y más especies en esta localidad), con la diferencia de que en el último muestreo de Arrayanes la composición relativa de *Brassicaceae* es claramente minoritaria en todas las colmenas.

Esto puede explicarse por varias razones: están las variaciones en estadios fenológicos y descenso de la floración de cada cultivar en el momento del último muestreo, acorde a la curva de floración de ambos cultivares que se explicará a continuación. Es decir, los cultivares no descienden su oferta de la misma manera. A su vez, la flora apícola acompañante en cada apiario es distinta.

4.4 ANÁLISIS DE LA CONTRIBUCIÓN DE *BRASSICA NAPUS*

El modelo estadístico lineal en tres etapas demostró que existen diferencias significativas entre la composición relativa de colza entre apiarios ($P=0.0136655$). La media ajustada para la composición relativa de polen de *B. napus* en Sauce es de 71.99%, mientras en Arrayanes es de 60.45% (Tabla 1).

A su vez, existe un efecto fuerte del factor muestreo ($P=0.001311$) en ambos apiarios, lo que indica que la composición relativa de polen de colza en la muestra varía con el momento de floración y es susceptible a la competencia con la flora apícola acompañante de los distintos apiarios. El análisis de varianza no detectó un efecto significativo de la interacción entre el apiario y el muestreo, lo que indica que a pesar del desfase en los ciclos de floración, los apiarios son comparables en lo que refiere a su composición relativa de la colza.

Los antecedentes muestran que las colmenas tienen comportamientos variables respecto al pecoreo de los recursos de *Brassicaceae* que las distinguen unas de otras, siendo comprobado en este estudio. A pesar de ello, no se puede responder fehacientemente que existan diferencias entre la mayor parte de las repeticiones. Por lo tanto, no se encontró una colmena, dentro de los apiarios, que esté particularmente más volcada hacia pecorear el polen de *B. napus*. Si se observa entre apiarios, la Colmena 3 en Arrayanes presenta diferencias significativas en la media ajustada que la sitúan como la colmena que menos prefirió el recurso, mientras la Colmena 2 en Sauce es la que más lo prefiere (Tabla 1).

La mayor media ajustada para todas las colmenas evaluadas fue de 80.9% para la Colmena 2 en Sauce (Tabla 1), mientras si se observa a su vez la mejor del apiario de Arrayanes, la misma fue de 67.0% en la Colmena 2 (Tabla 1). En el apiario de Sauce el recurso de la colza fue más atractivo que en Arrayanes.

Para el caso de Sauce, puede verse que en el primer muestreo la colza supera el 65%, a pesar de que el cultivo apenas supera el 37% de la floración en el primer muestreo (Figura 21). Esto coincide con lo planteado con los productores apícolas, que indican que la colza es una oferta muy atractiva para las colmenas en cuatro o cinco semanas antes del comienzo de la primavera, momento en el cual no existe (o es muy débil) otra oferta disponible de forma significativa. La colza permite cubrir esta necesidad.

En el mencionado apiario existe una clara competencia con la colza en la primera semana de septiembre, a pesar de estar avanzado el comienzo de la floración. El pico del aporte mayoritario de colza al polen de la colmena se encuentra siempre antes del momento del total de inflorescencias florecidas, siendo sostenidamente mayoritario entre el 12/9 y el final del muestreo, empezando a bajar en los últimos dos muestreos, en el momento que florecen el total de las inflorescencias (Figura 21).

Tabla 1

Medias y desvío estándar de los niveles de composición relativa de polen de B. napus

Localidad	Apiarios								
	Sauce			Colmenas			Arrayanes		
Media ± DE (%)	71,99 ± 21,43 a						60,45 ± 19,44 b		
N°	Colmenas								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Media ± DE (%)	68,10 ± 25,08 ab	80,89 ± 16,68 a	66,99 ± 21,58 ab				60,14 ± 20,53 ab	67,00 ± 20,28 ab	54,21 ± 18,22 b
Localidad	Muestreo								
	21/8/22	29/8/22	6/9/22	12/9/22	20/9/22	27/9/22	3/10/22	12/10/22	
Media ± DE (%)	67,7 ± 30,31 ab	82,3 ± 18,88 a	33,3 ± 12,00 b	72,63 ± 8,66 a	88,93 ± 5,31 a	79,1 ± 24,36 a	80,03 ± 4,20 a	72,0 ± 10,75 ab	
	13/9/22	21/9/22	28/9/22	4/10/22	13/10/22	18/10/22	25/10/22		
Localidad	Arrayanes								
	21/8/22	29/8/22	6/9/22	12/9/22	20/9/22	27/9/22	3/10/22	12/10/22	
Media ± DE (%)	66,33 ± 1,04 ab	44,66 ± 4,01 ab	60,33 ± 16,75 ab	63,00 ± 27,71 ab	72,50 ± 12,13 ab	82,83 ± 6,89 a	33,5 ± 5,26 b		

Nota. Niveles evaluados sobre el total de polen recolectado por colmena. Evaluación por apiario, colmena y fecha de muestreo. DMS: Colmena=22,43%, Muestreo= 44,5%, Apiario= 8,66%.

Cuando se descompone la interacción en análisis *post-hoc* (Tukey), se encuentra que la interacción dentro de apiarios que marca una fuerte diferencia entre los sucesivos muestreos está asociada fundamentalmente a la tercera fecha de muestreo en Sauce (Anexo A). Esta baja composición relativa está explicada por una elevada competencia de otras especies con el cultivo, como se explicó en el punto 4.2. Este muestreo también es responsable de la fuerte interacción entre apiarios (Anexo A).

Por otra parte, la interacción dentro del apiario en Arrayanes está marcada por los dos últimos muestreos, donde la colza compite, entre otras especies, con la oferta de *Eucalyptus spp.* (Figura 18) y el estadio fenológico del cultivo se encuentra próximo a la madurez fisiológica (Figura 21). No obstante, el efecto de la competencia es mayor en los primeros cinco muestreos, donde se mantiene en un rango de entre 44 y 72% del total del polen pecoreado (Tabla 1).

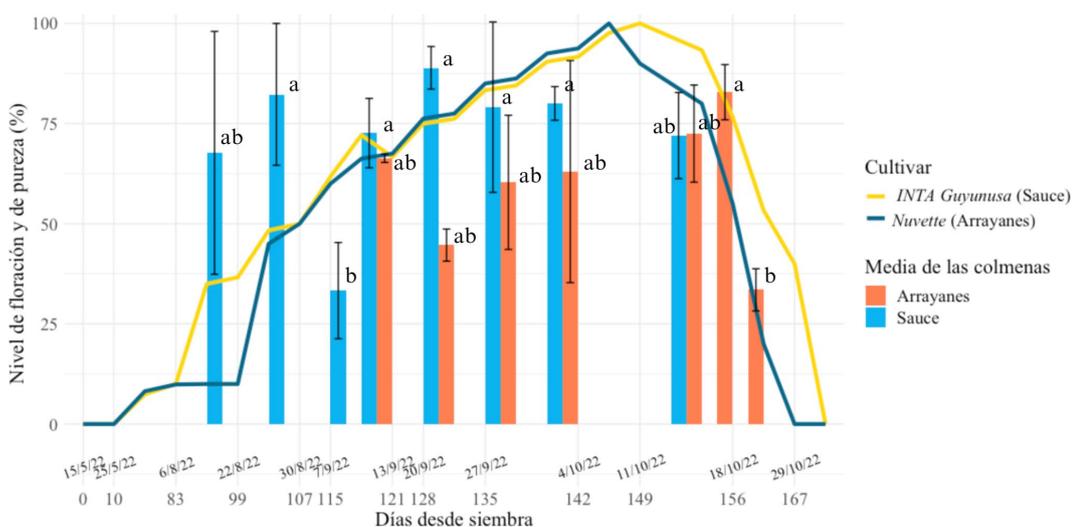
Para este apiario, los valores se mantienen con una menor media ajustada por efecto de la competencia de la flora acompañante (Figura 21). El pico de nivel de pureza de colza en la muestra se alcanzó en el penúltimo muestreo del 18 de noviembre con un 82.83% (Tabla 1). Incluso el aporte supera el 30% en el último muestreo, cuando se estima que la curva de floración se encuentra en 20% (Figura 21). Este último muestreo presenta diferencias significativas que lo sitúan en un menor valor por motivos fenológicos, mientras el menor valor de Sauce es por la competencia de la flora acompañante (7/9/22) (Figura 21). En la localidad de Sauce se pudo muestrear el comportamiento respecto al recurso polínifero de la colza a principios de floración de la misma, mientras que en Arrayanes se pudo muestrear dicho comportamiento próximo a madurez fisiológica del cultivo.

La información fenológica fue contrastada con la proporción del total recolectado por las colmenas que corresponde a *Brassicaceae*, con el fin de comprobar si los momentos de mayor abundancia del recurso floral coinciden con los momentos de mayor pecoreo relativo del cultivo.

Al observar la curva, se observa un comportamiento diferente entre cultivares. El máximo de inflorescencias florecidas se alcanza antes por el cv. *Nuvette* y la desaceleración de la curva es más pronunciada (Figura 21). Esto determinó un área bajo la curva menor que la situaron en términos relativos como una localidad donde el recurso colza fue menos abundante, desde el punto de vista teórico.

Figura 21

Floración de cvs. INTA Guyunusa y Nuvette con media por apiario para contribución de colza



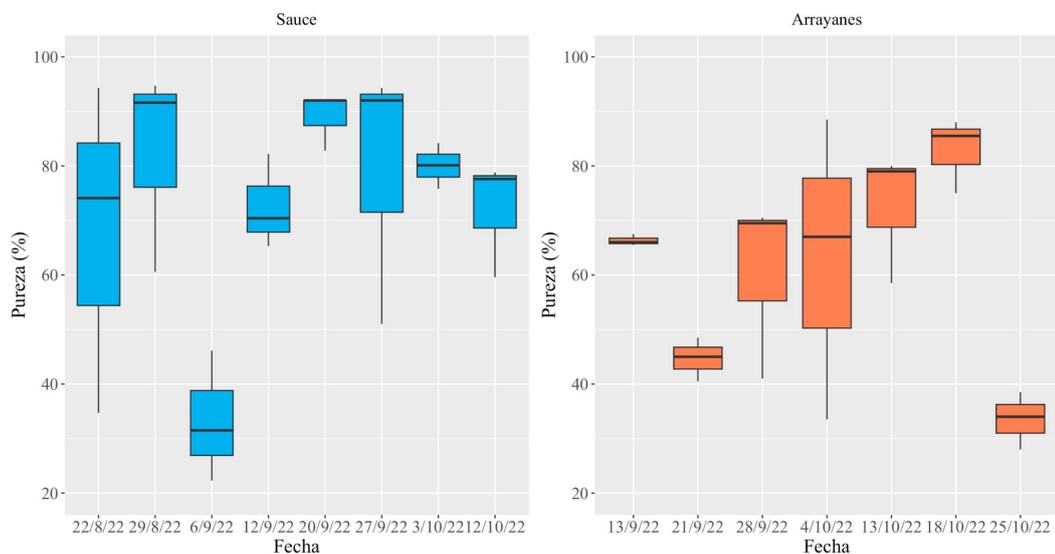
Nota. Curva de floración como porcentaje de inflorescencias completamente abiertas del total. Media ajustada por apiario diferenciada según $P < 0.05$. Contribución de la colza como pureza relativa de polen de colza en porcentaje del total de la muestra.

En Arrayanes, si bien (al igual que en Sauce) es mayoritario el aporte de la colza como oferta temprana, se observa que durante el mes de octubre es cuando la colza hace su mayor aporte relativo a la colmena (mayor nivel), a pesar de estar descendiendo su floración. No obstante, debe considerarse que el muestreo se empezó más tarde y no se conoce la proporción relativa del polen en un momento fenológico equivalente a la floración temprana.

Si se toman las tres colmenas de cada apiario como repeticiones del factor muestreo (Figura 22) se puede observar que en el apiario de Sauce el primer muestreo presenta la mayor variabilidad (Tabla 2), lo que evidencia que las colmenas estaban difiriendo su atención en el recurso polínico al compararlas entre sí. Todas las colmenas disminuyen drásticamente su atención a la colza en el tercer muestreo de Sauce (Figura 22). Si se observan los últimos cinco muestreos, la variabilidad en la atención hacia el cultivo de colza es pareja, con excepción del 27/9, donde hay una colmena que actúa diferente al resto (Anexo B).

Figura 22

Media y variabilidad de la composición relativa de colza según fecha de muestreo para cada apiario



Nota. Composición relativa en la muestra de polen como *Pureza (%)*.

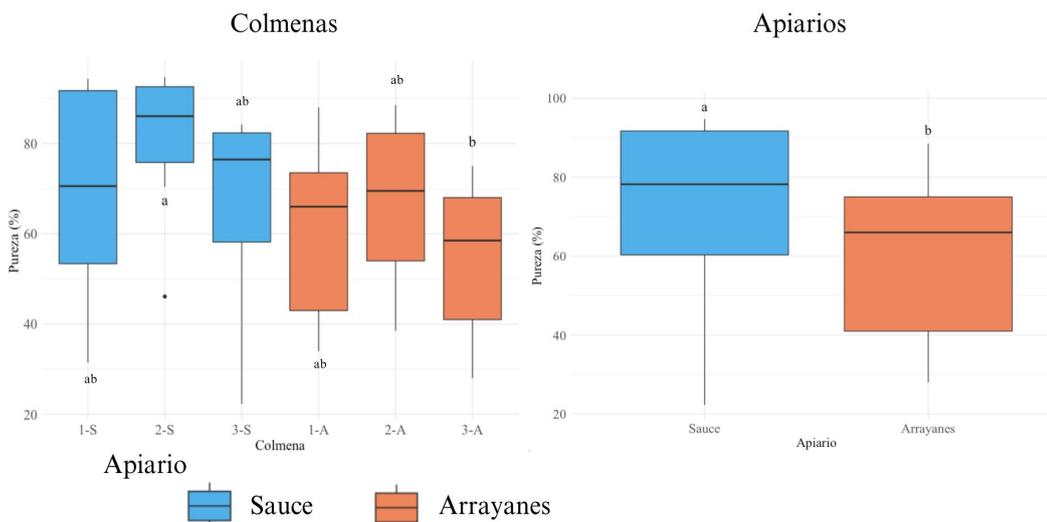
Para el caso de Arrayanes, por el contrario, el primer muestreo presenta mínima variabilidad entre colmenas, mientras entre el 28/9 y el 13/10 esa variabilidad se maximiza, para luego disminuir (Figura 22). La concentración hacia *B. napus*, visto como su media ajustada de pureza, alcanza un máximo en el penúltimo muestreo, único momento donde supera el 80% en su media ajustada. Finalmente, se hace mínima próxima a la madurez del cultivo. Si se observa el Anexo C, también puede observarse con mayor precisión la variabilidad del cuarto al sexto muestreo (12 al 27/9), donde la atención de las colmenas difiere entre sí, a pesar de no ser significativa como para asociar más una colmena hacia este recurso.

Al observar la variabilidad dentro de cada colmena y entre apiarios en los sucesivos muestreos, se comprueba que la Colmena 2 en Sauce es la que presenta el comportamiento más homogéneo durante el período de muestreo, lo cual sumado a su mayor media ajustada permite decir que es la colmena que más se concentra en el tiempo en el recurso, dada su menor variabilidad. Se puede observar que la mayor variabilidad entre muestreos es la de la Colmena 1 en Sauce (Figura 23). Las colmenas en Arrayanes presentan variabilidad similar respecto a sí mismas durante el muestreo y una menor media ajustada que en Sauce (Figura 23).

En lo que refiere a las diferencias entre apiarios, las mismas son significativas y los valores de Arrayanes presentan mayor variabilidad (Figura 23). También la media ajustada de este apiario se encuentra en el cuartil superior de los datos recolectados. Esto significa que la mayor parte de los datos son menores a la media ajustada, es decir, este apiario se caracterizó por un bajo pecoreo a la colza, con momentos donde este recurso se tornaba particularmente importante (Figura 23). Por otro lado, los sucesivos muestreos para el caso de Sauce presentan menor variabilidad entre sí, aunque esta es considerable y con una mayor media ajustada (Figura 23).

Figura 23

Media y variabilidad de la composición relativa de colza según colmena y apiario



Nota. Diferencias en las muestras detalladas según $P < 0.05$. Composición relativa como Pureza (%). Figura derecha: colmenas. Figura izquierda: apiarios.

Si bien no se encontraron diferencias significativas sustanciales que permitan colocar dentro de apiarios una colmena con mayor preferencia hacia el recurso que el resto, debería considerarse que profundizar este muestreo con más submuestras que repitan valores de composición relativa, o incrementar el número de colmenas, podría incrementar la inferencia estadística del análisis, disminuyendo la diferencia mínima significativa (DMS).

La DMS para los datos muestrales, con la estructura de datos y el modelo empleado, fue de 22.43% para el caso de las colmenas, lo que hace que se necesite mucha variabilidad en términos de pecoreo para que el análisis de varianza pueda detectar una diferencia significativa entre las repeticiones. En el Anexo B y C pueden observarse las diferencias de comportamiento a lo largo de los muestreos de las distintas colmenas para cada apiario.

4.5 CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA Y EXTRACTO ETÉREO

Los valores hallados fueron menores a los esperados. El presente trabajo fue realizado en condiciones a campo que tuvieron condiciones anormales por la marcada ausencia de precipitaciones (Figura 14). Los antecedentes reportan que las condiciones ambientales inciden sobre los parámetros de calidad, por lo que podría ser una referencia para comprender el presente análisis. Si se consideran en particular ciertos antecedentes evaluados en condiciones de escasa precipitación, los valores obtenidos se asemejan a los esperados para tales condiciones.

Debe tenerse en cuenta que los suelos sobre los que se encontraban ambos apiarios tenían aptitud agrícola y tuvieron el manejo agronómico adecuado. Acorde a la caracterización agroclimática, podría considerarse que un déficit en el agua disponible en suelo durante el período crítico del cultivo podría estar afectando la

absorción radicular con los efectos pertinentes a nivel fisiológico que determinan los niveles bajos para los parámetros de estudio.

Acorde a resultados equivalentes, se establece la posible necesidad de suplementación de la colmena (Santos et al., 2009). No obstante, la flora apícola presente podría estar siendo un soporte relevante para satisfacer las necesidades de la colmena. Resultados negativos fueron reportados en análisis con contenidos de proteína cruda y extracto etéreo similares, detallando riesgos asociados a enfermedades virales, menor respuesta inmune y afectación en la capacidad de pecoreo (Antúnez et al., 2015; Branchiccela et al., 2019; Corona et al., 2023; Di Pasquale et al., 2013).

Se considera que existe una relación entre los bajos niveles de proteína y extracto etéreo hallados con la baja media ajustada de aporte relativo de la colza en Arrayanes y en Sauce, en algunas fechas de muestreo. Es decir, parece que las abejas abandonan la colza por su bajo nivel nutricional.

El aporte relativo de las distintas especies botánicas es llamativo no tanto por su diversidad en términos de cantidad de especies, sino con el nivel de aporte de la flora apícola acompañante, que podría ser obtenida en tales proporciones para suplir las carencias nutricionales que suponen estos bajos parámetros de calidad en el polen de *B. napus*.

4.5.1 Proteína cruda

La proteína cruda presenta diferencias con los reportes para polen de especies de la familia *Brassicaceae*, presentando valores inferiores. Cuando se observa la media de cada apiario se observa un 17.44% en Sauce y 15.04% en Arrayanes (Tabla 2).

Se considera que los modelos utilizados podrían detectar mayores diferencias si se incrementan los residuales mediante un mayor número de muestras analizadas por fecha de muestreo. Aun así, el modelo fue suficiente para estimar una fuerte diferencia entre apiarios ($P=0.0006528$).

En ambas localidades se encuentran muy considerablemente por debajo de los niveles reportados a nivel local (Santos et al., 2009) y extranjero en los antecedentes para especies de la familia *Brassicaceae* (Tabla 2). El rango hallado en Sauce se encuentra entre 16.74 y 18.33%, mientras para Arrayanes es tan solo entre 13.9 y 15.87%. En todos los casos, esto es menos del nivel mínimo reportado a nivel nacional (Tabla 3) y debajo del nivel mínimo hallado en los antecedentes extranjeros.

Tabla 2

Medias ajustadas y desvío estándar de los niveles de proteína cruda en polen de B. napus

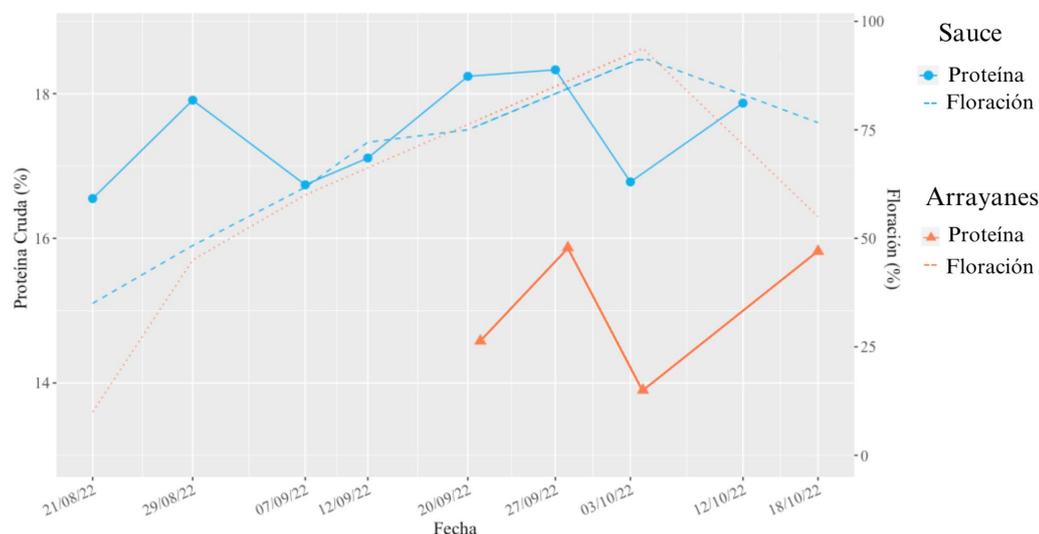
Localidad	Apiarios							
	Sauce				Arrayanes			
Media ± DE (%)	17,44 ± 0,284 a				15,04 ± 0,402 b			
	Muestreo							
Localidad	21/8/22	29/8/22	7/9/22	12/9/22	20/9/22	27/9/22	3/10/22	12/10/22
Sauce								
Media (%)	16,55	17,91	16,74	17,11	18,24	18,33	16,78	17,87
	21/9/22	28/9/22	4/10/22	18/10/22				
Arrayanes								
Media (%)	14,58	15,87	13,9	15,82				

Nota. Porcentaje en base seca. Niveles evaluados por apiario y fecha de muestreo. DMS (Apiario)= 0.89%

La evolución del contenido de proteína cruda en los distintos apiarios no muestra fluctuaciones considerables en el tiempo, manteniéndose en un rango de 16.55 y 18.33% en el caso de Sauce y 13.90 y 15.87% en el caso de Arrayanes (Figura 24). Sin embargo, se observa que en el pico de floración de ambos cultivares los valores bajan simultáneamente, para luego volver a subir (Figura 24). Solo en la tercera y cuarta semana de septiembre se logra superar el 18% en Sauce. Estos valores se parecen a los reportados por Thakur y Nanda (2020) en India y a lo reportado por Taha (2015) en condiciones semiáridas en Arabia Saudí.

Figura 24

Contenido de proteína cruda según fecha de muestreo y momento de floración por apiario



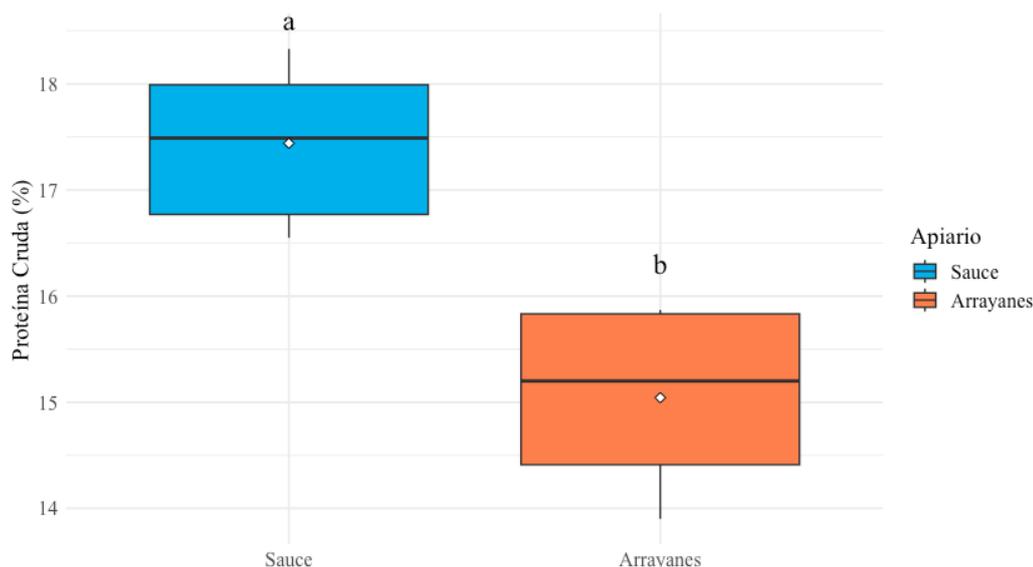
Nota. Niveles de proteína cruda como porcentaje de la muestra en base seca.

Los niveles de proteína cruda son considerados como insatisfactorios para satisfacer los requerimientos de la colmena (<20%). Esto podría estar explicando la considerable competencia que ejerce la flora apícola acompañante sobre los cultivos en ambos apiarios, incluso en muestreos donde hay abundancia de colza.

La variabilidad observada en Arrayanes es mayor y tanto la media como el rango de valores reportado es considerablemente menor (Figura 25). Debe mencionarse en el presente apartado que, a condiciones de campo, la floración observada en el cv. *Nivette* fue particularmente escasa y despareja, por lo que podría ser esperable encontrar valores anómalos y/o fluctuantes en la composición de las estructuras florales.

Figura 25

Media ajustada de proteína cruda según apiario



Nota. Niveles de proteína cruda como porcentaje de la muestra en base seca. Se detallan diferencias según $P < 0.05$.

Se conoce que la proteína en grano es lo último que se deposita y que el déficit hídrico acelera la senescencia del cultivo, por lo tanto, en grano disminuye la proteína. No se conoce la manera en que se construyen los niveles de proteína presentes en el polen y si se puede esperar una situación totalmente análoga.

Si bien la abeja no cuenta con receptores sensoriales para detectar niveles de proteína, sabiendo que la proporción de aminoácidos presentes en el polen está ligado positivamente con los niveles de proteína cruda que lo conforman (Wille et al., 1985, como se cita en Keller et al., 2005a). Podría existir una respuesta de la colmena en términos de pecoreo con el fin de cubrir los requerimientos de aminoácidos esenciales para el correcto desarrollo de la colmena.

4.5.2 Extracto etéreo

Los niveles de extracto etéreo (análogos a extracto lipídico) también presentan niveles considerablemente menores a los niveles reportados en base seca en antecedentes extranjeros para especies *Brassicaceae* (Tabla 3). La media para ambos apiarios es similar, 3.96 y 4.14 para Sauce y Arrayanes respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3*Medias ajustadas y desvío estándar de los niveles de extracto etéreo*

Localidad	Apiarios							
	Sauce				Arrayanes			
Media ± DE (%)	3,96 ± 0,440 a				4,14 ± 0,622 a			
	Muestreo							
Localidad	21/8/22	29/8/22	7/9/22	12/9/22	20/9/22	27/9/22	3/10/22	12/10/22
Sauce								
Media (%)	1,81	4,48	2,61	3,31	4,16	5,28	3,96	6,08
	21/9/22		28/9/22		4/10/22		18/10/22	
Arrayanes								
Media (%)	4,55		4,86		4,19		2,96	

Nota. Porcentaje de la muestra en base seca en polen de *B. napus* evaluado por apiario, y fecha de muestreo. DMS (Apiario)= 0.99%

El rango para Sauce se encuentra entre 1.81 y 6.08%, mientras en Arrayanes va de 2.96 a 4.55% (Tabla 3). Esto converge dentro del valor mínimo reportado en base seca reportada por Taha (2015) en Arabia Saudí y cercano a lo reportado por De Melo et al. (2016) en Brasil. Es posible que un mayor número de muestras pueda aportar a detectar un efecto de diferencias entre apiarios (Tabla 3).

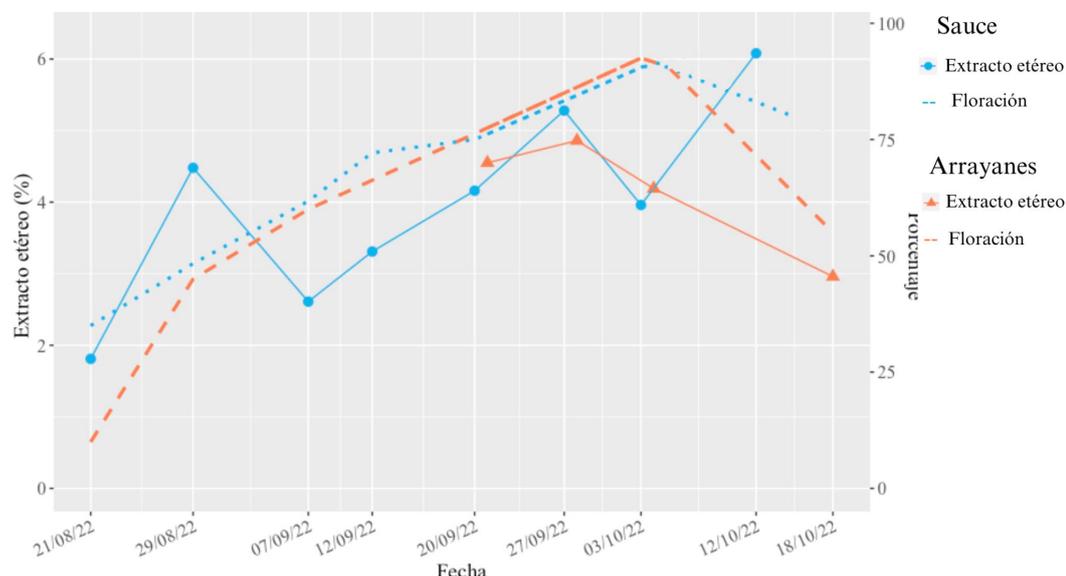
A pesar de que las diferencias entre los muestreos no se consideran significativas, mientras la tendencia de niveles en Sauce es de incrementar a medida que avanza la floración del cultivo, en Arrayanes sucede lo contrario (Figura 26). Por otro lado, se observa que los días previos al total de inflorescencias abiertas en ambos cultivos (entre el 20/09 y el 30/09) los valores son similares y las curvas se interceptan.

De esta manera, y acorde a los apiarios, no puede considerarse una relación precisa entre los niveles de extracto etéreo a medida que avanza la floración del cultivo. No obstante, y tal como se mencionó, los momentos de muestreo no son análogos, por lo que las tendencias no serían totalmente comparables.

Se observa un muestreo con tendencia a la baja cuando el cultivo se encontraba en senescencia, es decir, posterior al fin de floración (100%). Sin embargo, si se considera el momento fenológico del muestreo, puede observarse que para Sauce los valores son menores cuando comienza la floración y luego siguen subiendo. Si se consideran los muestreos para floración en Arrayanes, el 21/9 el cultivo estaba en 78% de inflorescencias florecidas y alcanzó su máximo el 9/10 (Figura 26).

Figura 26

Contenido de extracto etéreo según fecha de muestreo acorde al momento de floración en cada apiario



Nota. Nivel de extracto etéreo como porcentaje de la muestra en base seca.

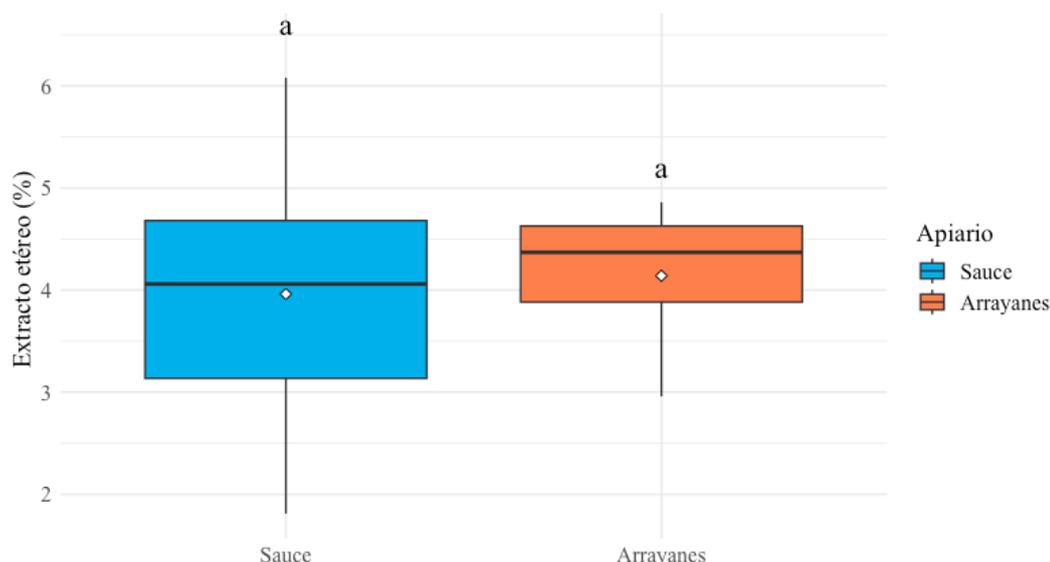
Este gráfico debería servirse de una muestra más completa que presente al detalle niveles acorde a cada momento fenológico del cultivo con suficientes muestras por fecha como para desarrollar un modelo que permita predecir de forma fehaciente posibles correlaciones de la fenología de la colza en un ambiente determinado respecto al extracto etéreo o a cualquiera de sus parámetros de calidad.

La variabilidad en Sauce es mayor (Figura 27), teniendo tanto el valor mínimo (1.81%) como el máximo (6.08%) del muestreo general (Tabla 3). No obstante, es el apiario de Arrayanes el que posee la mayor media ajustada. Los valores en el apiario de Arrayanes parecen sostenerse más durante los sucesivos muestreos, aunque con una menor cantidad de muestras en este último y sin diferencias significativas entre los apiarios.

Estos valores podrían estar siendo percibidos por los mecanismos sensoriales de las abejas pecoreadoras y determinar estrategias de pecoreo que excluyan en cierta medida polen con menor contenido lipídico. No obstante, estos parámetros evaluados no evitaron que el polen de colza sea un recurso de gran importancia para las colmenas en ambos apiarios.

Entendiéndose que tanto los niveles de extracto etéreo y proteína cruda presentan medias ajustadas inusuales para ambas localidades, deben tomarse estos análisis con precaución. Más muestreos o la consideración del efecto año podrían ser pertinentes para comprender los resultados.

Figura 27
 Contenido de extracto etéreo según apiarios



Nota. Diferencias detalladas según $P < 0.05$. Niveles de extracto etéreo considerados como porcentaje de la muestra en base seca.

No obstante, debe tenerse en cuenta que los valores son comparables con rangos bajos dentro de los reportados, lo que podría sugerir que en condiciones particulares, los parámetros de calidad del polen en nuestras condiciones pueden modificarse. Esto podría explicarse por la dinámica fisiológica del cultivo en condiciones de estrés hídrico, pudiendo alterar la deposición de ácidos grasos y proteína en distintas estructuras de la planta.

Al igual que lo establecido para proteína cruda, el efecto del déficit nutricional que existe en ambos apiarios podría, si bien no ser percibido al momento del pecoreo, ser percibido dentro de la colmena. Esto podría generar instrucciones que alteran el comportamiento de búsqueda de las abejas pecoreadoras, que podrían ampliar la composición relativa de especies acompañantes.

4.6 CONTENIDO DE MINERALES

Los niveles de los distintos minerales analizados no reportaron efectos significativos entre los apiarios para el caso de calcio, hierro y zinc, mientras sí lo hicieron para el caso del magnesio ($P=0.03989$).

En comparación con otras especies, se cumple lo indicado por Somerville y Nicol (2002), que indica que esta especie se caracteriza por elevados niveles de calcio y magnesio y bajos niveles de hierro. Sin embargo, los niveles de zinc no son bajos en este caso, sino todo lo contrario.

Cuando se comparan con otros valores encontrados para *B. napus*, lo que se observa es que los valores para hierro se encuentran en un rango superior, mientras los de magnesio, en este caso, se encuentran dentro de un rango inferior en comparación con lo que indica Somerville y Nicol (2002). Los valores de calcio

son considerablemente superiores a los antecedentes. Notoriamente, la media general de zinc es tres veces mayor a todos los reportes considerados.

Tabla 4

Medias ajustadas y desvío estándar de los niveles de calcio, magnesio, hierro y zinc

Localidad Mineral	Apiarios							
	Sauce				Arrayanes			
Media ± DE (ppm)	Ca	Mg	Fe	Zn	Ca	Mg	Fe	Zn
	2204 ± 80 a	1396 ± 54 a	36,2 ± 1,8 a	129,4 ± 24,1 a	2412 ± 110 a	1232 ± 74 b	33,9 ± 2,5 a	85,8 ± 33,1 a
Muestreo								
Localidad Sauce Media (ppm)	21/8/22	29/8/22	7/9/22	12/9/22	20/9/22	27/9/22	3/10/22	12/10/22
Ca	2000	2360	1890	2370	2280	2220	2310	2500
Mg	1260	1410	1610	1520	1430	1240	1300	1270
Fe	31,7	35,5	44,4	39,8	34,6	32,6	35,2	35,3
Zn	49,6	46,7	180,2	70,2	105,1	62,8	86,1	90,9
Arrayanes Media (ppm)	21/9/22	28/9/22	4/10/22	18/10/22				
Ca	2760	2400	2150	2250				
Mg	1280	1250	1090	1270				
Fe	30,1	30,8	36,1	36,8				
Zn	113,2	233,7	113,8	95,3				

Nota. Evaluado como ppm en base seca de muestras de polen de *B. napus*.

Evaluados por apiario y fecha de muestreo. DMS (Apiario): Ca= 240 ppm, Mg= 141 ppm, Fe= 4.7 ppm, Zn= 61.8 ppm.

Resulta importante destacar que a pesar de lo que indican la mayor parte de los antecedentes, cuando se tienen en cuenta los valores registrados en condiciones semiáridas, como las evaluadas por Taha (2015), los valores de calcio, magnesio y hierro son particularmente bajos. Mientras tanto, los de zinc continúan pareciendo sumamente elevados para los valores reportados para la especie.

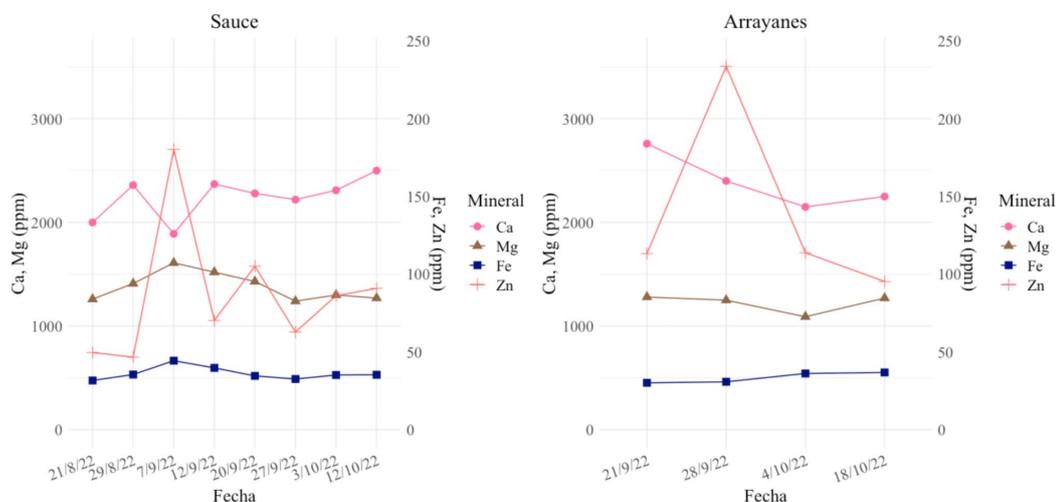
La Figura 28 muestra el comportamiento de los distintos minerales durante el muestreo, considerando un rango de eje primario para los rangos de calcio y magnesio y un eje secundario para los rangos de hierro y zinc. El zinc presenta picos en el tercer muestreo para Sauce y en el segundo para Arrayanes (Figura 28). No se observan tendencias claras de incremento o descenso de los valores en ninguno de los elementos analizados, ni diferencias en las tendencias cuando se comparan ambos apiarios.

Podría resultar de interés para una mayor comprensión de este trabajo analizar las aplicaciones de fertilizante que se realizaron para este cultivo y posibles aplicaciones de micronutrientes que puedan haber alterado los parámetros obtenidos en estos análisis.

De los niveles mostrados en el gráfico podría considerarse revisar la metodología de análisis para comprender la inusualidad, teniendo en cuenta que hay varios resultados de muestras en dos apiarios que apuntan en sentidos similares. Igualmente, más conocimientos sobre los efectos del estrés hídrico sobre la deposición de nutrientes en el polen de especies botánicas, y *Brassicaceae* en particular, serían de utilidad para comprender los resultados.

Figura 28

Contenido de calcio, magnesio, hierro y zinc en cada apiario según fecha de muestreo



Nota. Niveles de minerales como ppm presentes en la muestra en base seca.

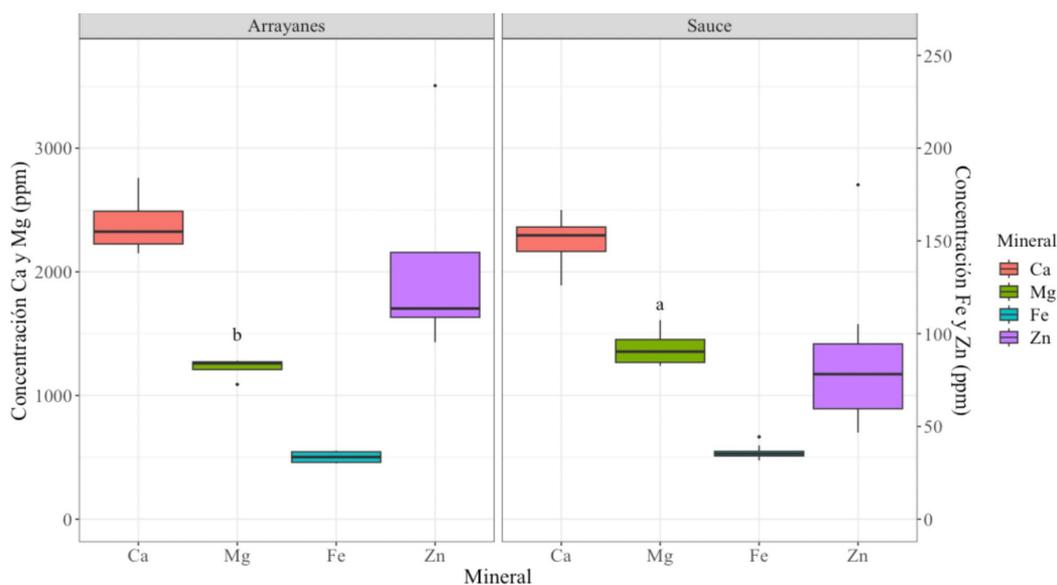
Se considera la variabilidad por mineral y por apiario. En este caso, se observa que las mayores fluctuaciones en términos relativos pertenecen a los niveles de zinc en ambos apiarios (Figura 29). Esto podría deberse (además de posibles razones asociadas a la fenología), a un efecto de los suelos sobre los que se desarrolló el muestreo.

La inusualidad en los parámetros obtenidos también podría explicarse por dinámicas ante situaciones de déficit hídrico que alteren los parámetros de microelementos presentes en la planta y como se traslocan para la formación del polen. Contar con un mayor número de muestras por fecha de muestreo y muestreos en más momentos fenológicos del cultivo podría contribuir en poder diagnosticar de forma certera un comportamiento distinto de este mineral para las condiciones relevadas en el presente trabajo.

A su vez, conocer la dinámica de estos microelementos podría ser un indicador para evaluar el aporte que puedan tener los mismos a la miel para una eventual diferenciación de tipo comercial según características atribuibles a la presencia de mayores niveles de un compuesto. De la misma manera podría ser de utilidad para la diferenciación comercial del polen apícola que se vende en el mercado para consumo humano.

Figura 29

Media y variabilidad de calcio, magnesio, hierro y zinc



Nota. Diferencias detalladas según $P < 0.05$. Niveles en ppm presentes en la muestra en base seca durante los muestreos respectivos para cada apiario.

Los mayores niveles de zinc pertenecen a Arrayanes. Las menores fluctuaciones (variación) pertenecen al hierro en Sauce y a magnesio en Arrayanes (Figura 29). A pesar de las diferencias significativas en los niveles de magnesio, el valor se mantuvo en rangos bajos respect a los antecedentes en ambos apiaries, sin importantes fluctuaciones entre muestreos (Figura 29). Este gráfico permite sugerir que a pesar de la anomalía de los datos, los mismos presentan cierta constancia, lo que permitiría desestimar un error de muestreo significativo.

4.7 CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES ANALIZADAS

El Análisis de Componentes Principales (Pearson, 1901) dio como resultado que los dos componentes principales del análisis explican el 63.24 % de la variabilidad de los vectores de estudio (Anexo D). Para los mismos, se consideró la composición relativa de colza en la muestra (pureza), materia seca, fracción ceniza, proteína cruda, extracto etéreo, materia seca, calcio, magnesio, zinc, hierro y el nivel de floración considerado como el total de inflorescencias completamente abiertas.

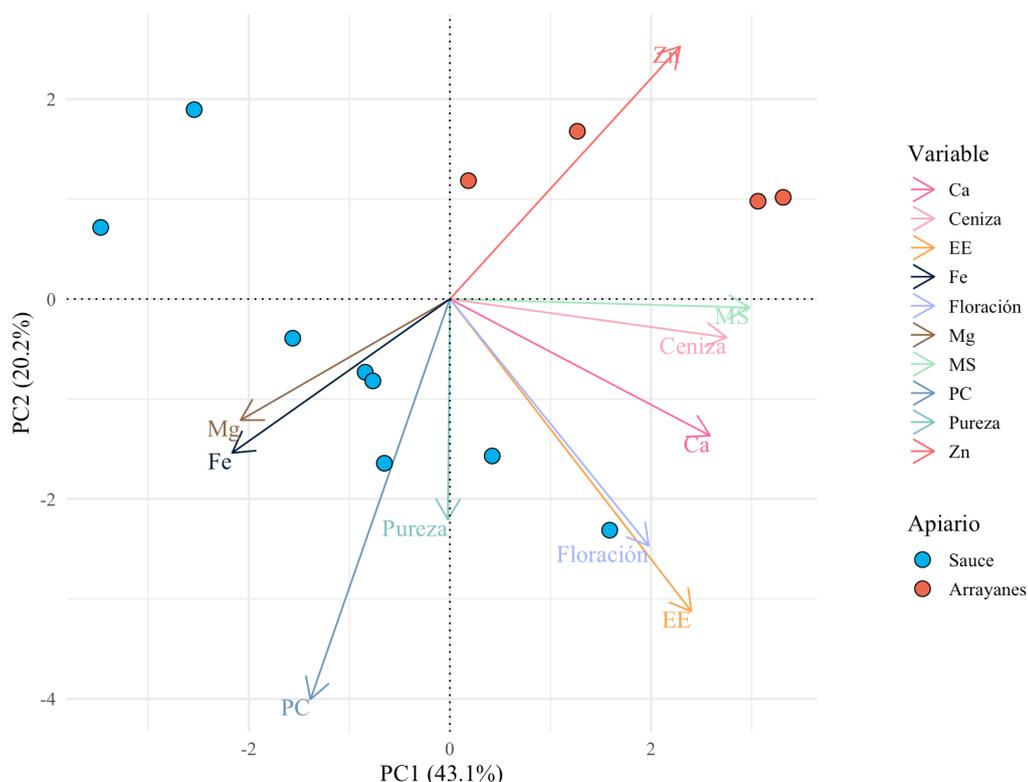
La pureza de colza en la muestra presenta cierta correlación positiva con el momento de floración, los niveles de proteína cruda y el extracto etéreo, mientras es positiva aunque menos elevada respecto al calcio. No hay relación (o muy leve) con los niveles de hierro, magnesio, ceniza, materia seca y zinc (Figura 30).

A partir de esto se desprende que los parámetros de calidad podrían determinar la concurrencia de la abeja en función del contenido nutricional, lo cual es sugerido por diversos autores (Cook et al., 2003; Hendriksma et al., 2014; Hendriksma & Shafir, 2016; Singh et al., 1999). No obstante, se debe tener en

cuenta que las abejas no poseen receptores para evaluar contenido de proteína cruda (Pernal & Curie, 2001; Roulston & Cane, 2000; Van der Moezel et al., 1987).

Figura 30

Análisis de Componentes Principales para los parámetros de calidad del polen de B. napus evaluados



Nota. Materia seca (MS), fracción ceniza (Ceniza), Proteína cruda (PC), Extracto etéreo (EE), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Pureza relativa de colza (Pureza) y nivel de Floración (Floración). Composición de la variabilidad: PC1=43.1%, PC2=20.2% (ver Anexo E).

Respecto al momento de floración, se observa que el avance de la misma, entendida como un mayor número de inflorescencias abiertas, coincide con el incremento de los niveles de extracto etéreo. También se observa una correlación positiva con los niveles de calcio. En menor medida, la floración se relaciona con la deposición de materia seca y la fracción ceniza, por un lado, mientras por otro se relaciona con el incremento de los niveles de proteína cruda. Sin embargo, no hay correlación observada con el resto de los minerales evaluados (Figura 30).

Por otra parte, los parámetros de calidad presentan distintas correlaciones entre sí. El calcio, extracto etéreo, ceniza y materia seca presentan correlación positiva entre sí y también se incrementan a medida que incrementa la cantidad de inflorescencias florecidas en el cultivo (Figura 30).

La proteína cruda no presenta considerable correlación con los anteriores, sin embargo, posee correlación positiva con los niveles de hierro y magnesio. A su vez, la fracción ceniza presenta una fuerte correlación con el nivel de materia seca

presente. El zinc presenta correlación negativa con el hierro y el magnesio, aunque no necesariamente implique causalidad.

Los niveles de pureza relativa de colza presentes en la muestra presentan correlación con un mayor número de inflorescencias totalmente florecidas, es decir, con la abundancia de polen disponible para pecorear. No obstante, esta no es una correlación directa, dado, entre otros factores, por la presencia de la flora apícola acompañante.

Cuando se consideran las diferencias entre apiarios, se ve que los puntos que representan al apiario de Arrayanes apuntan en su mayoría al cuadrante superior derecho. Esto significa que los valores altos de zinc están asociados fundamentalmente a este apiario, lo cual resulta relevante considerando que son niveles inusualmente elevados. Por otra parte, los niveles elevados de los parámetros que se encuentran en los cuadrantes inferiores (la mayoría de los evaluados), están asociados en mayor medida al apiario de Sauce. Concomitantemente con lo analizado en los apartados previos, la mayor composición relativa de colza está asociada a este apiario (Figura 30).

No obstante, para comparar ambos apiarios de manera más fidedigna se sugiere la realización de los análisis en momentos fenológicos y en fechas de muestreo análogas para cada cultivar. Todo lo anteriormente mencionado podría condicionar la pertinencia del presente análisis como concluyente en términos de parametrización de todas las variables.

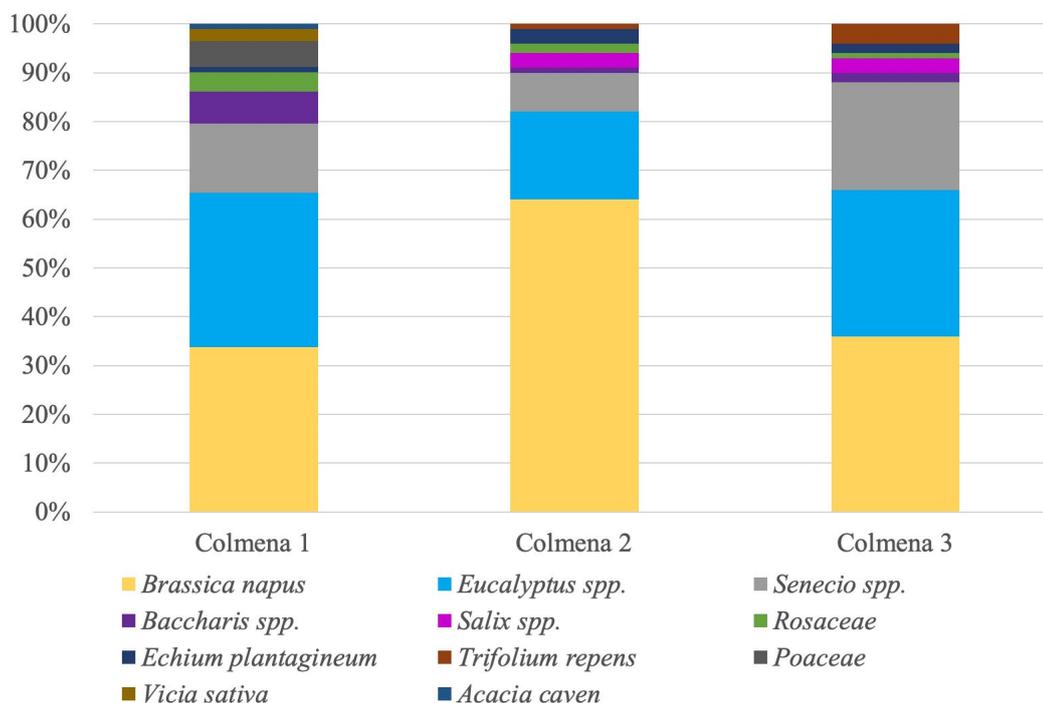
4.8 ANÁLISIS PALINOLÓGICO DE LA MIEL

El análisis del polen presente en la miel en Sauce muestra diferencias entre la proporción de néctar proveniente de *B. napus* en las distintas colmenas. La Colmena 2 se caracterizó por ser monofloral de Brassicáceas, con un 64% del polen en miel proveniente de esta especie, mientras las Colmenas 1 y 2 presentaron un porcentaje total de 34 y 36% (Anexo F).

A pesar de que el apiario se encuentra encima de un cultivo de colza y que el polen que ensilan las abejas es por amplia mayoría proveniente de esta especie durante la mayor parte de la floración, no concurren a este cultivo por néctar en proporciones semejantes y hay un comportamiento de dos colmenas que representa la mitad de procedencia en néctar que la otra (Figura 31).

Figura 31

Proporción de las distintas especies botánicas presentes en la miel según colmena



Nota. Proporción relativa como número de granos de polen presentes en la muestra de polen sobre el total de granos cuantificados. Evaluado sobre las tres colmenas seleccionadas en el apiario de Sauce, Canelones.

Se encontraron un total de 12 especies botánicas en las tres colmenas. Varias de las especies encontradas son leñosas perennes, fundamentalmente *Eucalyptus spp.*, *Senecio spp.* y *Baccharis spp.* El polen de *Eucalyptus spp.* encontrado en las muestras es elevado, especialmente considerando que no era un recurso abundante ni cercano. Estas especies coinciden con las reportadas para mieles de Uruguay. Sin embargo, la presencia y proporción de especies herbáceas es menor a la reportada por los mismos antecedentes (Bazzurro et al., 1995; Daners & Tellería, 1998; Tejera et al., 2005).

Únicamente la Colmena 2 tiene las proporciones necesarias de más de 60% de procedencia para poder considerar la miel producida como monofloral de *B. napus*, mientras las otras son consideradas como multiflorales (Ohe et al., 2004). Esto coincide con lo hallado respecto al polen, que sitúa a la Colmena 2 como la que más prefirió el recurso de colza en este apiario, si se observa su media y variabilidad durante los sucesivos muestreos.

Existe la posibilidad de que la producción de néctar de *B. napus* y otras especies en el entorno se haya visto afectada debido a las escasas precipitaciones y el consiguiente estrés hídrico. Este impacto podría haber sido mayor en especies anuales y en *B. napus* en particular que en otras especies leñosas perennes presentes, dado que: a) estas poseen mayor resistencia a la sequía por tener un mayor desarrollo radicular y b) *B. napus* es particularmente sensible al estrés hídrico, especialmente en el período crítico (Ahmadi & Bahrani, 2009; Raza, 2020;

Tesfamariam et al., 2010). Las especies perennes se encuentran en mayor proporción.

La baja relación fructosa/glucosa del néctar presente en esta especie (Persano & Piro, 2004; Wescott & Nelson, 2001) podría inducir a que las pecoreadoras tengan otras preferencias de néctar más palatable que se observe de forma más significativa en momentos donde este recurso pierde abundancia. Esto podría ser consistente con lo planteado por Waller (1972), se podría esperar que las abejas prefieran coleccionar néctar más rico en sacarosa o fructosa.

Por lo tanto, es posible que la menor elección de *B. napus* sea más notoria si baja la cantidad de néctar producido por la especie, quedando en evidencia en mayor medida el efecto de la preferencia de las colmenas en una situación de deficiencia hídrica. En esta situación, podría ocurrir que este néctar no compense su menor palatabilidad con su gran abundancia en condiciones no limitantes.

4.9 ANÁLISIS DE GLIFOSATO EN POLEN

Acorde a los análisis efectuados en polen, todas las muestras presentadas dieron negativo tanto para la presencia del herbicida Glifosato como para su metabolito AMPA, a pesar de haber formado parte del esquema de manejo de barbecho del cultivo en ambas localidades.

Para que el glifosato pueda ser hallado en polen, las vías de contaminación son dos: la contaminación por deriva de una aplicación vecina o que la planta lo tome del suelo. El glifosato presenta baja volatilidad, alta retención y persistencia. Esta última se incrementa con el bajo nivel de precipitaciones ocurridas en los suelos analizados y dificulta la absorción por parte de las raíces. Luego tiene que suceder la translocación por floema a la estructura del polen en particular, si es que la deriva no ocurrió con las anteras expuestas (de esta forma no se necesitaría translocación).

Considerando que se aplicó en barbecho y el momento de obtención de las muestras, transcurrieron 100 días aproximados entre la aplicación y el comienzo del muestreo en Sauce y 120 días aproximados en el caso de Arrayanes. Dado el valor de DT90 para glifosato, la concentración esperada en suelo en esta situación es baja, pero no nula, por lo que la posibilidad de hallarlo existe.

También debe considerarse que para hallarlo en polen el mismo debe lograr pasar por el floema a las estructuras florales. Los resultados hallados son consistentes con los antecedentes de Zioga et al. (2022) que indican que incluso hasta luego de dos meses hecha la aplicación ya no se encuentra presencia de glifosato o AMPA en las muestras de néctar y polen para esta especie.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió detallar en mayor profundidad cómo se comporta *A. mellifera* respecto al recurso de la colza en condiciones del sur del país. El polen de *B. napus* es una oferta floral importante en ambas localidades estudiadas, representando el polen mayoritario. En consonancia con lo planteado en la hipótesis, las colonias tanto en Sauce, Canelones como en Arrayanes, Maldonado, consumen polen de diversas especies botánicas. En contraste con la segunda hipótesis, el polen de colza no posee, en ninguno de los apiarios evaluados, valores nutricionales óptimos de proteína y extracto etéreo para la dieta de las abejas.

En un año de condiciones adversas se destaca el rol del cultivo de colza como un actor relativamente reciente pero claramente consolidado en el escenario de las rotaciones agrícolas de nuestro país, que presenta una sinergia con el rubro apícola y permite abastecer a las colmenas a pesar de la sequía en distintos momentos de la floración.

Conocer la flora apícola acompañante a un cultivo con anticipación resulta clave, dado que algunas especies botánicas -que coinciden con la floración del cultivo donde está el apiario- son competitivas y modifican la eficiencia de explotación del recurso. A su vez, la flora apícola acompañante es un respaldo para lograr la diversidad de aporte nutritivo a la colmena. De esta manera, las colmenas pueden solucionar el posible déficit nutricional de un recurso, como el que se deja en evidencia en este trabajo.

Por otro lado, puede afirmarse que el apiario de Sauce tiene mayor vocación hacia este recurso. Las colmenas en Sauce tuvieron mayor pecoreo relativo hacia este recurso, de acuerdo a la media ajustada de las colmenas y a la comparación de las medias de las colmenas entre ambos apiarios.

Este trabajo podría contribuir a los apicultores a tomar decisiones respecto a la selección de colmenas (entendida como mejoramiento genético) que se llevan al cultivo. Así se podría lograr la mayor eficiencia de uso del cultivo para producción de miel, así como el beneficio de la polinización sobre el rendimiento y la maduración homogénea del cultivo. Con medidas de manejo adecuadas a la información evaluada se lograrían mieles con mayor proporción de colza, lo que contribuiría a la diferenciación de producto, tan necesaria en la producción apícola nacional en la búsqueda de valor agregado.

Podría considerarse que el estrés hídrico altera los parámetros de calidad del polen y los difiere de los esperados para la especie. En ese caso, los apicultores deberían atender que ante un efecto como la sequía, no es únicamente la oferta de néctar la que podría verse afectada, sino que los parámetros de calidad en el polen podrían no ser los esperados.

El polen analizado en este trabajo podría generar problemas de déficit nutricional. Si se llevan las colmenas a un monocultivo como *B. napus*, en esta época y en estas condiciones, debe ser necesario evaluar el rol de la flora apícola acompañante y estimular su presencia con medidas de manejo como pueden ser los

corredores, fajas empastadas o siembra de especies de valor apícola. De esta forma, se podría evitar la ocurrencia de carencias nutricionales, así como disminuir la susceptibilidad a enfermedades.

Los niveles de proteína, extracto etéreo y minerales analizados presentan niveles poco frecuentes que son consistentes con algunos de los antecedentes, mientras en otros casos resultan novedosos. En el caso del zinc, se encontró un valor inusual dentro de la especie. En casos como proteína y extracto etéreo, se encontraron similitudes con valores para *B. napus* estudiados en condiciones distintas a las de nuestro país.

Los bajos niveles de proteína y extracto etéreo hallados en la colza podrían explicar la gran competencia relativa que supone la flora apícola acompañante en ambos apiarios. Se podría suponer que las colmenas están percibiendo el déficit nutricional en la colmena y por eso recurren a otras especies botánicas.

A pesar de los niveles nutricionales encontrados, el cultivo de colza resulta una oferta floral importante para las abejas a finales de invierno, cuando escasean en abundancia otros recursos disponibles. De esta forma, el cultivo de colza podría brindar la posibilidad de explorar este recurso con fines productivos como la producción de miel, de núcleos, polen y semillas de colza.

Podría existir un comportamiento selectivo de las abejas en función de la capacidad nutricional del polen. Varios parámetros de calidad se correlacionan entre sí y estos a su vez con el avance de la floración y la concurrencia al cultivo.

Para poder conocer con claridad la asociación entre las distintas variables que conforman los parámetros de calidad del polen sería de utilidad ampliar la estructura de muestreo. Para poder tener análisis concluyentes entre ambos apiarios es necesario muestrear parámetros de calidad en momentos fenológicos análogos que comprendan las mismas fases dentro de la curva de floración.

La colza resultó más relevante como recurso polinífero que como recurso nectarífero en Sauce, Canelones. Es posible que esta se haya visto afectada en su producción nectarífera por el déficit hídrico. Más trabajos podrían ayudar a determinar el efecto de un eventual descenso, por factores ambientales, en la producción nectarífera.

La ausencia de glifosato y su metabolito AMPA en las muestras analizadas conduce a considerar que existiendo únicamente aplicaciones en barbecho, podría no existir riesgo de contaminación de la miel a través del polen presente en ella. Se considera necesario completar el análisis dada la posible contaminación por otras vías, como bien puede ser la deriva y la posible llegada de néctar contaminado previo a la degradación del glifosato o el AMPA.

Con una eventual profundización de este análisis se podría obtener información que resulte de interés para mejorar la composición de los apiarios. La misma debería estar orientada hacia lograr que estos puedan estar constituidos por colmenas reproducidas a partir de poblaciones de abejas que prefieran pecorear *B. napus*. De la misma manera, puede optarse por no llevar a los apiarios aquellas

colmenas que demuestren un claro comportamiento de preferencia hacia otros recursos.

Una mayor cantidad de estudios en condiciones que tengan en cuenta el efecto año, así como ampliar los antecedentes para obtener valores de referencias recabados en distintas condiciones, parecen pertinentes en un contexto donde la variabilidad y los efectos agudos del cambio climático sobre el comportamiento de los agroecosistemas llevan a la necesidad de conocer la interacción entre cultivo y polinizadores en mayor amplitud de contextos.

Finalmente, se podría concluir que el presente estudio podría ser de utilidad para detectar posibles anomalías en los parámetros de interés para el desarrollo de las colmenas en el cultivo de *B. napus*, teniendo en cuenta distintas regiones, cultivares, aspectos ambientales y de suelo. Esto cobra especial relevancia para anticiparse a contingencias, las cuales parecen ser cada vez más frecuentes. Este trabajo deja varias líneas que se deben profundizar si se quiere conducir a recomendaciones de manejo concluyentes para agricultores y apicultores.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abrol, D. P. (2007). Honeybees and rapeseed: A pollinator–plant interaction. *Advances in Botanical Research*, 45, 337-367.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(07\)45012-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(07)45012-1)
- Adegas, J. E. B., & Nogueira-Couto, R. H. (1992). Entomophilous pollination in rape (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) in Brazil. *Apidologie*, 23(3), 203-209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205074>
- Aguirre, E., Branchiccela, B., Durán, V., & Hernández, E. (2022, 28 de julio). *Caracterización y diagnóstico de la cadena apícola en Uruguay* [Contribución]. Jornada de divulgación: Desafíos y oportunidades para la apicultura en un contexto en transformación, INIA Las Brujas, Canelones.
<http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Las%20Brujas/PRODUCCI%C3%93N%20FAMILIAR/Apicultura-28julio2022/1-Bel%C3%A9n%20Branchiccela-Opypa.pdf>
- Ahmadi, M., & Bahrani, M. J. (2009). Yield and yield components of rapeseed as influenced by water stress at different growth stages and nitrogen levels. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 5(6), 755-761.
- Alaux, C., Ducloz, F., Crauser, D., & Le Conte, Y. (2010). Diet effects on honeybee immunocompetence. *Biology Letters*, 6(4), 562-565.
<https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0986>
- Alcoholes del Uruguay. (s.f.). *Alimento animal*.
https://www.alur.com.uy/productos/alimento_animal.php
- Antúnez, K., Anido, M., Branchiccela, B., Harriet, J., Campa, J., Invernizzi, C., Santos, E., Higes, M., Martín-Hernández, R., & Zunino, P. (2015). Seasonal variation of honeybee pathogens and its association with pollen diversity in Uruguay. *Microbial Ecology*, 70(2), 522-533.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00248-015-0594-7>
- Ara Begum, H., Idrees, A., Afzal, A., Iqbal, J., Qadir, Z. A., Shahzad, M. F., Li, Z., Ibrahim, S. S. S., Alkahtani, J., & Li, J. (2023). Impact of different pollen protein diets on the physiology of *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) workers from essential plant sources. *Journal of King Saud University – Science*, 35(2), Artículo e102511.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102511>
- Asociación Civil Uruguaya para la Protección de los Obtentores Vegetales. (2022). *Teledetección del cultivo de Colza: Zafra 2022*.
<https://www.urupov.org.uy/wp-content/uploads/2022/12/Informe-Colza-2022-URUPOV.pdf>
- Bailey, C. D., Koch, M. A., Mayer, M., Mummenhoff, K., O’Kane, S. L., Jr, Warwick, S. I., Windham, M. D., & Al-Shehbaz, I. A. (2006). Toward a global phylogeny of the Brassicaceae. *Molecular Biology and Evolution*, 23(11), 2142-2160. <https://doi.org/10.1093/molbev/msl087>
- Balbuena, M. S., Tison, L., Hahn, M., Greggers, U., Menzel, R., & Farina, W. M. (2015). Effects of sublethal doses of glyphosate on honey- bee navigation. *Journal of Experimental Biology*, 218(17), 2799-2805.
<https://doi.org/10.1242/jeb.117291>

- Barker, R. J., & Lehner, Y. (1974) Acceptance and sustenance value of naturally occurring sugars fed to newly emerged adult workers of honeybees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Experimental Zoology*, 187(2), 277-286.
<https://doi.org/10.1002/jez.1401870211>
- Bazzurro, D., Díaz, R., & Sánchez, M. (1995). *Tipificación de miel: Un uso sustentable de la palmera butiá (Butia capitata)*. PROBIDES.
<https://www.probides.org.uy/imagenes/ckfinder/files/files/Documentos%20de%20Trabajo/DT06.pdf>
- Bianchi, S., & Carrau, A. (2021). Sector apícola: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2021* (pp. 267-277). MGAP.
<https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/book/14325/download>
- Bokšová A., Kazda J., Bartoška, J., & Kamler, M. (2023). Effect of glyphosate on the foraging activity of the European honey bee (*Apis mellifera* L.). *Plant, Soil and Environment*, 69(5), 195-201.
<http://dx.doi.org/10.17221/86/2023-PSE>
- Branchiccela, B., Castelli, L., Corona, M., Díaz-Cetti, S., Invernizzi, C., Martínez de la Escalera, G., Mendoza, Y., Santos, E., Silva, C., Zunino, P., & Antúnez, K. (2019). Impact of nutritional stress on the honeybee colony health. *Nature Scientific Reports*, 9, Artículo e10156.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-46453-9>
- Branchiccela, B., Castelli, L., Díaz-Cetti, S., Invernizzi, C., Mendoza, Y., Santos, E., Silva, C., Zunino, P., & Antúnez, K. (2021). Can pollen supplementation mitigate the impact of nutritional stress on honey bee colonies? *Journal of Apicultural Research*, 62(2), 294-302.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-46453-9>
- Brodtschneider, R., & Crailsheim, K. (2010). Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*, 41(3), 278-294. <https://doi.org/10.1051/apido/2010012>
- Cabello Cívico, J. R. (2022). *Factores de influencia en la calidad microbiológica del polen apícola* [Disertación doctoral, Universidad de Córdoba]. Helvia.
<https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/23696/2022000002557.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cabrera, M. C., Ramos, A., Saadoun, A., & Brito, G. (2010). Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford stress fed pasture in Uruguay. *Meat Science*, 84(3), 518-528.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.007>
- Canadian Food Inspection Agency. (2017). *The biology of Brassica napus L. (Canola/Rapeseed)*. Government of Canada.
<https://inspection.canada.ca/plant-varieties/plants-with-novel-traits/applicants/directive-94-08/biology-documents/brassica-napus-l-eng/1330729090093/1330729278970>
- Canola Council of Canada. (2015). *Guía para la industria de alimentos animales: Guía de alimentación de la pasta de canola* (5ª ed.).
https://www.canolacouncil.org/canolamazing/wordpress/wp-content/uploads/2016/10/canola_meal_feeding_guide_2015_spanish.pdf
- Cardinal, S., & Danforth, B. (2011). The antiquity and evolutionary history of social behavior in bees. *PLoS ONE*, 6(6), Artículo e21086.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021086>

- Castelli, L., Balbuena, S., Branchiccela, B., Zunino, P., Liberti, J., Engel, P., & Antúnez, K. (2021). Impact of chronic exposure to sublethal doses of glyphosate on honey bee immunity, gut microbiota and infection by pathogens. *Microorganisms*, 9(4), Artículo e845. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms9040845>
- Castro, M., Vera, M., Vázquez, D., Stewart, S., & Castro, B. (2014, 19-21 de agosto). *Resultados experimentales de colza en Uruguay* [Contribución]. 1° Simposio Latino Americano de Canola, Passo Fundo. [http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Vera1%20-%20Resultados%20experimentales...em%20Uruguay%20\(com%20figuras\).pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Vera1%20-%20Resultados%20experimentales...em%20Uruguay%20(com%20figuras).pdf)
- Cook, S. M., Awmack, C. S., Murray, D. A., & Williams, I. H. (2003). Are honey bees foraging preferences affected by pollen aminoacid composition? *Ecological Entomology*, 28(5), 622-627. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2311.2003.00548.x>
- Corona, M., Branchiccela, B., Alburaki, M., Palmer-Young, E. C., Madella, S., Chen, Y., & Evans, J. D. (2023). Decoupling the effects of nutrition, age, and behavioral caste on honey bee physiology, immunity, and colony health. *Frontiers in Physiology*, 14, Artículo e1149840. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1149840>
- Crailsheim, K., Schneider, L. H. W., Hrassnigg, N., Bühlmann, G., Brosch, U., Gmeinbauer, R., & Schöffmann, B. (1992). Pollen consumption and utilization in worker honeybees (*Apis mellifera carnica*): Dependence on individual age and function. *Journal of Insect Physiology*, 38(6), 409-419. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(92\)90117-V](https://doi.org/10.1016/0022-1910(92)90117-V)
- Cresswell, J. E., Davies, T. W., Patrick, M. A., Russell, F., Pennel, C., Vicot, M., & Lahoubi, M. (2004). Aerodynamics of wind pollination in a zoophilous flower, *Brassica napus*. *Functional Ecology*, 18(6), 861-866. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0269-8463.2004.00917.x>
- Daners, G., & Tellería, M. C. (1998). Native vs. introduced bee flora: A palynological survey of honeys from Uruguay. *Journal of Apicultural Research*, 37(4), 221-229.
- Day, S., Beyer, R., Mercer, A., & Ogden, S. (1990). The nutrient composition of honeybee-collected pollen in Otago, New Zealand. *Journal of Apicultural Research*, 29(3), 138-146. <http://dx.doi.org/10.1080/00218839.1990.11101210>
- De Groot, A. P. (1953). Protein and amino acid requirements of the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Physiologia Comparata et Oecologia*, 8, 192-194. <https://doi.org/10.1007/bf02173740>
- De Melo, A. A. M., & Almeida-Muradian, L. B. (2017). Chemical composition of bee pollen. En J. Alvarez-Suarez (Ed.), *Bee products: Chemical and biological properties* (pp. 221-259). Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-59689-1>
- De Melo, A. A. M., Estevinho, M. L. M. F., Sattler, J. A. G., Souza, B. R., Freitas, A. S., Barth, O. M., & Almeida-Muradian, L. B. (2016). Effect of processing conditions on characteristics of dehydrated bee-pollen and correlation between quality parameters. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 808-815. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.014>

- De Souza, A. P. F., Rodrigues, N. R., & Reyes, F. G. R. (2021). Glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) residues in Brazilian honey. *Food Additives & Contaminants, Part B*, *14*(1), 40-47.
<http://dx.doi.org/10.1080/19393210.2020.1855676>
- Delaplane, K. S., & Mayer, D. F. (2000). *Crop pollination by bees*. CABI.
- Di Pasquale, G., Alaux, C., Le Conte, Y., Odoux, J. F., Pioz, M., Vaissière, B. E., Belzunces, L. P., & Decourtye, A. (2016). Variations in the availability of pollen resources affect honey bee health. *PLOS ONE*, *11*(9), Artículo e0162818. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162818>
- Di Pasquale, G., Salignon, M., Le Conte, Y., Belzunces, L. P., Decourtye, A., Kretzschmar, A., Suchail, A., Brunet, J. L., & Alaux, C. (2013). Influence of pollen nutrition on honey bee health: Do pollen quality and diversity matter? *PLOS ONE*, *8*(8), Artículo e72016.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072016>
- Dirección General de Recursos Naturales. (1976). *Descripción de grupos de suelos CO.N.E.A.T.* MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-03/Descripci%C3%B3n%20de%20Grupos%20de%20suelos%20CONEA_T_0.pdf
- Evans, D. E., Taylor, P. E., Singh, M. B., & Knox, R. B. (1991). Quantitative analysis of lipids and protein from the pollen of *Brassica napus* L. *Plant Science*, *73*(1), 117-126. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(91\)90133-S](https://doi.org/10.1016/0168-9452(91)90133-S)
- Faita, M. R., Oliveira, E. de M., Alves, V. V., Orth, A. I., & Nodari, R. O. (2018). Changes in hypopharyngeal glands of nurse bees (*Apis mellifera*) induced by pollen-containing sublethal doses of the herbicide Roundup®. *Chemosphere*, *211*, 566-572.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.189>
- Farina, W. M., Balbuena, M. S., Herbert, L. T., Mengoni Goñalons, C., & Vázquez, D. E. (2019). Effects of the herbicide glyphosate on honey bee sensory and cognitive abilities: Individual impairments with implications for the hive. *Insects*, *10*(10), Artículo e354.
<https://doi.org/10.3390/insects10100354>
- Free, J. B. (1960). The distribution of bees in a honey-bee (*Apis mellifera* L.) Colony. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London. Series A, General Entomology*, *35*(10-12), 141-144.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1960.tb00664.x>
- Free, J. B. (1963). The flower constancy of honeybees. *Journal of Animal Ecology*, *32*(1), 119-131. <https://doi.org/10.2307/2521>
- Free, J. B., & Nuttall, P. (1968). The pollination of oilseed rape (*Brassica napus*) and the behaviour of bees on the crop. *Journal of Agricultural Science*, *71*(1), 91-94. <https://doi.org/10.1017/S0021859600065631>
- Gaude, T. (1982). *Adhesion et-reconnaissance pollen stigmaté: Etude des surfaces cellulaires chez Brassica* [Disertación doctoral]. Université Claude Bernard, Lyon I.
- Ghosh, S., Jeon, H., & Jung, C. (2020). Foraging behaviour and preference of pollen sources by honey bee (*Apis mellifera*) relative to protein contents. *Journal of Ecology Environment*, *44*, Artículo e4.
<http://dx.doi.org/10.1186/s41610-020-0149-9>
- Google Earth. (2023a). [Arrayanes, Maldonado, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 16 de octubre de 2023, de <https://maps.app.goo.gl/PN34pdYz6n9TCXXq9>

- Google Earth. (2023b). [Sauce, Canelones, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 16 de octubre de 2023, de <https://maps.app.goo.gl/3z4HURUddnDstncU6>
- Hendriksma, H. P., Oxman, K. L., & Shafir, S. (2014). Aminoacid and carbohydrate tradeoffs by honey bee nectar foragers and their implications for plant–pollinator interactions. *Journal of Insect Physiology*, *69*, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.05.025>
- Hendriksma, H. P., & Shafir, S. (2016). Honey bee foragers balance colony nutritional deficiencies. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *70*(4), 509-517. <https://doi.org/10.1007/s00265-016-2067-5>
- Herbert, E. W. J. (1992). Honey bee nutrition. En J. E. Graham (Ed.), *The hive and the honey bee* (pp. 197-233). Dadant & Sons.
- Herbert, L. T., Vazquez, D. E., Arenas, A., & Farina, W. M. (2014). Effects of field-realistic doses of glyphosate on honeybee appetitive behaviour. *Journal of Experimental Biology*, *217*(19), 3457-3464. <http://dx.doi.org/10.1242/jeb.109520>
- Hernández, M., & Hernández, J. (2008). Verdades y mitos de los biocombustibles. *Elementos: Ciencia y Cultura*, *15*(71), 15-18. <https://www.redalyc.org/pdf/294/29407102.pdf>
- Hudewenz, A., Pufal, G., Bögeholz, A. L., & Klein, A.-M. (2013). Cross-pollination benefits differ among oilseed rape varieties. *Journal of Agricultural Science*, *152*(5), 770-778. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859613000440>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.). Banco de datos agroclimático. <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Instituto Nacional de Semillas, & Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2022). *Resultados Experimentales de la Evaluación Nacional de Colza: Período 2021*. http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CI/Ano2021/PubColzaPeriodo2021.pdf
- Instituto Nacional de Semillas, & Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2023). *Resultados Experimentales de la Evaluación Nacional de Colza: Período 2022*. http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CI/Ano2022/PubColzaPeriodo2022.pdf
- Karise, R., Raimets, R., Bartkevics, V., Pugajeva, I., Pihlik, P., Keres, I., Williams, I. H., Viinalass, H., & Mänd, M. (2017). Are pesticide residues in honey related to oilseed rape treatments? *Chemosphere*, *188*, 389-396. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.013>
- Keller, I., Fluri, P., & Imdorf, A. (2005a). Pollen nutrition and colony development in honey bees: Part I. *Bee World*, *86*(1), 3-10. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2005.11099641>
- Keller, I., Fluri, P., & Imdorf, A. (2005b). Pollen nutrition and colony development in honey bees: Part II. *Bee World*, *86*(2), 27-34. <http://dx.doi.org/10.1080/0005772X.2005.11099650>
- La colza crece en área basada en sus ventajas. (2020, 13 de enero). *Revista Verde*. <https://revistaverde.com.uy/agricultura/la-colza-crece-en-area-basada-en-sus-ventajas/>

- Laitinen, P., Rämö, S., & Siimes, K. (2007). Glyphosate translocation from plants to soil – does this constitute a significant proportion of residues in soil? *Plant and Soil*, 300(1-2), 51-60. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9387-1>
- Langridge, D. F., & Goodman, R. D. (1975). A study on pollination of oilseed rape (*Brassica campestris*). *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15(73), 285-288. <https://doi.org/10.1071/EA9750285>
- Latif, A., Qayyum, A., & Abbas, M. (1960). The role of *Apis Indica* in the pollination of “toria” and “sarson” (*Brassica campestris* var. *Toria* and *dichotoma*). *Bee World*, 4(11-12), 283-286. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1960.11096818>
- Latimer, G. W. (Ed.). (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19th ed.). AOAC International.
- Lau, P., Bryant, V., Ellis, J. D., Huang, Z. Y., Sullivan, J., Schmehl, D. R., Cabrera, A. R., & Rangel, J. (2019). Seasonal variation of pollen collected by honey bees (*Apis mellifera*) in developed areas across four regions in the United States. *PLOS ONE*, 14(6), Artículo e0217294. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217294>
- Ledoux, M. L., Hettiarachchy, N., Yu, X., Howard, L., & Lee, S. O. (2019). Penetration of glyphosate into the food supply and the incidental impact on the honey supply and bees. *Food Control*, 109, Artículo e106859. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106859>
- Leonhardt, S. D., & Blüthgen, N. (2012). The same, but different: Pollen foraging in honeybee and bumblebee colonies. *Apidologie*, 43(4), 449-464. <http://dx.doi.org/10.1007/s13592-011-0112-y>
- López-Castaños, K. A., Méndez-Albores, A., & Tamariz-Flores, J. V. (2023). Complejidad en estudios ambientales: Caso glifosato-abeja. *RD-ICUAP*, 9(25), 65-76. <http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap/article/view/1040>
- Louveaux, J., Maurizio, A., & Vorwohl, G. (1978). Methods of Melissopalynology. *Bee World*, 59(4), 139-157. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1978.11097714>
- Mamy, L., Barriuso, E., & Gabrielle, B. (2016). Glyphosate fate in soils when arriving in plant residues. *Chemosphere*, 154, 425-433. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.104>
- Mazzilli, S., Abbate, S., Silva, H., & Mendoza, Y. (2020). *Apis mellifera* visitation enhances productivity in rapeseed. *Journal of Apicultural Research*, 62(2), 402-410. <http://dx.doi.org/10.1080/00218839.2020.1856558>
- Mazzilli, S., Bonansea, S., Schenck, G., & Domínguez, F. (2020). *Brassica carinata* L. como alternativa de cultivo invernal: Fecha de siembra y arreglo espacial. *Cangüé*, (43), 14-17.
- Mazzilli, S., Ernst, O., Locatelli, A., & Fros, D. (2021). *Ajustes en el manejo de colza-canola para mejorar y estabilizar el rendimiento: Un estudio basado en la ecofisiología del cultivo*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15866/1/Inia-Fpta-93-proyecto-287-Junio-2021.pdf>

- Mazzilli, S., Fros, D., De Andrea, F., Silchenko, S., Rosas, M., Dobreff, N., Mendoza, Y., & Abbate, S. (2016). El rol de *Apis mellifera* en el cultivo de canola (*Brassica napus* L.). *Cangüé*, (37), 14-18.
- Mesquida, J., Renard, M., & Pierre, J-S. (1988). Rapeseed (*Brassica napus* L.) productivity: The effect of honey bees (*Apis mellifera* L.) and different pollination condition in cage and field tests. *Apidologie*, 19(1), 51-72.
<https://doi.org/10.1051/apido:19880104>
- Mohr, N. A., & Jay, S. C. (1988). Nectar- and pollen-collecting behaviour of honeybees on canola (*Brassica campestris* L. and *Brassica napus* L.). *Journal of Apicultural Research*, 27(2), 131-136.
<https://doi.org/10.1080/00218839.1988.11100792>
- Montgomery, D. C. (2010). *Diseño y análisis de experimentos* (2ª ed.). Limusa Wiley.
- Niell, S., Jesús, F., Díaz, R., Mendoza, Y., Notte, G., Santos, E., Gérez, N., Cesio, V., Cancela, H., & Heinzen, H. (2018). Beehives biomonitor pesticides in agroecosystems: Simple chemical and biological indicators evaluation using Support Vector Machines (SVM). *Ecological Indicators*, 91, 149-154.
- Niell, S., Jesús, F., Pérez, N., Pérez, C., Pareja, L., Abbate, S., Carrasco-Letelier, L., Díaz, S., Mendoza, Y., Cesio, V., & Heinzen, H. (2017). Neonicotinoids transference from the field to the hive by honey bees: Towards a pesticide residues biomonitor. *Science of the Total Environment*, 581-582, 25-31.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.011>
- Observatorio Granjero. (2021). *Agroalimentos: Apicultura*. MGAP.
https://www.uam.com.uy/images/DESARROLLO_COMERCIAL/Informe_sEspeciales/Agroalimentos_Apicultura_-_Observatorio_Granjero.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022). *Anuario Estadístico Agropecuario 2022*. MGAP.
https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2022/O_MGAP_Anuario_estad%C3%ADstico_%202022-DIGITAL.pdf
- Ohe, W., Persano, L., Piana, M., Morlot, M., & Martin, P. (2004). Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie*, 35(Suppl. 1), S18-S25.
<https://doi.org/10.1051/apido:2004050>
- Organisation for Economic Cooperation and Development. (1997). *Consensus Document on the Biology of Brassica napus L. (Oilseed Rape)*.
<https://www.oecd.org/science/biotrack/27531440.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Organización Mundial de la Salud, Programa Mundial de Alimentos, & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (2022). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022: Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles*.
<https://www.fao.org/3/cc0639es/online/cc0639es.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Organización Mundial de la Salud. (1981). *Codex norma para la miel: CODEX STAN 12-1981*.
https://www.fao.org/input/download/standards/310/cxs_012s.pdf
- Palmer, S. (1959). A nectar source par excellence. *Gleanings in Bee Culture*, 87(8), 460-461.

- Pearson, K. (1901). LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2(11), 559-572. <https://pca.narod.ru/pearson1901.pdf>
- Pernal, S. F., & Currie, R. W. (2001). The influence of pollen quality on foraging behavior in honeybees (*Apis mellifera* L.). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 51(1), 53-68. <http://dx.doi.org/10.1007/s002650100412>
- Persano, L., & Piro, R. (2004). Main European unifloral honeys: Descriptive sheets. *Apidologie*, 35(Suppl. 1), S38-S81. <https://doi.org/10.1051/apido:2004049>
- Pesticide Properties DataBase. (2023). *Glyphosate (Ref: Mon 0573)*. University of Hertfordshire. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/373.htm>
- Rava, C. (2022). Colza: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2022* (pp. 217-235). MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/book/16089/download>
- Rava, C., & Souto, G. (2017). Colza, ¿una nueva opción de exportación? MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/e_17_01_colza-souto_rava.pdf
- Rayner, C. J., & Landridge, D. F. (1985). Amino acids in bee collected pollens from Australian indigenous and exotic plants. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 25(3), 722-726.
- Raza, A. (2020). Eco-physiological and biochemical responses of rapeseed (*Brassica napus* L.) to abiotic stresses: Consequences and mitigation strategies. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 1368-1388. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10231-z>
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2023). *Agricultural Production*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/agricultural-production>
- Rosa, A. S., Blochtein, B., Ferreira, N., & Witter, S. (2010). *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) as a potential *Brassica napus* pollinator (cv. Hyola 432) (Brassicaceae), in Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 70(4), 1075-1081. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000500024>
- Roulston, T., & Cane, J. H. (2000). Pollen nutritional content and digestibility for animals. *Plant Systematics and Evolution*, 222, 187-209. <https://doi.org/10.1007/BF00984102>
- Santos, E., Invernizzi, C., García, E., Cabrera, C., Di Landro, R., Saadoun, A., & Daners, G. (2009). Contenido de proteína cruda del polen de las principales especies botánicas utilizadas por las abejas melíferas en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 13(2), 9-13. <http://dx.doi.org/10.31285/AGRO.13.714>
- Schmidt, J. O., & Buchmann, S. L. (1985). Pollen digestion and nitrogen utilization by *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 82(3), 499-503. <https://doi.org/10.1016/0300-9629%2885%2990423-2>
- Schmidt, L. S., Schmidt, J. O., Rao, H., Wang, W., & Xu, L. (1995). Feeding preference and survival of young worker honey bees (*Hymenoptera: Apidae*) fed rape, sesame, and sunflower pollen. *Journal of Economic Entomology*, 88(6), 1591-1595. <https://doi.org/10.1093/JEE%2F88.6.1591>
- Singh, S., Saini, K., & Jain, K. L. (1999). Quantitative comparison of lipids in some pollens and their phagostimulatory effects in honey bees. *Journal of Apicultural Research*, 38(1-2), 87-92.

- Somerville, D. C. (2001). *Nutritional value of bee collected pollens*. Rural Industries Research and Development Corporation.
https://www.nbba.ca/wp-content/uploads/2013/12/Nutritional_Value_of_Bee_Collected_Pollens.pdf
- Somerville, D. C., & Nicol, H. I. (2002). Mineral content of honeybee-collected pollen from southern New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42(8), 1131-1136.
<http://dx.doi.org/10.1071/EA01086>
- Souza, B. R. (2014). *Quantificação das vitaminas do complexo B (B1, B2) e vitâmeros das vitaminas B3 e B6 em amostras de pólen apícola desidratado provenientes da Região Sul do Brasil* [Tesis de maestría, Universidad de São Paulo]. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP. <https://doi.org/10.11606/D.9.2014.tde-27052015-141055>
- Stephen, A. (2014). Pollen: A microscopic wonder of plant kingdom. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 1(9), 45-62.
- Taha, E. (2015). Chemical composition and amounts of mineral elements in honeybee-collected pollen in relation to botanical origin. *Journal of Apicultural Science*, 59(1), 75-81. <https://doi.org/10.1515/jas-2015-0008>
- Taha, E.-K. A., & Al-Kahtani, S. (2020). Macro and trace elements content in honeybee pollen loads in relation to the harvest season. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(7), 1797-1800.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.05.019>
- Tejera, L., Cernuschi, F., & Corbella, E. (2005). Calidad y origen botánico de mieles del noreste de Uruguay. *Revista INIA*, (3), 6-7.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/215/1/111219220807150246.pdf>
- Terres Inovia. (2019). *Les stades repères du colza*. <https://www.terresinovia.fr/-/les-stades-reperes-du-colza>
- Tesfamariam, E. H., Annandale, J. G., & Steyn, J. M. (2010). Water stress effects on winter canola growth and yield. *Agronomy Journal*, 102(2), 658-666.
<http://dx.doi.org/10.2134/agronj2008.0043>
- Thakur, M., & Nanda, V. (2020). Composition and functionality of bee pollen. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 82-106.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.001>
- Thompson, H. M., Levine, S. L., Doering, J., Norman, S., Manson, P., Sutton, P., & Von Mérey, G. (2014). Evaluating exposure and potential effects on honeybee brood (*Apis mellifera*) development using glyphosate as an example. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 10(3), 463-470. <http://dx.doi.org/10.1002/ieam.1529>
- Todd, F. E., & Bretherick, O. (1942) The composition of pollens. *Journal of Economic Entomology*, 35(3), 312-317.
<https://doi.org/10.1093/JEE%2F35.3.312>
- Tong, M., Gao, W., Jiao, W., Zhou, J., Li, Y., He, L., & Hou, R. (2017). Uptake, translocation, metabolism, and distribution of glyphosate in nontarget tea plant (*Camellia sinensis* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(35), 7638-7646. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02474>
- Uruguay Miel. (s.f.). *Uruguay miel: Dulzura natural sustentable & nutritiva*. <https://uruguaymiel.com/>

- Uruguay XXI. (2022). *Sector agrícola en Uruguay*.
<https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/20c2018b1a2e68514020b55bcd11b62c6874640e.pdf>
- Van der Moezel, P. G., Delfs, J. C., Pate, J. S., Loneragan, W. A., & Bell, D. T. (1987). Pollen selection by honeybees in shrublands of the Northern Sandplains of Western Australia. *Journal of Apicultural Research*, 26(4), 224-232. <https://doi.org/10.1080/00218839.1987.11100764>
- Vázquez, D. E., Ilina, N., Pagano, E. A., Zavala, J. A., & Farina, W. M. (2018). Glyphosate affects the larval development of honey bees depending on the susceptibility of colonies. *PLOS ONE*, 13(10), Artículo e0205074. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205074>
- Vázquez, D. E., Latorre-Estivalis, J. M., Ons, S., & Farina, W. M. (2020). Chronic exposure to glyphosate induces transcriptional changes in honey bee larva: A toxicogenomic study. *Environmental Pollution*, 261, Artículo e114148. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114148>
- Verocai, M., Castro, M., Manasliski, S., & Mazzilli, S. R. (2022). Frost risk in canola and carinata as a function of sowing date in the agricultural central region of South America. *Agronomy Journal*, 114(5), 2920-2935. <https://doi.org/10.1002/agj2.21154>
- Waller, G. D. (1972). Evaluating responses of honeybees to sugar solutions using an artificial flower feeder. *Annals of the Entomological Society of America*, 65(4), 857-862. <https://doi.org/10.1093/aesa/65.4.857>
- Wen, X., Ma, C., Sun, M., Wang, Y., Xue, X., Chen, J., Song, W., Li-Byarlay, H., & Luo, S. (2021). Pesticide residues in the pollen and nectar of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and their potential risks to honey bees. *Science of the Total Environment*, 786, Artículo e147443. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147443>
- Westcott, L., & Nelson, D. (2001). Canola pollination: An update. *Bee World*, 82(3), 115-129. <http://dx.doi.org/10.1080/0005772X.2001.11099514>
- Williams, I. H. (1984). The concentration of airborne rape pollen over a crop of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 103(2), 353-357. <https://doi.org/10.1017/S0021859600047316>
- Winston, M. L. (1991). *The biology of the honey bee*. Harvard University Press.
- Yang, K., Wu, D., Ye, X., Liu, D., Chen, J., & Sun, P. (2013). Characterization of chemical composition of bee pollen in China. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 61(3), 708-718. <https://doi.org/10.1021/jf304056b>
- Youssef, A. M., Farag, R. S., Ewies, M. A., & El-Shakoa, S. M. A. (1978). Chemical studies on pollen collected by honey bees in Giza region, Egypt. *Journal of Apicultural Research*, 17(3), 110-113. <https://doi.org/10.1080/00218839.1978.11099914>
- Zioga, E., White, B., & Stout, J. C. (2022). Glyphosate used as desiccant contaminates plant pollen and nectar of non-target plant species. *Heliyon*, 8(12), Artículo e12179. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12179>

7. ANEXOS

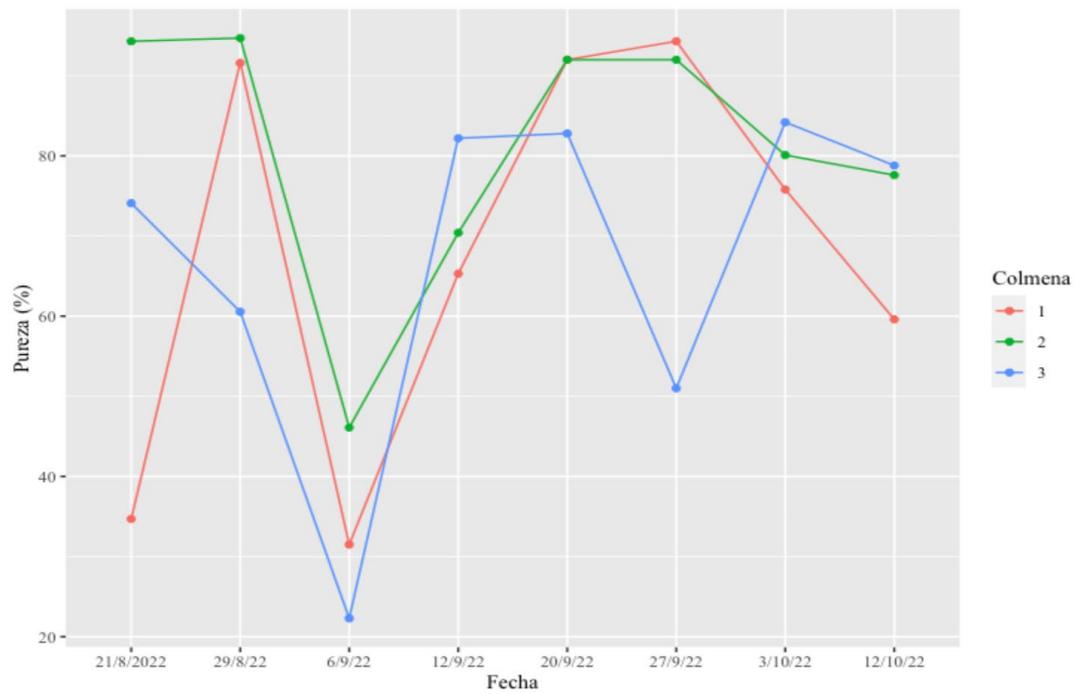
Anexo A

Contrastes post-hoc (Tukey) niveles de los factores que presentan diferencias significativas entre sí ($P < 0.05$)

Contrastes (Tukey)		
Muestreo		p-valor
Dentro de apiarios		
Sauce		
6/9/22	29/8/22	0.0190368
6/9/22	20/9/22	0.0049507
6/9/22	27/9/22	0.0353010
6/9/22	3/10/22	0.0295249
6/9/22	12/10/22	0,0227291
Arrayanes		
18/10/22	25/10/22	0,0177641
Entre apiarios		
6/9/22 (Sauce)	13/10/22 (Arrayanes)	0,0015902
6/9/22 (Sauce)	4/10/22 (Arrayanes)	0,0134067

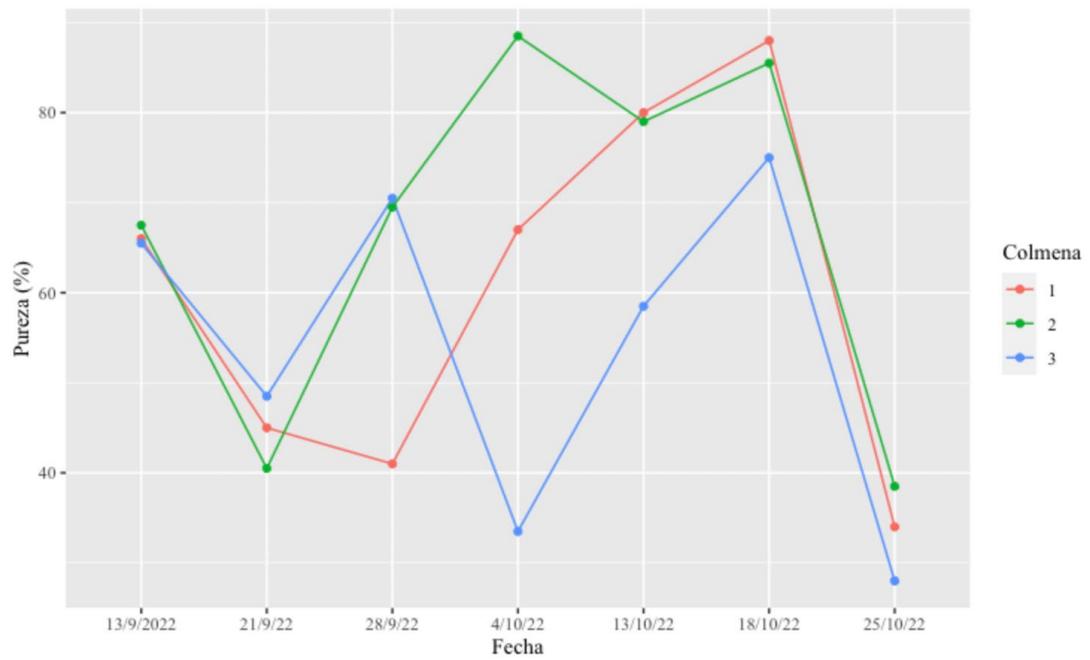
Anexo B

*Proporción relativa (como porcentaje de polen de *B. napus*) hallada en cada colmena según fecha de muestreo en el apiario de Sauce, Canelones*



Anexo C

*Proporción relativa (como porcentaje de polen de *B. napus*) hallada en cada colmena según fecha de muestreo en el apiario de Arrayanes, Maldonado*



Anexo D

Coefficiente de Correlación de Pearson para los distintos parámetros de calidad del polen de B. napus evaluados en laboratorio

	MS	Ceniza	PC	EE	Ca	Mg	Zn	Fe	Pureza
Ceniza	0.7383395								
PC	-0.3595058	-0.1679464							
EE	0.6390495	0.5994627	0.208922631						
Ca	0.6390495	0.6557220	-0.114004553	0.6336371					
Mg	-0.4215772	-0.3083996	0.460608429	-0.3206152	-0.19853368				
Zn	0.5605829	0.5732642	-0.619656722	0.1748410	0.28084202	-0.3760393			
Fe	-0.4210511	-0.3666519	0.405701988	-0.2104866	-0.51061550	0.7094268	-0.4935885		
Pureza	-0.1490768	-0.16065460	0.413897528	0.2026448	0.06677789	-0.2933882	-0.2920193	-0.3381212	
Floración	-0.1490768	0.3936608	0.003177509	0.7683918	0.46439820	-0.2348333	0.2325614	0.0458536	0.02998598

Nota. Materia seca (MS), fracción ceniza (Ceniza), Proteína cruda (PC), Extracto etéreo (EE), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Pureza relativa de colza (Pureza) y nivel de Floración (Floración).

Anexo E

Suma de Componentes Principales (del Análisis de Componentes Principales) realizado para los distintos parámetros de calidad del polen evaluados

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Desvío estándar	2.0754	1.4201	1.2672	0.88311	0.67804	0.59868	0.26303	0.4099	0.2603	0.13183
Proporción de la varianza	0.4307	0.2017	0.1606	0.0799	0.04597	0.03584	0.02177	0.0168	0.00692	0.00174
Proporción acumulada	0.4307	0.6324	0.7930	0.87096	0.91693	0.95277	0.97454	0.9913	0.99826	1.00000

Anexo F

Niveles relativos del polen (expresados como porcentaje) de las distintas especies botánicas presentes en las muestras de miel obtenidas para las colmenas 1, 2 y 3 en Sauce, Canelones

Especie	Nivel de polen en miel (%)		
	Colmena 1	Colmena 2	Colmena 3
<i>Brassica napus</i>	33,77	64,00	36,00
<i>Eucalyptus</i> spp.	31,60	18,00	30,00
<i>Senecio</i> spp.	14,25	8,00	22,00
<i>Baccharis</i> spp.	6,52	1,00	2,00
<i>Salix</i> spp.	0,00	3,00	3,00
<i>Rosaceae</i>	3,92	2,00	1,00
<i>Echium plantagineum</i>	1,09	3,00	2,00
<i>Trifolium repens</i>	0,00	1,00	4,00
<i>Poaceae</i>	5,34	0,00	0,00
<i>Vicia sativa</i>	2,42	0,00	0,00
<i>Acacia caven</i>	1,09	0,00	0,00