

**Estudio del efecto de las condiciones
meteorológicas y los factores
temporales en *Apis mellifera***



Pseudónimo: Edelweiss

“Si la abeja desapareciera de la superficie del globo, al hombre sólo le quedarían cuatro años de vida.”

-Albert Einstein

Agradecimientos

La realización de este trabajo de investigación no habría sido posible sin la ayuda y colaboración de todas aquellas personas que me han apoyado y me han guiado en su elaboración. Por este motivo quiero agradecer:

- A Manel Farnós Escorihuela, apicultor de las tierras del Ebro, por animarme a seguir adelante con mi trabajo de investigación desde un primer momento, por responder a todas mis preguntas sobre el tema y, sobretodo, por acceder y ayudarme a tomar datos de dos de sus colmenas de abejas.
- A Jordi Bober Perpinyà, observador y colaborador de la Xarxa d'Observadors Meteorològics (XOM) (*Red de Observadores Meteorológicos*) del Servicio Meteorológico de Cataluña, por facilitarme el acceso a los datos meteorológicos de su estación meteorológica.
- A mi prima Mariona Colomer Rosell, por su apoyo y ánimos constantes que me ayudaron a seguir adelante en todo momento, por enseñarme a programar en *python* un programa para tratar los datos experimentales, por su paciencia y por estar siempre dispuesta a ayudarme con las dudas que se me plantearon.
- A mi tutor/a, para orientarme, asesorarme y animarme en la realización de mi estudio, así como por sus consejos sobre los métodos utilizados para el análisis.
- A mis padres por el soporte incondicional que me han proporcionado en todo momento, y por su paciencia en acompañarme semanalmente a hacer los controles rutinarios del correcto funcionamiento de las cámaras (sacrificando una pequeña parte de su tiempo de sueño al tener que hacerlos siempre más tarde de las 22:00h).

Índice de contenidos

1. Introducción	6
2. Fundamento teórico	7
2.1. Las abejas de la miel	7
2.2. Anatomía de <i>Apis mellifera</i>	9
2.3. Alimentación de las abejas	11
2.3.1. La miel	11
2.3.2. El polen	12
2.3.3. La jalea real	13
2.4. Organización social de las abejas melíferas	13
3. Planteamiento de la investigación	17
3.1. Actividad de forrajeo de las abejas y evaluación de los factores que pueden influirla	17
3.2. Pregunta de investigación	18
3.3. Objetivos	19
3.4. Formulación de hipótesis	19
3.5. Relevancia de la investigación	19
4. Diseño experimental	20
4.1. Definición de variables	20
4.2. Materiales y procedimiento	20
4.3. Características de la zona donde se realizó el experimento	22
4.4. Registro de datos	25
5. Resultados y discusión	26
5.1. Método estadístico. Parámetros estudiados	27
5.2. Hora del día	30
5.3. Temperatura	33
5.4. Humedad	35
5.5. Velocidad del viento	37
5.6. Precipitación	38
5.7. Mes	38
6. Conclusiones	39
7. Bibliografía	41
8. Apéndices	44
8.1. Apéndice I - Tabla de datos	44
8.2. Apéndice II - Representación de los datos brutos	56
8.3. Apéndice III - Código del programa informático	60
8.4. Apéndice IV - Valores promedio de la hora de actividad máxima	66

1. Introducción

Desde pequeña he vivido rodeada en un ambiente donde la apicultura ha ejercido una atracción importante en mí, ya que el valle de alta montaña donde se encuentra mi pueblo es un lugar privilegiado para las abejas. No es de extrañar el hecho que se organicen ferias periódicas de las abejas a las que he acudido cada año sin falta. Mi interés iba incrementando a medida que descubría la naturaleza de estos pequeños insectos sociales de los que tenemos tanto que aprender, y este es el motivo principal que me ha llevado a conducir este trabajo de investigación hacia una exploración individual de la naturaleza de las abejas y los mecanismos naturales que éstas poseen y les permiten realizar un trabajo en equipo tan admirable como para producir miel a cantidades para alimentar su colmena así como también para que los humanos podamos aprovecharnos de ella.

Pero llevo años rodeada de muchos ecosistemas distintos que inevitablemente están experimentando cambios constantes debidos a factores actuales de un inmenso impacto global como el cambio climático. Las abejas de la miel tienen un papel destacable en varios ecosistemas, ya que al mismo tiempo que utilizan el polen y el néctar de los estambres de las flores para alimentarse o producir miel, transfieren las semillas permitiendo así la reproducción a través de la polinización. Esta es una relación de dependencia simbiótica que nos permite relacionar directamente la actividad de las abejas con una agricultura favorecida o una mayor diversidad de cultivos. Por tanto, las abejas son un elemento clave tanto para la biodiversidad de especies como para la cadena alimentaria de los ecosistemas de buena parte del mundo (a excepción de zonas del desierto y los polos) (Cirnu, 1960).

Cuando tomé consciencia de lo que la afirmación anterior significaba, se me despertó un interés enorme hacia estos insectos, concretamente sobre cómo se relacionan con su entorno. Decidí tomar la etología de las abejas como tema central de mi investigación, concretamente la relación con su entorno, y estructuré mi trabajo en dos partes principales: la primera comprende una recopilación de información sobre la especie estudiada, *Apis mellifera*, y la segunda, una parte experimental y analítica sobre el efecto que tienen distintos factores meteorológicos y temporales sobre dos colmenas de abejas de la miel.

2. Fundamento teórico

A partir de la lectura de varios artículos y libros, me informé sobre la especie que sería el núcleo de mi trabajo de investigación: las abejas de la miel. En este apartado he sintetizado la información que considero importante e interesante con respecto a mi trabajo.

2.1. Las abejas de la miel

Tal y como expone Blanco de Domingo (2009), las colmenas de abejas de la miel han proporcionado tanto miel como cera a los humanos prácticamente desde nuestros orígenes. La práctica del oficio de la apicultura se constata, por ejemplo, en las pinturas rupestres datadas del año 7000 aC de Bicorp (Valencia). Es por este motivo por el que la abeja de la miel es una de las abejas más populares. Sin embargo, representan un pequeño porcentaje de todas las especies de abeja. En el esquema de la Figura 2.1¹ he representado la taxonomía de la abeja.

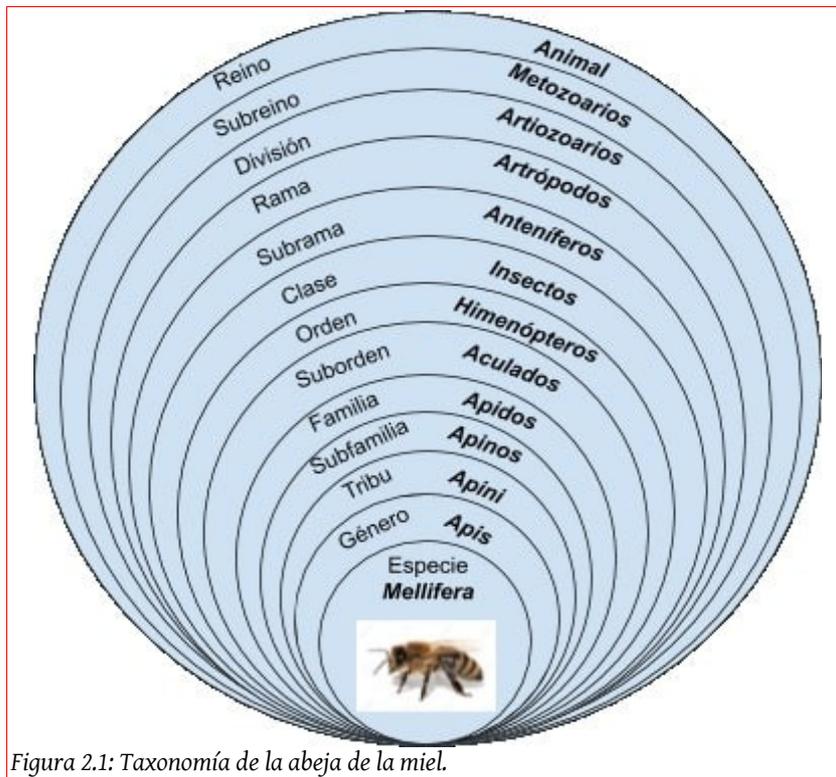


Figura 2.1: Taxonomía de la abeja de la miel.

¹Todas las imágenes que aparecen en el trabajo son de fuente propia a no ser que se indique lo contrario.

Las abejas que solemos encontrar son las llamadas “abejas sociales”, y todas pertenecen a la familia de los *Ápidos*. Ejemplos de estas abejas son las abejas melíferas comunes, las abejas sin aguijón, las abejas carpinteras y los abejorros. Las 9 especies de abejas del género *Apis* abundantemente documentadas son las siguientes: *mellifera*, *laboriosa*, *dorsata*, *cerana*, *koschevnikovi*, *nuluensis*, *nigrocinta*, *andreniformis*, *florea*. Exceptuando la *mellifera*, todas son abejas asiáticas. Además de estas, tenemos también un elevado número de subespecies clasificadas según su distribución geográfica, aunque la mayoría son originarias de Europa, África y de la transición Europa-Asia.

En esta introducción teórica, voy a centrarme en la especie *Apis mellifera*, ya que es la especie de la que voy a estudiar la etología en mi trabajo de investigación. Antes que nada, voy a establecer una comparación, basándome en la base de datos de Gilles Ratia (2002), entre las tres especies más comunes del género *Apis*. En la Figura 2.2 podemos observar las diferencias y similitudes físicas de las tres especies.

- *Apis mellifera*: son unas abejas no exageradamente grandes, procedentes de Europa, con un tamaño entre 12 y 20 mm de longitud y unas alas de entre 8 y 9,7 mm de largo. Sus colmenas consisten en múltiples panales paralelos que construyen en el interior de cavidades para garantizar su propia protección, hecho que facilita la actividad apícola por parte de los humanos. Esta especie se extendió por África y Europa y, a partir de su adaptación a los diferentes climas, dio lugar a las razas o subespecies geográficas anteriormente mencionadas.
- *Apis cerana*: se trata de una abeja bastante similar a la abeja melífera corriente. Tiene unas alas generalmente poco más pequeñas (de entre 7,4 y 9 mm de largo), pero esta especie se encuentra en Asia. Construyen también sus panales en el interior de cavidades. Al igual que las melíferas, pueden ser mantenidas en colmenas con fines apícolas.
- *Apis dorsata*: este tipo de abeja se encuentra de manera natural en Asia, y comúnmente se las conoce como abejas gigantes. El largo de sus alas varía entre los

12,5 y 14,5 mm. Construyen un único panal en el exterior a unos 40 metros de altura, de manera que no pueden mantenerse en una colmena apícola.

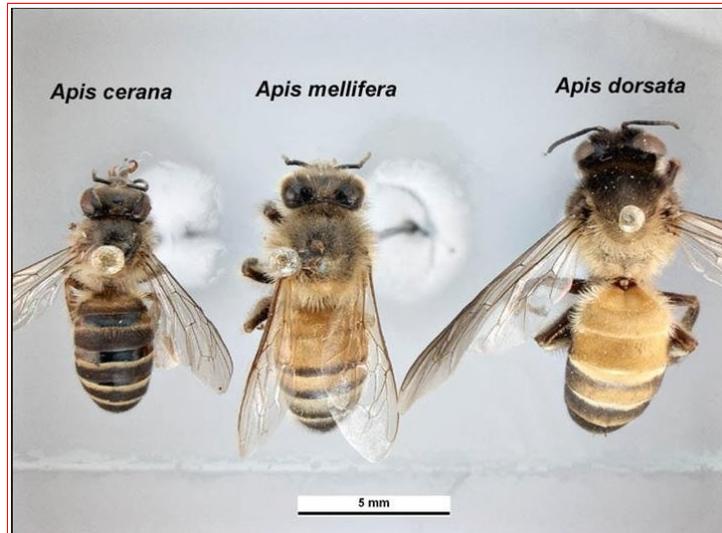


Figura 2.2: Fotografía comparativa en vista dorsal de las tres especies de abejas más comunes. Por Walker (2005).

2.2. Anatomía de *Apis mellifera*

Las abejas son unos insectos que, a diferencia de los vertebrados, tienen un exoesqueleto que aloja en su interior los órganos blandos y delicados. Su cuerpo se divide principalmente en tres partes: cabeza, tórax, abdomen. En la Figura 2.3 podemos encontrar un esquema de la anatomía de la abeja que se expone en este subapartado, a partir de la información obtenida en distintas bibliografías (Von Frisch, 1984; ACODIHUE, 2010):

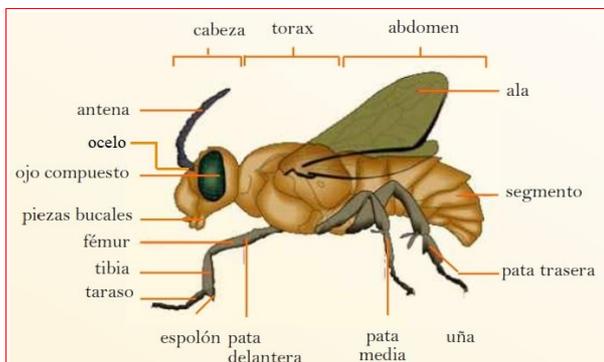


Figura 2.3: Anatomía de la abeja. Imagen tomada del Manual básico de apicultura, por ACODIHUE (2010).

En la cabeza, que es la parte más pequeña, se encuentran los ojos, antenas y boca. Las abejas tienen unos ojos compuestos (u omatidios), desarrollados para la visión exterior a distancia bajo luz solar. Estos ojos están constituidos por unidades visuales más pequeñas semi-independientes, facetas hexagonales. El número de facetas varía según la

necesidad y la utilidad que reportan a la abeja: por este motivo, la reina goza de un número aparentemente bajo (4920) respecto a las obreras (6300) o a los zánganos (13090). A parte de los ojos compuestos, las abejas tienen unos ojos simples (u ocelos) que sirven para la visión corta de la colmena en la oscuridad. Las dos antenas de las abejas también se encuentran en la cabeza y contienen tanto el sentido del olfato como el del tacto, que les permiten localizar miel y flores a gran distancia. Las mandíbulas, que están protegidas bajo el labro (pieza transversal en el rostro), contienen el sentido del gusto de las abejas. Aunque también pueden utilizarlas para comer polen, alimentar a las larvas y a la reina, les sirven para dar forma a la cera, limpiar la colmena y pelear. En la cavidad bucal, las abejas tienen 3 pares de glándulas. El primer par lo podemos encontrar únicamente en obreras jóvenes que hacen de nodriza y lo utilizan para alimentar larvas. Los otros dos pares existen para segregar saliva de uso variado.

El tórax es una caja rígida del cuerpo de la abeja formada por 3 anillos soldados en una sola pieza, que está unido a la cabeza gracias al cuello (que le permite alta movilidad). En la parte inferior de cada anillo, hay una pata articulada (de 9 piezas), y en la parte superior del segundo y tercer anillos se articulan dos pares de alas (de naturaleza membranosa) que se unen sólidamente en el vuelo, formando un solo par. Además, las abejas también utilizan las alas para enfriar la colmena cuando es necesario.

El abdomen está unido al tórax por un pedúnculo membranoso que le permite una gran movilidad, como el cuello. El abdomen contiene las vísceras, los órganos de reproducción en la reina y los zánganos, y el aguijón venenoso en el caso de las obreras. Consta de 6 segmentos con la superficie coloreada y con pelos. En la epidermis de la pared del abdomen las abejas tienen las glándulas céreas, que segregan cera (líquido que se solidifica rápidamente) que les permite construir los panales. También en el abdomen se encuentran las glándulas de olor.

2.3. Alimentación de las abejas

Las abejas necesitan lípidos y glúcidos para obtener energía, de aquí la fabricación y almacenamiento de la miel, pero también necesitan proteínas para el crecimiento, motivo por el cual recogen polen. (Von Frisch, 1984)

2.3.1. La miel

La miel es un fluido viscoso que las abejas melíferas obtienen a partir del néctar de las flores. Las flores, en la punta del cáliz (los sépalos), contienen una gota de agua azucarada llamada néctar. Antiguamente, los griegos lo denominaban como “Bebida de los Dioses”, ya que según ellos supuestamente confería inmortalidad.

Las flores exudan el néctar y toda clase de insectos acuden a él, las abejas pecoreadoras también lo hacen. Cuando llegan a la colmena se lo regurgitan unas a otras, es decir, se lo intercambian no solo para exponerlo al aire caliente de la colmena sino que también para mezclar la secreción glandular de distintas abejas y hacerlo más fácilmente digerible. Después de estas regurgitaciones, lo disponen en una celdilla abierta donde el néctar se

concentra aún más para así poder obtener miel.

Para llenar una vez el estómago de una abeja de néctar, es necesaria una visita a unas 1000-1500 flores. Y si vacían su estómago 70 veces, obtenemos la cantidad de miel que cabe en un dedal. En un día favorable en una colmena puede llegar a almacenarse 1 kg de miel.

La miel se caracteriza por ser un alimento fluido, estable, denso y de alta energía. Es interesante el hecho que Azeredo (2003) estudió: que las propiedades de la miel dependen tanto de la planta de la que se extrae el néctar como de la especie de

En cada 100 grs la miel contiene:	
Agua.....	18.7
Proteínas.....	0.7
Grasa.....	0
Fructosa.....	40.4
Glucosa.....	39.9
Dextrina.....	3.4
Sacarosa.....	1.7
Minerales:	
Potasio.....	0.01
Sodio.....	0.005
Calcio.....	0.006
Magnesio.....	0.006
Hierro.....	0.0009
Fósforo.....	0.016
Azufre.....	0.003
Cloro.....	0.024
Manganeso.....	0.0002
Yodo.....	0.00001
Cobre.....	0.00007
Vitaminas:	
Vitamina C.....	0.004
Vitamina B1.....	0.00001
Vitamina B2.....	0.00004
Vitamina B6.....	0.00020
Vitamina pp.....	0.00020
Acido Pantoténico.....	0.00060
Ácidos: Ácido málico, cítrico, fórmico, tánico, cúprico, oxálico, fosfórico, butírico, acético, latónico, valeriánico y propiónico.	

Figura 2.4: Composición de la miel. Imagen tomada del Manual básico de apicultura, por ACODIHUE (2010).

abeja melífera. La composición de 100 gramos de miel la encontramos a continuación en la Figura 2.4.

Según el origen botánico de la miel, podemos encontrarla clasificada del siguiente modo:

- Miel de flores, que puede ser unifloral o multifloral
- Miel de mielato, no se obtiene del néctar floral, sino de secreciones de las plantas o excreciones de insectos succionadores.

Según el procedimiento de cosecha de la miel, podemos clasificarla en:

- Miel escurrida de los panales desoperculados.
- Miel prensada de los panales sin larvas.
- Miel centrifugada de los panales desoperculados sin larvas.

2.3.2. El polen

En los estambres de las flores (filamentos que nacen en el fondo del cáliz y emergen), de manera más visible que el néctar, se produce el polen, que es un polvo que recogen unas obreras distintas que las que recogen néctar. Estas abejas están más especializadas y tienen cestillos en la cara externa de la pata donde almacenan masas esféricas de polen (ver Figura 2.5). Para hacerlo, cogen una gota de miel y van a cepillar el polen que recubre el estambre. La miel consigue humedecer y hacer el polen más pegajoso, y consigue que sus pelos queden recubiertos de polen. Cuando echa a volar, mueve frenéticamente los cepillos de sus patas y recoge con los peines el polen de una pata y de otra. Después de este proceso, la obrera descarga el polen en una celdilla de previsión donde otra obrera lo prensará con la mandíbula.



Figura 2.5: Abeja especializada. Imagen tomada del libro de Karl Von Frisch (1984).

Además, mientras las pecoreadoras recogen tanto el polen como el néctar de las flores, consiguen llevar los granillos de polen de los estambres de una flor a los pistilos de otra, fecundándola.

2.3.3. La jalea real

Según la definición que da la Asociación Malagueña de Apicultores (2001), la jalea real es una sustancia ácida, blanquecina y cremosa que segregan algunas abejas melíferas obreras. La fabrican en las glándulas faríngeas, situadas a la cabeza de las abejas, y al juntarla con las secreciones estomacales, producen alimento. Este alimento, sin embargo, únicamente lo ingieren las larvas durante los 3 primeros días de vida y la abeja reina a lo largo de toda su vida, asegurando su supervivencia y dándole su gran tamaño y vitalidad para la reproducción. La jalea real está constituida en un 60% por agua, aunque también por proteínas y lípidos. Las vitaminas B1, B2, B5 y B6 tienen presencia destacable en la jalea real, así como la B8 y el ácido fólico y, en menor proporción, minerales como el calcio, potasio, sodio, hierro, zinc, magnesio y cobre, y aminoácidos como la glicina y la serina. Esta composición tan rica deriva en el hecho que la jalea real tiene múltiples beneficios para la salud humana, así que actualmente se comercializa en forma de una mezcla con miel.

2.4. Organización social de las abejas melíferas

Las abejas conviven en grandes sociedades muy bien organizadas, formando colonias de millares de abejas. Ellas mismas, con las gotas de cera que secretan sus glándulas abdominales céreas, las captan con las patas y las amasan con la boca para construirse el panal, que consiste en millares de alveolos destinados a contener las crías y almacenar la miel. Al construir el panal, las abejas hacen los agujeros en forma de hexágonos para aprovechar al máximo el espacio, ya que tienen la misma superficie que un cuadrado o triángulo pero al tener un menor perímetro, pueden aprovechar el material sacando el máximo provecho.

En la naturaleza, los enjambres de abejas se suelen encontrar en los agujeros de los árboles, o en las grietas de las rocas. Los apicultores, hoy en día, se han vuelto necesarios, ya que las abejas cada vez encuentran más dificultad para ocupar árboles huecos en los bosques. Estos proporcionan cajas de madera para las abejas (las colmenas), de manera que

una colonia pueda instalarse y vivir allí, y que a la vez sea más accesible y permita extraer la miel sin que se destruya el trabajo hecho por las abejas.

Las abejas son animales de temperatura variable. Con temperaturas frías, se muestran apagadas y soñolientas. Con temperaturas menores a 8-10°C, quedan rígidas e inmóviles. Por este motivo, las obreras tienen que tener un sentido de la termorregulación altamente desarrollado y deben llevar a cabo la tarea de mantener con su aleteo la temperatura constante de 35-36°C para las crías. (Von Frisch, 1984)

En una colmena, podemos encontrar tres clases sociales de abejas. Una única abeja reina, entre 300 y 400 zánganos, y entre unas 30.000 y 80.000 obreras.

- *Reina*: es la responsable del equilibrio poblacional de la colmena, la única que da continuidad. Mantiene unidas las abejas de la colonia y regulan la actividad de la colmena entera gracias a la secreción de feromonas (Elbert R, 1970), y además es la encargada de poner huevos durante los meses entre marzo y octubre (unos 3000 al día en sus condiciones óptimas).

Las larvas de abeja reina salen de los huevos fecundados que la reina pone en la

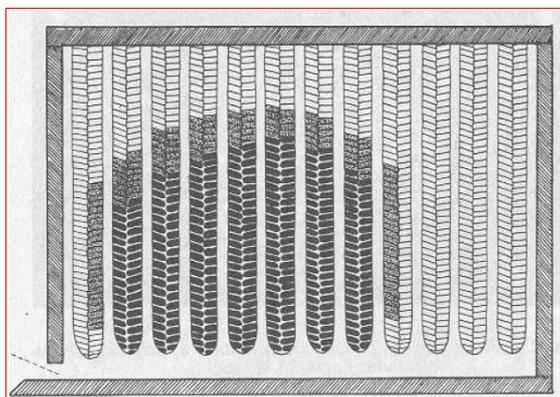


Figura 2.6: Organización de las celdas. Imagen tomada del libro de Karl Von Frisch (1984).

realera (celda especial). Para que una abeja pueda transformarse en abeja reina, su alimentación debe ser distinta. A diferencia de las demás abejas, que únicamente se alimentan de jalea real durante los 3 primeros días de ser larvas, la reina la toma durante toda su vida. Para

que nazca una reina, el ciclo seguido es el siguiente: 3 días en forma de huevo, 5,5 días en forma de larva y 7,5 en forma de pupa, es decir, cría operculada.

A la hora de poner los huevos, la reina respeta un orden en el panel: en las celdas centrales de los panales pone las crías (color negro en la caja de la Figura 6), encima

de las larvas se guarda el polen (punteado en la *Figura 2.6*) y en el resto, miel (color blanco en la *Figura 2.6*).

Las abejas reinas viven de 4 a 5 años, aunque a partir de los 2 la puesta de huevos no es óptima y entonces la colmena renueva la reina por una joven. Una vez en la vida, aproximadamente a los 9 días después de haber nacido, se aparea con unos diez zánganos (en el llamado vuelo nupcial). Entonces almacena el “elemento fecundante” en una bolsa que tiene en el abdomen, de manera que cuando ponga los huevos, la reina podrá decidir cuándo fecundar (para que salga una hembra) y cuándo no (para que salga zángano macho) los huevos.

- *Zánganos*: son machos haploides que no poseen órganos para trabajar en la colmena, y únicamente cumplen las funciones de alimentarse (tienen que hacerlo cada 2 horas para no morir), limpiarse y esperar el vuelo nupcial. Su ciclo biológico consiste en 3 días en forma de huevo, 6,6 en forma de larva y 14,5 en forma de pupa. Después de nacer, suelen vivir unos 80 días.
- *Obreras*: son hembras que no están desarrolladas sexualmente y que realizan todos los trabajos internos y externos de la colmena. El ciclo biológico de las obreras es el siguiente: 3 días en forma de huevo, 6 en forma de larva y 12 en forma de pupa. Si nacen en verano, llegan a vivir unas 4 o 5 semanas, mientras que si nacen en otoño pueden vivir hasta varios meses. Después del nacimiento, una obrera adulta realiza las actividades que se adaptan a su edad, establecidas en la siguiente lista: (Abejapedia, 2013)
 - Días 1-3: Hace la limpieza de células e incubación de huevos y larvas.
 - Días 3-6: Se encarga de la alimentación de las larvas más viejas. Es nodriza.
 - Días 6-10: Lleva a cabo la alimentación de larvas más jóvenes. Es nodriza. El desarrollo de las glándulas faríngeas permite la secreción de jalea real (es decir, una sustancia con una gran cantidad de jugo nutritivo) para alimentar las larvas y la reina.
 - Días 8-16: Recibe miel y polen de abejas de campo.

-
- Días 12-18: Toma de cera, construcción de panales y creación de la célula (incluidas las celdas reales).
 - Días 19-20: Hace de guardiana en la piquera (agujero de entrada y salida) de la colmena, protegiéndola de los enemigos.
 - Días 21-45: Principalmente presta servicios externos de campo para cumplir las necesidades de la colonia, forrajeando néctar y polen, aunque también vigila la piquera. Es pecoreadora. Estas abejas pecoreadoras son selectivas: a lo largo del día, visitan un único tipo de flores, ya que esto les permite automatizar el proceso para poder efectuarlo más rápida y eficazmente. De esta manera pueden fecundar las flores, porque visitan una única especie.

Esta lista puede establecerse porque se corresponde con el desarrollo de las glándulas en cada caso, pero las funciones son variables según la necesidad de cada colonia.

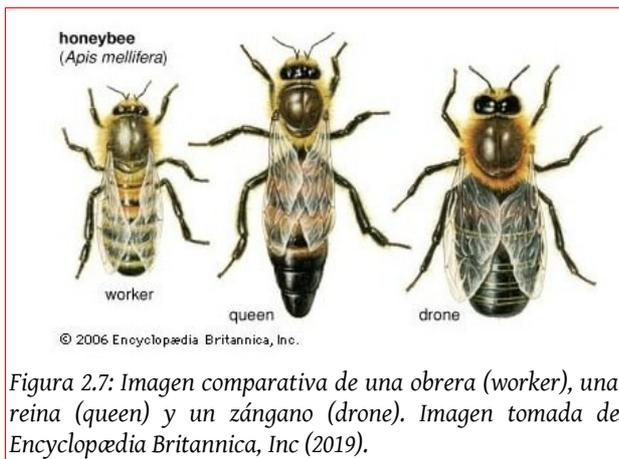


Figura 2.7: Imagen comparativa de una obrera (*worker*), una reina (*queen*) y un zángano (*drone*). Imagen tomada de *Encyclopædia Britannica, Inc* (2019).

En la Figura 2.7 podemos ver una fotografía que muestra las diferencias físicas entre los 3 tipos de abeja distintos que podemos encontrar en una colmena.

En una colmena, la reina suele poner 6 o más huevos fecundados en las realeras, para asegurarse de que la abeja reina saldrá sana y salva. Todas ellas salvo una

están condenadas a morir.

Cuando una abeja reina está a punto de nacer, en la colmena las obreras toman la iniciativa y empiezan el enjambrazón: hacen venir a los zánganos para que recojan miel en sus estómagos y se van juntamente con la mitad de obreras y la reina antigua, de manera que el apicultor puede llevar el enjambre a una colmena. En la otra, nace una reina de la larva y en una semana tendrá lugar el vuelo nupcial para dar lugar a una colmena recién nacida.

3. Planteamiento de la investigación

Las abejas, como seres sociales que son, viven en comunidad. Sus comportamientos siempre tienen como objetivo el bienestar de la colmena entera. Uno de los aspectos que me encurioseó más al informarme sobre el tema fue el hecho de que *Apis mellifera* es una especie de sangre fría, es decir, de temperatura variable (Von Frisch, 1984), y esto implica que, en cierto modo, son esclavas de la temperatura ambiental. La temperatura en el interior de la colmena la regulan mediante el mecanismo de aleteo, pero las abejas pecoreadoras que trabajan en el exterior no gozan de las ventajas de este sistema de termorregulación.

A partir de esta información, se me ocurrió la idea principal de mi trabajo experimental que me permitiría indagar en la etología de las abejas: estudiar el comportamiento de las pecoreadoras frente a las condiciones meteorológicas y factores temporales. Concretando más, me propuse realizar un estudio de carácter observacional que registrara la actividad de las abejas en las piqueras de dos colmenas, ubicadas una en zona umbría y la otra en zona solana, y estudiarla en función de las distintas variables meteorológicas y temporales.

3.1. Actividad de forrajeo de las abejas y evaluación de los factores que pueden influirla

Para poder realizar un buen diseño del experimento para mi investigación, recopilé y seleccioné la información presentada en este apartado sobre la actividad de forrajeo de las abejas (Abou-Shaara, 2014).

La actividad de las pecoreadoras depende principalmente de dos tipos de factores: los internos o los externos a la colmena. Los internos hacen referencia al estado de la abeja reina (virgen/emparejada), y también a la cantidad de crías en la colmena. Decidí no definir estos factores como variables independientes de mi experimento ya que al estudiarlos podía alterar el estado natural de las abejas de una colmena y causarles estrés, así que simplemente las tomé como variables controladas.

Los factores externos, al tratarse de elementos medioambientales, son más complejos. En primer lugar, la actividad de las pecoreadoras se ve afectada por la región donde se encuentren y la época del año, factores que representaron variables controladas en mi experimento ya que las dos colmenas estudiadas se vieron afectadas por las mismas condiciones, siendo la región el término municipal de Toses (pueblo del Pirineo catalán, ubicado en el Ripollès, Gerona, España), y la época del año el verano. Algunas características de la zona donde se encuentra la colmena, como la altitud o la disponibilidad de plantas silvestres representaron también variables controladas, pues las dos colmenas sufrieron un impacto similar del ambiente.

Como establece el artículo de M Ansede (2018) publicado en *El País*, los insecticidas neonicotinoides (como el imidacloprid o la clotianidina) afectan negativamente a las abejas: la presencia de estos es otro factor externo que influye en la actividad de las pecoreadoras, pero en mi experimento no fue ninguna variable a considerar porque las colmenas estaban ubicadas en zonas sin ningún cultivo agrícola con presencia de este tipo de sustancias. Además, los enemigos naturales (como los escarabajos del polen *Brassicogethes aeneus* de la familia Nitidulidae o los avispones), así como la presencia de comunidades de otras especies de abejas representaron otra variable controlada, pues ambos afectaron del mismo modo a las dos colmenas estudiadas.

En mi investigación, me propuse realizar un estudio observacional (porque yo no manipulé ningún factor de las colmenas) que me permitiera determinar cuáles son las condiciones meteorológicas óptimas que deben prestarse para que las abejas pecoreadoras puedan trabajar. Además, para poder determinar por completo cuáles son sus condiciones de trabajo, me propuse no analizar únicamente la relación de la actividad de las abejas con las condiciones meteorológicas sino que también lo haría en relación con las horas a lo largo del día y en función de los distintos meses del verano.

3.2. Pregunta de investigación

La pregunta de investigación que me planteo responder es la siguiente: “¿Cómo afectan a la actividad de las abejas pecoreadoras de una colmena los distintos factores

meteorológicos de temperatura, humedad, lluvia y viento? ¿De qué modo se ve afectada la actividad de las mismas según las horas a lo largo de un día y según los distintos meses a lo largo del verano? ¿Varían estos impactos en función de si la colmena está ubicada en zona umbría o solana?”

3.3. Objetivos

Para dar respuesta a la pregunta de investigación, y poder definir cuáles son las condiciones de trabajo óptimas para las abejas melíferas, me propongo:

- Estudiar la relación entre la actividad de las abejas y las condiciones meteorológicas del entorno.
- Estudiar la actividad de las abejas en función de los factores temporales: a lo largo de un día y a lo largo del verano.
- Observar si existen diferencias significativas en la actividad de las abejas de una colmena en zona solana o umbría.

3.4. Formulación de hipótesis

La hipótesis inicial planteada fue que las abejas trabajarían dentro de un rango de valores de temperatura alrededor de los 25°C (temperatura que mantienen en la colmena (Von Frisch, 1984)); y de humedad relativa cerca del 50%. Para el viento y la lluvia, propuse la hipótesis que tendrían un impacto negativo sobre la actividad de las pecoreadoras (Bassols, 2018).

A lo largo del día, las abejas trabajarían más en el mediodía, y a lo largo del verano, su actividad máxima sería en junio y julio.

3.5. Relevancia de la investigación

El motivo por el que decidí realizar esta monografía acerca de la etología de las abejas no es simplemente para diseñar y realizar un experimento para obtener conocimientos de una especie que me fascina tanto y de la que creo que tenemos mucho por aprender, sino también para poder entender cómo deberán actuar en un futuro los apicultores con sus

colmenas para hacer frente de la manera menos perjudicial posible para las abejas frente el cambio climático.

4. Diseño experimental

4.1. Definición de variables

Al tratar con datos tan variados como las horas del día, temperatura, humedad, viento, lluvia y también los distintos meses, resultó necesario separar el trabajo en seis estudios independientes, siendo siempre la variable dependiente de los cuales la cantidad de pecoreadoras en actividad y cogiendo como variable independiente cada uno de los factores. En el primer caso, estudié el número de abejas trabajadoras en función de las horas del día. En el segundo, el número de abejas en función de los grados centígrados... y así con todos ellos.

Incluso teniendo en cuenta los factores del apartado anterior como variables controladas, resulta difícil garantizar un control completo de todos los factores que podían afectar al registro de datos. Como no manipulé ningún factor que pudiera afectar a la actividad natural ninguna de las colmenas, consideré las dos colmenas como grupos control de mi experimento.

4.2. Materiales y procedimiento

Para llevar a cabo la toma de datos, tuve que equiparme con el siguiente material:

- Dos colmenas de abejas en dos campos distintos de un apicultor conocido.
- Dos cámaras de caza con tecnología de rayos infrarrojos.

En primer lugar, aprendí a utilizar las cámaras fotográficas y las programé las dos del mismo modo (con un intervalo entre la toma de dos fotografías de



Figura 4.1: Programación de la cámara.

10 minutos, tal y como vemos en la Figura 4.2). Esto significa que entre dos fotografías, la cámara estaba 10 minutos desactivada.

El montaje del experimento consistió en colocar, con la ayuda del apicultor y los equipos de protección adecuados, una cámara que enfocara hacia la parte delantera de cada colmena (la sujeté como se muestra en la Figura 4.2 y obtuve los montajes de las Figuras 4.3 y 4.4), y asegurarme de que el campo fotográfico de la cámara apuntara correctamente hacia la piquera (entrada) de la colmena.² Coloqué una lámina de madera de color claro al lado de la entrada para poder identificar más fácilmente las abejas a la hora de realizar el recuento, obteniendo los campos fotográficos de las Figuras 4.5 y 4.6.



Figura 4.2: Sujeción de la cámara en un tronco.



Figura 4.3: Montaje de la cámara en la colmena de Nevà (zona umbría).

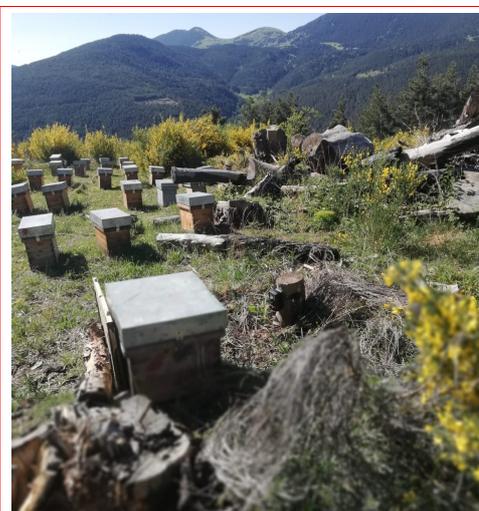


Figura 4.4: Montaje de la cámara en la colmena de La Collada (zona solana).

² Cada colmena se encontraba en un campo distinto: una estaba en la zona de La Collada y la otra en Nevà.



Figura 4.5: Campo fotográfico de la cámara de la colmena de La Collada.



Figura 4.6: Campo fotográfico de la cámara de la colmena de Nevà.

4.3. Características de la zona donde se realizó el experimento

Considero necesario presentar a continuación las características de la zona donde realicé el experimento. Toses pertenece a la región sudeste del Pirineo Catalán. He ubicado en el Mapa 1 el término municipal de Toses en un mapa topográfico de España.



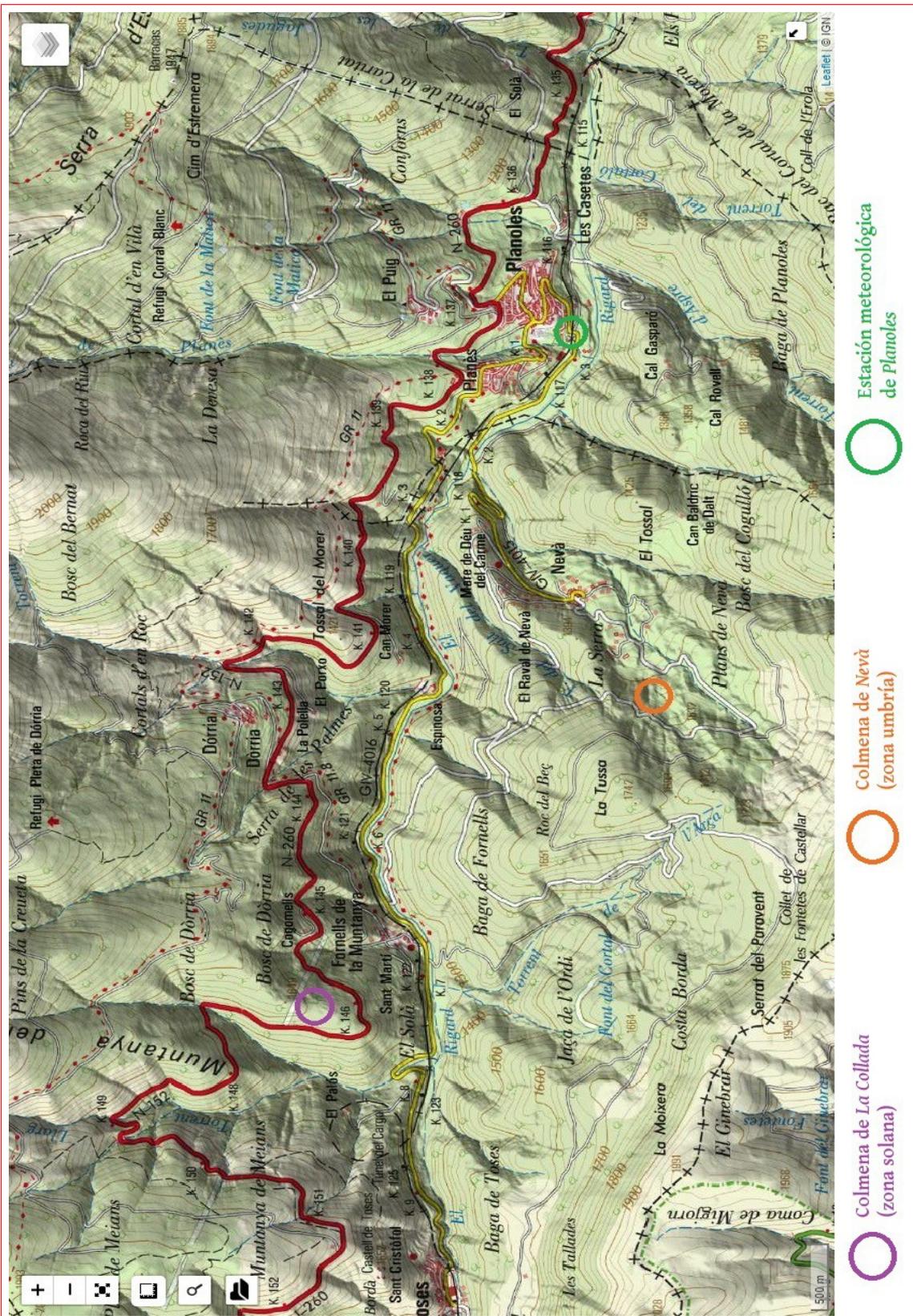
Mapa 1: Mapa de España con la localización de la zona donde realicé el estudio

Las condiciones meteorológicas que están presentes en las dos colmenas de mi estudio son las que describe el clima mediterráneo de montaña: los veranos son cortos, de temperaturas suaves y frescos. Además, las precipitaciones no abundan ni en verano ni en

primavera, mientras que en otoño y sobretodo en invierno aparecen a menudo en forma de nieve. (Pirineos.es, 2016).

He situado en otro mapa topográfico más detallado los dos campos donde el apicultor tenía sus colmenas en el Mapa 2.

La colmena de Nevà se encuentra a 2,57 kilómetros de la estación meteorológica, mientras que la del campo de La Collada está alejada 3,05 kilómetros de Nevà y 5,14 de la estación meteorológica. Cabe destacar también que la zona de Nevà es una zona predominantemente umbría, mientras que La Collada es más bien solana.



Mapa 2: Mapa cartográfico de la zona, y la ubicación de las dos colmenas estudiadas y de la estación meteorológica

4.4. Registro de datos



Durante los meses de junio, julio y agosto, dejé que las cámaras tomaran todas las fotos, intentando ir comprobando periódicamente el correcto funcionamiento de las dos cámaras (que las pilas no se agotasen, que las condiciones del campo fotográfico fuesen adecuadas: que la hierba estuviera bien cortada y evitar fotografías sobrantes...). Debí tomar ciertas medidas de seguridad personal y para las abejas: tuve que realizar los controles durante la noche, más tarde de las 22:00h, para asegurarme de que las abejas ya no estaban trabajando. Así evité molestarlas, arriesgarme a que me picasen y garanticé al mismo tiempo que los datos recopilados no se vieran afectados.

A parte de tomar las fotografías, otra parte igualmente importante para mi estudio era registrar los datos meteorológicos durante el período de tiempo que tuve las cámaras tomando datos (desde el 8 de junio hasta el 10 de agosto). Me fui descargando a diario los datos de la estación meteorológica de Planoles.

A partir de todos los datos recopilados, escogí 10 días distintos distribuidos en los meses de junio a agosto, los que se muestran en la Figura 4.7, para estudiar la actividad de las abejas. Cada día representó una

réplica experimental. Para cada día, realicé el recuento de abejas en fotos tomadas cada media hora tal como se muestra en la Figura 4.8. Recopilé los datos en una tabla donde

posteriormente añadí los valores de los datos meteorológicos correspondientes a cada hora, dando lugar a la tabla que he incluido en el Apéndice I - Tabla de datos.



5. Resultados y discusión

Una vez dispuse de todos los datos, hice una representación de los resultados, día por día, a fin de decidir cuál era el mejor tratamiento. Los 11 gráficos realizados figuran en el Apéndice II - Representación de los datos.

Para sacar conclusiones satisfactorias, consideré necesario combinar un tratamiento estadístico con la realización de gráficos para cada variable. Utilicé las nociones básicas que tenía del lenguaje informático *python* para construir un programa que me permitiera ir seleccionando distintos datos según la colmena y la variable independiente deseada para confeccionar los gráficos necesarios. He recopilado el programa en el Apéndice III - Código del programa informático.

5.1. Método estadístico. Parámetros estudiados

Para poder analizar los datos obtenidos en mi estudio observacional, he optado por realizar un análisis estadístico. Después de leer bibliografía de S. Gil y E. Rodríguez (2001) sobre el método experimental y el tratamiento estadístico de datos, decidí los estadísticos que iba a calcular para analizar mis datos.

Además de los cálculos, realicé gráficos para representar los datos para todas y cada una de las variables estudiadas.

Todos los procedimientos realizados para el tratamiento de datos se esquematizan en la Figura 5.1.

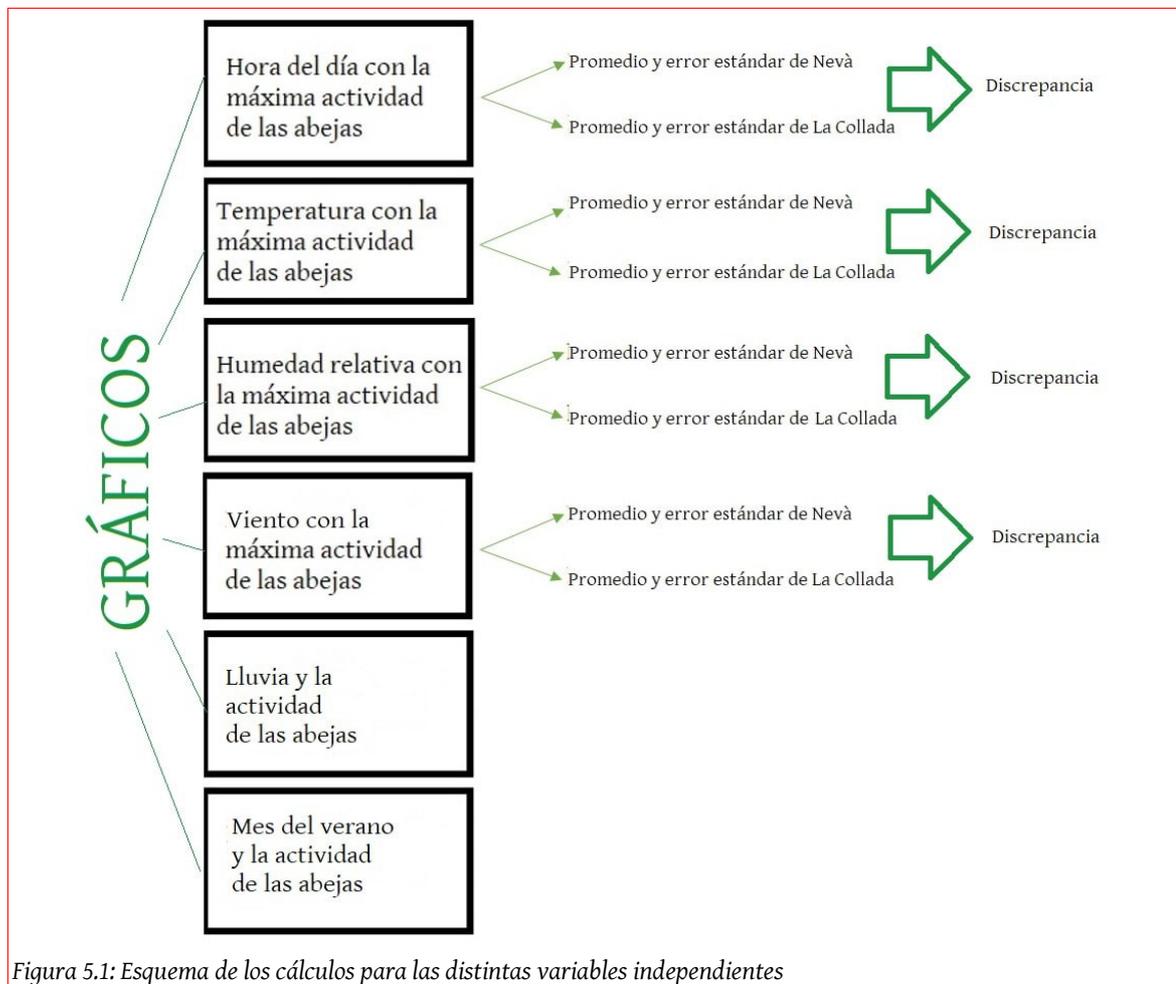


Figura 5.1: Esquema de los cálculos para las distintas variables independientes

A continuación he detallado los cálculos realizados para cada parámetro estadístico:

-
- Promedio. Es el valor medio que da una idea de la localización de la hora/temperatura/humedad central de la distribución, es decir, donde se concentran mayor número de abejas. Los cálculos que realicé para hallar el promedio son los siguientes:

$$Promedio = \sum \left(\frac{n^{\circ} abejas_{(i)} \times parámetro_{(i)}}{\sum(n^{\circ} abejas)} \right)$$

Donde parámetro_(i) significa o bien hora del día o bien temperatura o bien humedad relativa o bien velocidad del viento, depende de la variable independiente que estudiemos.

- Desviación estándar. Este estadístico proporciona una idea de la dispersión de los datos alrededor del promedio, es decir, una variación estándar baja indica una mayor concentración de los datos. Se calcula:

$$Desviación\ estándar = \sqrt{\left(\frac{\sum [n^{\circ} abejas_{(i)} \times (parámetro_{(i)} - promedio)^2]}{\sum(n^{\circ} abejas)} \right)}$$

El parámetro_(i) también se refiere a cada variable independiente escogida. Además, cabe especificar que el promedio se refiere al promedio calculado para cada parámetro y para cada colmena.

- Error estándar. Nos permite cuantificar cómo se apartan los valores de la muestra (promedio muestral) respecto a los valores de la población entera (promedio poblacional). Este estadístico tiene un intervalo de confianza del 95%, es decir, hay un 95% de probabilidad de que la media poblacional esté incluida en el intervalo (promedio \pm error estándar) (Abraira, 2002). La fórmula matemática que nos permite calcular el error estándar es la siguiente:

$$Error\ estándar_{(C)} = \frac{desviación\ estándar_{(C)}}{\sqrt{cantidad\ total\ de\ datos_{(C)}}}$$

La C indicada entre paréntesis se refiere a la colmena de Nevà o bien de La Collada.

- Discrepancia. Al haber estudiado dos colmenas, he realizado dos observaciones distintas e independientes que, como es lógico, los resultados no coinciden
-

exactamente. Esto significa que hay discrepancia entre los resultados (S. Gil y E. Rodríguez, 2001). La discrepancia se calcula a partir de la siguiente fórmula (PHYSILAB):

$$\text{discrepancia} = |\text{promedio}(\text{La Collada}) - \text{promedio}(\text{Nevà})|$$

Sin embargo, lo que es interesante es utilizar este valor para comparar la actividad en las dos colmenas. Para hacerlo, lo que queremos determinar si la discrepancia entre valores es significativa o no lo es. Si lo es, las dos medidas que estamos comparando no son compatibles, es decir, no nos aportan información fiable. Un criterio con un límite de confianza del 96% que se aplica frecuentemente es el siguiente: si la discrepancia es menor que 2 veces la suma cuadrática de los errores, entonces la diferencia no es significativa (y las mediciones son compatibles). Los cálculos que hay que realizar son los siguientes:

$$\text{suma cuadrática de los errores} = \sqrt{\text{error estándar}(\text{La Collada})^2 + \text{error estándar}(\text{Nevà})^2}$$
$$(\text{discrepancia NO significativa}) < (2 \times \text{suma cuadrática de los errores})$$

Es necesario puntualizar un detalle que he tenido que tener en cuenta en el análisis de la hora del día. Como yo quería relacionar la variable de la hora del día con la cantidad de radiación solar que llegaba, decidí transformar, tal y como se explica en el artículo titulado *Cálculo de la hora local o solar a partir de la hora civil*, todos los datos de las horas civiles a horas solares. La hora civil es la medida del tiempo que se basa en la división de la Tierra en 24 husos horarios, mientras que la hora solar es diferente según las coordenadas de longitud y se basa en el paso del Sol por el meridiano en que se encuentra una región determinada, siendo las 12:00 el momento del día en que el sol incide perpendicularmente a la superficie de la zona concreta. Los cálculos realizados se detallan a continuación:

Busqué las coordenadas de la zona de Nevà para poder obtener la longitud: 2°4' Este³.

³ Datos obtenidos en (<https://www.coordenadas-gps.com/>).

Transformé la longitud geográfica de grados a horas de reloj (sabiendo que 1° de longitud equivale a 4' de reloj):

$$\left(2^{\circ} + \left[4' \times \frac{1^{\circ}}{60'}\right]\right) \text{ de longitud} \times \frac{4' \text{ de reloj}}{1^{\circ} \text{ de longitud}} = 8' \text{ de reloj}$$

Ahora ya se puede aplicar la fórmula de la hora solar:

$$\text{Hora solar} = \text{Hora local} - \text{corrección} + \text{longitud}$$

En el caso de mi estudio, la corrección de horario es de 2 h, ya que los datos pertenecen al horario de verano (y hay que sumar una hora del cambio de hora que hacemos). En este caso, como la longitud estaba dada en coordenadas Este, ésta queda positiva (si tenemos una longitud geográfica Oeste, tendríamos que expresarla en negativo):

$$\text{Hora solar} = \text{Hora local} - 2\text{h} + 8 \text{ min}$$

Una vez tuve hecha la conversión para todas las horas del día, realicé los cálculos de los distintos parámetros estadísticos acordes a la hora solar.

Para las variables del viento, la lluvia y el mes del año, lo que hice fue una representación gráfica de los datos mediante un gráfico que representara el número de abejas en función de cada parámetro en forma de diagrama de caja y bigotes. O sea, dividiendo las abejas en cuartiles para esquematizar donde se encuentran el 25%, el 50% y el 75% de las abejas trabajadoras.⁴

5.2. Hora del día

En la Tabla 1 figuran los cálculos de los valores estadísticos estudiados para el parámetro de la hora solar:

⁴Cabe mencionar aquí que, antes de la realización de los gráficos, los días en los que había registros de lluvia se habían eliminado previamente de la base de datos a fin de mantener la lluvia como variable controlada.

Parámetro ⁵	Colmena de Nevà	Colmena de La Collada
Promedio (h)	11:36	12:00
Desviación estándar ($\pm h$)	0,43	0,63
Error estándar ($\pm h$)	0,14	0,21
Discrepancia	0,42	
Suma cuadrática de errores	0,25	
¿Discrepancia significativa?	0,42 < 0,50. No significativa	

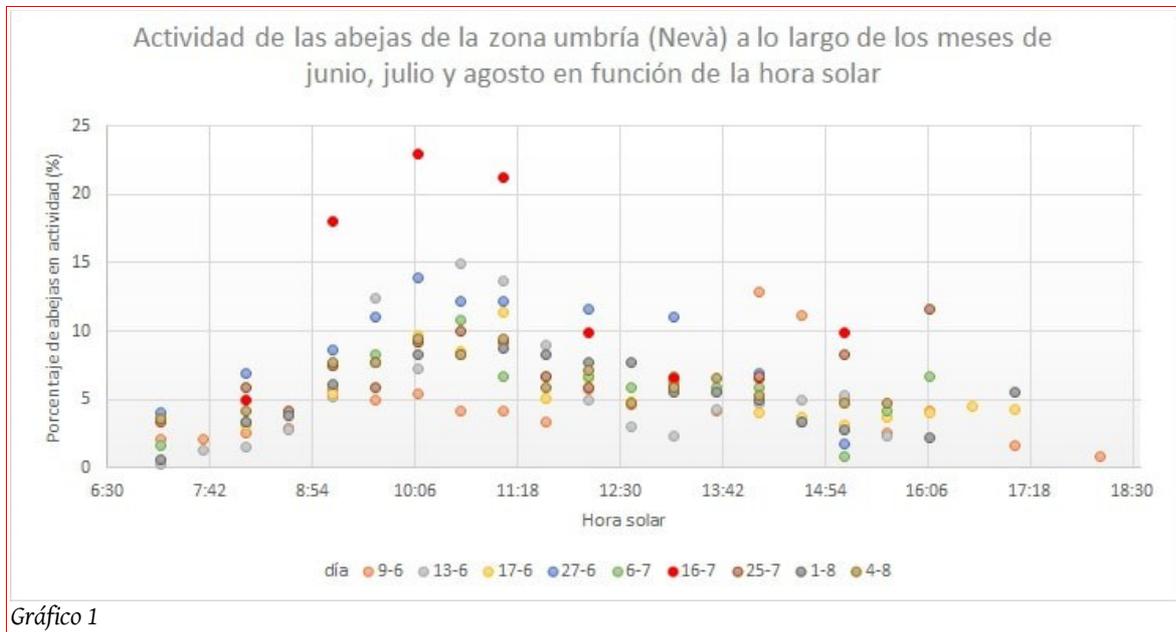
Tabla 1. Estadísticos calculados para la variable independiente de la hora del día

En ambas colmenas podemos ubicar la hora de trabajo más intenso en el pico del mediodía (12h), es decir, el momento en el cual el sol se encuentra en el punto más alto de su elevación en el cielo sobre el horizonte (el Cenit).

De hecho, la pequeña diferencia entre las horas promedio puede explicarse con el hecho de que las abejas ubicadas en la colmena solana, al tener más horas de sol, pueden trabajar hasta más tarde, cosa que hace retardar el valor del promedio de la hora de actividad máxima.

Para analizarlo con más detalle, he representado en los Gráficos 1 y 2 la relación entre las distintas horas solares y el porcentaje de abejas (respecto al número total de abejas registradas de ese día concreto), donde cada réplica está ilustrada en un color diferente.

⁵Todos los parámetros estadísticos se calcularon utilizando los valores decimales de las horas en lugar de sexagesimales. Así, por ejemplo un valor de 3:30h, se transformó previamente a 3,50h para poder operar con normalidad. El valor de la hora promedio de la tabla, a fin de que quedase más claro, después de los cálculos, lo convertí de nuevo a un valor sexagesimal.



Las abejas de la colmena de Nevà tienen un horario de trabajo entre 7h y 17h, franja temporal que coincide con las horas en las que llega radiación solar a la superficie terrestre. Al estudiar el número de abejas que están trabajando en función de la hora solar, estamos estudiando indirectamente su actividad en función de la radiación solar que reciben. Hay un aumento de la actividad de las abejas aproximadamente entre 9:30h y 12:30h, que se corresponde con el momento del día en que más cantidad de radiación llega a la superficie de la Tierra. Así, la radiación solar afecta positivamente a las abejas y de manera directamente proporcional: cuanta más radiación, más abejas pecoreadoras saldrán a trabajar.

En la colmena ubicada en la zona solana de La Collada, vemos en el Gráfico 2 que las abejas siguen un esquema de trabajo que no difiere excesivamente del de la colmena ubicada en la umbría.



Gráfico 2

Al analizar el comportamiento de los datos de los resultados de esta parte de mi experimento, pude observar que la hora en que salían las abejas tenía forma de campana de Gauss, es decir, que la distribución de las abejas trabajadoras a lo largo de las horas del día seguía alrededor de la hora promedio de actividad máxima era simétrica.

Este análisis de los datos me llevó a pensar que los resultados obtenidos pueden estar relacionados con en el reloj biológico de *Apis mellifera*, ya que su actividad sigue una regularidad y un cierto orden que es posible que las abejas sigan de manera inconsciente, simplemente por la adaptación a los ritmos circadianos de la rotación terrestre. En conclusión, es posible que las gráficas obtenidas de la actividad de las abejas sea una representación del reloj biológico que regula las funciones del comportamiento, niveles hormonales, sueño, temperatura corporal y el metabolismo de las abejas. La afectación de estos fenómenos sobre las abejas melíferas está más que estudiada, por ejemplo, en los estudios de Moore (2001) y de Southwick y Moritz (1987).

5.3. Temperatura

En este apartado, la variable independiente estudiada es la temperatura. Los estadísticos calculados son los de la Tabla 2:

Parámetro ⁶	Colmena de Nevà	Colmena de La Collada
Promedio (°C)	22,1	21,9
Desviación estándar (±°C)	4,9	4,8
Error estándar (±°C)	0,4	0,4
Discrepancia	0,2	
Suma cuadrática de errores	0,5	
¿Discrepancia significativa?	0,2 < 1,0. No significativa	

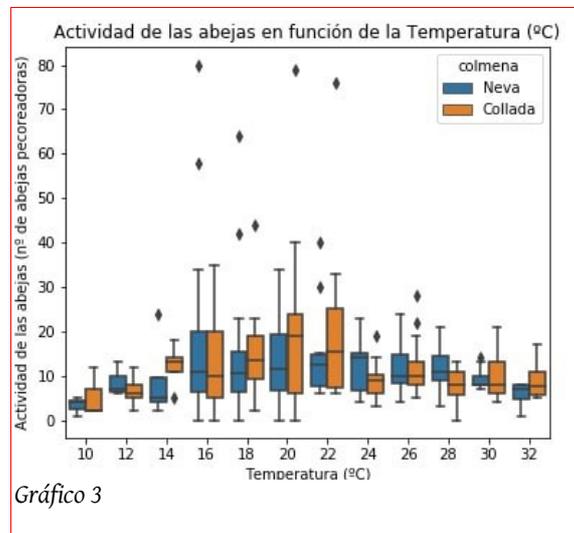
Tabla 2. Estadísticos calculados para la variable independiente de la temperatura

Los valores promedio de la temperatura a la que trabajan las abejas no difieren entre colmenas ni 0,5°C, así que puedo afirmar que la temperatura afecta de manera similar a la colmena del sol y a la de la sombra. Sin embargo, tiene lógica que la temperatura de máxima actividad sea más elevada en Nevà (zona umbría), ya que la sensación térmica para una misma temperatura es menor en una zona umbría y, por tanto, necesitan que el valor de temperatura sea un poco más elevado para trabajar igual que en la colmena solana.

Para explorar más a fondo la diferencia de actividad en las dos colmenas, confeccioné el Gráfico 3. Cogí intervalos de 2°C y, para cada uno, representé los datos de abejas trabajadoras en un diagrama de caja y bigotes, mostrando la distribución de los valores en cuartiles.

El único valor destacable es el de 22°C, pues se aprecia una considerable diferencia de abejas, habiendo más, como es lógico, en la solana.

Después de este valor, en las otras franjas de temperatura, la actividad de las vuelve a tener una proporción similar en las dos colmenas.



⁶Todos los valores numéricos de la tabla se dan de acuerdo con las cifras significativas que podemos tomar, tanto en esta tabla como en todas las que aparecerán más adelante.

Una vez analizado esto, eliminé los datos de los días que había llovido y confeccioné gráficos para observar la actividad de las abejas en las distintas temperaturas. En los Gráficos 4 y 5 observamos una relación cuadrática entre el número de abejas y la temperatura, teniendo como valor máximo más o menos los promedios de la tabla 2. Podemos establecer un rango de temperaturas de trabajo de las abejas entre 10 y 32°C, ya que fuera de este intervalo no se registra actividad alguna.

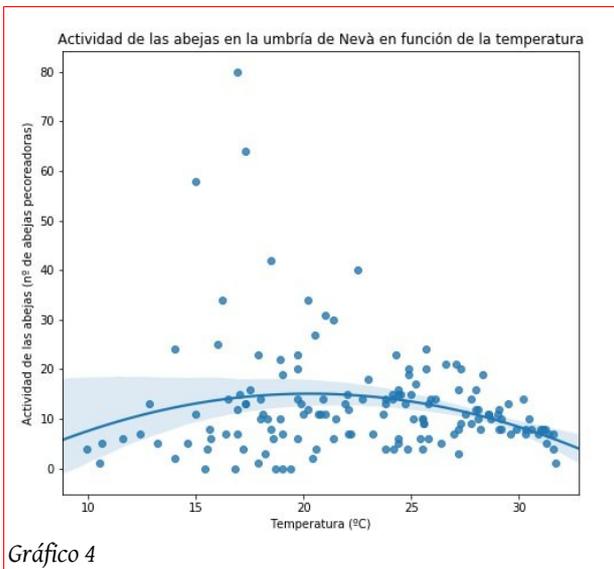


Gráfico 4

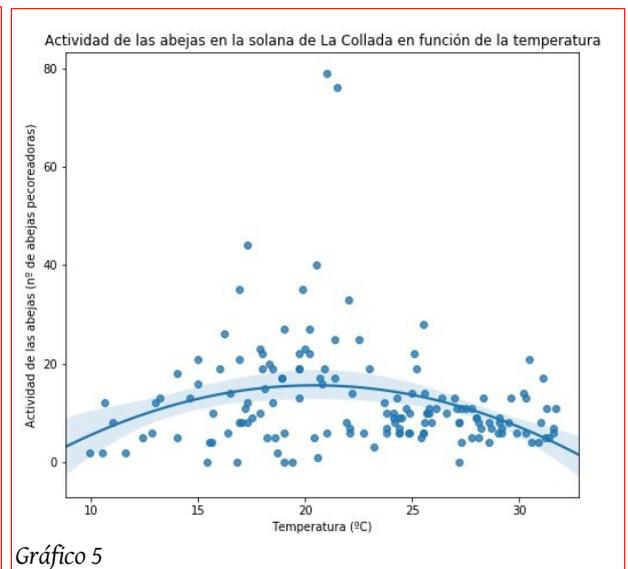


Gráfico 5

5.4. Humedad

En este apartado, la variable independiente que estudiado como factor meteorológico determinante de la actividad de las abejas es la humedad. De una manera similar que en los dos apartados anteriores, realicé la Tabla 3 con los estadísticos calculados.

Parámetro	Colmena de Nevà	Colmena de La Collada
Promedio (%)	46	46
Desviación estándar (±%)	9	10
Error estándar (±%)	1	1
Discrepancia	0	
Suma cuadrática de errores	2	
¿Discrepancia significativa?	0 < 4. No significativa	

Tabla 3. Estadísticos calculados para la variable independiente de la humedad relativa

El valor de la humedad relativa correspondiente a la máxima actividad coincide en las dos colmenas: (46±1)%. El efecto de la humedad, por tanto, no varía según la localización en la solana o umbría. Debido a los veranos secos típicos en la zona, como he detallado en las características climatológicas, yo afirmaré que la humedad no es un factor ambiental que sufra variaciones importantes y, por tanto, que afecte significativamente a la actividad de las abejas.

En el Gráfico 6 podemos comparar las dos colmenas. No hay diferencias significativas, pero sí que se puede ver que, en los valores intermedios de humedad relativa, los cuartiles son más extensos que en el resto de humedades.

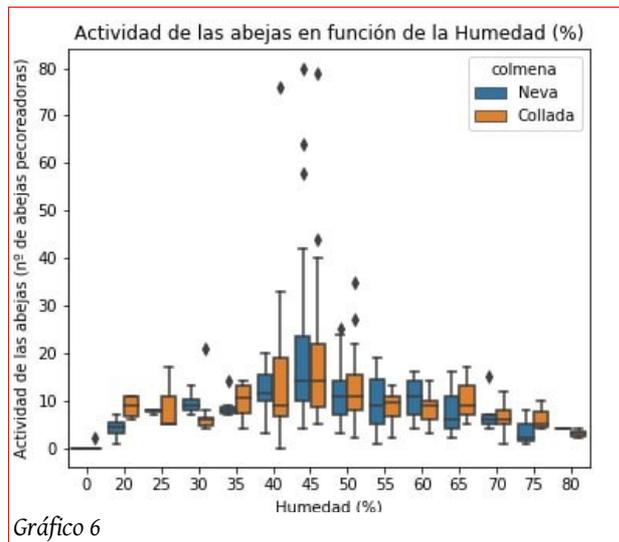


Gráfico 6

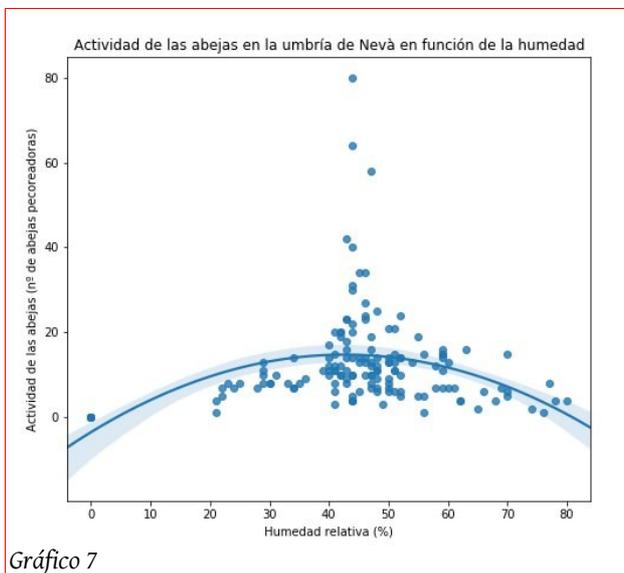


Gráfico 7

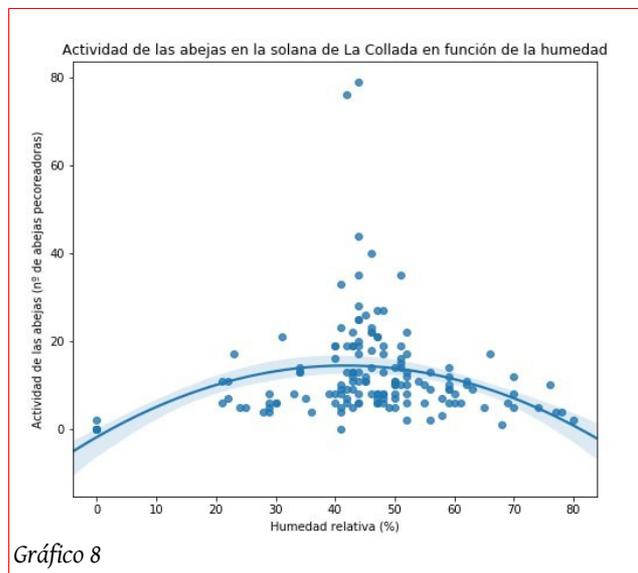


Gráfico 8

En los Gráficos 7 y 8 observamos que con la humedad relativa pasa algo similar a lo que pasaba con la temperatura: existe un intervalo de trabajo de las abejas entre 20% y 80%. Podríamos destacar que la colmena de Nevà presenta una actividad más concentrada al

valor central de 46%, aunque en La Collada tampoco se dispersa excesivamente. Es posible que, al estar la primera en un lugar más húmedo y frívolo, el rango de trabajo se vea ligeramente disminuido.

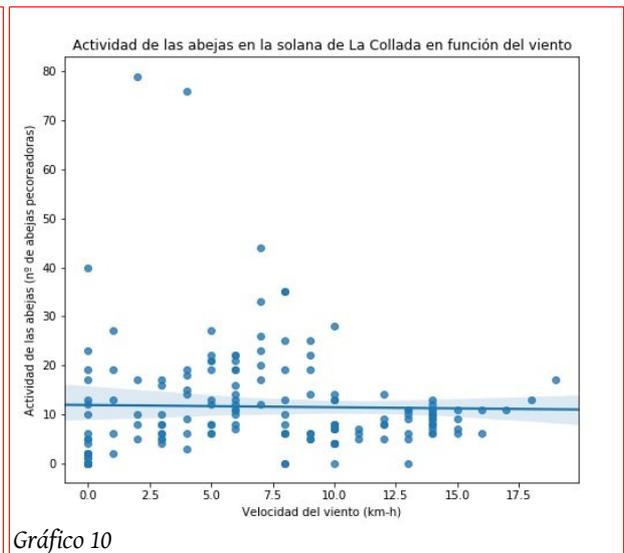
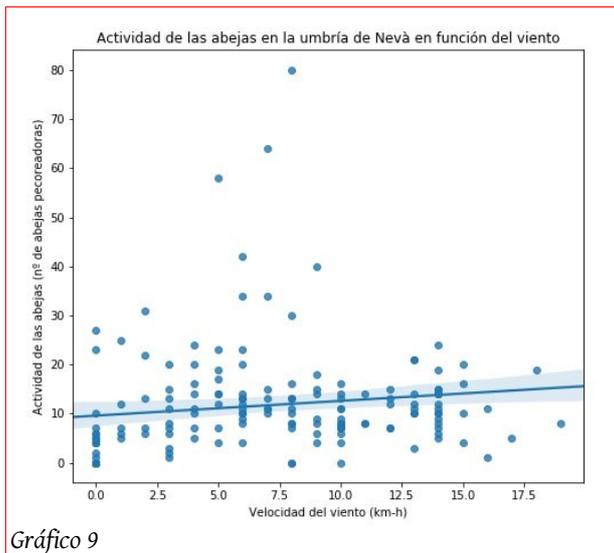
5.5. Velocidad del viento

En este apartado, estudié la dependencia de las abejas pecoreadoras según distintos valores de viento. En la Tabla 4 se muestran los estadísticos calculados:

Parámetro	Colmena de Nevà	Colmena de La Collada
Promedio (km/h)	7,7	6,9
Desviación estándar (\pm km/h)	4,4	4,5
Error estándar (\pm km/h)	0,4	0,4
Discrepancia	0,8	
Suma cuadrática de errores	0,6	
¿Discrepancia significativa?	0,8 < 1,2. No significativa	

Tabla 4. Estadísticos calculados para la variable independiente de la velocidad del viento

De los estadísticos no se puede obtener mucha información, ya que la desviación estándar es considerablemente elevada. Si nos fijamos en los Gráficos 9 y 10, tampoco parecen concluyentes. Es decir, no podemos establecer ninguna relación de dependencia entre las

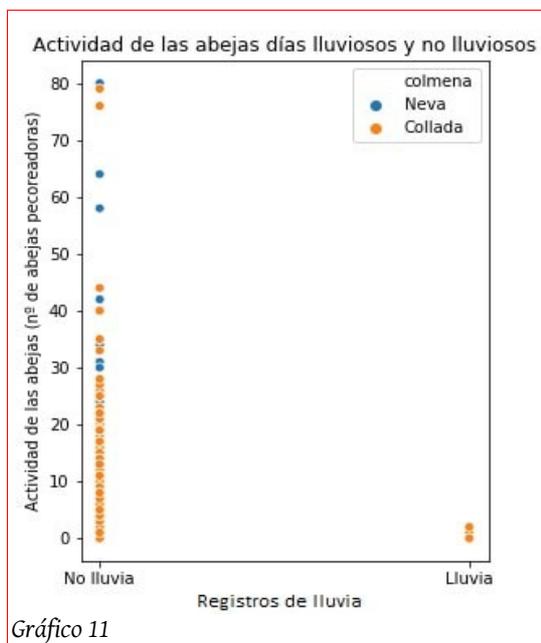


pecoreadoras trabajadoras y el viento. Si interpretamos la regresión de los gráficos, es lineal de gradiente cero, la cual cosa significa que la actividad de las abejas es constante en velocidades de viento entre 0 y 20 km/h.

Por lo tanto, en la zona del Pirineo catalán en la que realicé el experimento, al estar caracterizada por inexistentes episodios de vendavales durante la época de verano, el factor meteorológico del viento no afecta a las colmenas de abejas.

5.6. Precipitación

Para la variable independiente de la lluvia, traduje los datos que tenía a binario. Es decir, no trabajé con distintas cantidades de lluvia sino que, con el programa informático, separé



los días de los que no había registros de lluvia frente a los que sí que había. A partir de estos datos tratados, realicé el Gráfico 11.

Deduje que este factor tiene un impacto negativo: cuando llueve, las pecoreadoras no salen a trabajar. Este hecho puede deberse a dos factores: el primero, que la lluvia implica bajas temperaturas y altos valores de humedad relativa; el segundo, que como insectos que son, las gotas de la lluvia pueden tener efectos destructivos para sus alas y, en general, su morfología, tal como explica Bassols (2018).

5.7. Mes

Para poder estudiar el mes de más actividad, separé mis réplicas en tres grupos: las de junio, julio y agosto. El Gráfico 12 es un diagrama de caja y bigotes, ya que nos permite hacer mejor la comparación. En él podemos observar que la actividad de las pecoreadoras es visiblemente más acentuada en junio. La floración en alta montaña es más tardía, y es lógico que la actividad de las abejas sea más destacable en junio, ya que es cuando pueden

traer más polen y néctar a la colmena y, además, coincide con el periodo de más necesidad (por el aumento en la cantidad de crías), ya que según el calendario apícola de Ibars (2013), durante la primavera las colonias se reproducen (fenómeno de la enjambrazón), reestructuran y equilibran. En julio y agosto, el tiempo diurno se reduce, las flores ya no brindan tantos recursos y la reina ya no pone tantos huevos, provocando esto una disminución de la actividad de la colmena.

6. Conclusiones

Para la pregunta de investigación referida al efecto de los factores meteorológicos en las abejas, he podido confirmar mis hipótesis, a excepción de la del viento. En la colmena umbría (Nevà), he calculado que la actividad máxima de las abejas se localiza a unos valores promedio de $(22,1 \pm 0,4)^{\circ}\text{C}$ de temperatura y 46% de humedad relativa, mientras que para la solana (La Collada) los valores son de $(21,9 \pm 0,4)^{\circ}\text{C}$ y del 46%. Aunque no hay diferencias significativas entre colmenas, he observado que, en general, las abejas de la solana presentan más actividad. Por un lado, así como la temperatura es un factor condicionante porque las abejas son animales de sangre fría, la humedad no es tan crucial (también, en parte, porque en la zona donde se ha experimentado no sufre grandes variaciones).

He concluido que, en el Pirineo catalán, al ser una zona caracterizada por escasos vendavales en verano, la velocidad del viento no afecta a las abejas. Considero esto como un punto débil de mi investigación, ya que solamente es concluyente para vientos casi nulos (de 0 a 20 km/h). Por esto me propongo, en un futuro, ampliar la investigación buscando datos de días con episodios de viento y analizando la actividad de las pecoreadoras.

Los factores ambientales nunca son favorables para las abejas cuando llueve, ya que su morfología las hace delicadas a las gotas de agua y sus alas les imposibilitan volar si están mojadas.

Respecto al impacto de los factores temporales, dando respuesta a mi segunda pregunta de investigación, he concluido que es posible que los horarios de trabajo (entre 7 y 17h) y la

franja temporal de actividad máxima (de 9:30 a 12:30h) de las abejas sea una manifestación del reloj biológico que regula las funciones del comportamiento, niveles hormonales, sueño, temperatura corporal y, en general, el metabolismo de las abejas.

Inicialmente, propuse la hipótesis que las abejas trabajarían más en junio y julio. Los resultados obtenidos muestran que la actividad es más elevada en junio, pero no en julio. Podría haber ampliado mi investigación alargando el periodo de observación: empezado a tomar datos con las cámaras desde el momento en que el apicultor instaló sus colmenas hasta que se las llevó.

La respuesta a la última pregunta de investigación (comparación entre abejas en la solana o la umbría) se corresponde con la hipótesis inicial planteada: los registros de abejas en La Collada (solana) eran números mayores. Para mejorar esta parte, podría haber comprobado si estas diferencias de actividad, a la práctica, suponían, por ejemplo, una mayor producción de miel.

Para poner punto final a mi trabajo, me gustaría englobar los resultados en un concepto: el sentido de comunidad de *Apis mellifera*. Lo que me ha permitido realizar este estudio es el hecho de que una colmena funciona como un superorganismo, es decir, las acciones individuales de las abejas siempre se interrelacionan con los objetivos de la colmena entera. Si no fuese así, mi estudio habría resultado imposible, ya que los distintos factores tendrían efectos distintos e independientes en cada abeja.

A partir de estas conclusiones, me atrevo a afirmar que el resultado final es satisfactorio, ya que he sido capaz no solamente de diseñar y llevar a cabo una investigación personal que requería una dedicación muy elevada y la combinación de conocimientos de distintas áreas, sino que además he obtenido unos resultados concluyentes sobre el tema que me había propuesto estudiar.

7. Bibliografía

Figuras

Figura 2.2. Walker, Ken (2005). Asiatic honeybee (*Apis cerana*). <http://www.padil.gov.au/pests-and-diseases/pest/main/135533/66> [Consulta: 12 de junio de 2019]

Figura 2.3. Asociación de Cooperación al Desarrollo Integral de Huehuetenango – ACODIHUE (2010). Manual básico de apicultura, página 6. <https://coba.com.gt/wp-content/uploads/2015/07/MANUAL-BASICO-DE-APICULTURA-I.pdf> [Consulta: 15 de mayo de 2019]

Figura 2.4. Asociación de Cooperación al Desarrollo Integral de Huehuetenango – ACODIHUE (2010). Manual básico de apicultura, página 11. <https://coba.com.gt/wp-content/uploads/2015/07/MANUAL-BASICO-DE-APICULTURA-I.pdf> [Consulta: 15 de mayo de 2019]

Figura 2.5. Von Frisch, Karl (1984). [Fig 15] Abeja de regreso a la colmena, con los cestillos llenos de polen. *La vida de las abejas*, página 32.

Figura 2.6. Von Frisch, Karl (1984). [Fig 22] Sección longitudinal de una colmena con panales, en la que puede verse la disposición y extensión del nido de cría. *La vida de las abejas*, página 43.

Figura 2.7. Autoría anónima. Encyclopædia Britannica, Inc (2019). Honeybees: queen, worker, drone. <https://www.britannica.com/animal/drone-bee#/media/1/171791/141787> [Consulta: 15 de junio de 2019]

Libros

Von Frisch, Karl (1984). *La vida de las abejas*, Berlín, Alemania, Editorial Labor.

Artículos (de páginas web)

Abejapedia. Ciclo de vida de las abejas melíferas (2013). <http://www.abejapedia.com/ciclo-de-vida-de-las-abejas-melíferas/>. [Consulta: 14 de junio de 2019]

Anónimo (2011). Cálculo de la hora local o solar a partir de la hora civil. http://212.128.70.111/docs_pdf_geoplanveg/docs_pdfs_2011/Calculo_de_la_Hora.pdf. [Consulta: 10 de septiembre de 2019]

Ansele, Manuel (2018). Los insecticidas neonicotinoides son un riesgo para las abejas, según la EFSA. *El País*. https://elpais.com/elpais/2018/02/28/ciencia/1519817690_532532.html. [Consulta: 14 de junio de 2019]

Asociación Malagueña de Apicultores (2001). La jalea real. http://www.mieldemalaga.com/productos/la_jalea.html. [Consulta: 12 de junio de 2019]

Bassols, C (2018). ¿Por qué a los insectos no les gusta la lluvia? <https://kiruday.com/2018/11/porque-a-los-insectos-no-les-gusta-la-lluvia/>. *Kiruday Magazine*. [Consulta: 20 de septiembre de 2019]

Blanco de Domingo, A (2009). *Historia y curiosidades de la miel*. <http://www.mielarlanza.com/es/contenido/?iddoc=63>. [Consulta: 12 de junio de 2019]

Gil, S y Rodríguez, E (2001). Introducción al Método Experimental y Teoría de Errores (UNSAM y UNGS). https://www.fisicarecreativa.com/unsam_f3/guias/errores1.pdf. *Unidad 2: Tratamiento estadístico de datos* (páginas 17-26). [Consulta: 05 de septiembre de 2019]

Gilles Ratia, M. Especies y subespecies de abejas (2002). <https://www.apiservices.biz/es/articulos/ordenar-por-popularidad/1160-especies-y-subespecies-de-abejas>. [Consulta: 12 de junio de 2019]

Ibars, J (2013). Calendario apícola. Qué hacer en cada estación del año. <https://www.latiendadelapicultor.com/blog/calendario-apicola/>. [Consulta: 20 de septiembre de 2019]

PHYSILAB (Laboratorio Remoto y Virtual para la Enseñanza de la Física). Medición, error y cifras significativas (UCP).

<https://biblioteca.ucp.edu.co/ojs/index.php/coleccionmaestros/article/viewFile/2026/1934>. Página 36. [Consulta: 05 de septiembre de 2019]

Turismo Rural Pirineos (2016). Clima de los Pirineos Catalanes. <https://turismoruralpirineos.es/catalanes/clima/>. [Consulta: 05 de septiembre de 2019]

Vergara, J. F (2005). El reloj biológico de las abejas. https://www.taringa.net/+powerconocimiento/las-abejas-tiene-el-reloj-biologico-parecido-a-los-humanos_s0trq. [Consulta: 10 de septiembre de 2019]

Artículos científicos

Abou-Shaara HF (2014). The foraging behaviour of honey bees, *Apis mellifera*: a review. *Vet med* 59:1-10.

Abraira, V (2002). Desviación estándar y error estándar (Unidad de Bioestadística Clínica. Hospital Ramón y Cajal, Madrid).

Azeredo, L (2003). Protein contents and physiochemical properties in honey samples of *Apis mellifera* of different floral origins.

Cirnu, I (1960). Results of bee pollination of sunflowers. *Apicultura* 33.1: 18-20.

Elbert, R (1970). Honey Bee Queen Pheromones and Worker Foraging Behavior, *Annals of the Entomological Society of America*, Volume 63, Issue 1, 15 January 1970, Pages 222–228.

Moore D (2001). Honey bee circadian clocks: behavioral control from individual workers to whole-colony rhythms. *Journal of Insect Physiology*, 47 (8), 843-857.

Southwick, EE y Moritz, RF (1987). Social synchronization of circadian rhythms of metabolism in honeybees (*Apis mellifera*). *Physiological Entomology*, 12: 209-212.

8. Apéndices

En este último apartado de mi trabajo, he recogido las tablas de datos, así como también gráficos que me sirvieron para poder hacer un correcto análisis de los datos y el código informático del programa de *python*.

8.1. Apéndice I - Tabla de datos

En la siguiente tabla figuran todos los datos recogidos en la parte experimental de carácter observacional de mi estudio:

Lugar	Día	Hora	Viento (km/h)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Lluvia (mm)	Abejas
Nevà	09-Jun	7:00	0	80	9.9	0	4
Nevà	09-Jun	8:00	0	70	10.6	0	5
Nevà	09-Jun	9:00	0	56	13.2	0	5
Nevà	09-Jun	9:30	1	52	14.6	0	5
Nevà	09-Jun	10:00	2	50	15.7	0	6
Nevà	09-Jun	10:30	3	47	16.9	0	7
Nevà	09-Jun	11:00	4	46	16.5	0	14
Nevà	09-Jun	11:30	5	47	16.9	0	12
Nevà	09-Jun	12:00	7	45	17.3	0	13
Nevà	09-Jun	12:30	8	44	18	0	10
Nevà	09-Jun	13:00	7	44	18.3	0	10
Nevà	09-Jun	13:30	6	43	18.5	0	8
Nevà	09-Jun	14:00	5	43	19.7	0	14
Nevà	09-Jun	14:30	6	40	20.8	0	11
Nevà	09-Jun	15:00	7	41	22	0	15
Nevà	09-Jun	15:30	4	42	21.5	0	10
Nevà	09-Jun	16:00	2	44	21	0	31
Nevà	09-Jun	16:30	0	46	20.5	0	27

Nevà	09-Jun	17:00	1	48	20.2	0	12
Nevà	09-Jun	17:30	0	51	19.7	0	6
Nevà	09-Jun	18:00	0	52	18.9	0	10
Nevà	09-Jun	19:00	6	62	17.2	0	4
Nevà	09-Jun	20:00	3	74	14	0	2
Nevà	13-Jun	9:00	0	56	10.5	0	1
Nevà	13-Jun	9:30	1	52	11.6	0	6
Nevà	13-Jun	10:00	2	50	12.4	0	7
Nevà	13-Jun	10:30	3	47	12.8	0	13
Nevà	13-Jun	11:00	4	46	14	0	24
Nevà	13-Jun	11:30	5	47	15	0	58
Nevà	13-Jun	12:00	7	45	16.2	0	34
Nevà	13-Jun	12:30	8	44	16.9	0	80
Nevà	13-Jun	13:00	7	44	17.3	0	64
Nevà	13-Jun	13:30	6	43	18.5	0	42
Nevà	13-Jun	14:00	5	43	19.7	0	23
Nevà	13-Jun	14:30	6	40	20.9	0	14
Nevà	13-Jun	15:00	7	41	20	0	11
Nevà	13-Jun	15:30	4	42	19.7	0	20
Nevà	13-Jun	16:00	2	44	18.9	0	22
Nevà	13-Jun	16:30	0	46	17.9	0	23
Nevà	13-Jun	17:00	1	48	16	0	25
Nevà	13-Jun	17:30	3	51	15	0	11
Nevà	17-Jun	7:00	0	78	15.5	0	4
Nevà	17-Jun	8:00	1	69	16.4	0	7
Nevà	17-Jun	9:00	2	60	17.3	0	13
Nevà	17-Jun	10:00	4	51	18.1	0	11
Nevà	17-Jun	11:00	5	47	19	0	19

Nevà	17-Jun	12:00	6	46	20.2	0	34
Nevà	17-Jun	12:30	8	44	21.4	0	30
Nevà	17-Jun	13:00	9	44	22.5	0	40
Nevà	17-Jun	13:30	9	43	23	0	18
Nevà	17-Jun	14:00	6	43	24.3	0	23
Nevà	17-Jun	14:30	5	40	25.2	0	17
Nevà	17-Jun	15:00	6	41	25.7	0	20
Nevà	17-Jun	15:30	3	42	24.9	0	20
Nevà	17-Jun	16:00	5	44	23.8	0	14
Nevà	17-Jun	16:30	6	46	21.9	0	13
Nevà	17-Jun	17:00	7	48	20.7	0	11
Nevà	17-Jun	17:30	8	51	19.9	0	13
Nevà	17-Jun	18:00	9	52	18	0	14
Nevà	17-Jun	18:30	4	63	17.5	0	16
Nevà	17-Jun	19:00	3	70	17	0	15
Nevà	27-Jun	9:00	5	60	19	0	7
Nevà	27-Jun	10:00	6	58	22.1	0	12
Nevà	27-Jun	11:00	14	56	24.1	0	15
Nevà	27-Jun	11:30	14	55	24.9	0	19
Nevà	27-Jun	12:00	14	52	25.7	0	24
Nevà	27-Jun	12:30	13	51	26.6	0	21
Nevà	27-Jun	13:00	13	50	27.1	0	21
Nevà	27-Jun	14:00	15	44	27.3	0	20
Nevà	27-Jun	15:00	18	42	28.3	0	19
Nevà	27-Jun	16:00	12	40	28.1	0	12
Nevà	27-Jun	17:00	13	41	27.2	0	3
Nevà	27-Jun	18:00	8	62	17.8	5.8	0
Nevà	27-Jun	19:00	8	88	13.9	5.2	0

Nevà	27-Jun	20:00	10	91	13.6	4	0
Nevà	06-Jul	9:00	0	65	20.4	0	2
Nevà	06-Jul	10:00	0	62	23.8	0	4
Nevà	06-Jul	11:00	10	36	27.3	0	9
Nevà	06-Jul	11:30	13	29	28.1	0	10
Nevà	06-Jul	12:00	16	29	29	0	11
Nevà	06-Jul	12:30	12	29	29.5	0	13
Nevà	06-Jul	13:00	8	30	29.9	0	8
Nevà	06-Jul	13:30	9	30	30.3	0	8
Nevà	06-Jul	14:00	10	29	30.6	0	8
Nevà	06-Jul	14:30	10	28	30.9	0	7
Nevà	06-Jul	15:00	11	25	31.2	0	8
Nevà	06-Jul	15:30	12	24	31.4	0	7
Nevà	06-Jul	16:00	14	22	31.6	0	7
Nevà	06-Jul	16:30	15	21	31.6	0	4
Nevà	06-Jul	17:00	16	21	31.7	0	1
Nevà	06-Jul	17:30	17	22	31.3	0	5
Nevà	06-Jul	18:00	19	23	31.1	0	8
Nevà	09-Jul	9:00	0	0	13.4	12.2	0
Nevà	09-Jul	10:00	0	0	13.2	11.6	0
Nevà	09-Jul	11:00	0	0	13.5	4.4	0
Nevà	09-Jul	11:30	0	0	13.9	2.3	0
Nevà	09-Jul	12:00	0	0	15.4	0	0
Nevà	09-Jul	12:30	0	0	16.2	0.1	0
Nevà	09-Jul	13:00	0	0	17.3	0.2	0
Nevà	09-Jul	14:00	0	0	19.4	0	0
Nevà	09-Jul	15:00	0	0	16.5	0.2	0
Nevà	09-Jul	16:00	0	0	15.5	0.2	0

Nevà	09-Jul	17:00	0	0	15.1	1.2	0
Nevà	09-Jul	18:00	0	0	18.7	0	0
Nevà	09-Jul	19:00	0	0	19	0	0
Nevà	09-Jul	20:00	0	0	16.8	0	0
Nevà	16-Jul	10:00	3	49	18.2	0	3
Nevà	16-Jul	11:00	8	48	21	0	11
Nevà	16-Jul	12:00	11	52	22.7	0	14
Nevà	16-Jul	13:00	10	50	23.8	0	13
Nevà	16-Jul	14:00	10	48	24.4	0	6
Nevà	16-Jul	15:00	5	44	24.2	0	4
Nevà	16-Jul	16:00	9	44	24.8	0	4
Nevà	16-Jul	17:00	9	41	25.4	0	6
Nevà	25-Jul	9:00	0	68	20.6	0	4
Nevà	25-Jul	10:00	4	58	23.2	0	7
Nevà	25-Jul	10:30	4	55	24.4	0	5
Nevà	25-Jul	11:00	6	50	25.6	0	9
Nevà	25-Jul	11:30	10	48	27	0	7
Nevà	25-Jul	12:00	13	43	27.5	0	11
Nevà	25-Jul	12:30	13	42	28	0	12
Nevà	25-Jul	13:00	10	39	28.6	0	11
Nevà	25-Jul	13:30	10	35	29.2	0	8
Nevà	25-Jul	14:00	10	34	29.6	0	7
Nevà	25-Jul	15:00	8	34	30.3	0	7
Nevà	25-Jul	16:00	10	33	31	0	8
Nevà	25-Jul	17:00	6	31	30.5	0	10
Nevà	25-Jul	18:00	10	34	30.2	0	14
Nevà	01-Aug	9:00	3	76	17.9	0	1
Nevà	01-Aug	10:00	3	66	21.4	0	6

Nevà	01-Aug	10:30	12	59	22.2	0	7
Nevà	01-Aug	11:00	14	59	23.7	0	11
Nevà	01-Aug	11:30	14	59	24.1	0	14
Nevà	01-Aug	12:00	14	59	24.5	0	15
Nevà	01-Aug	12:30	12	59	24.4	0	15
Nevà	01-Aug	13:00	8	59	24.4	0	16
Nevà	01-Aug	13:30	9	51	25	0	15
Nevà	01-Aug	14:00	14	50	26.1	0	14
Nevà	01-Aug	14:30	14	48	25.9	0	14
Nevà	01-Aug	15:00	14	47	25.5	0	10
Nevà	01-Aug	15:30	14	47	25.5	0	10
Nevà	01-Aug	16:00	14	48	25.6	0	9
Nevà	01-Aug	16:30	14	45	25.8	0	6
Nevà	01-Aug	17:00	14	44	26.4	0	5
Nevà	01-Aug	18:00	10	44	25.5	0	4
Nevà	01-Aug	19:00	6	46	25.1	0	10
Nevà	04-Aug	8:00	3	77	15.6	0	8
Nevà	04-Aug	9:00	0	70	18.6	0	6
Nevà	04-Aug	10:00	0	61	22.1	0	7
Nevà	04-Aug	11:00	6	54	24.7	0	13
Nevà	04-Aug	11:30	8	50	25.8	0	13
Nevà	04-Aug	12:00	10	47	27.2	0	16
Nevà	04-Aug	12:30	13	45	27.8	0	14
Nevà	04-Aug	13:00	15	43	28	0	16
Nevà	04-Aug	13:30	15	42	28.7	0	10
Nevà	04-Aug	14:00	14	41	29.1	0	12
Nevà	04-Aug	14:30	14	41	29.1	0	8
Nevà	04-Aug	15:00	13	40	29.2	0	10

Nevà	04-Aug	15:30	10	41	28.6	0	11
Nevà	04-Aug	16:00	9	43	27.8	0	9
Nevà	04-Aug	17:00	11	47	28.2	0	8
Nevà	04-Aug	17:30	8	50	27.2	0	8
Collada	09-Jun	7:00	0	80	9.9	0	2
Collada	09-Jun	8:00	0	70	10.6	0	12
Collada	09-Jun	9:00	0	56	13.2	0	13
Collada	09-Jun	9:30	1	52	14.6	0	13
Collada	09-Jun	10:00	2	50	15.7	0	10
Collada	09-Jun	10:30	3	47	16.9	0	8
Collada	09-Jun	11:00	4	46	16.5	0	14
Collada	09-Jun	11:30	5	47	16.9	0	21
Collada	09-Jun	12:00	7	45	17.3	0	12
Collada	09-Jun	12:30	8	44	18	0	19
Collada	09-Jun	13:00	7	44	18.3	0	20
Collada	09-Jun	13:30	6	43	18.5	0	12
Collada	09-Jun	14:00	5	43	19.7	0	13
Collada	09-Jun	14:30	6	40	20.8	0	16
Collada	09-Jun	15:00	7	41	22	0	33
Collada	09-Jun	15:30	4	42	21.5	0	76
Collada	09-Jun	16:00	2	44	21	0	79
Collada	09-Jun	16:30	0	46	20.5	0	40
Collada	09-Jun	17:00	1	48	20.2	0	27
Collada	09-Jun	17:30	0	51	19.7	0	19
Collada	09-Jun	18:00	0	52	18.9	0	17
Collada	09-Jun	19:00	6	62	17.2	0	11
Collada	09-Jun	20:00	3	74	14	0	5
Collada	13-Jun	9:00	0	56	10.5	0	2

Collada	13-Jun	9:30	1	52	11.6	0	2
Collada	13-Jun	10:00	2	50	12.4	0	5
Collada	13-Jun	10:30	3	47	12.8	0	6
Collada	13-Jun	11:00	4	46	14	0	18
Collada	13-Jun	11:30	5	47	15	0	21
Collada	13-Jun	12:00	7	45	16.2	0	26
Collada	13-Jun	12:30	8	44	16.9	0	35
Collada	13-Jun	13:00	7	44	17.3	0	44
Collada	13-Jun	13:30	6	43	18.5	0	19
Collada	13-Jun	14:00	5	43	19.7	0	22
Collada	13-Jun	14:30	6	40	20.9	0	19
Collada	13-Jun	15:00	7	41	20	0	23
Collada	13-Jun	15:30	4	42	19.7	0	19
Collada	13-Jun	16:00	2	44	18.9	0	17
Collada	13-Jun	16:30	0	46	17.9	0	23
Collada	13-Jun	17:00	1	48	16	0	19
Collada	13-Jun	17:30	3	51	15	0	16
Collada	13-Jun	18:00	5	52	13	0	12
Collada	13-Jun	19:00	5	52	11	0	8
Collada	17-Jun	7:00	0	78	15.5	0	4
Collada	17-Jun	8:00	1	69	16.4	0	6
Collada	17-Jun	9:00	2	60	17.3	0	8
Collada	17-Jun	10:00	4	51	18.1	0	15
Collada	17-Jun	11:00	5	47	19	0	27
Collada	17-Jun	12:00	6	46	20.2	0	22
Collada	17-Jun	12:30	8	44	21.4	0	25
Collada	17-Jun	13:00	9	44	22.5	0	25
Collada	17-Jun	13:30	9	43	23	0	19

Collada	17-Jun	14:00	6	43	24.3	0	13
Collada	17-Jun	14:30	5	40	25.2	0	19
Collada	17-Jun	15:00	6	41	25.7	0	10
Collada	17-Jun	15:30	3	42	24.9	0	6
Collada	17-Jun	16:00	5	44	23.8	0	6
Collada	17-Jun	16:30	6	46	21.9	0	8
Collada	17-Jun	17:00	7	48	20.7	0	17
Collada	17-Jun	17:30	8	51	19.9	0	35
Collada	17-Jun	18:00	9	52	18	0	22
Collada	17-Jun	18:30	4	63	17.5	0	9
Collada	17-Jun	19:00	3	70	17	0	8
Collada	27-Jun	9:00	5	60	19	0	6
Collada	27-Jun	10:00	6	58	22.1	0	7
Collada	27-Jun	11:00	14	56	24.1	0	9
Collada	27-Jun	11:30	14	55	24.9	0	10
Collada	27-Jun	12:00	14	52	25.7	0	10
Collada	27-Jun	12:30	13	51	26.6	0	10
Collada	27-Jun	13:00	13	50	27.1	0	11
Collada	27-Jun	14:00	15	44	27.3	0	11
Collada	27-Jun	15:00	18	42	28.3	0	13
Collada	27-Jun	16:00	12	40	28.1	0	8
Collada	27-Jun	17:00	13	41	27.2	0	0
Collada	27-Jun	18:00	8	62	17.8	5.8	0
Collada	27-Jun	19:00	8	88	13.9	5.2	0
Collada	27-Jun	20:00	10	91	13.6	4	0
Collada	06-Jul	9:00	0	65	20.4	0	5
Collada	06-Jul	10:00	0	62	23.8	0	10
Collada	06-Jul	11:00	10	36	27.3	0	4

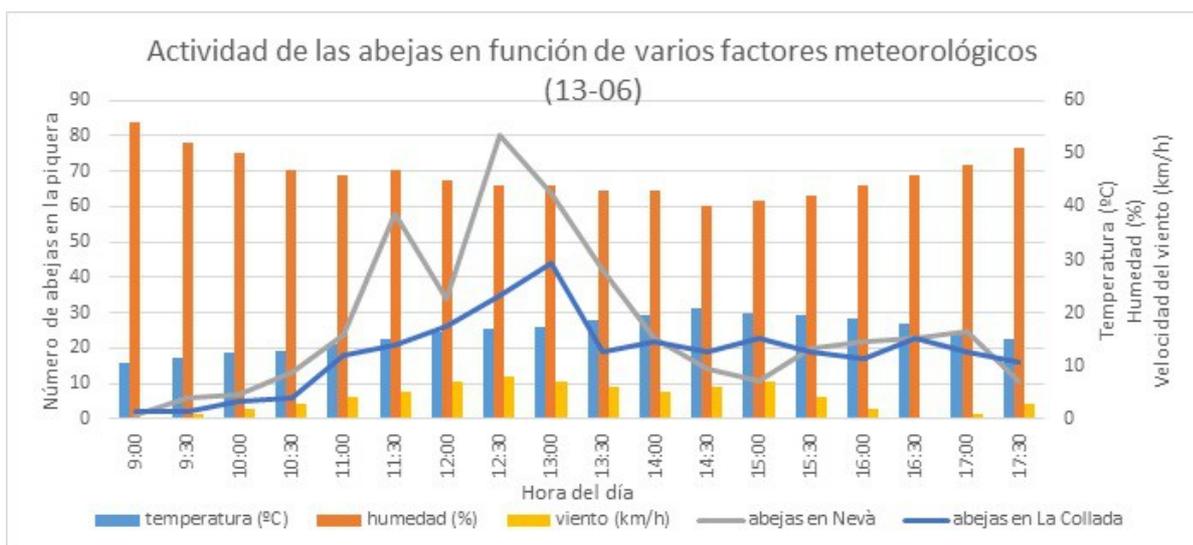
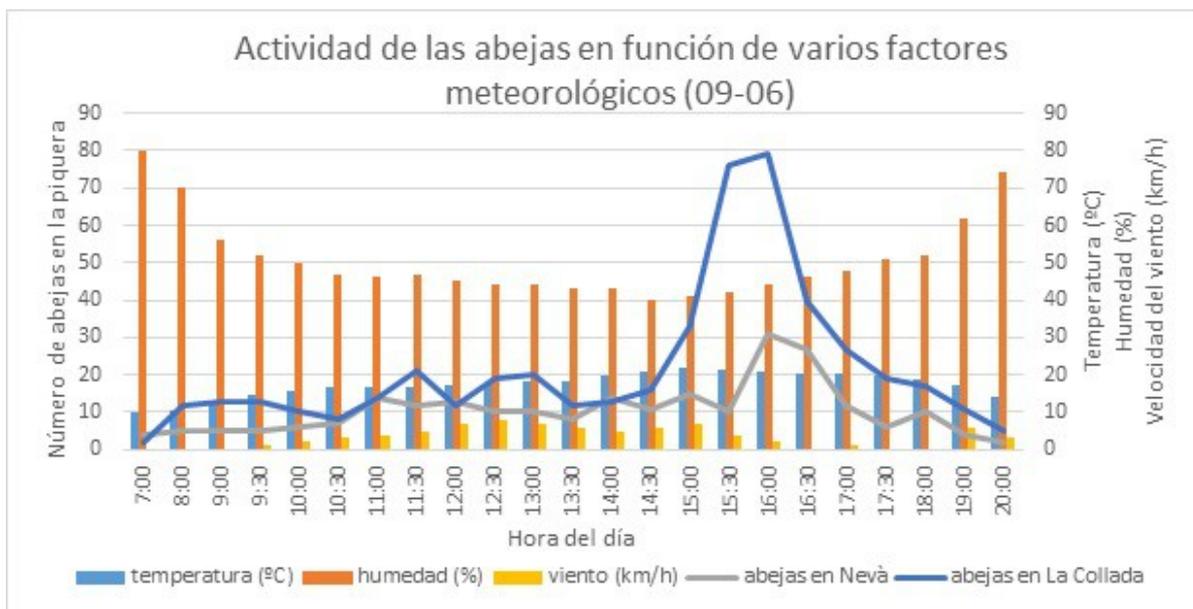
Collada	06-Jul	11:30	13	29	28.1	0	5
Collada	06-Jul	12:00	16	29	29	0	6
Collada	06-Jul	12:30	12	29	29.5	0	8
Collada	06-Jul	13:00	8	30	29.9	0	6
Collada	06-Jul	13:30	9	30	30.3	0	6
Collada	06-Jul	14:00	10	29	30.6	0	4
Collada	06-Jul	14:30	10	28	30.9	0	4
Collada	06-Jul	15:00	11	25	31.2	0	5
Collada	06-Jul	15:30	12	24	31.4	0	5
Collada	06-Jul	16:00	14	22	31.6	0	7
Collada	06-Jul	16:30	15	21	31.6	0	6
Collada	06-Jul	17:00	16	21	31.7	0	11
Collada	06-Jul	17:30	17	22	31.3	0	11
Collada	06-Jul	18:00	19	23	31.1	0	17
Collada	09-Jul	9:00	0	0	13.4	12.2	0
Collada	09-Jul	10:00	0	0	13.2	11.6	0
Collada	09-Jul	11:00	0	0	13.5	4.4	0
Collada	09-Jul	11:30	0	0	13.9	2.3	0
Collada	09-Jul	12:00	0	0	15.4	0	0
Collada	09-Jul	12:26	0	0	16.2	0.1	1
Collada	09-Jul	13:24	0	0	17.3	0.2	2
Collada	09-Jul	14:00	0	0	19.4	0	0
Collada	09-Jul	15:00	0	0	16.5	0.2	0
Collada	09-Jul	16:00	0	0	15.5	0.2	0
Collada	09-Jul	17:00	0	0	15.1	1.2	0
Collada	09-Jul	18:51	0	0	18.7	0	2
Collada	09-Jul	19:00	0	0	19	0	0
Collada	09-Jul	20:00	0	0	16.8	0	0

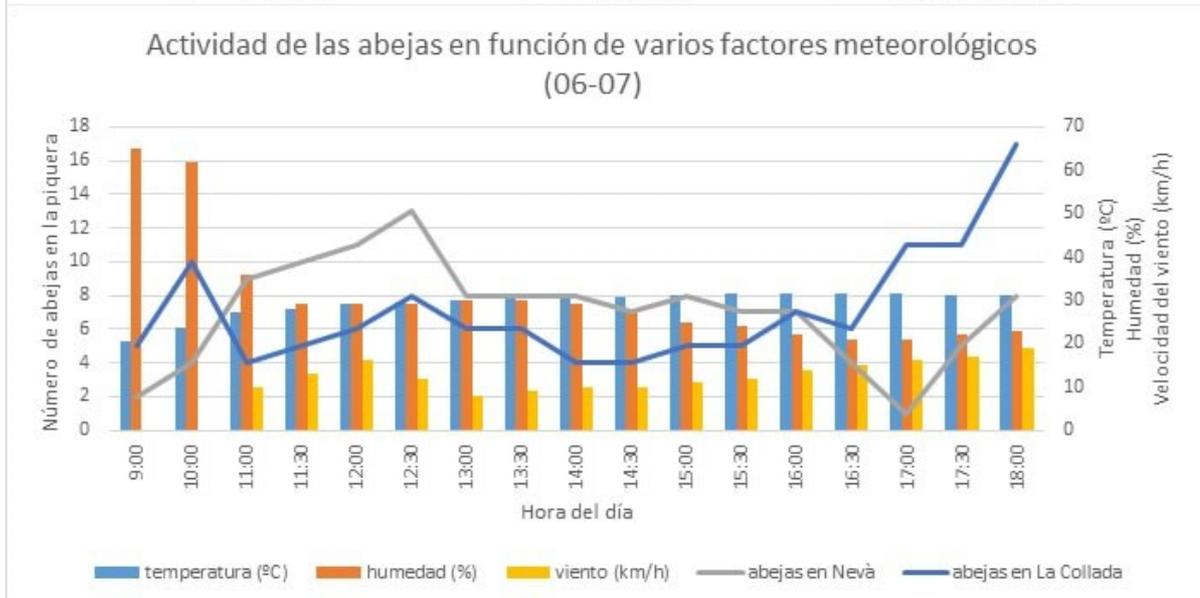
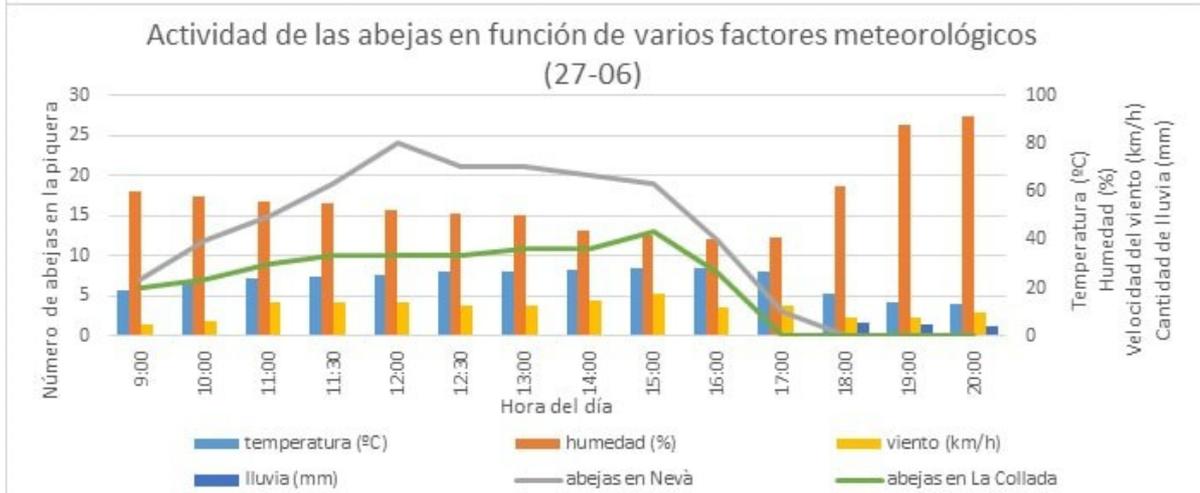
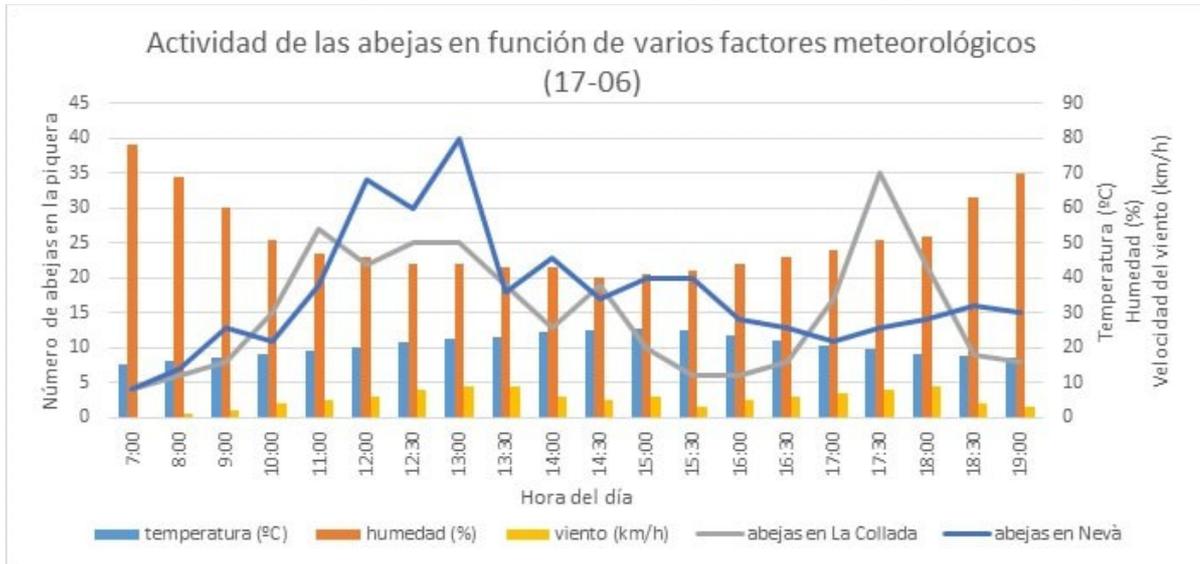
Collada	16-Jul	10:00	3	49	18.2	0	5
Collada	16-Jul	11:00	8	48	21	0	6
Collada	16-Jul	12:00	11	52	22.7	0	6
Collada	16-Jul	13:00	10	50	23.8	0	7
Collada	16-Jul	14:00	10	48	24.4	0	7
Collada	16-Jul	15:00	5	44	24.2	0	8
Collada	16-Jul	16:00	9	44	24.8	0	6
Collada	16-Jul	17:00	9	41	25.4	0	5
Collada	25-Jul	9:00	0	68	20.6	0	1
Collada	25-Jul	10:00	4	58	23.2	0	3
Collada	25-Jul	10:30	4	55	24.4	0	6
Collada	25-Jul	11:00	6	50	25.6	0	14
Collada	25-Jul	11:30	10	48	27	0	13
Collada	25-Jul	12:00	13	43	27.5	0	11
Collada	25-Jul	12:30	13	42	28	0	9
Collada	25-Jul	13:00	10	39	28.6	0	8
Collada	25-Jul	13:30	10	35	29.2	0	7
Collada	25-Jul	14:00	10	34	29.6	0	13
Collada	25-Jul	15:00	8	34	30.3	0	13
Collada	25-Jul	16:00	10	33	31	0	8
Collada	25-Jul	17:00	6	31	30.5	0	21
Collada	25-Jul	18:00	10	34	30.2	0	14
Collada	01-Aug	9:00	3	76	17.9	0	10
Collada	01-Aug	10:00	3	66	21.4	0	17
Collada	01-Aug	10:30	12	59	22.2	0	14
Collada	01-Aug	11:00	14	59	23.7	0	12
Collada	01-Aug	11:30	14	59	24.1	0	10
Collada	01-Aug	12:00	14	59	24.5	0	9

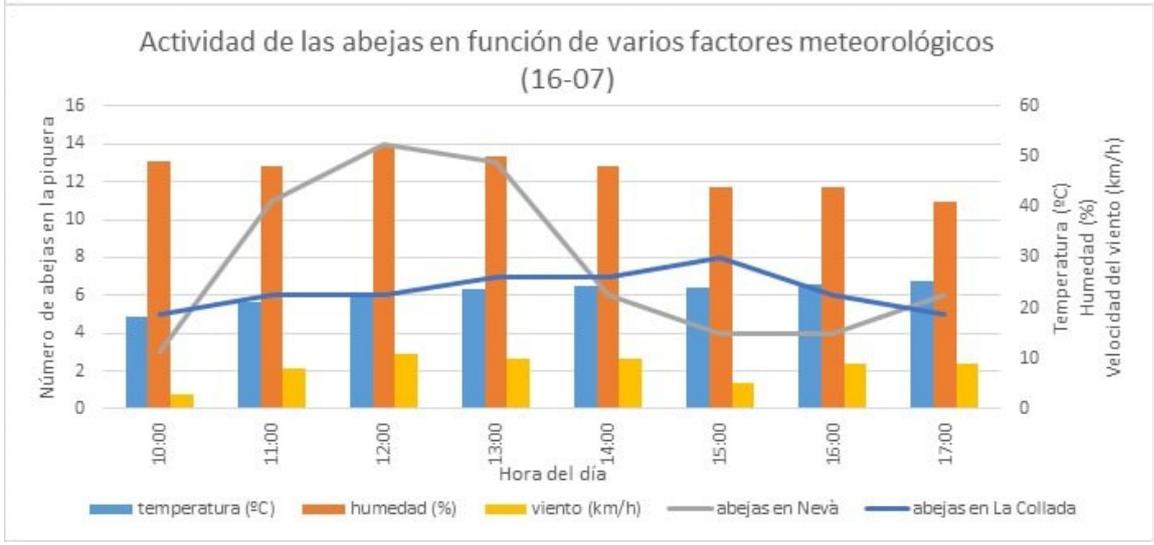
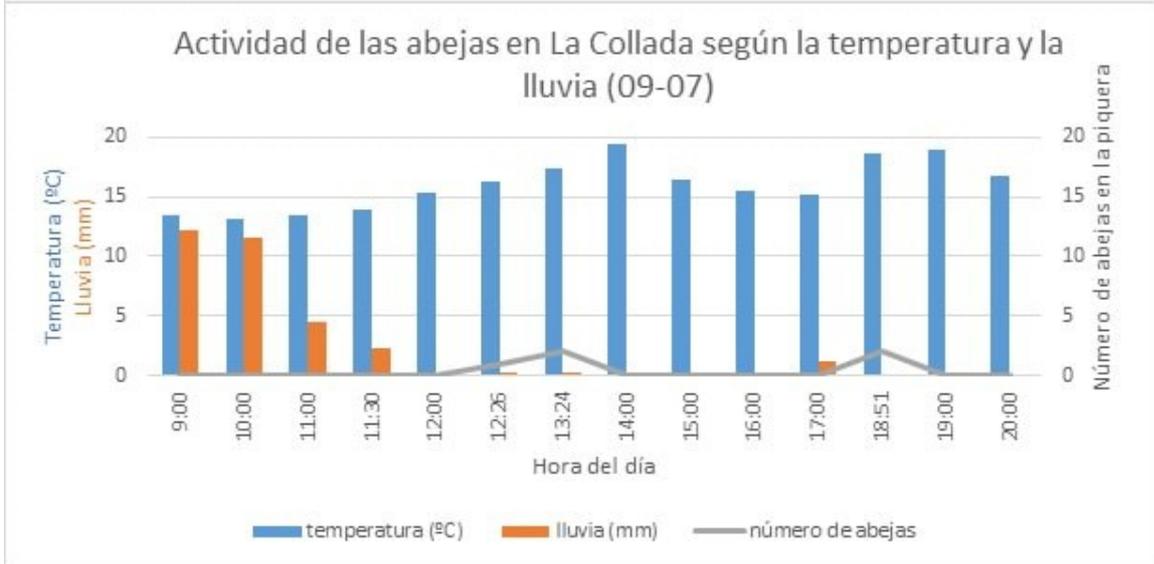
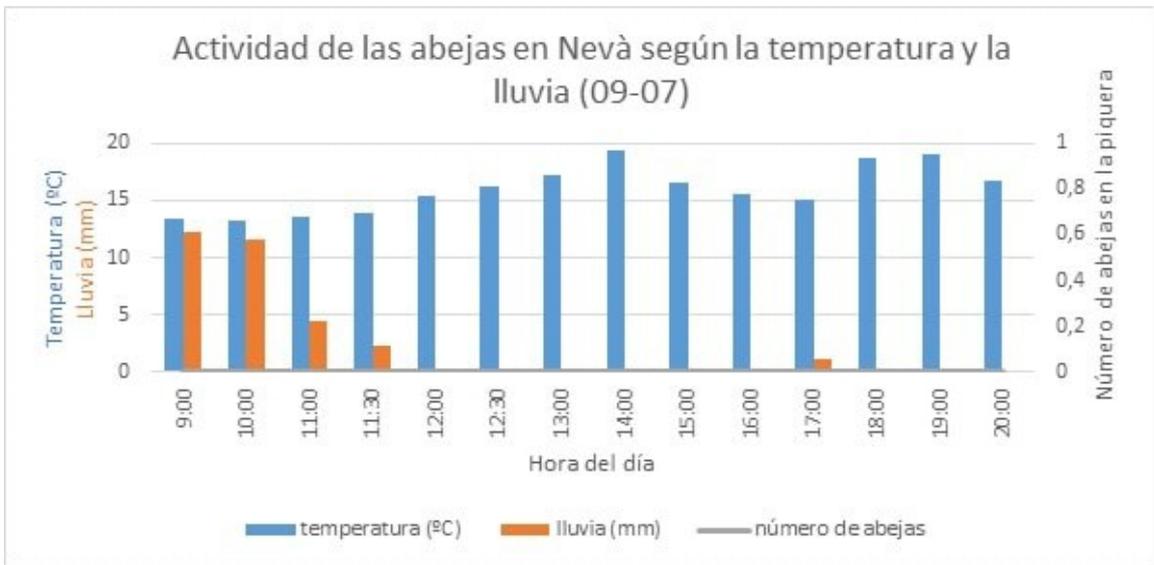
Collada	01-Aug	12:30	12	59	24.4	0	9
Collada	01-Aug	13:00	8	59	24.4	0	6
Collada	01-Aug	13:30	9	51	25	0	14
Collada	01-Aug	14:00	14	50	26.1	0	11
Collada	01-Aug	14:30	14	48	25.9	0	8
Collada	01-Aug	15:00	14	47	25.5	0	6
Collada	01-Aug	15:30	14	47	25.5	0	6
Collada	01-Aug	16:00	14	48	25.6	0	8
Collada	01-Aug	16:30	14	45	25.8	0	11
Collada	01-Aug	17:00	14	44	26.4	0	13
Collada	01-Aug	18:00	10	44	25.5	0	28
Collada	01-Aug	19:00	6	46	25.1	0	22
Collada	04-Aug	8:00	3	77	15.6	0	4
Collada	04-Aug	9:00	0	70	18.6	0	5
Collada	04-Aug	10:00	0	61	22.1	0	6
Collada	04-Aug	11:00	6	54	24.7	0	11
Collada	04-Aug	11:30	8	50	25.8	0	10
Collada	04-Aug	12:00	10	47	27.2	0	8
Collada	04-Aug	12:30	13	45	27.8	0	11
Collada	04-Aug	13:00	15	43	28	0	9
Collada	04-Aug	13:30	15	42	28.7	0	7
Collada	04-Aug	14:00	14	41	29.1	0	9
Collada	04-Aug	14:30	14	41	29.1	0	8
Collada	04-Aug	15:00	13	40	29.2	0	6
Collada	04-Aug	15:30	10	41	28.6	0	4
Collada	04-Aug	16:00	9	43	27.8	0	5
Collada	04-Aug	17:00	11	47	28.2	0	7
Collada	04-Aug	17:30	8	50	27.2	0	8

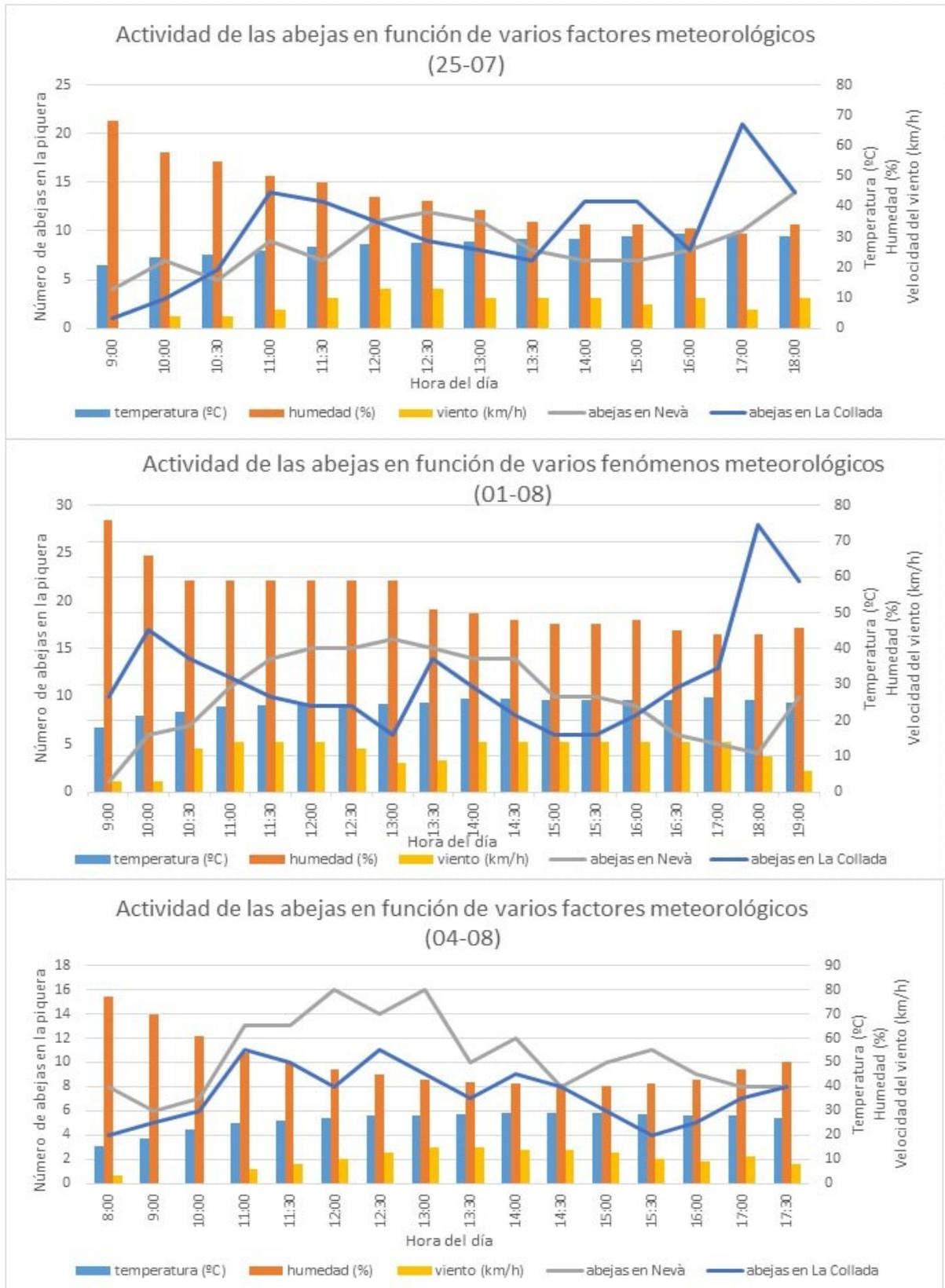
8.2. Apéndice II - Representación de los datos brutos

A partir de los datos de la tabla del Apéndice I - Tabla de datos, esquematicé los resultados en los gráficos que aparecen a continuación. Estos 11 gráficos me sirvieron para poder entender mis datos y para poder decidir cómo tratarlos con el programa informático.









```

import numpy as np
import statsmodels.formula.api as sm
from pylab import savefig

"""### LECTURA DEL ARCHIVO DE DATOS Y CREACIÓN DE LAS COLUMNAS"""

#Lectura del archivo de datos
dadesAbelles = pd.read_csv('abejas.csv')

#Creación de una función para redondear los datos
def myround(x, base=2):
    """base = 2 significa redondear cada 2 unidades"""
    return np.uint8(base * round(x/base))

#Redondear los datos
dadesAbelles['Temperatura (°C)'] = myround(dadesAbelles['temperatura'], 2)
dadesAbelles['Humedad (%)'] = myround(dadesAbelles['humedad'], 5)
dadesAbelles['Viento (km-h)'] = myround(dadesAbelles['viento'], 2)

#Creación de la columna para separar los datos de los días lluviosos de
los no lluviosos
dadesAbelles['Lluvia'] = 'No lluvia'
dadesAbelles.loc[dadesAbelles['lluvia'] > 0, 'Lluvia'] = 'Lluvia'

#Creación de una tabla solamente para los valores de los días que NO
llueve
dadesSol = dadesAbelles[dadesAbelles['lluvia']==0.0]

#Separación de los datos según el mes
s = dadesAbelles['dia']
mes = s.str.split("-", expand=True)
dadesAbelles['Mes'] = mes[1]

"""### CREACIÓN DE LOS GRÁFICOS"""

#Creación de las tablas para los distintos parámetros estudiados
dadesJuny = dadesAbelles[dadesAbelles['Mes']=='Jun']

```

```
dadesJuliol = dadesAbelles[dadesAbelles['Mes']== 'Jul' ]
dadesAgost = dadesAbelles[dadesAbelles['Mes']== 'Aug' ]

dadesNeva = dadesAbelles[dadesAbelles['colmena']== 'Neva' ]
dadesCollada = dadesAbelles[dadesAbelles['colmena']== 'Collada' ]

#Definición de las distintas variables independientes para los gráficos de
dispersión
parametres = ['temperatura', 'humedad' ]

#Gráficos con líneas de tendencia de regresiones cuadráticas para la
temperatura y la humedad
#LA COLLADA
for i in range(len(parametres)):
    parametre_estudiat = parametres[i]
    fig = plt.figure(figsize=(8,7))
    sns.regplot(x=parametres[i], y='abejas', data=dadesCollada, order=2)
    plt.ylabel('Actividad de las abejas (nº de abejas pecoreadoras)')
    if parametre_estudiat == 'temperatura' or parametre_estudiat ==
'humedad':
        plt.title('Actividad de las abejas en la solana de La Collada en
función de la '+parametre_estudiat)
    else:
        plt.title('Actividad de las abejas en la solana de La Collada en
función del '+parametre_estudiat)
    if parametre_estudiat == 'temperatura':
        plt.xlabel('Temperatura (°C)')
    else:
        plt.xlabel('Humedad relativa (%)')
    fig.savefig(parametre_estudiat+'_Collada_regplot. jpg')

#NEVÀ
for i in range(len(parametres)):
    parametre_estudiat = parametres[i]
    fig = plt.figure(figsize=(8,7))
    sns.regplot(x=parametres[i], y='abejas', data=dadesNeva, order=2)
    plt.ylabel('Actividad de las abejas (nº de abejas pecoreadoras)')
    if parametre_estudiat == 'temperatura' or parametre_estudiat ==
```

```

'humedad' :
    plt.title('Actividad de las abejas en la umbría de Nevà en función
de la '+parametre_estudiat)
    else:
        plt.title('Actividad de las abejas en la umbría de Nevà en función
del '+parametre_estudiat)
        if parametre_estudiat == 'temperatura':
            plt.xlabel('Temperatura (°C)')
        else:
            plt.xlabel('Humedad relativa (%)')
        fig.savefig(parametre_estudiat+'_Neva_regplot.jpg')

```

```

#Gráficos con líneas de tendencia de regresiones lineales para el viento
#LA COLLADA
fig = plt.figure(figsize=(8,7))
sns.regplot(x='viento', y='abejas', data=dadesCollada)
plt.ylabel('Actividad de las abejas (nº de abejas pecoreadoras)')
plt.xlabel('Velocidad del viento (km-h)')
plt.title('Actividad de las abejas en la solana de La Collada en función
del viento')
fig.savefig('Viento_linear'+'_Collada_regplot.jpg')

```

```

#NEVÀ
fig = plt.figure(figsize=(8,7))
sns.regplot(x='viento', y='abejas', data=dadesNeva)
plt.ylabel('Actividad de las abejas (nº de abejas pecoreadoras)')
plt.xlabel('Velocidad del viento (km-h)')
plt.title('Actividad de las abejas en la umbría de Nevà en función del
viento')
fig.savefig('Viento_linear'+'_Nevà_regplot.jpg')

```

```

#Gráfico de la lluvia
fig = plt.figure(figsize=(4.5,6))
sns.scatterplot(x='Lluvia', y='abejas', hue='colmena', data=dadesAbelles)
plt.ylabel('Actividad de las abejas (nº de abejas pecoreadoras)')
plt.xlabel('Días de lluvia')
plt.title('Actividad de las abejas días lluviosos y no lluviosos')

```

```

fig.savefig('lluvia'+'_colmena'+'_scatterplot.png')

#Definición de las distintas variables independientes para los gráficos de
caja y bigotes
parametres1 = ['Temperatura (°C)', 'Humedad (%)',
              'Viento (km-h)', 'Mes']

#Gráficos de las distintas variables independientes
for i in range(len(parametres1)):
    parametre_estudiat1 = parametres1[i]
    fig = plt.figure(figsize=(6,5))
    sns.boxplot(x=parametres1[i], y='abejas', hue='colmena', data=dadesSol)
    plt.ylabel('Actividad de las abejas (nº de abejas pecoreadoras)')
    if parametre_estudiat1 == 'Temperatura (°C)' or parametre_estudiat1 ==
'Humedad (%)':
        plt.title('Actividad de las abejas en función de la
'+parametre_estudiat1)
    else:
        plt.title('Actividad de las abejas en función del
'+parametre_estudiat1)
    fig.savefig(parametre_estudiat1+'_boxplot.png')

"""## CÁLCULO DE LOS ESTADÍSTICOS"""

#Cálculo de los estadísticos para la temperatura en Nevà
abejas = dadesNeva['abejas']
x = dadesNeva['temperatura']
mitjana = sum(abejas * x) / sum(abejas)
desviacioEstandard = np.sqrt(sum(abejas * (x - mitjana)**2) / sum(abejas))
errorEstandard = (desviacioEstandard) / (np.sqrt(len(dadesNeva)))
print('Promedio temperatura Nevà (°C)', mitjana)
print('Desviación estándar temperatura Nevà (°C)', desviacioEstandard)
print('Error estándar temperatura Nevà (°C)', errorEstandard)

#Cálculo de los estadísticos para la temperatura en La Collada
abejas = dadesCollada['abejas']
x = dadesCollada['temperatura']

```

```

mitjana = sum(abejas * x) / sum(abejas)
desviacioEstandard = np.sqrt(sum(abejas * (x - mitjana)**2) / sum(abejas))
errorEstandard = (desviacioEstandard) / (np.sqrt(len(dadesCollada)))
print('Promedio temperatura La Collada (°C)', mitjana)
print('Desviación estándar temperatura La Collada (°C)',
desviacioEstandard)
print('Error estándar temperatura La Collada (°C)', errorEstandard)

#Cálculo de los estadísticos para la humedad en Nevà
abejas = dadesNeva['abejas']
x = dadesNeva['humedad']
mitjana = sum(abejas * x) / sum(abejas)
desviacioEstandard = np.sqrt(sum(abejas * (x - mitjana)**2) / sum(abejas))
errorEstandard = (desviacioEstandard) / (np.sqrt(len(dadesNeva)))
print('Promedio humedad Nevà (%)', mitjana)
print('Desviación estándar humedad Nevà (%)', desviacioEstandard)
print('Error estándar humedad Nevà (%)', errorEstandard)

#Cálculo de los estadísticos para la humedad en La Collada
abejas = dadesCollada['abejas']
x = dadesCollada['humedad']
mitjana = sum(abejas * x) / sum(abejas)
desviacioEstandard = np.sqrt(sum(abejas * (x - mitjana)**2) / sum(abejas))
errorEstandard = (desviacioEstandard) / (np.sqrt(len(dadesCollada)))
print('Promedio humedad La Collada (%)', mitjana)
print('Desviación estándar humedad La Collada (%)', desviacioEstandard)
print('Error estándar humedad La Collada (%)', errorEstandard)

#Cálculo de los estadísticos para el viento en Nevà
abejas = dadesNeva['abejas']
x = dadesNeva['viento']
mitjana = sum(abejas * x) / sum(abejas)
desviacioEstandard = np.sqrt(sum(abejas * (x - mitjana)**2) / sum(abejas))
errorEstandard = (desviacioEstandard) / (np.sqrt(len(dadesNeva)))
print('Promedio viento Nevà (km-h)', mitjana)
print('Desviación estándar viento Nevà (km-h)', desviacioEstandard)
print('Error estándar viento Nevà (km-h)', errorEstandard)

#Cálculo de los estadísticos para el viento en La Collada

```

```
abejas = dadesCollada['abejas']
x = dadesCollada['viento']
mitjana = sum(abejas * x) / sum(abejas)
desviacioEstandard = np.sqrt(sum(abejas * (x - mitjana)**2) / sum(abejas))
errorEstandard = (desviacioEstandard) / (np.sqrt(len(dadesCollada)))
print('Promedio viento La Collada (km-h)', mitjana)
print('Desviación estándar viento La Collada (km-h)', desviacioEstandard)
print('Error estándar viento La Collada (km-h)', errorEstandard)
```

8.4. Apéndice IV - Valores promedio de la hora de actividad máxima

Para calcular el valor promedio de la hora de máxima actividad de las dos colmenas, no pude utilizar el programa de *python* porque me resultaba imposible, partiendo de mis conocimientos limitados, controlar el paso de unidades sexagesimales a decimales. Para realizar los cálculos, utilicé una hoja de cálculo con los datos de las horas solares y obtuve los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Día	Valor promedio de la hora de más actividad de las abejas en la zona solana (La Collada)	Valor promedio de la hora de más actividad de las abejas en la zona umbría (Nevà)
9-6	12:40	12:11
13-6	12:13	11:27
17-6	12:16	12:08
2-7	12:48	10:50
6-7	12:38	11:52
16-7	13:41	11:13
25-7	12:03	11:39
1-8	12:22	11:51
4-8	11:16	11:14
TOTAL	12:00	11:36