

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DEL USO SENSORES DE TEMPERATURA EN  
COLMENAS DE *Apis mellifera L.***

**por**

**Mathías RODRÍGUEZ ECHEVERRY  
Laura Raquel SÁNCHEZ GIMÉNEZ**

**TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2020**

Tesis aprobada por:

Director: -----  
Ing. Agr. (MSc.) Pablo Cracco

-----  
Ing. Agr. Arnaldo Moreni

-----  
Ing. (PhD.) Leonardo Steinfeld

Fecha: 24 de julio de 2020

Autores: -----  
Mathías Rodríguez Echeverry

-----  
Laura Raquel Sánchez Giménez

## AGRADECIMIENTOS

- A mi familia y amigos por todo el apoyo a lo largo de esta trayectoria.
- A mi familia, mis padres Raquel y Roberto por ser mis pilares a lo largo de toda esta etapa, quienes me apoyan incondicionalmente y a mis grandes compañeros, mis hermanos Patricia y Federico. Personalmente, a mis amigos, Lore, Pily y Naty, amigos de la FAgro, la UnB la UDESC y de la vida, sin ellos este camino no hubiera sido tan emotivo y placentero.
- A PhD. Adrian Custer, por su apoyo clave, ayuda y generosidad en cada instancia de la tesis. Enseñarnos a leer ciencia. Eternamente agradecidos por compartir tu tiempo.
- A nuestro director de tesis Ing. Agr. Pablo Cracco, por mostrarnos el mundo de las abejas y su apoyo en este trabajo.
- A la Lic. Sully Toledo, por su gran ayuda.
- A la UdelaR y la Facultad de Agronomía por formarnos académicamente y como seres humanos. A cada docente que aportó a nuestra formación como profesionales.
- Al Centro Regional Sur por brindarnos el espacio para realizar el trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	2
2.1. LA APICULTURA EN URUGUAY .....	2
2.1.1. <u>Historia de la apicultura</u> .....	2
2.1.2. <u>Caracterización del sector</u> .....	3
2.1.3. <u>Producción de miel</u> .....	4
2.1.4. <u>Contexto actual</u> .....	6
2.2. INTEGRANTES DE UNA COLONIA Y CICLO DE VIDA.....	7
2.2.1. <u>Abeja reina</u> .....	8
2.2.2. <u>Abeja obrera</u> .....	9
2.2.3. <u>Abeja zángano</u> .....	10
2.3. CICLO NATURAL DE UNA COLMENA .....	11
2.4. POSIBLES SITUACIONES PROBLEMA DENTRO DE UNA COLMENA .....	12
2.5. RESERVAS DE UNA COLMENA.....	12
2.6. TERMORREGULACIÓN DE COLMENAS .....	13
2.7. APICULTURA DE PRECISIÓN.....	15
2.7.1. <u>Recolección de datos</u> .....	16
2.7.2. <u>Análisis de datos</u> .....	18
2.8. ANTECEDENTES SOBRE MONITOREO DE TEMPERATURA EN COLMENAS.....	20
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	23
3.1. MATERIALES.....	23
3.1.1. <u>Campo experimental</u> .....	23
3.1.2. <u>Colmenas</u> .....	24
3.1.3. <u>Abejas</u> .....	25
3.2. MATERIALES DE RECOLECCIÓN AUTOMÁTICA .....	26
3.2.1. <u>Sensores electrónicos</u> .....	26
3.2.2. <u>Excluidor</u> .....	26
3.2.3. <u>Computadoras registradoras</u> .....	27
3.3. MATERIALES DE INSPECCIÓN .....	28
3.3.1. <u>Planilla</u> .....	28
3.3.2. <u>Cámara</u> .....	29
3.3.3. <u>Trípode</u> .....	29

3.4. MÉTODOS .....	29
3.4.1. <u>Manejo de colmenas</u> .....	30
3.4.2. <u>Metodología en trabajo de campo</u> .....	30
3.4.3. <u>Procedimiento en las planillas</u> .....	30
3.4.4. <u>Procesamiento de planillas</u> .....	30
3.4.5. <u>Inspección de colmenas</u> .....	30
3.4.6. <u>Procesamiento de la inspección</u> .....	31
3.4.7. <u>Procesamiento de datos de registro automático</u> .....	33
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	35
4.1. <u>EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA</u> .....	35
4.1.1. <u>Evaluación del uso de planillas para características de colmena</u> .....	35
4.1.2. <u>Evaluación del registro fotográfico del uso de la cámara de cría</u> .....	37
4.1.2.1. Evaluación de la metodología de obtención de fotos.....	37
4.1.2.2. Evaluación de la metodología de procesamiento de las fotografías .....	38
4.1.3. <u>Evaluación de la metodología para registro de temperatura con sensores electrónicos</u> .....	41
4.2. <u>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</u> .....	41
4.2.1. <u>Análisis de los usos en la cámara de cría</u> .....	42
4.2.2. <u>Resultados de los datos de temperatura exterior</u> .....	46
4.2.3. <u>Resultados de los datos de temperatura interior de la colmena</u> .....	49
4.2.4. <u>Análisis de temperatura interior y exterior con datos de ejemplo</u> .....	50
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	53
6. <u>RESUMEN</u> .....	54
7. <u>SUMMARY</u> .....	55
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	56
9. <u>ANEXOS</u> .....	60

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Evolución de la apicultura en el Uruguay.....	2
2. Número de propietarios y de colmenas.....	3
3. Producción de miel estimada por colmena.....	5
4. Consumo nacional aparente.....	6
5. Formato de los resultados.....	33
6. Áreas de uso práctica y tipo de uso en porcentaje para la primera visita.....	44
Figura No.	
1. Cadena de valor apícola.....	4
2. Exportaciones de miel.....	5
3. Ciclo de vida de abejas melíferas.....	8
4. Anatomía externa de las abejas.....	11
5. Perfil de temperatura en dos colmenas.....	15
6. Temperatura corporal de abejas.....	15
7. Ubicación del ensayo.....	24
8. Componentes de una colmena Langstroth.....	25
9. Ubicación de los sensores en rejilla excluidora.....	26

10. Armado de circuitos de temperatura.....	27
11. Trípode construido a medida.....	29
12. Características de interés para cálculo de áreas.....	32
13. Funciones del programa ImageJ®.....	32
14. Áreas (cría, miel/néctar y polen) para tres investigadores por fecha y colmena.....	39
15. Áreas (cría, miel/néctar y polen) por fecha para las ocho colmenas.....	43
16. Cuadro con cría en fecha uno y cuadro sin cría en fecha dos para la colmena uno.....	45
17. Cuadro con cría en fecha tres y cuadro sin cría y con celda real en fecha cuatro para la colmena cinco.....	46
18. Correlación entre los registros de las computadoras registradoras.....	47
19. Registro de temperatura externa.....	48
20. Diferencias de temperatura debido a la posición del sensor.....	49
21. Temperatura exterior e interior de los nueve sensores para las ocho colmenas entre el 25/11 y el 28/11.....	50

## 1. INTRODUCCIÓN

Las abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) tienen importancia ecológica y económica. Estos insectos son polinizadores, responsables de la conservación de especies amenazadas, de la diversidad biológica y la producción agrícola. Son manejadas artificialmente por el ser humano en colmenas, para extraer miel, cera, polen, apitoxina, propóleo y brindar servicio de polinización.

En Uruguay, la apicultura se ha convertido en un sector principalmente agroexportador. Históricamente ha sido el segundo rubro exportador de la granja después de los cítricos. En los últimos diez años el promedio anual de miel comercializada ha sido de 11 millones de kilogramos. Según el Registro Nacional de Propietarios de Colmenas en 2018, existían aproximadamente 560.000 colmenas distribuidas en todo el país, manejadas por unos 2.600 apicultores (en su gran mayoría familiares) dedicados a la producción de miel.

Actualmente, el sector apícola atraviesa una compleja problemática en temas de comercialización, mercados, manejo de enfermedades y productividad.

Existen diversas investigaciones que han logrado determinar parámetros que aportan información útil sobre la producción apícola, que pueden ser monitoreados y registrados en un sistema automatizado que indica la ocurrencia de cambios, tanto dentro como fuera de la colmena. La incorporación de tecnología es un componente necesario, pero no suficiente para hacer más sostenible esta actividad productiva.

El objetivo general de este trabajo es evaluar el uso de sensores de temperatura para monitoreo de colmenas *Apis mellifera* L.. Los objetivos específicos son evaluar la metodología de trabajo para el registro de temperatura e inspección de colmenas, analizar la evolución de los componentes internos de las colonias como indicadores de fenómenos, evaluar la cantidad y ubicación de los sensores de temperatura sobre la rejilla excluidora y analizar de forma exploratoria la relación entre temperatura exterior, temperatura interior y área de cría.



## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. LA APICULTURA EN URUGUAY

#### 2.1.1. Historia de la apicultura

Uruguay fue el primer país al que llegaron las abejas melíferas en América del Sur. La primera colmena la introdujo desde Francia el expresidente argentino Bernardino Rivadavia en abril de 1834, instalándola en Colonia del Sacramento.

Colonia fue el primer departamento apícola y posteriormente esta actividad se extendió a todo el territorio nacional. Los colonos suizos, alemanes y rusos radicados en Nueva Helvecia, Nuevo Berlín y San Javier respectivamente, fueron los primeros productores apícolas. En la ciudad de Salto, Antonio Malaquina en 1902, interesado en continuar adquiriendo conocimientos sobre apicultura e innovar en la producción importa las primeras abejas reinas italianas.

Posteriormente en la década de 1920 el país comienza a importar miel mientras que, en el año 1929, se realiza por primera vez una exportación por una cantidad de 1.016 kilos a Inglaterra (Cordara, 2007).

Cuadro No. 1. Evolución de la apicultura en el Uruguay

<b>Años del censo</b>	<b>Número de colmenas</b>	<b>Producción kg de miel</b>	<b>Rendimiento por colmena</b>
<b>1924</b>	36.368	169.663	4,67
<b>1930</b>	53.409	332.480	6,23
<b>1937</b>	50.226	390.873	7,78
<b>1946</b>	53.634	433.000	8,07
<b>1951</b>	70.594	708.123	10
<b>1956</b>	54.548	481.105	8,8
<b>1966</b>	46.759	620.614	13,2
<b>1970</b>	44.000	672.000	15,27
<b>1977</b>	100.000	2.500.000	25
<b>1993</b>	250.000	7.500.000	30

Fuente: tomado de Cordara (2007).

Llegada la década de 1970, se produce una creciente demanda desde el exterior por miel. La actividad apícola se convierte en un sector netamente exportador, para los años 90 la miel era el segundo producto de exportación de origen granjero, detrás de los cítricos.

### 2.1.2. Caracterización del sector

La actividad apícola del país está fuertemente especializada en la exportación que representa aproximadamente 80% de la producción total, cuenta con más de 2.500 apicultores y genera unos 12.000 puestos de trabajo de forma indirecta.

Como lo indica el Cuadro No. 2, según el Registro Nacional de Propietarios de Colmenas en 2018 habían registrados 2.644 apicultores, con un promedio de 210 colmenas por apicultor. Esta cifra representó una caída del 5% en el número de colmenas, considerando el registro de 2017 (MGAP. OPYPA, 2019).

Cuadro No. 2. Número de propietarios y de colmenas

<b>Año</b>	<b>Propietarios</b>	<b>Colmenas</b>	<b>Colmenas/propietario</b>
<b>2010</b>	3244	503.179	155
<b>2011</b>	3292	555.450	169
<b>2012</b>	3165	568.312	180
<b>2013</b>	3021	535.613	177
<b>2014</b>	3224	582.989	181
<b>2015</b>	3165	589.228	186
<b>2016</b>	3071	587.512	191
<b>2017</b>	2880	585.734	203
<b>2018</b>	2644	556.107	210

Fuente: tomado de MGAP. OPYPA (2019).

Geográficamente la actividad apícola se presenta en los 19 departamentos, las condiciones para su desarrollo son aptas en la mayor parte del territorio. Existen diferencias entre las distintas zonas del país en cuanto al rendimiento de miel por colmena, siendo el litoral la zona con mejores resultados, esto debido principalmente a las condiciones del clima y a la flora. Destacándose Soriano, Paysandú y Colonia como los departamentos con mayor número de colmenas que representan el 37% del total de colmenas del país (MGAP. OPYPA, 2019).

La Figura No. 1 muestra la cadena de valor apícola que se compone por cuatro eslabones fundamentales: producción, extracción, acopio y comercialización. De acuerdo con los registros del Sistema Nacional de Trazabilidad de Productos Apícolas (SINATPA), en la actualidad Uruguay cuenta con 387 salas de extracción habilitadas y 12 establecimientos de acopio, manipulación, homogeneización, mezcla o fraccionamiento de miel y productos apícolas, habilitados (MGAP. OPYPA, 2019).

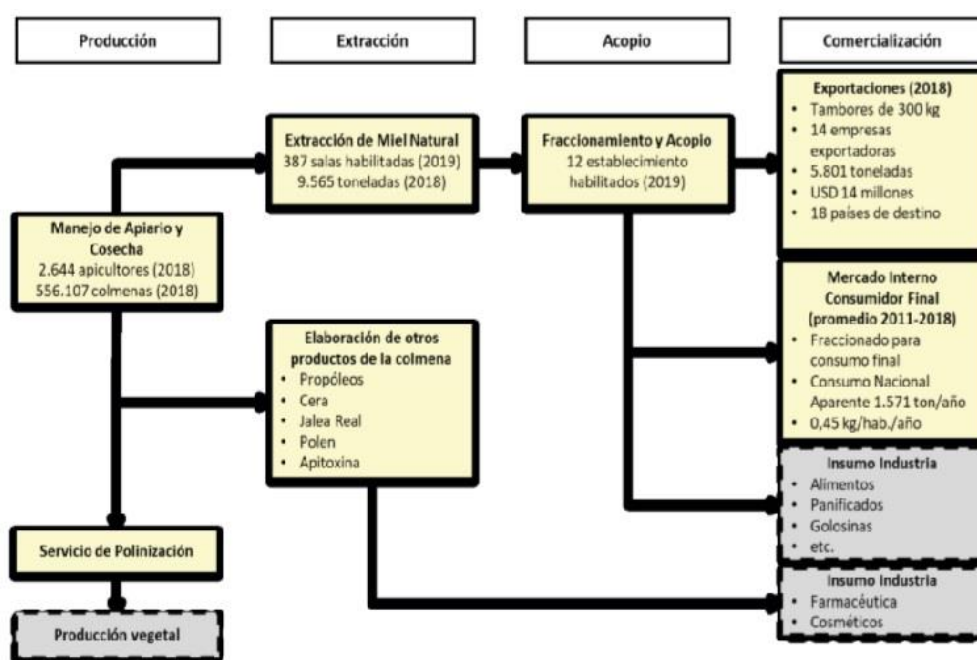


Figura No. 1. Cadena de valor apícola

Fuente: tomado de MGAP. OPYPA (2019).

### 2.1.3. Producción de miel

En 2018 la producción del país fue 17,5% inferior a la del año 2017 debido principalmente a una caída en el rendimiento de miel por colmena de 15%. En los tres últimos años se observan rendimientos relativamente menores, probablemente debido a condiciones climáticas adversas para la producción de miel, inviernos y veranos con temperaturas extremas, períodos de inundaciones y sequías. Por otra parte, el uso inadecuado de agroquímicos ha generado situaciones extremas de mortandades de colmenas y en algunos casos, el

debilitamiento de las colmenas que han permanecido vivas (Cuadro No. 3, MGAP. OPYPA, 2019).

Cuadro No. 3. Producción de miel estimada por colmena

Año	Producción (ton)	kg/colmena
2010	8.205	16
2011	15.031	27
2012	11.509	20
2013	12.952	24
2014	12.060	21
2015	13.193	22
2016	10.057	17
2017	11.599	20
2018	9.565	17

Fuente: tomado de MGAP. OPYPA (2019).

En cuanto a las exportaciones para el año 2018 se exportaron 5802 toneladas de miel por un valor de 14 millones de dólares, desde el año 2000 al 2018 el volumen exportado promedio por año fue de casi 10.000 toneladas, con picos de 14.000 toneladas en 2007 y 2011. Las exportaciones nacionales de miel presentaron un record en 2011, año en el que se superaron los 42 millones de dólares (Figura No. 2, MGAP. OPYPA, 2019).

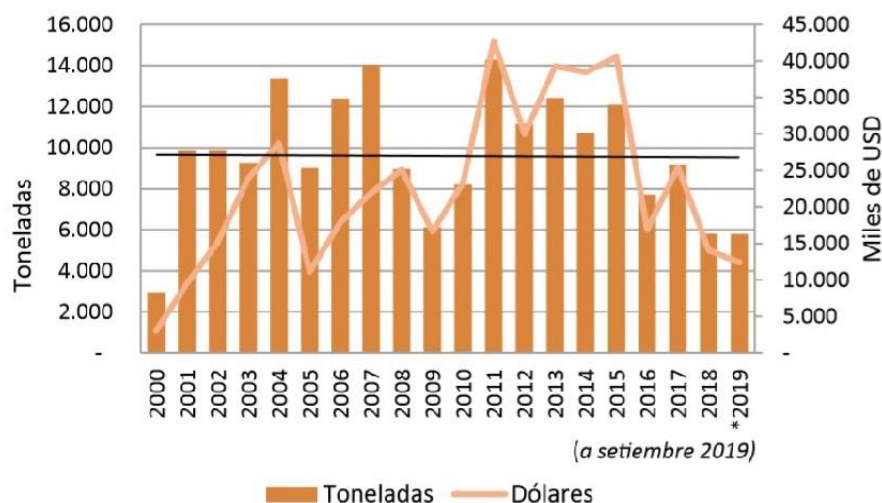


Figura No. 2. Exportaciones de miel

Fuente: tomado de MGAP. OPYPA (2019).

En lo que respecta al consumo interno de miel el mismo puede estimarse a través del cálculo del Consumo Nacional Aparente (CNA), el cual es una forma de medir la cantidad de miel que dispone un país para su consumo. A partir de 2011, el Consumo Nacional Aparente es de 1.572 toneladas al año en promedio, lo que equivale a una disponibilidad de 0,45 kg de miel por habitante al año (Cuadro No. 4, MGAP. OPYPA, 2019).

Cuadro No. 4. Consumo nacional aparente

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Producción (ton)</b>	<b>Exportaciones</b>	<b>CNA</b>	<b>Kg/hab./año</b>
<b>2011</b>	3.412.636	15.031	14.296	735	0,22
<b>2012</b>	3.426.466	11.509	11.175	334	0,1
<b>2013</b>	3.440.157	12.952	12.426	526	0,15
<b>2014</b>	3.453.691	12.060	10.703	1.357	0,39
<b>2015</b>	3.467.054	13.193	12.082	1.111	0,32
<b>2016</b>	3.480.222	10.057	7.716	2.341	0,67
<b>2017</b>	3.493.205	11.599	9.185	2.414	0,69
<b>2018</b>	3.505.985	9.565	5.802	3.763	1,07
<b>Promedio</b>	3.459.927	11.996	10.423	1.572	0,45

Fuente: tomado de MGAP. OPYPA (2019).

#### 2.1.4 Contexto actual

En los últimos años el sector apícola atraviesa un período de dificultades, tanto a nivel productivo, comercial como sanitario. La alta variabilidad climática que impacta en la productividad de las colmenas, mortandad de abejas por uso inadecuado de agroquímicos en otros rubros agropecuarios, presencia de agroquímicos en algunas partidas de mieles nacionales, existencia creciente de mieles adulteradas en el comercio internacional y caída de la demanda de mieles con su consecuente caída del precio internacional, constituyen el marco actual de la actividad apícola (MGAP. OPYPA, 2019).

En el caso de las dificultades sanitarios existentes, en Uruguay la mortandad de colonias ha tenido un incremento significativo con relación al de décadas atrás.

## 2.2. INTEGRANTES DE UNA COLONIA Y CICLO DE VIDA

La población de una colonia de abejas está compuesta por tres tipos de individuos: una única hembra fértil, la reina; los machos sexualmente maduros, zánganos y las obreras, que son hembras sexualmente inactivas (Kilani, 1999).

El desarrollo de la colonia de abejas está estrechamente relacionado con la reina y su fecundidad. El éxito de una colonia depende especialmente de una gran población de abejas obreras que llevan a cabo las tareas de cuidado de la cría y de la reina, almacenamiento de néctar y polen, se encargan de la limpieza de las celdas y su construcción, forrajean y tienen funciones de guardianas de la colmena, así como el equilibrio térmico en invierno y verano (Moritz y Southwick, 1992).

El ciclo de vida de una abeja melífera consta de etapa de huevo, larva, pre-pupa, pupa y adulto. Dentro de una situación de colmena normal, una sola abeja reina pone huevos fertilizados y no fertilizados. Los huevos fertilizados pueden incubar abejas obreras y reinas, de los huevos no fertilizados eclosionan zánganos.

La reina inicia la postura de huevos luego del tercer día de su fecundación, depositando un huevo en cada celda. El huevo es cilíndrico, de color blanco y cuando es colocado queda en posición vertical en el fondo de la celda. Tres días después de la postura, nace la larva, de color blanca, forma vermiforme y queda posicionada con el cuerpo recurvado. Durante esta fase, la larva pasa por cinco estadios de crecimiento, cambiando su cutícula después de cada uno. Al final de la fase larval, cinco a seis días luego de la eclosión, la celda es operculada y la larva cambia de posición, quedándose recta e inmóvil. En esta fase, no se alimenta más y comúnmente se llama de pre-pupa. En la fase de pupa ya pueden ser distinguidas la cabeza, el tórax y el abdomen, visualizándose los ojos, patas, alas, antenas y partes bucales. Los ojos y el cuerpo pasan por cambios de coloración hasta que emerge la abeja adulta. La duración de cada una de las fases es diferente para reinas, obreras y zánganos (Gallo et al., 2002, Figura No. 3).

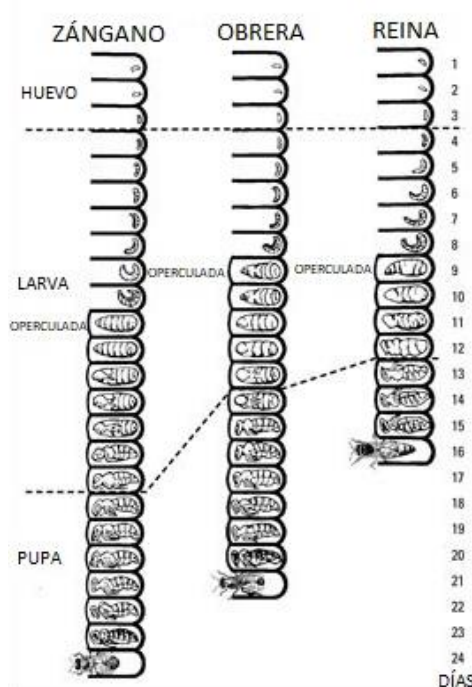


Figura No. 3. Ciclo de vida de abejas melíferas

Fuente: adaptado de Yadav et al. (2017).

### 2.2.1. Abeja reina

La abeja reina mide unos dos centímetros (cm) de largo siendo más grande que un zángano o una obrera y se puede distinguir por su abdomen cónico. Su lengua es corta, posee mandíbulas débiles, sus ojos son como los de las abejas obreras, tienen alas cortas y carecen de cestas de polen. Normalmente existe una sola reina por colonia, aunque a veces aparecen dos reinas cuando la vieja reina está siendo reemplazada. La función principal que tiene es poner huevos para así mantener la colonia poblada pudiendo poner hasta más de 2000 huevos al día. Además, puede controlar el sexo de su descendencia, determinando si el óvulo es fertilizado con espermatozoides o no. Un huevo fertilizado se convierte en una abeja hembra (obreroa o reina) mientras que un huevo no fertilizado se convierte en un zángano (Yadav et al., 2017).

La necesidad de mantener la temperatura de la cría hace que la reina distribuya su postura en los cuadros desde el centro hacia fuera. Una vez que nacen las abejas, la reina vuelve a poner huevos en las celdas que van quedando vacías. A su vez, las abejas obreras almacenan polen y miel alrededor de la zona destinada a la cría.

Otra función importante que presenta la abeja reina es la secreción de feromonas. Dicha sustancia puede presentar un efecto atractivo sobre las obreras al acercarse a la reina y a través del contacto con la misma la distribuyen por toda la colonia. También puede tener un efecto inhibitor en el desarrollo ovárico de la obrera, en el caso de que la reina muera algunas obreras podrán desarrollar la capacidad de poner huevos no fertilizados. Otro efecto conocido de la feromona es la inhibición de la construcción de celdas reales por parte de las obreras, así como resultar atractiva para los zánganos durante el vuelo nupcial (Kilani,1999).

El ciclo biológico de la abeja reina es el más corto de todos, de tan solo 16 días. La abeja reina también se desarrolla a partir de un huevo proveniente de una reina fértil. Dichos huevos se colocan en las celdas de la reina, que son generalmente construidas en el borde o alrededor de una abertura en el cuadro y suelen extenderse vertical o diagonalmente hacia abajo. Pueden ser colocados, ya sea por las abejas obreras, que los transfieren de celdas de obreras a celdas reales, o bien por la reina (Yadav et al., 2017).

El desarrollo de la reina es muy parecido al de una obrera, aunque su alimentación es diferente, la larva reina en desarrollo está siempre rodeada de jalea real, un alimento altamente nutritivo (Yadav et al., 2017).

Por su parte, las futuras obreras reciben jalea real solo durante los primeros 3 días de vida. Después del tercer día, las larvas de obreras cambian su alimentación progresivamente a una mezcla de jalea real, miel y polen. El polen se utiliza para alimentar a las crías más viejas y es consumido en grandes cantidades por las abejas enfermeras que están produciendo jalea real con las glándulas de la cabeza. Esta diferencia explica la gran variación en la anatomía y función entre las abejas obreras y las reinas (Yadav et al., 2017).

### 2.2.2. Abeja obrera

Las abejas obreras miden aproximadamente 1,5 cm. Sus lenguas son casi el doble de largas con respecto al zángano o la reina, sus mandíbulas son más fuertes y sus alas alcanzan la extremidad del cuerpo. Las últimas articulaciones de los miembros posteriores, conocidos como la tibia y el tarso, se ahuecan para formar cestas de polen (Yadav et al., 2017).

Poseen también como órgano a destacar un aguijón, el cual lo utilizan en situación de amenaza y por lo general mueren después de utilizarlo. Los ojos



son más pequeños que los del zángano, pero no difieren con los ojos de la reina (Yadav et al., 2017).

Las abejas obreras conforman aproximadamente el 98% de la colonia, siendo entre 20.000 a 40.000 individuos en una colonia sana. Las tareas dentro de la colmena varían según la edad que presente la misma (politeísmo temporal) ya que, en diferentes edades, las abejas obreras están mejor adaptadas para realizar algunas tareas respecto a otras (Yadav et al., 2017).

En los primeros dos días de vida las abejas obreras se convierten en limpiadoras, eliminando los restos de larvas, pupas y otros desechos de las celdas. Del tercer día hasta los diez días se encargan de alimentar a las larvas de las obreras y a las larvas de los zánganos con jalea real, miel, polen, así como a las larvas de reina solo con jalea real. En general, las obreras jóvenes realizan su trabajo en el área central de la colmena donde se encuentra la cría. Entre los 10 a 15 días las abejas abandonan el área central de la colmena para trabajar en la periferia, donde se convierten en almacenadoras. Éstas recolectan el néctar y el polen de las abejas forrajeras almacenándolo como provisiones para la colmena (Kilani,1999).

Entre los días 15 y 17 son abejas constructoras, encargadas de los trabajos de construcción realizados en el interior de la colmena. Del día 18 al 20 se convierten en ventiladoras, siendo abejas que practican la ventilación para controlar el microclima de la colonia, especialmente la temperatura. Al día 21 se convierten en forrajeras o pecoreadoras, dejando la colmena para recolectar polen, néctar y propóleos de las flores (Kilani,1999).

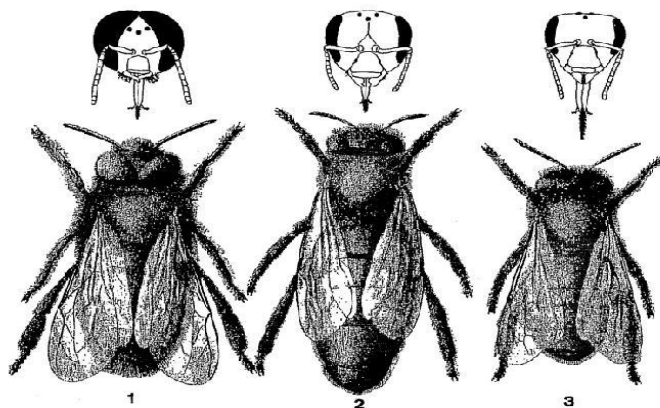
El ciclo biológico de las abejas obreras tiene una duración de 21 días, los huevos siempre son provenientes de una reina fértil y siempre se colocan en las celdas horizontales más pequeñas. Los mismos demoran en eclosionar de 3 a 4 días, dando origen a una larva blanca y ápoda, la cual se encuentra enroscada flotando en un líquido blanquecino previamente colocado en la celda. Luego de unos cinco días, las celdas son selladas por las abejas (cría operculada) y dentro de ellas la larva comienza a rodearse de un delgado capullo hecho de seda fina, en tres días asume el estado de pupa o ninfa. Al día 21, la abeja emerge de la celda (Yadav et al., 2017).

### 2.2.3. Abeja zángano

Los zánganos son los más largos, su tamaño es de dos cm aproximadamente siendo más grandes que la reina y obreras. Su lengua es corta y posee mandíbulas débiles (Figura No. 4). Tampoco tienen ninguna de

las estructuras necesarias para recoger el néctar y el polen. Además, carecen de aguijón. Su principal función es fertilizar a la reina (Yadav et al., 2017).

El ciclo biológico es el más largo, de 24 días y se originan a partir de huevos no fertilizados. Dichos huevos pueden provenir de una reina no fecundada, de una obrera fértil o de una reina fecundada que puede evitar voluntariamente la fertilización. Los mismos se colocan en las celdas horizontales más grandes. Su metamorfosis es igual a la de la abeja obrera y cuando salen por primera vez de la celda presentan un color gris (Yadav et al., 2017).



1 Zángano; 2 Reina; 3 Obrera

Figura No. 4. Anatomía externa de las abejas

Fuente: tomado de Kilani (1999).

### 2.3. CICLO NATURAL DE UNA COLMENA

El ciclo natural de una colmena es anual y depende de la vegetación. En Uruguay el ciclo se compone por cuatro fases (AFSSA, 2009).

La fase de desarrollo, que comienza en la primavera, se caracteriza por una intensa actividad de la reina, la cual pone entre 1.500 a 2.000 huevos por día, seguidamente se da una relativa estabilidad de posturas hasta llegar al otoño en donde la misma disminuye progresivamente (AFSSA, 2009).

La fase de enjambre, luego de la primavera, sucede cuando los picos de población son altos, la reina abandona su colmena con parte de la población

de abejas, desarrollando una nueva colmena en un nuevo sitio. Desarrollándose una nueva reina en la colmena abandonada (AFSSA, 2009).

La fase de preparación para la invernada le permite a la colmena llegar en mejores condiciones al invierno, en ella se da una acumulación de reservas como la miel (AFSSA, 2009).

Por último, la fase de invernada, en donde la población se reduce drásticamente a unas pocas obreras alrededor de la reina para sobrevivir usando las reservas acumuladas durante la fase anterior (AFSSA, 2009).

#### 2.4. POSIBLES SITUACIONES PROBLEMA DENTRO DE UNA COLMENA

Las posibles situaciones problema que pueden ocurrir en una colmena se clasifican según AFSSA (2009) de la siguiente manera.

- Muerte, indica la pérdida definitiva de las abejas, sin el conocimiento exacto de su naturaleza o de la velocidad en que ocurrió.
- El debilitamiento, describe la falta de fuerza de la colmena la cual está vinculada a una disminución en la densidad de la población en el tiempo, por lo general acompañado por la reducción en la actividad de la colmena.
- El despoblamiento, que es la reducción gradual del número de abejas en el tiempo sin causa aparente hasta que desaparece por completo, debido a la incapacidad de las abejas en realizar las tareas esenciales para la supervivencia de la colmena.
- El colapso, el cual se caracteriza por la rápida pérdida de abejas dentro de la colmena, lo que lleva a su completa destrucción.

#### 2.5. RESERVAS DE UNA COLMENA

Las principales reservas que se pueden encontrar en una colmena son el néctar, la miel y el polen. El néctar es el alimento energético para las abejas, constituido principalmente por carbohidratos en cambio el polen aporta proteínas, lípidos, azúcares, sales minerales, fibras, enzimas, vitaminas y hormonas (Keller et al., 2005).

El polen es un componente básico en la dieta de las abejas adultas jóvenes ya que les permite desarrollar las glándulas hipofaríngeas con cuya secreción van a alimentar a las larvas de cuatro a cinco días de edad y a otros miembros de la colonia (Keller et al., 2005).

La carencia o el bajo valor nutritivo del polen, determina que las abejas sean más débiles y pequeñas con menor capacidad para alimentar a la cría y con una expectativa de vida menor, las colonias con esta condición presentan una menor productividad de miel.

La composición fisicoquímica del polen depende de la especie vegetal de donde provenga. La cantidad de polen producido, así como el valor nutricional, es muy variable, determinando que tengan diferente importancia como recurso para las abejas (Keller et al., 2005).

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

En cuanto a la miel se entiende como un producto alimenticio producido por las abejas melíferas a partir del néctar de las flores o de las secreciones procedentes de partes vivas de plantas junto a excreciones de insectos succionadores, que las abejas recogen, transforman, combinan con sustancias específicas propias y almacenan dejándola madurar en los panales de la colmena (Fierro et al., 2003).

## 2.6. TERMORREGULACIÓN DE COLMENAS

La regulación de la temperatura dentro de una colmena ha sido considerada como una de las principales innovaciones en la biología de las abejas mellíferas. Por instinto, las abejas se esfuerzan para mantener la homeostasis de temperatura de una colmena, que se compone en un rango de temperatura interna de 33 a 36°C (Kridi et al., 2014). Este control se conoce como termorregulación.

La termorregulación de una colonia se realiza mediante acciones conjuntas que pueden reunir de cientos a miles de abejas. En la estación fría, las abejas obreras calientan el nido por aglomeración y por contracción muscular, lo que aumenta el calor metabólico. En la estación caliente, las

abejas vibran sus alas en la entrada de la colmena, trayendo la corriente de aire externa y ventilando el nido. En caso de temperaturas elevadas, las abejas difunden gotitas de agua, lo que debido a la evaporación implica una disminución de la temperatura interna (Zacepins y Karasha 2013a, Kridi et al. 2014).

En las regiones semiáridas, como en el nordeste de Brasil, las abejas llevan un mecanismo natural de termorregulación dentro de sus colmenas para que puedan manejar altas temperaturas. Sin embargo, cuando la termorregulación no se realiza completamente, todas las abejas pueden abandonar el nido en un proceso conocido como fuga de colonia. En tal proceso, la fuga se debe a un estímulo de estrés térmico (Kridi et al., 2016).

El comportamiento colectivo de las abejas dentro de una colmena para mantener la temperatura de una colonia tiene explicaciones desde el punto de vista de la protección y cuidado de su descendencia, colonias sanas mantienen un ambiente estable de al menos parte de la colmena para protegerse de enfermedades y plagas (Evans y Spivak, 2010).

Las primeras investigaciones que se han realizado en cuanto a la temperatura y su efecto en las colonias de abejas datan del año 1791 cuando Francis Huber observó la temperatura en el proceso de incubación y llegó a la conclusión de que en invierno la misma se mantenía en 33,9 °C en el centro del nido de cría. Posteriormente I. Root realizó varias observaciones tanto en invierno como en verano y concluyó que la temperatura óptima para la cría de abejas se situaba entre 33,3°C y 36,7°C (Root, Huber, citados por Dunham, 1931).

La imagen que surge al emplear cientos de sondas de temperatura en colonias de abejas melíferas es un perfil térmico con altas temperaturas estables en el área central (donde se encuentra la cría) e isothermas concéntricas de temperaturas más bajas a distancias del centro (Owens, citado por Moritz y Southwick, 1992).

Estudios revelaron que, con independencia de la temperatura exterior, el nido de cría tiende a mantener constante una temperatura a más de 32°C (Figura No. 5). Las zonas más alejadas del nido de cría no se enfrían por debajo de los 9-10°C Moritz y Southwick, 1992).

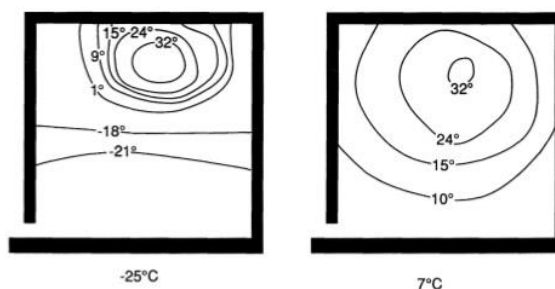


Figura No. 5. Perfil de temperatura en dos colmenas

Fuente: adaptado de Moritz y Southwick (1992).

La temperatura corporal en las colonias de abejas que actúan como super organismos, tiende a mantenerse a elevados valores. La termorregulación les permite adaptarse a un amplio rango de temperatura del aire exterior a diferencia de las abejas solitarias (Figura No. 6).

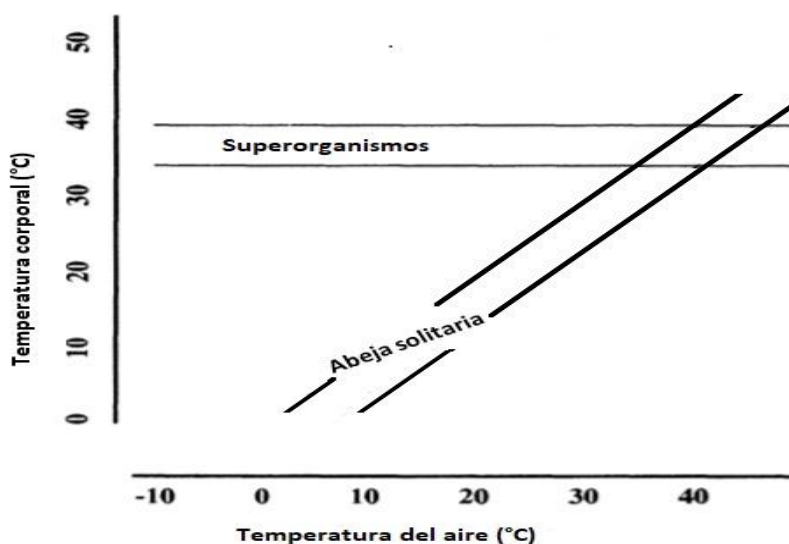


Figura No. 6. Temperatura corporal de abejas

Fuente: adaptado de Moritz y Southwick (1992).

## 2.7. APICULTURA DE PRECISIÓN

La apicultura de precisión es una estrategia de gestión apícola basada en el monitoreo de las colonias de abejas para minimizar el consumo de

recursos y maximizar la productividad, consiste principalmente en identificar diferentes estados en las colonias ayudando a tomar decisiones más eficientes de manejo. Al igual que la agricultura de precisión puede considerarse como un ciclo de tres fases, la fase de recolección de datos, la fase de análisis de datos y la fase de aplicación (Zacepins et al., 2015).

### 2.7.1. Recolección de datos

La fase de recolección de datos es la más desarrollada y tiene como objetivo principal lograr una herramienta en tiempo real y en línea para el monitoreo continuo de apiarios. La misma se puede clasificar en tres grupos parámetros a nivel del apiario, parámetros a nivel de la colonia y parámetros individuales relacionados con las abejas (Zacepins y Stalidzans, 2013b).

En cuanto a los parámetros a nivel del apiario, la medición de este tipo de parámetros puede explicar algunos comportamientos en las colmenas, brindando información más detallada para entender aún mejor lo que sucede a nivel de una colonia de abejas. Por ejemplo, el número de abejas entrantes y salientes de una colmena puede ser causado por ruido externo o por la aparición de seres humanos, que pueden ser registrados por cámaras de video. Un aumento en el peso de la colmena puede ser causado por la lluvia que también puede ser registrado por cámaras de video o bien por información brindada por una estación meteorológica (Zacepins et al., 2015).

En los parámetros a nivel de la colonia los métodos más populares de monitoreo son la temperatura, el peso, la humedad, el sonido, la vibración y el monitoreo de video (Meikle y Holst, 2014).

- Temperatura

El bajo costo de recopilación, procesamiento y transferencia de datos de los sistemas de medición de temperatura, facilitan muchas aplicaciones en las mediciones de temperatura en la apicultura (Zacepins y Karasha, 2013a). Además, existen diferentes tecnologías para medir la temperatura, los sensores suelen ser robustos y pueden sobrevivir en el entorno del nido de abejas (Zacepins et al., 2015).

En base a los datos de temperatura los investigadores y apicultores han tratado de detectar diferentes estados importantes en las colonias, tales como el aumento de consumo de alimentos, el inicio de la cría, la pre-enjambrazón, la muerte de la colonia, el volumen de la cría y el volumen del grupo invernal. Para determinar el volumen de la cría, muchos sensores (uno o incluso dos por cuadro) deben colocarse en la colmena (Linton, 2012). Por ejemplo, el proyecto

E-ruche (Voskarides et al., 2013) utiliza este tipo de medición de temperatura multipunto en la colmena. Otro enfoque consiste en utilizar un único sensor, situándose por encima de la colmena (Stalidzans y Berzonis, 2013), aumentando la comodidad y reduciendo los costos. En este caso, el análisis de datos se vuelve más difícil. En cualquier caso, se debe evaluar la influencia directa de la temperatura ambiente en las mediciones.

- **Peso**

En este caso los altos costos y la baja precisión de las básculas electrónicas de carga continua limitan la aplicación de la monitorización a través del peso. Por otro lado, el pesaje manual de las colmenas es demasiado laborioso como para llevarlo a cabo a escala industrial (Zacepins et al., 2015).

En definitiva, se puede medir el peso de una colmena habitada (es decir, la suma del peso de la caja, cuadros con alimento y las abejas) para monitorear los diferentes estados de las colonias o para identificar varios eventos como, la ocurrencia del flujo de néctar durante la temporada de forraje (comienzo y fin del flujo de néctar) o la ganancia diaria en las reservas de néctar (Linton 2012, Okada et al. 2012, Human et al., citados por Zacepins et al. 2015), el consumo de alimentos durante los períodos de no alimentación (Seeley y Visscher, 1985), la aparición de eventos de enjambre a través de una disminución en el peso de la colmena (Meikle et al. 2008, Linton 2012) y la estimación del número de obreras (Linton, 2012).

Un aspecto importante a tener en cuenta es la influencia del tiempo, debido a que las cajas de madera absorben la humedad y por lo tanto influyen en las mediciones de peso (Meikle et al., 2008). Se recomienda el uso de cajas de espuma de poliestireno para un pesaje más preciso. En el caso de las colmenas de madera, se recomienda tener en cuenta los cambios en el peso de una colmena vacía (con marcos y miel, pero sin abejas) para aclarar los cambios de masa debido a los efectos ambientales como la humedad y el viento (Zacepins et al., 2015).

Por último, se ubican los parámetros individuales relacionados con las abejas. Los enfoques individuales de monitoreo de abejas apuntan a usar sistemas de video o contadores de individuos para observar las abejas individuales alrededor de la entrada de una colmena (Liu et al. 1990, Campbell et al. 2008).

El sistema de vídeo no es complicado debido a la disponibilidad de soluciones utilizadas en otros sectores. No es económicamente viable equipar todas las colmenas con cámaras de video debido a la enorme cantidad de datos



generados. El uso de cámaras giratorias y opciones de zoom pueden usarse para observar todas las colmenas en el apiario con un solo dispositivo. Sin embargo, incluso la observación de una sola colmena puede brindar información sobre el estado general del apiario (Zacepins et al., 2015).

El conteo de abejas también puede hacerse con dispositivos mecánicos y electrónicos específicos llamados contadores de abejas. El número de abejas que salen y regresan a las colmenas es la medida principal. Estos dispositivos deben colocarse en la entrada de la colmena para obtener una lectura diaria de la actividad de forraje de las colonias. Los contadores de abejas pueden usarse para monitorear la actividad de las colonias, los tiempos de vuelos máximos, la presencia de pesticidas, el impacto del tiempo en la actividad de vuelo, los enjambres, el porcentaje de retorno, el impacto de la liberación de químicos y otros cambios en el vuelo (Zacepins et al., 2015).

### 2.7.2. Análisis de datos

La fase de análisis consta en supervisar los datos obtenidos y correlacionarlos con un estado de la colonia mediante la inspección de la colmena. Sólo después que el significado de los datos queda entendido, pueden desarrollarse algoritmos automatizados de análisis y reconocimiento para la interpretación de los datos, que pueden utilizarse para informar al apicultor del estado de la colonia (Linton, 2012).

Esta fase es generalmente el obstáculo en la adopción de la Agricultura de Precisión (McBratney et al., 2005). En la apicultura, ha habido varios intentos de analizar los datos para detectar los síntomas de, recalentamiento (Stalidzans y Berzonis, 2013), el inicio de la cría durante el período de incubación de invierno (Zacepins et al., 2011) y el período de desarrollo de una colonia (Stalidzans y Berzonis, 2013).

Los estados críticos que se detectan en una colonia son el resultado más deseado en la fase de análisis de datos, entre ellos se destacan, el estado anual, flujo intenso de néctar, muerte de la colonia, enjambre y estado sin cría (Zacepins et al., 2015).

#### Estado anual

Medidas de temperatura en la parte superior de una colmena pueden determinar cinco periodos diferentes en el desarrollo anual de una colonia de abejas, 1) cría de invierno, 2) cría de primavera, 3) cría de verano, 4) cría de otoño y 5) periodo sin cría de otoño (Stalidzans y Berzonis, 2013). Este

conocimiento puede ayudar a sincronizar las actividades del apicultor con la etapa de desarrollo de las colonias de abejas en las colmenas.

#### Flujo intenso de néctar

Las balanzas electrónicas dan una buena evaluación de la intensidad del flujo de néctar e indican cuándo es necesario proporcionar a las colonias alimentación adicional. Esto se hace muy importante si las colonias de abejas se localizan en un área extensa y las visitas frecuentes son costosas. Otra situación importante es el comienzo repentino del flujo intensivo como en el caso del flujo de melaza (Human et al., citados por Zacepins et al., 2015).

#### Muerte de la colonia

Se puede registrar la desaparición o muerte de una colonia de abejas si la temperatura media de la colmena es igual o muy cercana a la temperatura ambiente (Zacepins et al., 2012a), la humedad media del aire y las concentraciones de gas son iguales a las ambientales, el peso permanece constante, las abejas no entran ni salen de la colonia, y no se puede detectar ni el sonido ni la vibración de una colonia viva. La detección temprana de la muerte de una colonia puede ser una información valiosa para los apicultores, ya que permite una reacción rápida y a tiempo para el restablecimiento de esa colmena (Zacepins et al., 2015).

#### Enjambre

La detección automática remota de actividades relacionadas con el enjambre tendría un gran impacto en la apicultura. La detección del estado pre-enjambre de una colonia es una herramienta popular para evitar la pérdida de abejas (Woods 1959, Esch 1967), cuando parte de la colonia de abejas sale de la colmena, se reduce dramáticamente el potencial productivo de la colmena. El primer sistema electrónico de detección de enjambres basado en el análisis de sonido fue "Apidictor", hoy en día después de 50 años, esta y similares soluciones no parecen existir en el mercado. El análisis del sonido se ha desarrollado aún más, pero todavía faltan aplicaciones prácticas (Eskov y Toboev, 2010). Otras investigaciones han propuesto las mediciones combinadas de sonido, temperatura y humedad (Ferrari et al., 2008) para la detección de la condición de pre-enjambre.

El enjambre también puede ser identificado por el peso de una colonia, ya que los enjambres principales tienen un promedio de 16.000 abejas obreras (Winston, citado por Zacepins et al., 2015).

## Estado sin cría

La detección automática del estado sin cría de una colonia puede ayudar al apicultor a "reparar" la colonia añadiendo una reina, cría o uniendo diferentes colonias. Las mediciones de temperatura parecen ser prometedoras, ya que las crías en el nido obligan a las abejas a mantener una alta temperatura estable (35° C) y compensan los cambios en la temperatura ambiente, mientras que las temperaturas en las colonias sin cría dependen mucho más de la temperatura ambiente (Stalidzans y Berzonis, 2013).

## Aplicación

La tercera fase es la de aplicación, y en el caso de la apicultura esto no puede ser significativamente automatizado porque la apicultura se realiza principalmente de forma manual. Algunos ejemplos son, control del microclima de la colmena (McCutchenon 1984, Zacepins y Stalidzans 2012b), giro automático del bastidor dentro de la colmena por 180° cada 24 h (Konya, 2007) y alimentadores automáticos (Bromenshenk et al., citados por Zacepins et al., 2015).

## 2.8. ANTECEDENTES SOBRE MONITOREO DE TEMPERATURA EN COLMENAS

Actualmente, los parámetros más populares de monitoreo a nivel de una colonia de abejas son la temperatura, el peso, la humedad, el sonido, la vibración y el monitoreo de video (Meikle y Holst, 2014).

En cuanto a la temperatura, el bajo costo de recopilación, procesamiento y transferencia de datos de los sistemas de medición, facilitan el uso de aplicaciones en las mediciones de temperatura (Zacepins y Karasha, 2013a). Existen diferentes tecnologías para medirla, los sensores suelen ser robustos y pueden sobrevivir en el entorno del nido de abejas (Zacepins et al., 2015).

En base a los datos de temperatura los investigadores y apicultores han tratado de detectar diferentes estados importantes en las colonias, tales como el aumento de consumo de alimentos, el inicio de la cría, la pre-enjambrazón, la muerte de la colonia, el volumen de la cría y el volumen del grupo invernal. Para determinar el volumen de la cría, muchos sensores uno o incluso dos por cuadro deben colocarse en la colmena (Linton, 2012).

Con respecto a las soluciones de monitoreo que puedan controlar las condiciones térmicas de la colmena, las redes de sensores inalámbricos (WSN) son una alternativa bien conocida para la detección distribuida y el monitoreo ambiental (Naumowicz et al., Alippi et al., Díaz et al., Kviesis y Zacepins, Edwards-Murphy et al., citados por Kridi et al., 2016).

Este tipo de red cumple dos requisitos básicos para el monitoreo de colmenas, autonomía, ya que los sensores pueden permanecer operativos incluso en apiarios ubicados en áreas lejanas y además suele ser un método de baja invasión, debido al pequeño tamaño de los sensores y el uso de comunicaciones inalámbricas (Naumowicz et al. 2010, Bromenshenk et al. 2015, Edwards-Murphy et al. 2016, Kridi et al. 2016).

El aumento de la temperatura conduce al abandono de las colonias de abejas y el proceso de fuga se desencadena cuando el microclima de la colmena alcanza alrededor de 41C° (Almeida et al., 2006). El tiempo necesario para el abandono completo del nido depende de la fuerza de la colonia, que a su vez depende del tamaño de la colmena (Kridi et al., 2016).

En la estación seca, las abejas acuden a la costa y se desplazan durante la estación lluviosa, lo que indica que las variaciones de temperatura impactan en la fuga de las colonias (Kridi et al., 2016).

Eskov y Toboev, citados por Kridi et al. (2016), utilizaron la radiación infrarroja para examinar la temperatura de la colmena durante el invierno y también para diferenciar la temperatura de las abejas individuales.

Zacepins y Karasha (2013a), recopilaron información interna y externa sobre colmenas durante el período invernal en el hemisferio Norte utilizando redes de sensores con cable. En 2015 se recopilaron algunas métricas utilizando una red de sensores inalámbricos y las enviaron a un servidor remoto (Kviesis, citado por Kridi et al., 2016).

Se observaron períodos de aumento de la actividad laboral de las colonias al detectar los valores de temperatura en la parte superior de las colmenas sobre las rejillas excluidoras. El monitoreo de la temperatura se realizó durante un año, pequeños sensores digitales DS18S20 fueron utilizados para las mediciones y colocados sobre el nido de cría. Las mediciones se realizaron en intervalos de 15 minutos en 14 colonias de abejas melíferas. Como resultado, se definieron cinco estados de actividad de las abejas: cría de invierno, cría de primavera, cría de verano y cría de otoño. Estos estados de cría demuestran una alta disciplina térmica, la temperatura de la colmena sigue

la dinámica lineal a pesar de las fluctuaciones en la temperatura ambiente (Stalidzans y Berzonis, 2013).

Se estudió la detección remota de una pre-enjambrazón a través del monitoreo continuo de su temperatura. Concluyeron que se produce un aumento de la temperatura de la colonia de entre 1.5°C a 3.4°C en los 10 a 20 minutos previos a la enjambrazón (Zacepins et al., 2016).

Se utilizó una red de sensores inalámbricos para monitorear las colmenas y realizar un seguimiento de los eventos relacionados con las colonias, se midieron parámetros como la temperatura, humedad relativa, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y gases contaminantes dentro de las colmenas, así como también datos meteorológicos como la luz solar, lluvia y temperatura del aire para proporcionar un mayor análisis (Edwards-Murphy et al., 2016).

Utilizando el conocimiento apícola establecido sobre los parámetros asociados a enfermedades de las colmenas y los parámetros óptimos dentro de ellas se identificaron las siguientes clases de estados de las colmenas.

- Colmena normal con temperatura, humedad y CO<sub>2</sub> típicos.
- Hibernación de la colmena.
- Abejas “abanico” (trabajan para generar evaporación).
- Colmena con baja humedad, ideal para tratamientos sanitarios durante el invierno.
- Colmena sin fluctuación de temperatura diurna, que indica que la colonia se ha fugado o está muerta.
- Colmena con una fluctuación de temperatura diurna extremadamente elevada, mayor a 20°C, lo que indica que la colonia está enferma y no puede participar en actividades de termorregulación y ventilación.
- Colmena con una fluctuación diurna de CO<sub>2</sub> extremadamente grande, mayor a 15 ppm, que también indica una colonia enferma.
- Colmena que no tiene los niveles promedio de CO<sub>2</sub> esperados.
- Colmena con una alta humedad que puede dañar la colonia si no se aborda.
- Colmena con una temperatura interna inusualmente alta que requiere atención de la piquera para mejorar su ventilación (Edwards-Murphy et al., 2016).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Las colmenas utilizadas para el trabajo experimental se ubicaron a 40 kilómetros al Norte de Montevideo, Uruguay. El material apícola usado fue el estándar, colmenas Langstroth con colonias *Apis mellífera* L.

El material electrónico estuvo conformado por tecnología que incluyó sensores de temperatura colocados sobre rejillas excluidoras de reina ubicadas por encima de la cámara de cría, y computadoras registradoras fuera de la colmena dentro de cajones para su protección.

El material de inspección de colmenas estuvo constituido por planillas elaboradas para registrar observaciones externas e internas de la colonia, y por un registro fotográfico de todos los cuadros de la cámara de cría. Para esto, además de la cámara fotográfica se utilizó un trípode.

La metodología de campo se basó en visitas periódicas, para las tareas de registro de planillas y toma de fotografías. Mientras que la recolección de datos electrónicos fue automatizada.

Toda la información se procesó, obteniendo las áreas de cría y reservas (miel/néctar y polen) de todas las colmenas, y los registros de temperatura tanto del interior de las colmenas como de la temperatura ambiente, que permitió realizar un análisis exploratorio visual y estadístico.

La planificación del trabajo de campo y la elaboración de los materiales iniciaron en mayo del 2017 mientras que la realización del trabajo experimental fue durante la primavera – verano del 2017-2018.

#### 3.1. MATERIALES

##### 3.1.1 Campo experimental

El apiario se encuentra en el Centro Regional Sur (CRS), estación experimental de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, en la localidad de Progreso, departamento de Canelones, Uruguay (Figura No. 7).

Los rubros que predominan en el área donde se ubica el apiario son el frutícola, vinícola y agrícola-ganadero, con praderas perennes. Hay praderas artificiales de leguminosas con las especies *Lotus corniculatus* (lotus), *Trifolium pratense* (trébol rojo), *Trifolium repens* (trébol blanco) y *Medicago sativa* (alfalfa). Se encuentran malezas asociadas como *Senecio vulgaris* (senecio).

Los predios cercanos tienen plantaciones de *Malus domestica* (manzano), *Prunus pérsica* (duraznero) y viña. Especies nativas como *Eugenia stipitata* (arazá), *Acca sellowiana* (guayabo del país) y exóticas como *Eucalyptus* sp. también están presentes.



Figura No. 7. Ubicación del ensayo

Fuente: tomado de Google Earth.

### 3.1.2. Colmenas

El experimento incluyó ocho colmenas tipo Langstroth, con una cámara de cría compuesta por 10 cuadros, alzas móviles y la rejilla excluidora o separador de reina.

Se usaron rejillas excluidoras de origen alemán con varillas cilíndricas de metal. Las rejillas permiten el pasaje de las obreras y no el de la abeja reina, debido a la diferencia en el tamaño del abdomen (Figura No. 8).

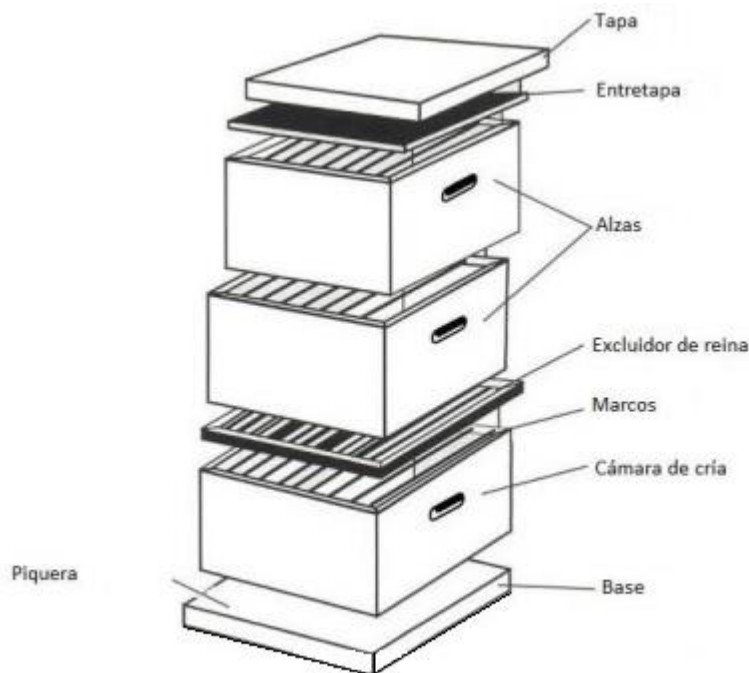


Figura No. 8. Componentes de una colmena Langstroth

Fuente: tomado de Besora (2017).

Dos colmenas estaban próximas a una construcción (galpón) y las restantes seis cercanas a una cortina de *Eucalyptus sp.* identificadas con una numeración del uno al ocho.

Durante el período del experimento (setiembre a diciembre) no se hicieron tratamientos de alimentación. No hubo cambios de cuadro para no alterar el nido de cría. Sin embargo, se colocaron medias alzas en cuatro colmenas.

### 3.1.3. Abejas

Las colonias estaban constituidas por abejas melíferas (*Apis mellífera* L.). Se desconoció su genética. Vale mencionar que, en cuanto a genética en Uruguay, hay colmenas de origen europeo (*Apis mellífera mellífera*), abejas criollas, híbrida entre abejas europeas (*A. m. mellífera*, *Apis mellífera ligustica* y *Apis mellífera carnica*) y africanas (*Apis mellífera scutellata*).



Al inicio de la investigación se inspeccionaron y observaron las colmenas para confirmar que tuvieran comportamiento similar, ausencia de enfermedades, presencia de huevos y de diferentes estados larvales.

### 3.2. MATERIALES DE RECOLECCIÓN AUTOMÁTICA

Para las mediciones de las temperaturas en el interior de las colmenas, se desarrolló un sistema electrónico con sensores unidos a las rejillas excluidoras de reinas y un circuito conectado a pequeñas computadoras registradoras.

#### 3.2.1. Sensores electrónicos

Para medir la temperatura, se usaron sensores DS18B20 de Maxim Integrated en un paquete tipo TO-92. Estos sensores miden la temperatura con una precisión de  $\pm 0.5$  °C desde  $-10^{\circ}\text{C}$  hasta  $85^{\circ}\text{C}$  y brindan el resultado de forma digital.

#### 3.2.2. Excluidor

Para integrar los sensores de temperatura en las colmenas, se usaron rejillas excluidoras de reinas. Las rejillas excluidoras se ubicaron en la colmena justo por encima de los cuadros de la cámara de cría.

En cada rejilla se armó un circuito de nueve sensores, conectados en un circuito OneWire de tres hilos, que termina en un cable telefónico con conector 6P4C (Figura No. 9).



Figura No. 9. Ubicación de los sensores en rejilla excluidora

Se construyeron nueve circuitos de temperatura diferentes, ocho se utilizaron en las colmenas experimentales mientras que el noveno quedó para recambio por una eventual falla (Figura No. 10).

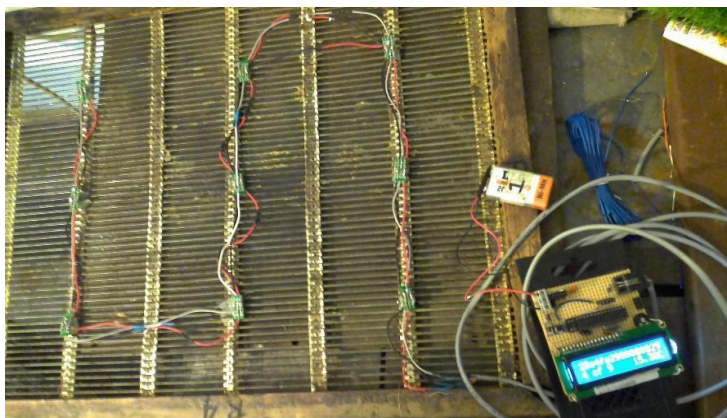


Figura No. 10. Armado de circuitos de temperatura

### 3.2.3. Computadoras registradoras

Para registrar los datos de temperatura de cada circuito de sensores, se emplearon varias computadoras registradoras que fueron desarrolladas en el marco de un proyecto de investigación de apicultura.

Las computadoras registradoras integran tres módulos separados. El módulo central es una placa de tipo Arduino Uno (rev.3) que contiene el procesador central.

Un segundo módulo es una placa Data Logging Shield (v.2) de Dead Bug Prototypes hecho por Geir Andersen en Noruega. Este módulo adapta el sistema Arduino a un uso de campo.

Cada una de estas placas contiene un componente reloj para medir el tiempo, un componente de tarjeta SD para grabar los datos y un transistor bajo control del reloj, que controla la fuente eléctrica y permite activar la computadora cada una hora.

Finalmente, un tercer módulo que es de elaboración propia permite medir el voltaje de la fuente de corriente y de la placa procesadora, tiene un sensor de temperatura integrado y tres conectores para circuitos de sensores de temperatura.

El código de control consiste en una secuencia fija de procesamiento. Cada hora, el reloj del módulo Data Logging Shield enciende la corriente, lo que activa la computadora registradora. Al encenderse, la computadora evalúa la corriente y si falta potencia, luego, se apaga durante otra hora. Después, se configura una conexión de comunicación serial y un usuario consigue configurar la computadora.

Posteriormente la computadora recopila los datos, el tiempo del sistema de reloj, las temperaturas de los sensores y las mediciones de voltaje. Sigue por transmitir los datos a la conexión de comunicación serial y grabarlos en la tarjeta SD. Cada grabación tiene la forma.

```
2017-10-01T11:20:30Z
"28:9f:3a:d2:06:00:00:65":26.94,"28:08:f1:29:08:00:00:12":32.44,"28:4e:f
6:28:08:00:00:0b":29.69 ..."Vin":8330,"Vcc":4979
```

El registro comienza con detalle temporal (guardado en huso horario UTC), continua con una serie de pares, identificador del sensor, temperatura medida y los valores de la computadora registradora.

Se colocaron cinco computadoras registradoras en el apiario, tres fueron conectadas a dos colmenas cada una.

De manera regular, se copiaron a mano los archivos guardados en las tarjetas SD hacia las computadoras de trabajo.

### 3.3. MATERIALES DE INSPECCIÓN

Se realizaron inspecciones periódicas empleando una planilla previamente elaborada para recabar observaciones generales externas e internas de las colmenas y se empleó una cámara y un trípode para el registro fotográfico de la totalidad de los cuadros de las cámaras de cría. Para cada inspección se utilizó el equipamiento apícola habitual: mameluco, guantes, palanca y ahumador.

#### 3.3.1. Planilla

Se utilizó una planilla diseñada para registrar observaciones previas y posteriores a la apertura de las colmenas, la misma tenía un formato de check list para facilitar la tarea.

Se registraron características externas: presencia o ausencia de abejas muertas, olor, movimiento de piquera, movimiento de zánganos y entrada de polen. Las características internas: calles ocupadas, nido compacto, raza, evaluación primaria, miel/néctar, polen, cría abierta, cría cerrada, cría zánganos, celdas reales, posturas de zánganos, O. regulares, O. irregulares y la sanidad que incluía Loque americana, Loque europea y cría Yesificada (ver Anexo No. 1).

### 3.3.2. Cámara

La cámara fotográfica usada fue una Nikon digital camera D5200, reflex digital, con sensor de imagen CMOS de 24.1 megapíxeles de formato DX. que permite sacar fotos de 6000 por 4000 píxeles.

### 3.3.3 Trípode

Se construyó un trípode de hierro, con el objetivo de conseguir tomar fotografías de ambas caras de cada cuadro a una misma distancia y enfoque. Los cuadros se ubicaron en un soporte giratorio, que en su base tenía una cinta métrica de referencia como escala.



Figura No. 11. Trípode construído a medida

## 3.4. MÉTODOS

Utilizando los materiales, se llevaron a cabo registros de temperatura, obteniendo datos por hora, que luego fueron procesados. En las instancias de

inspección se fotografiaron los cuadros y determinaron las áreas del nido de cría, polen, miel/néctar con el software ImageJ®.

#### 3.4.1. Manejo de colmenas

Las colmenas tuvieron un manejo focalizado en la investigación, salvo en algunas que se intervinieron con medias alzas, para evitar la enjambrazón. Siempre la posición de la rejilla excluidora fue sobre la cámara de cría.

Al momento de la segunda visita para la inspección de las colmenas se habían incorporado media alza en las colmenas uno y dos. A la tercera visita se habían incorporado media alza a las siete y ocho.

#### 3.4.2. Metodología en trabajo de campo

El apiario fue visitado en cinco ocasiones por cuatro investigadores. Las visitas fueron: 12 de setiembre, 4 de octubre, 28 de octubre, 19 de noviembre y 18 de diciembre del 2017. El intervalo entre ellas fue determinado por la accesibilidad al lugar y la duración del ciclo de vida de una abeja obrera (21 días), buscando visualizar cambios significativos en la colonia.

#### 3.4.3. Procedimiento en las planillas

Cada inspección comenzó completando la planilla. Primero con las observaciones externas de la colmena y posteriormente, con la apertura de esta se concluía el registro de observaciones internas. Este procedimiento se reiteró en todas las colmenas. Las características descriptivas evaluadas se marcaron con “√ o x” según acuerdo de los observadores.

#### 3.4.4. Procesamiento de planillas

Las características arrojadas por las planillas se evaluaron, y al remitirse a momentos puntuales, un día, una fracción de tiempo de minutos, se consideraron relevantes solo para la evaluación de la metodología.

#### 3.4.5. Inspección de colmenas

Las colmenas se abrieron y se extrajeron los cuadros para fotografiar. Un investigador fotografió, mientras otro sacó uno a uno los cuadros. Se observó que no estuviera la abeja reina, se sacudió en el aire próximo a la colmena abierta, para quitar aquellas abejas que imposibilitan la visualización del cuadro, asegurando la caída de estas dentro de la colmena. Mientras tanto

un tercer investigador ahumó y controló detalles, para que la perturbación ocasionada al abrir la colmena durase aproximadamente diez minutos. Una vez fotografiadas ambas caras de todos los cuadros, se cerró la colmena. Se volvieron a conectar los sensores y se prosiguió con otra colmena. Se obtuvieron así, un juego de 20 fotos por colmena.

#### 3.4.6. Procesamiento de la inspección

Las fotos se separaron por colmena y fecha. Teniendo para cada colmena 20 fotos en cada una de las cinco fechas.

Los criterios preestablecidos para los cálculos de las áreas de cría y reservas (néctar/miel y polen) observados en las fotografías se determinaron considerando las características que se detallan a continuación.

Para el área de néctar/miel, se observó el color transparente en el caso del néctar, un fluido viscoso y de color ámbar en la miel. Ambos componentes brillosos. La posición en los cuadros del néctar y la miel generalmente es en la parte superior, próxima a la rejilla excluidora.

Para el área de polen el criterio para diferenciarlo fue su color, que abarca varias tonalidades de amarillo y naranja destacándose su posición siempre próxima a la cría.

El criterio para delimitar la cría (que incluyó huevos, larvas, cría operculada de obreras, zánganos y celdas reales), fue por su reconocimiento visual, considerando la forma oval que tienen los nidos de cría. Si el área de cría operculada estaba segmentada por celdas no operculadas se asumió que tenían huevos. La calidad de las fotografías obtenidas permitió usar este criterio. Dependiendo del color de la cera del cuadro (cuanto más viejo más oscuro) se consiguió o no la visualización de los huevos (Figura No. 12).

Se utilizó el programa ImageJ® para calcular las áreas de los tres componentes y se calculó por diferencia el espacio vacío. El área de cría, que incluyó la cría operculada (estado de pupa) y cría abierta (huevo, larvas), el área de polen y de miel/néctar se midió en centímetros cuadrados (cm<sup>2</sup>). Cada cuadro tiene 43 centímetros de largo por 20 centímetros de ancho. Como de cada cuadro se fotografiaron sus dos caras (1.720 cm<sup>2</sup>) y cada cámara de cría tiene diez cuadros, el área potencial totalizó 17.200 cm<sup>2</sup> (ver Anexo No. 2).



Figura No. 12. Características de interés para cálculo de áreas

El procesamiento de las fotos y el cálculo de las áreas fue realizado por tres investigadores. La observación en ImageJ®, fue subjetiva dependiendo de los conocimientos previos de cada observador. Previamente, se unificaron criterios para calcular las áreas, se realizó un entrenamiento en común basado en el reconocimiento de los elementos a medir (Figura No. 13).

Durante las mediciones de áreas se observaron variaciones significativas entre los investigadores. Se decidió repetir algunas mediciones utilizando criterios mejor definidos sobre clasificación de áreas. Esos nuevos criterios que buscaron ser prácticos, aproximativos y no exactos, se mantuvieron hasta el final. Guardando ambas mediciones para evaluar de forma analítica (Cuadro No. 5).

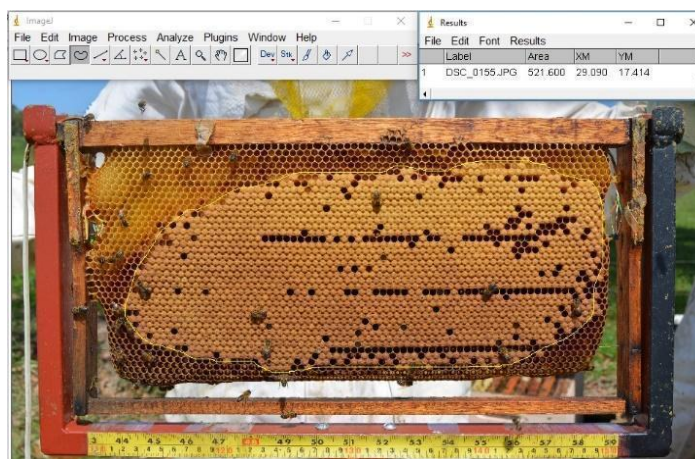


Figura No. 13. Funciones del programa ImageJ®

Fuente: adaptado de ImageJ®.

### Cuadro No.5. Formato de los resultados

Fecha	Colmena	Uso	Investigador	Área	Área revisada
2017/09/12	Colmena_1	Cría	Laura	4635	4635
2017/09/12	Colmena_1	Cría	Mathías	3943	3943
2017/09/12	Colmena_1	Cría	Pablo	4422.5	4422.5

#### 3.4.7. Procesamiento de datos de registro automático

Las computadoras registradoras se activaron automáticamente cada una hora y grabaron los datos de temperatura como un archivo texto de formato DOS en sus tarjetas SD.

Debido a la autonomía de las baterías mensualmente se copiaron estos archivos a computadoras. Al momento de importarlos, se cambió el nombre del archivo para indicar la computadora registradora que lo originó, se pasó del formato de texto DOS al formato UNIX y se grabaron estos archivos nuevos como datos crudos de campo.

En una segunda etapa, se validaron los archivos de campo sin procesar para obtener datos procesados fiables limpios. En este proceso, se evaluó que los archivos tuvieran solo caracteres permitidos, que cada observación fuese completa y que los sensores de cada observación estuviesen presentes en cada una de las colmenas conectadas a la computadora en ese momento.

Finalmente, se procesaron los datos desde archivos de texto limpio de computadora registradora hasta archivos de valores separado por comas, para colmenas individuales. Este procesamiento involucró separar los sensores por colmena, convertir la identidad del sensor a su posición en la rejilla y ordenar cada observación en una sola línea del archivo final.

Con este procesamiento, se obtuvieron archivos con un formato,

```
timeISO,TimeUnix,LoggerId,Vin,Vcc,T_logger,Excluder1,Excluder2,Excluder 3,..2017-02-17T17:16:21Z,1487351781000,APIDL0006,9189,5023,38.06,NA,NA,NA,NA,NA,NA,...
2017-02-17T18:00:04Z,1487354404000,APIDL0006,9033,5023,35.75,NA,NA,NA,NA,NA,NA,...
TimeISO: Formato de la norma ISO 8601
AAAA '-' MM '-' DD 'T' hh ':' mm ':' ss 'Z' este último indica la franja horaria UTC.
```

Todos los tiempos manejados eran en UTC (es decir, tres horas después que en Uruguay).



Los componentes del formato significan:

- vin: voltaje aproximado de la fuente (batería).
- vcc: voltaje aproximativo de las placas, próximo a 5 V.
- t\_logger: temperatura externa
- excluder 1, sensor 1, Excluder 2, sensor 2, Excluder 3, sensor 3.
- (NA, es not available hace referencia cuando no hay registros para esa información).

Estos archivos pueden ser importados directamente en los programas de análisis de hojas de cálculo o programas estadísticos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y la discusión del trabajo incluyen una sección de evaluación de la metodología empleada y una segunda sección de análisis de resultados.

Con el objetivo de proporcionar elementos para futuras investigaciones y de arribar al cumplimiento de los objetivos planteados en este trabajo de investigación, se presenta una sección de evaluación de metodología. Esta evaluación, incluye una crítica a las planillas utilizadas para registrar características generales de toda la colmena, una evaluación sobre la inspección realizada en la cámara de cría para registrar el área usada para distintos fines y una última evaluación de la metodología usada para el registro de las temperaturas internas y externas.

La sección de discusión de resultados presenta los datos que se obtuvieron con la metodología empleada. Incluye una discusión sobre la variación de los componentes internos de las colmenas, agrupándolas según similitud en esta fase de desarrollo y crecimiento de la colonia. Presenta un análisis sobre las temperaturas externas registradas por las computadoras registradoras y otro por el registro individual de los sensores.

Los resultados fueron obtenidos en los meses de primavera (setiembre a diciembre 2017), período del año de la fase de desarrollo de la colmena. En esta fase aumenta el área de cría por el crecimiento poblacional (AFSSA, 2009).

### 4.1. EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA

Se evaluaron las tres fuentes de datos: en primer lugar, las planillas de evaluación de colmena, en segundo lugar, el registro fotográfico del uso de la cámara de cría y en tercer lugar el registro electrónico de temperaturas.

#### 4.1.1. Evaluación del uso de planillas para características de colmena

Se realizaron registros en planillas del estado de cada colmena. Se obtuvo una base de datos de la situación puntual en los días de visita.

Se obtuvo una planilla por cada una de las ocho colmenas en las cinco visitas, totalizando 40 planillas.

Las planillas están compuestas por cuatro bloques de información titulados: características generales, características externas, características internas y características de sanidad.

Las planillas, en su primer bloque de características generales, contemplan la información básica sobre la colmena que la identifica (número de colmena y estructura) y sobre el acto de observación (fecha, hora y el nombre del investigador que completa la planilla).

Este bloque de la planilla resultó ser útil. El registro del estado estructural de la colmena comprobó los cambios que se habían realizado para el mantenimiento apícola, que no habían sido registrados en otro lugar.

Así, las colmenas uno, dos, siete y ocho tuvieron en su estructura media alza. Esta modificación en la estructura, agregando espacio, influyó en la cantidad de néctar/miel almacenado, la circulación del aire en el interior de la cámara de cría y el entorno de los sensores de recolección automática, siendo alterado.

En el segundo bloque de las planillas que registra características externas, se registró la presencia/ausencia de abejas muertas, olor, movimiento de piquera (alto, medio, bajo), movimiento de zánganos y entrada de polen.

Resultaron ser registro de hechos e indicadores de la actividad biológica, que dependieron directamente del horario y de las condiciones meteorológicas de la fecha.

En el tercer bloque, sobre las características internas de la colmena, se registró el número de calles ocupadas, la presencia de un nido de cría compacto, una evaluación primaria del estado de la colmena (fuerte, media o baja), la raza y la presencia de cría, celdas reales, miel y polen. Se lograron registrar estas características. Sin embargo, este bloque de la planilla resultó ser secundario porque arrojó información que se obtuvo con mejor precisión en el registro fotográfico, abandonándose el uso de este bloque.

Se observó que una característica importante de este bloque fue el registro de la presencia de celdas reales. Obtener en la planilla el detalle de la posición de la celda real y/o si la misma era de emergencia hubiera sido importante.

En el cuarto bloque de la planilla sobre sanidad se buscó registrar la presencia de alguna enfermedad. Se logró tener registro de la ausencia de

enfermedades en el período de estudio. Se observó la utilidad de añadir si tienen algún manejo especial.

Globalmente, la metodología de evaluar colmenas con uso de planilla en investigaciones permitió rápidamente tener una caracterización general y un registro de la situación de todas las colmenas.

En este trabajo la mayoría de las características evaluadas en los bloques también fueron registradas en las capturas fotográficas. De este modo, se decidió no procesar las planillas.

En general, la planilla podría ser reformulada. Podría agregarse un bloque de notas para las características que son puntuales, como ser la presencia de abejas muertas u olor. En lo que refiere al bloque de las características internas, resulta apropiado detallar a nivel de cuadro la presencia o ausencia, el porcentaje aproximado de ocupación y la posición de las celdas reales. El bloque de sanidad podría tener un área para medidas de manejo o análisis de gabinete con muestras.

#### 4.1.2. Evaluación del registro fotográfico del uso de la cámara de cría

Con las fotografías se buscó tener un registro del uso de la cámara de cría de todas las colmenas, considerando tres usos principales: miel/néctar, cría y polen.

Se logró obtener un registro completo. La metodología fue eficaz, permitiendo realizar el registro de campo de cada colmena en 15 minutos. El procesamiento en gabinete usando el programa ImageJ® demandó mucho tiempo, pero fue preciso.

##### 4.1.2.1. Evaluación de la metodología de obtención de fotos

En el trabajo de campo se obtuvo una fotografía por cada cara de los diez cuadros de la cámara de cría de cada colmena, totalizando 20 fotos por colmena en cada visita. Como fueron ocho colmenas visitadas en cinco oportunidades se recopilaron 160 fotos por visita, un total en las cinco visitas de 800 fotografías.

La metodología de obtención de fotos de la cámara de cría resultó ser exitosa por la fluidez y la calidad de los resultados. El tiempo para realizar la inspección, que incluyó la apertura, la sesión de fotos y el cierre de la colmena, fue de 15 minutos por colmena. Se necesitaron mínimo tres personas para

realizar las tareas de ahumar, llenar planillas, aflojar y sacudir los cuadros, colocarlos en el trípode, tomarles las fotos y devolverlos a la cámara de cría.

Una fortaleza en la metodología de trabajo fue el uso del trípode de elaboración propia, sencillo de utilizar y transportar, que permitió tomar las fotografías siempre a una misma distancia y enfoque. La presencia de porta cuadro reversible concedió una mayor eficacia en el uso del tiempo.

Las fotografías presentaban un grado de nitidez aceptable. Posteriormente, se calcularon todas las áreas de interés de forma ágil usando los criterios preestablecidos.

La metodología para obtener las fotografías fue muy buena. El tiempo que demandó no perturbó demasiado la colmena. Sin embargo, la técnica de sacudir los cuadros, usada para quitar las abejas que impedían la captura de fotos, necesita modificación. Aparentemente, la perturbación de la colonia pudo ser menor al usar un cepillo.

Las fotografías no permitieron distinguir los diferentes estadios en el ciclo de desarrollo de la cría. Si el objetivo de la investigación implicara tener conocimiento de las diferentes fracciones de cría (huevos, larva, cría abierta, cría operculada), se recomienda una mejor calidad de las fotos, aumentando los pixeles de la cámara fotográfica.

Como ya son conocidas, las duraciones de los ciclos de desarrollo de la población de la colonia son de 16 días para la abeja reina, 21 días en la abeja obrera y 24 días en los zánganos. De esta forma, realizar inspecciones siguiendo el teorema de NyQuist, podría permitir un seguimiento diferente.

#### 4.1.2.2. Evaluación de la metodología de procesamiento de las fotografías

En gabinete el procesamiento de cada fotografía con ImageJ® fue realizado por tres personas. Se evaluó el impacto de los investigadores y se obtuvo una base de datos que resultó del promedio de sus cálculos. Son las áreas en cm<sup>2</sup> de miel/néctar, polen y cría total.

La metodología de procesamiento en el gabinete de las fotos de la cámara de cría realizadas para cuantificar el área ocupada por los distintos usos resultó ser eficiente, precisa y sencilla.

Se evaluó la metodología de procesamiento de gabinete para ver si era consistente entre investigadores. Aunque se fijaron con antecendencia los

critérios de inclusión de celdas en las distintas áreas, pudo haber diferencias de interpretación. Por eso, se analizó de manera analítica la variación entre investigadores.

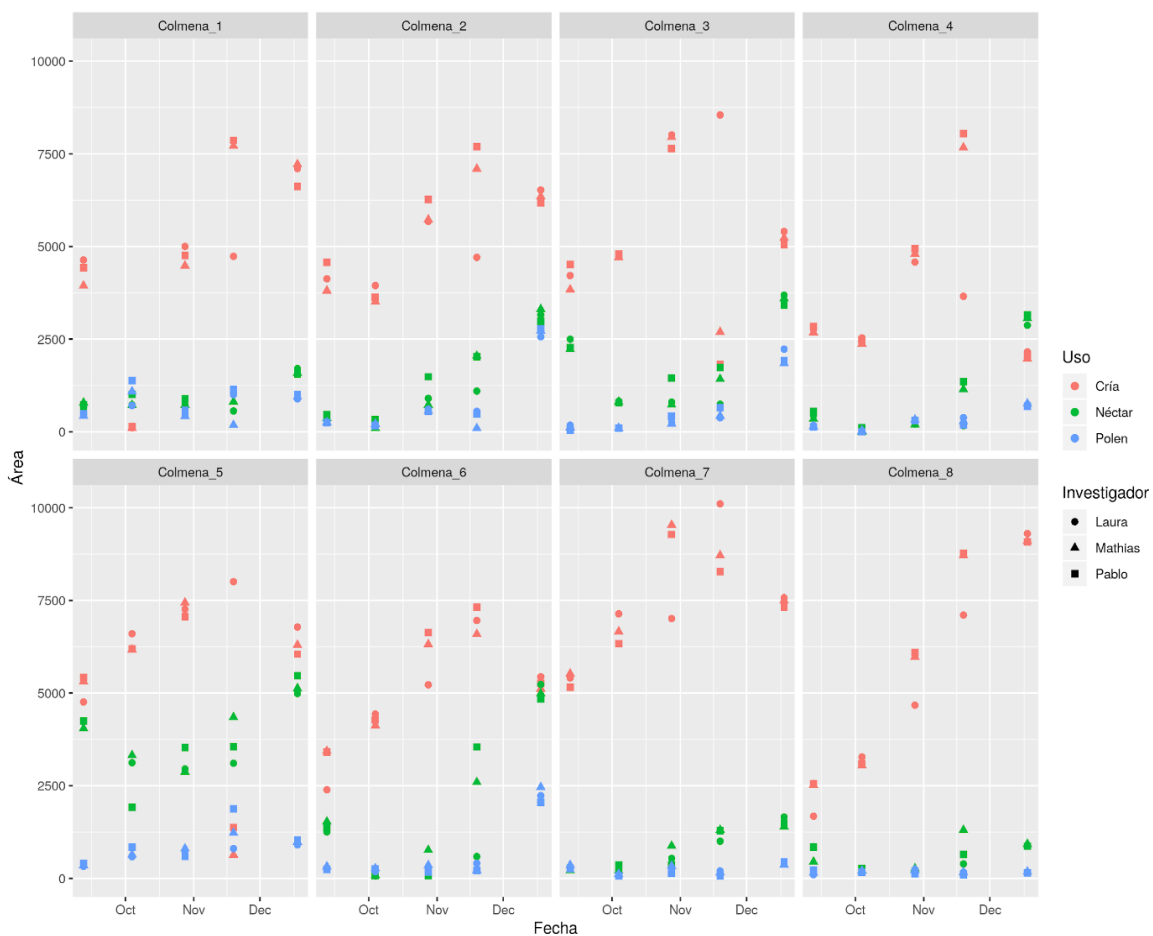


Figura No. 14. Áreas de cría, miel/néctar y polen para tres investigadores por fecha y colmena

La Figura No. 14 presenta las mediciones de uso de las cámaras de cría de las ocho colmenas estudiadas en cinco fechas. Los diferentes colores rojo, verde y azul son las áreas de los distintos usos de la cámara de cría: cría, néctar/miel y polen respectivamente. El área está en  $\text{cm}^2$  y cada colmena tiene un total potencial teórico de  $17.200 \text{ cm}^2$ . Debido a que cada cara de cuadro tiene  $860 \text{ cm}^2$  ( $43 \text{ cm}$  de largo por  $20 \text{ cm}$  de ancho), como son 20 caras totaliza

17.200cm<sup>2</sup>. Para cada uso del panal hay tres mediciones, una por investigador, representadas por tres formas geométricas (círculo, triángulo y cuadrado).

Aunque los datos cambiaron por tipo de uso, por colmena y por fecha, fueron consistentes entre investigadores. Por ejemplo, en colmena uno para la fecha tres, en el uso de polen se constató poca diferencia entre los tres investigadores.

Como los criterios para delimitar las áreas de usos son subjetivos y se observó una diferencia mayor entre investigadores en la cuarta fecha, se usaron estos datos para evaluar si hubo impactos significativos en la estimación de las áreas de uso de la cámara de cría. Se realizó así, una evaluación estadística.

Se hicieron tres análisis de varianza (ANOVA), cada investigador por fecha, el investigador con respecto a las colmenas y entre investigadores; no se pudo afirmar la existencia de diferencias significativas entre los valores de las áreas calculadas por los investigadores en cada fecha ni por colmena ni entre ellos.

Igualmente se rehicieron dos mediciones realizadas por un investigador, que tenía valores de áreas notoriamente diferentes y se obtuvo una base de datos corregidos, que se usan para los siguientes análisis.

Con la base de datos corregidos y concluyendo que el investigador no tenía impacto significativo sobre los resultados, se decidió tomar, para cada colmena, fecha y uso, el promedio de los valores de los tres investigadores. Todos los análisis posteriores usaron este único valor promedio.

La metodología en gabinete del procesamiento de las fotos de los cuadros de la cámara de cría fue eficiente para la investigación. Se observó similitud entre los investigadores.

En el futuro, sería mejor el uso de un procesamiento inteligente artificial de fotografías, programas exclusivos para identificar áreas con características semejantes, acompañados de una cámara que aporte fotografías de mejor calidad. Esto permitiría obtener el detalle del estado de desarrollo de la cría abierta que puede ser útil para otras investigaciones, menos subjetivas y más precisas.

Actualmente existe Beestyle software disponible en [cyency.com](http://cyency.com) que cumple esa función y está desarrollado para trabajar con colmenas.

#### 4.1.3. Evaluación de la metodología para registro de temperatura con sensores electrónicos

La metodología de medición de temperatura resultó eficiente para tener un registro de temperatura con sensores de fácil colocación y manipulación.

Con el uso de sensores electrónicos en las rejillas excluidoras de las ocho colmenas, se obtuvo una base de datos que incluyó las mediciones de la temperatura interna de la cámara de cría aportada por los nueve sensores individuales. Con los sensores electrónicos colocados en el exterior de la colmena se buscó tener un registro de la temperatura exterior.

Se logró una base de datos de temperatura interior y de temperatura exterior. En el período de estudio existieron intervalos de tiempo sin registros por múltiples causas: agotamiento de batería, desconexión de circuitos, caída de corriente. De todos modos, el registro automático permitió obtener una gran base de datos.

En un trabajo futuro se deberá considerar que la ubicación de los sensores en las rejillas excluidoras implica que las rejillas estén presentes durante toda la temporada de crecimiento de la colonia, influyendo en la enjambrazón por falta de espacio. Sería más adecuada la ubicación de los sensores en otra parte de la estructura de la colmena.

## 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se analizaron los resultados obtenidos por el trabajo de campo, las áreas de uso de las cámaras de cría y los registros de temperaturas exteriores e interiores de las colmenas. Estos análisis tienen carácter exploratorio por ser un trabajo inicial sin réplicas. Existen pocos antecedentes en la misma línea de experimentación.

Se estudiaron los promedios de las áreas de distintos usos de la cámara de cría. Se mostraron las ocho colmenas y sus usos en néctar/miel, polen y cría. Se discutieron los resultados mostrando énfasis cuando las áreas de cría alcanzaron bajos valores.

Con los datos de temperatura obtenidos en tres días, se realizó como ejemplo, un análisis exploratorio de la temperatura interior y exterior de las colmenas.



Con los registros de temperatura exterior se hizo un análisis de correlación entre los datos aportados por las cinco computadoras registradoras. Con los datos de las temperaturas de los sensores ubicados en las rejillas excluidoras se elaboró un análisis de varianza (ANOVA) usando los sensores individualmente.

#### 4.2.1. Análisis de los usos en la cámara de cría

En la Figura No. 15 se representa con un gráfico para cada colmena el área de cría, miel o néctar y polen en el transcurso de las cinco visitas.

Los puntos representan la cantidad de cm<sup>2</sup> para cada uno de los usos (cría, miel/néctar y polen) que se detectaron en cada una de las visitas. El total se calculó como la suma de los cm<sup>2</sup> de cada uno de ellos.

El promedio de las observaciones se presenta en puntos. Las interpolaciones lineales entre los puntos se muestran para permitir la visualización, no debe considerarse como evolución del comportamiento de las colmenas.

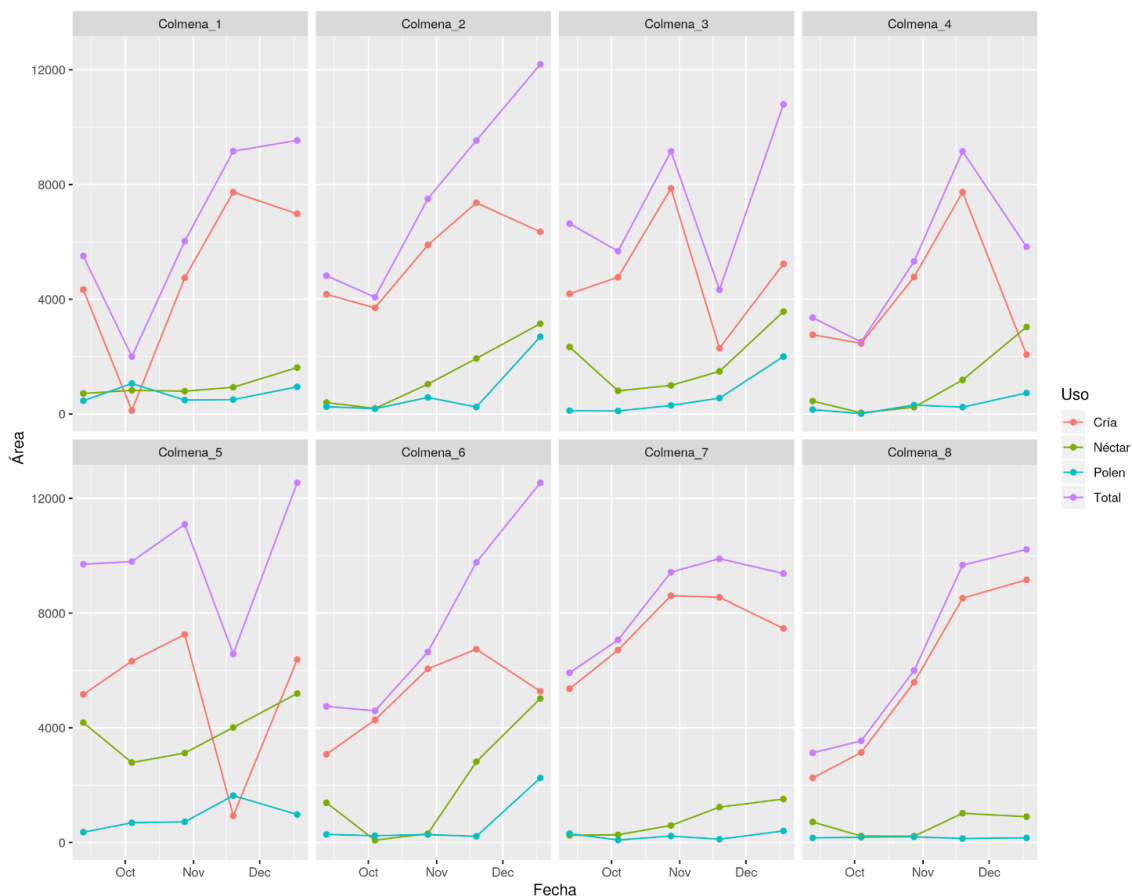


Figura No. 15. Áreas de cría, miel/néctar y polen por fecha para las ocho colmenas

Cada colmena tiene un área potencial teórica de uso de 17.200 cm<sup>2</sup>. En las observaciones registradas el área efectiva utilizada se encontró en el rango de 2.000 cm<sup>2</sup> (colmena uno en la segunda visita) a 12.500 cm<sup>2</sup> (colmena cinco en la quinta visita). En ningún caso se superó el 74% del área potencial teórica de uso.

Al inicio de la investigación las colmenas mostraron diferencias en el área total en uso y diferencias intra-usos. El Cuadro No. 6 muestra, para el inicio del experimento, el porcentaje de área práctica (área utilizada sobre capacidad teórica de uso de la colmena) y el porcentaje por tipo de uso. Pudo apreciarse que la colmena cinco registró el mayor porcentaje de uso (57%), 25% correspondió a miel/néctar, 2% a polen y el restante 30% a cría.

Cuadro No. 6. Áreas de uso practica y tipo de uso en porcentaje para la primera visita

Colmena	Área práctica (%)	Miel/néctar (%)	Polen (%)	Cría (%)
1	32,39	4,2	2,7	25,49
2	28,35	2,32	1,49	24,53
3	39,04	13,73	0,67	24,64
4	19,75	2,63	0,88	16,24
5	57,08	24,58	2,12	30,38
6	27,91	8,15	1,65	18,1
7	34,81	1,47	1,81	31,53
8	18,38	4,2	0,94	13,25

En la mayoría de las observaciones el uso que ocupó mayor área fue cría, seguido por miel/néctar y polen.

El área ocupada por miel/néctar fue subestimada porque la mitad de las colmenas presentaron media alza. Estos cuadros no fueron evaluados y solo podían contener miel/néctar, porque la rejilla excluidora impidió el pasaje de la abeja reina. Como consecuencia, los cuadros de la media alza no tuvieron postura de huevos, evitando la presencia de cría. Este factor condiciona las conclusiones del experimento porque influyó directamente en los valores de las áreas de uso.

El área de polen varió según la presencia de cría. Hubo una oferta constante de polen para la colmena, se almacenó y consumió a la misma velocidad. Se observa, por ejemplo, que para la colmena uno estuvo entre valores de 3 a 6 cm<sup>2</sup> y en la colmena cinco de 2 a 6 cm<sup>2</sup>. Los registros más altos en la última visita coincidieron con el aumento de la floración y la oferta de polen en la zona. En las colmenas que enjambraron, disminuyó la postura y al no haber consumo de polen, el valor de polen acumulado mostró valores crecientes.

La evolución del área de cría en el tiempo muestra que existe una tendencia en común entre las ocho colmenas. Todas terminaron con mayores áreas de cría de la que tenían al inicio de la fase de desarrollo. También, después de registrarse un uso de aproximadamente 7.500 cm<sup>2</sup> se observó una disminución del área destinada a este uso.

Siete de las colmenas presentaron disminución en el área de cría entre dos fechas sucesivas. El fenómeno merece una evaluación por tratarse de un acontecimiento inesperado y no deseado para la mayoría de los apicultores. Una disminución en la cría resulta en una menor producción de los componentes comercializables de las colonias.

Las colmenas uno, tres, cuatro y cinco presentaron bajas notorias en el área de cría en el período de estudio. La cría presentó disminuciones en el orden de 6.000cm<sup>2</sup> de una visita a otra. Esto es explicado por diferentes acontecimientos.

En la colmena uno, el área de cría disminuyó en la segunda fecha. La presencia de una celda real de emergencia en el centro del nido de cría mostró que la causa fue la muerte de la abeja reina en la primera manipulación de la colmena. Como consecuencia se vio poca postura de huevos, ausencia de estadio larvales y bajo nivel de cría operculada (Figura No. 16).



Figura No. 16. Cuadro con cría en fecha uno y cuadro sin cría en fecha dos para la colmena uno

En la tercer, cuarta y quinta colmena la disminución fue consecuencia de enjambres. Porque el área efectiva utilizada de la cámara de cría estuvo ocupada mayoritariamente por huevos y larvas en diferentes estadios. La presencia de celdas reales en los bordes de la colonia es típico de una enjambrazón por falta de espacio. La quinta colmena, en la tercera fecha de inspección, fue la única en la que se predecía un enjambre. Se evidenció el desarrollo de una abeja reina, presentando una celda con jalea real (Figura No. 17).

Entre ellas la cuarta colmena es la que enjambró por último (disminución de cría en la quinta fecha) y es la que tuvo menor área efectiva ocupada por cría al comenzar el período de forrajeo.



Figura No. 17. Cuadro con cría en fecha tres y cuadro sin cría y con celda real en fecha cuatro para la colmena cinco

La segunda, sexta y séptima colmena presentaron una disminución en el área de cría cercana a 1.000 cm<sup>2</sup> entre la cuarta y la quinta fecha. No se vinculó a fenómenos de enjambrazón por falta de evidencias. Sin embargo, la séptima colmena, entre la tercer y cuarta fecha, mantuvo el área de cría y tuvo una sustitución de la abeja reina. Se observó en la cuarta fecha, en la inspección una celda real posicionada en la parte central de un cuadro y postura de zánganos. La posición central de la celda real es característico de la formación de una reina por envejecimiento de la anterior y no por falta de espacio.

La octava colmena registró un aumento progresivo del área de cría durante todo el período de estudio.

Finalmente, no es posible establecer una relación entre las áreas de uso. Los valores de los usos de miel-néctar, polen y cría varían según la colmena. En ningún caso se superó el 74% del área potencial teórica de uso, para hacer el análisis más preciso se podría haber calculado el área total de panal.

Luego de registrarse un uso aproximado de 7.500 cm<sup>2</sup> en cría, con el uso de rejilla excluidora sobre la cámara de cría, hubo una disminución del área destinada a este uso en todas las colmenas.

#### 4.2.2. Resultados de los datos de temperatura exterior

La serie de registros de temperatura exterior, que se realizaron con cinco computadoras registradoras, presentaron en algunos momentos, ausencia de registro de temperatura. Con el análisis de correlación de estos datos se construyó un registro continuo de temperatura exterior integrando datos de computadoras registradoras distintas.

La Figura No. 18 presenta las correlaciones entre los datos obtenidos por las cinco computadoras registradoras. Dos computadoras que se ubicaron dentro del galpón y tres dentro de cámaras de cría en desuso, justo por detrás de las colmenas.

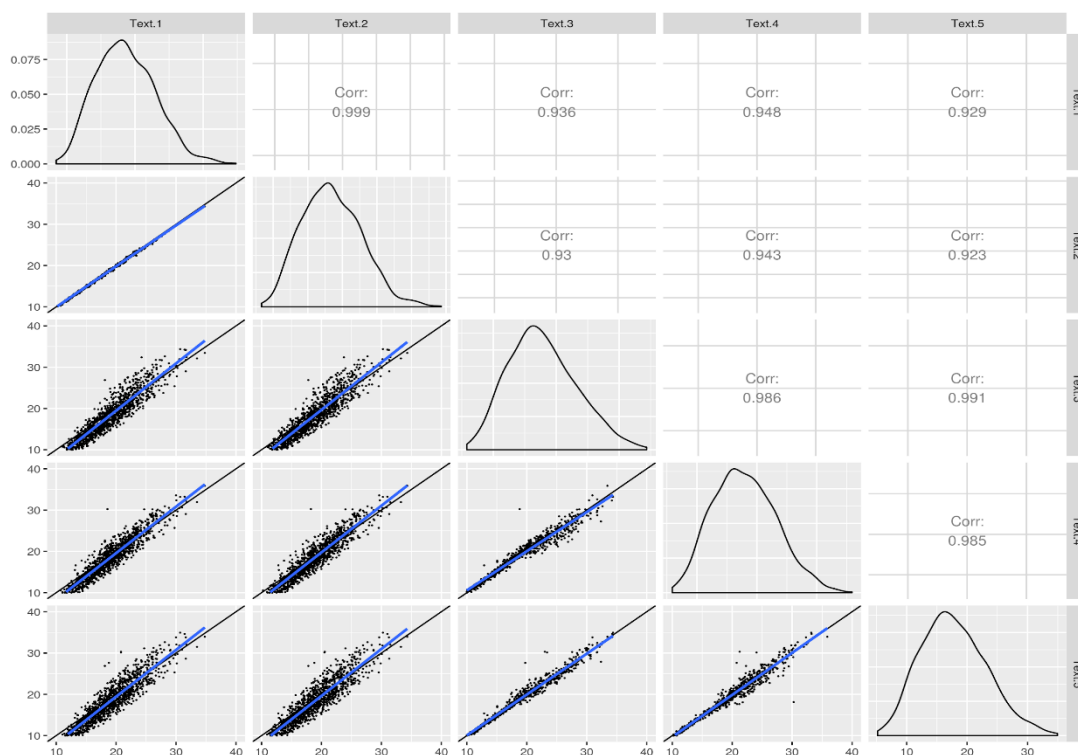


Figura No. 18. Correlación entre los registros de las computadoras registradoras

Todas las temperaturas exteriores registradas presentaron una alta correlación entre ellas (superior a 0.9).

Las temperaturas en grados Celsius están comprendidas entre 0 y 40. Text1, es el nombre del registro de datos que se obtuvo para la temperatura exterior asociado a la colmena uno, Text2 a la colmena dos, Text3 a las colmenas tres y cuatro, Text4 a las colmenas cinco y seis, mientras que Text5 a las colmenas siete y ocho.

En la Figura No. 18 se diferencian tres grupos de correlaciones: el primer grupo incluye los registros de datos de Text1 y Text 2 que presentan la mayor correlación. Se encontraron una al lado de la otra, dentro de la instalación de un galpón en condiciones muy similares.

El segundo grupo correlaciona los datos entre Text1 o Text2 con los registros de Text3, Text4 o Text5. Presentaron elevadas correlaciones, pero inferiores a las correlaciones del primer grupo. Se debió a que Text3, Text4 y Text5 se encontraron a 100 metros de distancia de las Text1 y Text2 y en condiciones físicas diferentes.

El tercer grupo correlaciona los registros de Text3, Text4 y Text5 que estuvieron en condiciones exteriores similares, en cajones a 20 metros de distancia, dando elevadas correlaciones.

Considerando las altas correlaciones existentes entre los datos de las computadoras registradoras de temperatura exterior, se decidió el uso indiferente de ellas para conseguir un registro continuo. Sin embargo, se eligió usar los valores que no eran dentro del galpón.

Para la elaboración del registro continuo de temperatura exterior se partió de los registros de Text3. Los registros vacíos se completaron con datos de Text4. Para aquellos registros que continuaron sin información aún con los datos de Text4, se utilizó la información de Text5.

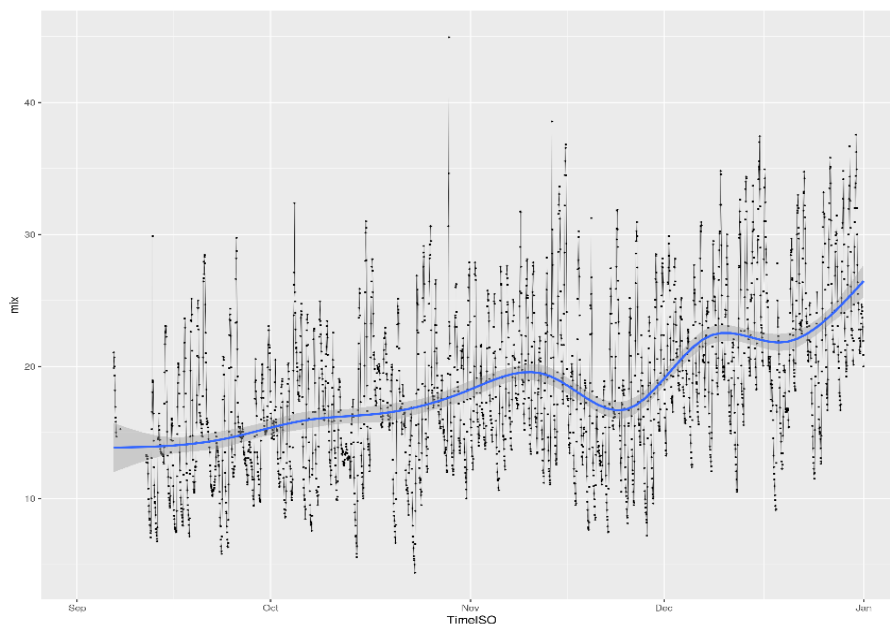


Figura No. 19. Registro de temperatura externa

La Figura No. 19 muestra para el período de estudio desde mediados de setiembre a fines de diciembre la tendencia de las temperaturas externas en grados Celsius. Las temperaturas aumentan desde 14 °C promedio a 27°C. En

una futura investigación se podrían utilizar los valores de solo una computadora registradora.

#### 4.2.3. Resultados de los datos de temperatura interior de la colmena

Se realizó el análisis de los registros de temperatura por sensor para evaluar su desempeño como herramienta para medir la temperatura del interior de la colmena, más precisamente del nido de cría.

Se construyó un diagrama de caja con los datos de la temperatura interior por sensor, comparándolos individualmente. Con el análisis de la temperatura interior de la colmena se buscó determinar la existencia de diferencias significativas entre los sensores.

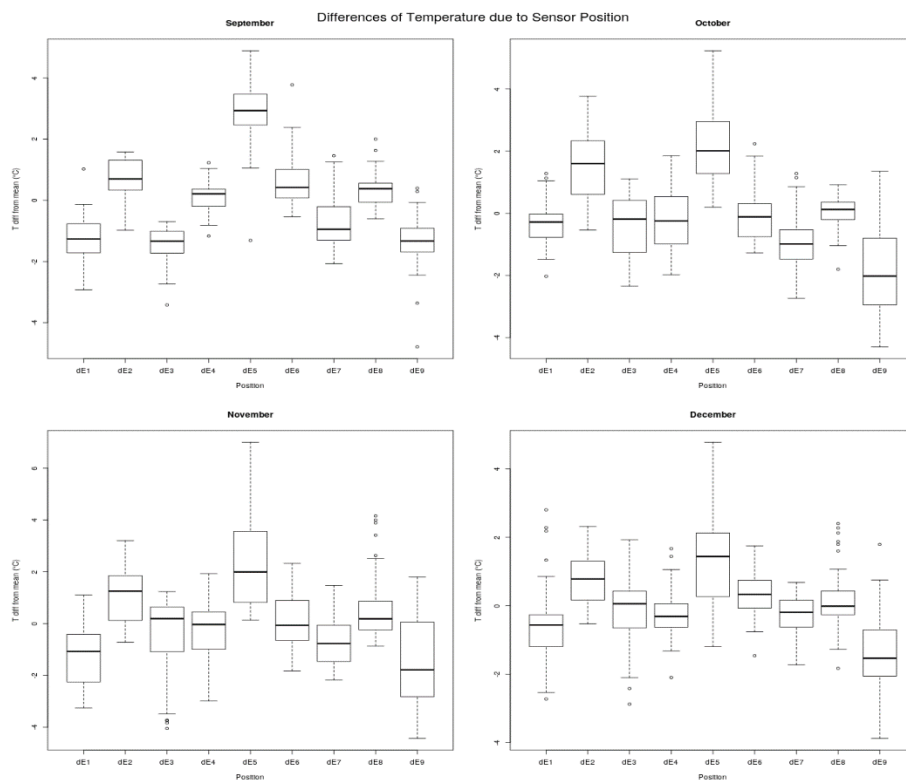


Figura No. 20. Diferencias de temperatura debido a la posición del sensor

El Figura No. 20 está compuesto por cuatro sub gráficos, uno por mes (setiembre, octubre, noviembre y diciembre). En cada sub gráfico, para cada uno de los nueve sensores (dE1, dE2..., dE9), se tomó al azar una muestra de



40 datos mensuales y se graficó la distribución de la muestra respecto a la media de todas las observaciones de la muestra.

Se observa, visto el traslape de las cajas, que no existen diferencias significativas entre los valores de los sensores. Sin embargo, el sensor número cinco, que se posiciona en el centro de la rejilla excluidora, registró valores levemente mayores de temperatura que el resto de los sensores. Esta observación se registró en todos los meses. El sensor dos presentó un comportamiento similar al cinco, pero con registros de temperatura levemente inferiores. Si se agrupan los sensores de la colmena en: Este (tres, cuatro, nueve), centrales (dos, cinco, ocho) y Oeste (uno, seis, siete), el grupo posicionado en el eje central siempre registra las más elevadas temperaturas (aunque no de manera significativa).

Finalmente, no existieron diferencias significativas entre los sensores para determinar la temperatura del nido de cría de la colmena. Un solo sensor fue suficiente para conseguir una medida representativa de la temperatura interior de la colmena. La posición del sensor en la rejilla excluidora no fue determinante. El centro alojó las temperaturas más elevadas, indicador de la presencia de cría.

#### 4.2.4. Análisis de temperatura interior y exterior con datos de ejemplo

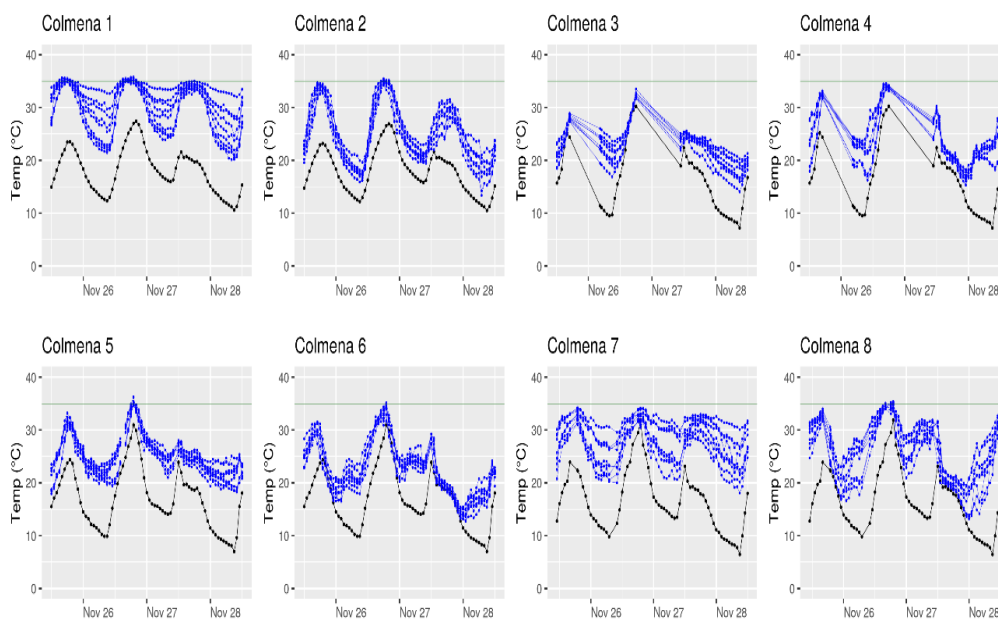


Figura No. 21. Temperatura exterior e interior de los nueve sensores para las ocho colmenas entre el 25/11 y el 28/11

La Figura No. 21 muestra para el período del 25 de noviembre al 28 de noviembre (2017-11-25T12:00:00 a 2017-11-28T12:00:00) los datos obtenidos por los sensores de temperatura. Son la temperatura interior y exterior de las ocho colmenas medida en grados Celsius (rango entre 0 y 40). En azul se graficaron las temperaturas interiores registradas por los nueve sensores individuales y en negro la temperatura exterior obtenida de la computadora registradora asociada a la colmena. Los registros de temperatura se vieron interrumpidos en las colmenas tres y cuatro. La línea verde a los 35°C representa la temperatura ideal del nido de cría, que se midió en otras instancias y es estable en el tiempo.

La Figura No. 21 muestra que los sensores arrojaron datos similares, que se posicionan con valores entre los registrados en el exterior (Text) y la temperatura ideal del nido de cría, oscilando de forma similar la temperatura interior con la exterior.

Las temperaturas en estas 72 horas fueron las habituales para esta época del año.

Todos los días la temperatura interior alcanzó valores cercanos a 35°C durante el horario vespertino, disminuyó hacia la noche y retornó su tendencia al alza en la mañana. Colmenas como la uno, presentó variación de temperatura interna de 5°C entre el día y la noche. Mientras que, en otros casos, como la colmena número siete la temperatura interior varió 15°C.

La temperatura interior de la colmena siempre registró valores superiores a la temperatura exterior.

Las temperaturas interior y exterior mostraron una tendencia similar. Presentaron los valores máximos y mínimos de temperaturas en el mismo horario. Sin embargo, el rango en °C de fluctuación de la temperatura interior fue menor al de temperatura exterior. Por ejemplo, para el caso de la colmena tres la temperatura exterior estuvo entre 10°C y 30°C (rango de 20°C), mientras que la interior entre 18°C y 33°C (15°C).

Colmenas con diferencias significativas en áreas de cría presentaron comportamiento similar en valores de temperatura. Las áreas de cría calculadas para la cuarta fecha (19 de noviembre), indican que las colmenas uno, dos, cuatro, seis, siete y ocho presentaron sus mayores valores. Y las colmenas tres y cinco presentaron áreas de cría con valores menores a la mitad de las anteriores. Sin embargo, todas ellas tuvieron temperaturas similares. Entonces,

este registro de temperatura interna y externa no permitió predecir una mayor o menor área de cría.

Durante la tarde cuando la mayoría de la población de abejas estaba forrajeando, se registraron las mayores temperaturas. La sincronidad de los ciclos de temperatura interna y externa permite considerar que las temperaturas interiores a la colmena dependen más de las condiciones exteriores que de la cantidad de cría existente.

## 5. CONCLUSIONES

Esta investigación sobre el uso de sensores de temperatura para monitoreo de colmenas *Apis mellifera* L. demostró que, si bien la metodología y tecnología empleada tienen potencial, solo aportan la presencia-ausencia de cría.

La metodología de campo usada, las computadoras registradoras de temperatura y el procesamiento de fotos permitieron obtener una base de datos de temperatura y las áreas de cría y reservas (miel/néctar). El análisis de la temperatura interior y las áreas no permitieron a la investigación anticipar fenómenos biológicos.

Entre los componentes internos de la colonia (cría, miel-néctar y polen) no se logró establecer una relación. Estos componentes ocuparon como máximo el 74% del área potencial teórica de uso. En las colmenas existió una tendencia en común a terminar con mayores áreas de cría de la que tenían al inicio de la fase de desarrollo. Después de las colmenas registrar un uso de aproximadamente 7.500 cm<sup>2</sup> se observó una disminución del área destinada a la cría.

Las computadoras registradoras de temperatura interior mostraron que no existen diferencias significativas entre los sensores ubicados en la rejilla excluidora, si bien los sensores centrales registraron valores levemente superiores. Un sensor fue suficiente para conseguir una medida representativa de la temperatura interior de la colmena. Siendo indiferente la ubicación del sensor de temperatura sobre la rejilla.

Finalmente, la relación entre temperatura y área de cría registrada no permitió predecir el tamaño del nido de cría. Colmenas con diferencias significativas en áreas de cría presentaron comportamiento similar en valores de temperatura. Entonces, este registro de temperatura interna no permite predecir una mayor o menor área de cría.

Se sugiere para futuras investigaciones buscar una solución a la dificultad de presentar períodos sin datos de temperatura, considerar el uso o no de medias alzas y su registro fotográfico, realizar el trabajo en un lapso de un año para abarcar todas las fases de la colonia y que los monitoreos sean más frecuentes. En cuanto a los sensores, evaluar su ubicación en otros componentes de la colmena y sobre las fotografías la posibilidad de utilizar procesamiento inteligente de fotos. Para el desarrollo local del monitoreo remoto, trabajar conjuntamente otros factores como peso, entrada/salida de abejas y recolección de polen pueden ser de gran utilidad.

## 6. RESUMEN

La apicultura en Uruguay comenzó a desarrollarse en 1834 con la introducción de la primer colmena de *Apis mellifera* L.. Actualmente están registradas aproximadamente 560.000 colmenas distribuidas en todo el país, manejadas por unos 2.600 apicultores. En los últimos años el rubro apícola atraviesa por una compleja problemática, en temas de comercialización, mercados, manejo de enfermedades y productividad. La sostenibilidad de esta actividad productiva demanda la incorporación de tecnología que permita aumentar la eficiencia del trabajo. La presente investigación consistió en evaluar el uso de sensores de temperatura colocados sobre el nido de cría para la estimación de los tres principales usos de la cámara de cría. Se instalaron nueve sensores de temperatura en rejillas excluidoras de reinas de ocho colmenas Langstroth. Los sensores fueron conectados a computadoras registradoras que guardaron los valores de temperatura a cada hora, durante el período de investigación. Se inspeccionaron las colmenas en cinco visitas, realizándose un registro fotográfico completo de la cámara de cría. Un procesamiento posterior permitió determinar las áreas destinadas a las reservas de miel, néctar, polen y la cría. La investigación demostró que la metodología y tecnología empleada tienen potencial, pero no aportan mayores datos que la presencia o ausencia de cría. No se logró establecer una relación predictiva entre el registro de temperatura y los usos de la cámara de cría. Un solo sensor sería suficiente para conseguir una medida representativa de la temperatura interior de la colmena y determinar presencia o ausencia de cría. La ubicación del sensor es indiferente, pero colocarlo en el centro parece preferible.

Palabras clave: Apicultura; Abeja; *Apis mellifera* L.; Tecnología; Temperatura; Sensores; Cría.

## 7. SUMMARY

Apiculture begins in Uruguay in 1834 with the introduction of the first colonies of *Apis Mellifera* L. bees. Today, around 560,000 colonies are registered country-wide, maintained by about 2,600 apiculturists. The last years have been difficult for apiculture in the areas of commercialization, marketing, health, and productivity. Sustaining this activity will require incorporating technology to raise the productivity this work. This investigation evaluated the use of temperature sensors placed above the brood nest for the estimation of the three principle uses of the nest: energy storage, protein storage, and brood rearing. Nine sensors were installed on the screens of queen excluders and placed in eight Langstroth type beehives. The sensors were connected to data logging computers which saved the temperature measurements each hour during the period of the study. The hives were inspected on five occasions, including in each a full photographic register of the brood nest. Later processing permitted measuring the area used for storage of nectar and honey, for deposits of pollen, and for brood. This investigation demonstrated that the methodology and technology used have potential, but, in this form, do not yield more information than the simple presence or absence of brood. We were unable to establish any predictive relation between the temperature measurements and the uses of the brood nest. A single sensor would be sufficient to obtain a representative measure of the interior temperature of the beehive and determine the presence or absence of brood. The exact location of that sensor on the queen excluder would not seem to matter, although a central placement seems preferable.

Key words: Apiculture; Bee; *Apis mellifera* L.; Technology; Temperature; Sensors; Brood.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. AFSSA (Agence Francaise de Sécurité Sanitaire des Aliments, FR). 2009. Mortalités, effondrements et affaiblissements des colonies d'abeilles. (en línea). París. pp. 26-28. Consultado abr. 2009. Disponible en <https://www.anses.fr/en/system/files/SANT-Ra-MortaliteAbeillesEN.pdf>
2. Besoura, J. 2017. Colmena y porta núcleo tipo Langstroth. Lima, UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina). 21 p.
3. Campbell, J.; Mummert, L.; Sukthankar, R. 2008. Video monitoring of honeybee colonies at the hive entrance. *Visual Observation and Analysis of Animal and Insect Behavior*. 8:1-4.
4. Cordara, J. J. 2007. La historia de la apicultura en el Uruguay. Montevideo, UDE. Facultad de Ciencias Agrarias. 94 p.
5. Dunham, W. 1931. Hive temperatures for each hour of a day. *Ohio Journal of Science*. 31(3):181-188.
6. Edwards-Murphy, F.; Magno, M.; Whelan, P. M.; O'Halloran, J.; Popovici, E. M. 2016. b+WSN: Smart beehive with preliminary decision tree analysis for agriculture and honeybee health monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*. 124:211-219.
7. Esch, H. 1967. The sounds produced by swarming honeybees. *Zeitschrift Fur Vergleichende Physiologie*. 56:408-411.
8. Eskov, E. K.; Toboev, V. A. 2010. Analysis of statistically homogeneous fragments of acoustic noises generated by insect colonies. *Biophysics*. 55:92-103.
9. Evans, J. D.; Spivak, M. 2010. Socialized medicine: Individual and communal disease barriers in honeybees. *Journal of Invertebrate Pathology*. 103:62-72.
10. Ferrari, S.; Silva, M.; Guarino, M.; Berckmans, D. 2008. Monitoring of swarming sounds in beehives for early detection of the swarming period. *Computers and Electronics in Agriculture*. 64:72-77.
11. Fierro, W.; Ferenczi, R.; Mastandrea, R.; Díaz, R.; Toscano, H.; Bedascarrasbure, E.; Maldonado, L.; Caporgno, J.; Álvarez, A. 2003.

Guía de buenas prácticas de manejo de miel. Montevideo, PREDEG. 28 p.

12. Gallo, D.; Nakano, O.; Silveira Neto, S.; Carvalho, R. P. L.; Baptista, G. C. de; Berti Filho, E.; Parra, J. R.; Zucchi, R. A.; Alves, S. B.; Vendramim, J. D.; Marchini, L. C.; Lopes, J. R. S.; Omoto, C. 2002. Entomología agrícola. Piracicaba, FEALQ. s.p.
13. Keller, I.; Fluri, P.; Imdorf, A. 2005. Pollen nutrition and colony development in honeybees: part I. *Bee World*. 86:3-10.
14. Kilani, M. 1999. Biology of the honeybee. *Options Méditerranéennes. Série B Etudes et Recherches*. no. 25:9-24.
15. Konya, L. 2007. Beehive for monitoring small hive beetle infestation and method for preventing swarming. (en línea). *Wipo*. 22:11-14. Consultado 22 jul. 2018. Disponible en <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2007102035>
16. Kridi, D. S.; de Carvalho, C. G. N.; Gomes, D. G. 2014. A predictive algorithm for mitigate swarming bees through proactive monitoring via wireless sensor networks. In: *ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad hoc, Sensor and Ubiquitous Networks (11<sup>th</sup>, 2014, Montreal, Canadá)*. Proceedings. New York, USA, Association for Computing Machinery. pp. 41-47.
17. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 2016. Application of wireless sensor networks for beehive monitoring and in-hive thermal patterns detection. *Computers and Electronics in Agriculture*. 127:221-235.
18. Linton, F. 2012. Hive monitoring technology: high tech hives. *American Bee Journal*. 152(8):767-769.
19. Liu, C.; Leonard, J. J.; Feddes, J. J. 1990. Automated monitoring of flight activity at a beehive entrance using infrared light sensors. *Journal of Apicultural Research*. 29:20-27.
20. McBratney, A.; Whelan, B.; Ancev, T.; Bouma, J. 2005. Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*. 6:7-23.
21. McCutcheon, D. 1984. Indoor wintering of hives. *Bee World*. 1:19-37.



22. Meikle, W.; Rector, B.; Mercadier, G.; Holst, N. 2008. Withinday variation in continuous hive weight data as a measure of honeybee colony activity. *Apidologie*. 39:694-707.
23. \_\_\_\_\_; Holst, N. 2014. Application of continuous monitoring of honeybee colonies. *Apidologie*. 46:10-22.
24. MGAP. OPYPA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Política Agropecuaria, UY). 2019. Sector apícola: situación y perspectivas. (en línea). Anuario OPYPA 2019:351-363. Consultado 10 abr. 2020. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2019>
25. \_\_\_\_\_. SINATPA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Sistema Nacional de Trazabilidad de los Productos Apícolas, UY). 2018. Informe de datos del RNPC. (en línea). Montevideo. 2 p. Consultado oct. 2018. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/apicultura\\_datos\\_2018.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/apicultura_datos_2018.pdf)
26. Moritz, R. F. A.; Southwick, E. E. 1992. Bees as Superorganisms: an Evolutionary Reality. Berlin, Springer-Verlag. 57 p.
27. Okada, R.; Akamatsu, T.; Iwata, K. 2012. Waggle dance effect: dancing in autumn reduces the mass loss of a honeybee colony. *The Journal of Experimental Biology*. 215:1633-1641.
28. Root, A. I. 1899. Proper temperature for brood rearing. *Gleanings in Bee Culture*. 27:614-618.
29. Seeley, T.; Visscher, P. 1985. Survival of honeybees in cold climates: the critical timing of colony growth and reproduction. *Ecological Entomology*. 10:81-88.
30. \_\_\_\_\_. 1995. *The wisdom of the hive: the social physiology of honeybee colonies*. Cambridge, Harvard University. 317 p.
31. Stalidzans, E.; Berzonis, A. 2013. Temperature changes above the upper hive body reveal the annual development periods of honeybee colonies. *Computers and Electronics in Agriculture*. 90:1-6.
32. Voskarides, S.; Josserand, L.; Martin J.P.; Novales, C.; Micheletto D. 2013. Electronic Beehive (E Ruche) project. *In*: Conference VIVUS

Environmentalism, Agriculture, Horticulture, Food Production and Processing (2<sup>nd</sup>., 2013, Naklo, Slovenia). Proceedings. Naklo, Slovenia, Biotechnical Centre Naklo. pp. 311-319.

33. Woods, E. 1959. Electronic prediction of swarming in bees. *Nature*. 184:842-844.
34. Yadav, S.; Kumar, Y.; Lal Jat, B. 2017. Honeybee: diversity, Castes and Life Cycle. *Industrial Entomology*. feb. 2017:5-34.
35. Zacepins, A.; Meitalovs, J.; Komasilovs, V.; Stalidzans, E. 2011. Temperature sensor network for prediction of possible start of brood rearing by indoor wintered honeybees. *In: International Carpathian Control Conference (12<sup>th</sup>., 2011, Velke Karlovice, Czech Republic)*. Proceedings. Jelgava, Latvia, Institute of Electrical and Electronics Engineers. pp. 465-468.
36. \_\_\_\_\_; Stalidzans, E.; Meitalovs, J. 2012a. Application of information technologies in precision apiculture. *In: International Conference on Precision Agriculture (13<sup>th</sup>., 2012, Indianapolis, USA)*. Proceedings. Jelgava, Latvia, s.e. s.p.
37. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 2012b. Architecture of automatized control system for honeybee indoor wintering process monitoring and control. *In: International Carpathian Control Conference (13<sup>th</sup>., 2012, Podbanske, Slovakia)*. Proceedings. Jelgava, Latvia, s.e. pp. 772-775.
38. \_\_\_\_\_; Karasha, T. 2013a. Application of temperature measurements for the bee colony monitoring: a review. *In: International Scientific Conference Engineering for Rural Development (12<sup>th</sup>., 2013, Jelgava, Latvia)*. Proceedings. Jelgava, Latvia, s.e. pp. 126-131.
39. \_\_\_\_\_; Stalidzans, E. 2013b. Information processing for remote recognition of the state of bee colonies and apiaries in precision beekeeping (apiculture). *Biosystems and Information Technology*. 2:6-10.
40. \_\_\_\_\_; Brusbardis, V.; Meitalovs, J.; Stalidzans, E. 2015. Challenges in the development of Precision Beekeeping. *Biosystems Engineering*. no. 130:60-71.
41. \_\_\_\_\_; Kviesis, A.; Stalidzans, E.; Liepniece, M.; Meitalovs, J. 2016. Remote detection of the swarming of honeybee colonies by single-point temperature monitoring. *Biosystems Engineering*. no. 148:76-80.

9. ANEXOS

## Anexo No. 1. Planilla de campo

Colmena:	Investigador:
Estructura	Fecha
	Hora

Características externas			
Abejas muertas			
Movimiento de piquera	Alto	Medio	Bajo
Movimiento de zánganos			
Entrada de polen			
Olor			

Características internas			
Número de calles ocupadas			
Nido compacto			
Raza	Negra	Amarilla	
Evaluación primaria	Fuerte	Media	Débil
Miel/néctar			
Polen			
Cría abierta			
Cría cerrada			
Cría zánganos			
Celdas reales			

Sanidad							
Postuas		Zánganos		Obreras regular		Obreras irregular	
Enfermedades							
L. Americana		L. Europea		L. Europea		C. Yesificada	

Anexo No. 2. Áreas de uso por colmena y por fecha

<b>Colmena 1</b>		
<b>Fecha 1</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	714,0	4,2
<b>Polen</b>	459,6	2,7
<b>Cría a/c</b>	4333,5	25,2
<b>Vacío</b>	11692,9	68,0
<b>Fecha 2</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	822,1	4,8
<b>Polen</b>	1059,9	6,2
<b>Cría a/c</b>	117,4	0,7
<b>Vacío</b>	15200,6	88,4
<b>Fecha 3</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	792,8	4,6
<b>Polen</b>	483,7	2,8
<b>Cría a/c</b>	4747,0	27,6
<b>Vacío</b>	11176,4	65,0
<b>Fecha 4</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	930,1	5,4
<b>Polen</b>	497,8	2,9
<b>Cría a/c</b>	7733,1	45,0
<b>Vacío</b>	8039,1	46,7
<b>Fecha 5</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	1615,9	9,4
<b>Polen</b>	945,3	5,5
<b>Cría a/c</b>	6978,0	40,6
<b>Vacío</b>	7660,7	44,5

<b>Colmena 2</b>		
<b>Fecha 1</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	395,2	2,3
<b>Polen</b>	253,2	1,5
<b>Cría a/c</b>	4170,7	24,2
<b>Vacío</b>	12380,9	72,0
<b>Fecha 2</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	191,9	1,1
<b>Polen</b>	181,5	1,1
<b>Cría a/c</b>	3696,8	21,5
<b>Vacío</b>	13129,9	76,3
<b>Fecha 3</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	1038,8	6,0
<b>Polen</b>	574,3	3,3
<b>Cría a/c</b>	5890,2	34,2
<b>Vacío</b>	9696,8	56,4
<b>Fecha 4</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	1933,0	11,2
<b>Polen</b>	240,0	1,4
<b>Cría a/c</b>	7362,5	42,8
<b>Vacío</b>	7664,5	44,6
<b>Fecha 5</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	3147,4	18,3
<b>Polen</b>	2691,9	15,7
<b>Cría a/c</b>	6350,7	36,9
<b>Vacío</b>	5009,9	29,1

<b>Colmena 3</b>		
<b>Fecha 1</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	2333,4	13,6
<b>Polen</b>	113,9	0,7
<b>Cría a/c</b>	4189,4	24,4
<b>Vacío</b>	10563,3	61,4
<b>Fecha 2</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	805,3	4,7
<b>Polen</b>	103,2	0,6
<b>Cría a/c</b>	4767,6	27,7
<b>Vacío</b>	11523,9	67,0
<b>Fecha 3</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	994,1	5,8
<b>Polen</b>	296,2	1,7
<b>Cría a/c</b>	7866,3	45,7
<b>Vacío</b>	8043,4	46,8
<b>Fecha 4</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	1484,9	8,6
<b>Polen</b>	551,1	3,2
<b>Cría a/c</b>	2292,7	13,3
<b>Vacío</b>	12871,2	74,8
<b>Fecha 5</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	3568,1	20,7
<b>Polen</b>	1998,8	11,6
<b>Cría a/c</b>	5229,1	30,4
<b>Vacío</b>	6404,0	37,2

<b>Colmena 4</b>		
<b>Fecha 1</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	446,3	2,6
<b>Polen</b>	150,0	0,9
<b>Cría a/c</b>	2760,6	16,1
<b>Vacío</b>	13843,0	80,5
<b>Fecha 2</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	37,9	0,2
<b>Polen</b>	11,9	0,1
<b>Cría a/c</b>	2460,2	14,3
<b>Vacío</b>	14690,0	85,4
<b>Fecha 3</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	234,9	1,4
<b>Polen</b>	308,4	1,8
<b>Cría a/c</b>	4774,7	27,8
<b>Vacío</b>	11882,0	69,1
<b>Fecha 4</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	1184,4	6,9
<b>Polen</b>	236,3	1,4
<b>Cría a/c</b>	7737,0	45,0
<b>Vacío</b>	8042,2	46,8
<b>Fecha 5</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	3032,1	17,6
<b>Polen</b>	716,1	4,2
<b>Cría a/c</b>	2111,3	12,3
<b>Vacío</b>	11340,5	65,9

<b>Colmena 5</b>		
<b>Fecha 1</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	4179,3	24,3
<b>Polen</b>	360,0	2,1
<b>Cría a/c</b>	5164,0	30,0
<b>Vacío</b>	7496,6	43,6
<b>Fecha 2</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	2786,5	16,2
<b>Polen</b>	687,5	4,0
<b>Cría a/c</b>	6322,6	36,8
<b>Vacío</b>	7403,4	43,0
<b>Fecha 3</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	3119,2	18,1
<b>Polen</b>	719,7	4,2
<b>Cría a/c</b>	7252,7	42,2
<b>Vacío</b>	6108,4	35,5
<b>Fecha 4</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	4010,0	23,3
<b>Polen</b>	1634,4	9,5
<b>Cría a/c</b>	931,2	5,4
<b>Vacío</b>	10624,4	61,8
<b>Fecha 5</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	5193,5	30,2
<b>Polen</b>	976,5	5,7
<b>Cría a/c</b>	6375,3	37,1
<b>Vacío</b>	4654,7	27,1



<b>Colmena 6</b>		
<b>Fecha 1</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	1386,3	8,1
<b>Polen</b>	281,1	1,6
<b>Cría a/c</b>	3077,8	17,9
<b>Vacío</b>	12454,8	72,4
<b>Fecha 2</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	79,2	0,5
<b>Polen</b>	236,6	1,4
<b>Cría a/c</b>	4275,8	24,9
<b>Vacío</b>	12608,4	73,3
<b>Fecha 3</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	308,7	1,8
<b>Polen</b>	275,4	1,6
<b>Cría a/c</b>	6056,8	35,2
<b>Vacío</b>	10559,1	61,4
<b>Fecha 4</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	2816,3	16,4
<b>Polen</b>	214,1	1,2
<b>Cría a/c</b>	6738,7	39,2
<b>Vacío</b>	7430,9	43,2
<b>Fecha 5</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	5020,0	29,2
<b>Polen</b>	2249,2	13,1
<b>Cría a/c</b>	5272,1	30,7
<b>Vacío</b>	4658,6	27,1

<b>Colmena 7</b>		
<b>Fecha 1</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	249,4	1,5
<b>Polen</b>	308,0	1,8
<b>Cría a/c</b>	5360,9	31,2
<b>Vacío</b>	11281,7	65,6
<b>Fecha 2</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	268,2	1,6
<b>Polen</b>	85,7	0,5
<b>Cría a/c</b>	6709,5	39,0
<b>Vacío</b>	10136,6	58,9
<b>Fecha 3</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	593,1	3,4
<b>Polen</b>	224,0	1,3
<b>Cría a/c</b>	8607,4	50,0
<b>Vacío</b>	7775,5	45,2
<b>Fecha 4</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	1234,3	7,2
<b>Polen</b>	112,6	0,7
<b>Cría a/c</b>	8549,2	49,7
<b>Vacío</b>	7304,0	42,5
<b>Fecha 5</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	1515,2	8,8
<b>Polen</b>	404,3	2,4
<b>Cría a/c</b>	7460,8	43,4
<b>Vacío</b>	7819,7	45,5

<b>Colmena 8</b>		
<b>Fecha 1</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	713,8	4,1
<b>Polen</b>	159,0	0,9
<b>Cría a/c</b>	2251,7	13,1
<b>Vacío</b>	14075,5	81,8
<b>Fecha 2</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	224,7	1,3
<b>Polen</b>	184,9	1,1
<b>Cría a/c</b>	3136,2	18,2
<b>Vacío</b>	13654,2	79,4
<b>Fecha 3</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	219,0	1,3
<b>Polen</b>	197,2	1,1
<b>Cría a/c</b>	5580,5	32,4
<b>Vacío</b>	11203,3	65,1
<b>Fecha 4</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	1018,7	5,9
<b>Polen</b>	136,3	0,8
<b>Cría a/c</b>	8517,3	49,5
<b>Vacío</b>	7527,7	43,8
<b>Fecha 5</b>		
	<b>cm2</b>	<b>%</b>
<b>Cm2 potenciales</b>	17200,0	100,0
<b>Miel/néctar</b>	898,2	5,2
<b>Polen</b>	160,1	0,9
<b>Cría a/c</b>	9160,7	53,3
<b>Vacío</b>	6981,0	40,6