

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

**EVALUACIÓN DEL ÁREA DE CRÍA EN COLONIAS DE ABEJAS
MELÍFERAS UTILIZANDO MÉTODOS SUBJETIVOS Y OBJETIVOS**

Por

**Sofia DE LEÓN HERNANDEZ
Kaharen DEL CASTILLO BATISTA
Soledad LORENZO ZAVALA RODRIGUEZ**

**TESIS DE GRADO presentada como
uno de los requisitos para obtener el
título de Doctor en Ciencias
Veterinarias Orientación: Higiene,
Inspección, Control y Tecnología de los
Alimentos de Origen Animal**

MODALIDAD: Ensayo Experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2022**

PÁGINA DE APROBACIÓN

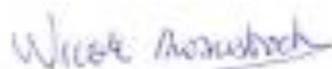
Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa:



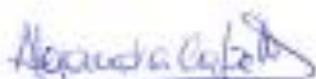
Dra. Graciela Pedrana

Segundo Miembro (Tutora):



MSc. Nicole Rosenstock

Tercer Miembro:



Dra. Alejandra Capelli

Cuarto Miembro:



Dr. Enrique Nogueira

Quinto Miembro:



Dr. Pablo Juri

Fecha:

2 de setiembre de 2022

Autores:



Br. Sofia De León



Br. Kaharen Del Castillo



Br. Soledad Lorenzo

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Facultad de Veterinaria por brindarnos un lugar en donde crecer, por formarnos y acompañarnos a lo largo de la carrera.

A cada una de las personas que han dedicado tiempo y dedicación para el desarrollo tanto personal como profesional.

A los tutores que nos marcaron el camino para poder finalizar la carrera y en especial por su gran apoyo y dedicación.

A la familia y a los amigos que siempre nos han apoyado en este camino, que nos han aguantados frustraciones y alegrías, las cuales han compartido con nosotras, como propias.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDO.....	4
LISTA DE TABLAS	8
RESUMEN.....	9
SUMMARY.....	10
1.- INTRODUCCIÓN.....	11
1.1- Breve historia de la apicultura, de los cazadores de miel a la apicultura moderna.....	11
1.2- La apicultura y su importancia.....	16
1.3 Productos de la colmena.....	17
1.4- La apicultura en el Uruguay.....	22
1.5- Ciclo biológico de la colonia.....	27
1.6- Integrantes de la colonia.....	28
1.7- Métodos de evaluación	31
2.-HIPÓTESIS	37
3.-OBJETIVOS	37
4.- MATERIALES Y MÉTODOS	38
4.1 Evaluación de imágenes	38
4.1.1 Estimación del porcentaje de área ocupada por el color marrón	38
4.1.2 Análisis estadístico	39
4.1.2.1 Cálculo de errores individuales	39
4.1.2.2 Cálculo de errores promedio	39
4.1.2.3 Análisis de normalidad y comparación entre los métodos.....	39
4.1.2.4 Coeficiente de correlación y concordancia.....	39
4.1.2.5 Correlación entre el área de figura y el error	40
4.1.2.6 Correlación entre la forma de la figura y el error	41
4.2 Comparación entre métodos:.....	41
A. Método subjetivo vs objetivo (ImageJ)	41
B. Método semiautomático (CombCount) vs objetivo (ImageJ).....	41
4.2.1 Evaluación subjetiva a campo	41
4.2.2 Análisis objetivo (ImageJ) y semiautomático (CombCount) de las imágenes .	43
4.2.3 Análisis estadístico	44

4.2.3.1 Coeficiente de correlación y concordancia.....	44
5.- RESULTADOS.....	46
5.1 Evaluación de los errores en imágenes.....	46
5.2 Evaluación de errores en los promedios de estimaciones.....	47
5.3 Comparación de errores entre grupos con y sin experiencia.....	49
5.4 Evaluación de la exactitud y precisión del método según nivel de experiencia ...	49
5.5 Efecto del área real en el error de estimación.....	50
5.6 Efecto de la forma de la figura en el error de estimación.....	¡Error! Marcador no definido.
5.7 Comparación de área de cría operculada estimada mediante método semiautomático y subjetivo respecto a ImageJ.....	53
5.8 Comparación de los errores de estimación entre método semiautomático y subjetivo, respecto a ImageJ.....	54
7.- CONCLUSIONES.....	60
8.- BIBLIOGRAFÍA.....	61
9.- ANEXOS.....	65
9.1.- Anexo 1.....	65
Tabla de medidas de resumen de promedio de usuarios experientes y sus errores.	65
Tabla de medidas de resumen de promedio de usuarios sin experiencia y sus errores.....	66
Tabla 13: Observadores sin experiencia, valor estimado promedio y sus errores.....	66
9.2.- Anexo 2.....	67
Comparación del área operculada por colmena.....	67
Comparación del área operculada por colmena.....	68

LISTA DE FIGURA

FIGURA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1	Pinturas rupestres del mesolítico representando la caza de miel antigua.	12
2	Línea de producción de miel antigua de Egipto.	13
3	Tipos de colmenas rusticas.	13
4	Colmena Prokopovich.	14
5	Colmena Langstrorth.	15
6	Distintos tipos de miel.	17
7	Diferentes presentaciones del propóleo.	18
8	Abeja con cera sobresaliendo de su cuerpo.	18
9	Polen.	19
10	Jalea real.	19
11	Aparato de defensa de la abeja con gota de veneno.	20
12	Cuadro con celdas reales y reina identificada con marcador.	21
13	Núcleo.	21
14	Paquete de abejas.	22
15	Mapa de la distribución de apiarios 2020 en Uruguay.	23
16	Gráfica que muestra la tendencia del N° de colmenas y propietarios en el periodo 2010-2020 en Uruguay	24
17	Etapas del desarrollo de la abeja	28
18	Integrantes de la colonia	28
19	Esquema del desarrollo de la abeja reina	29
20	Esquema del desarrollo de la obrera	30
21	Esquema del desarrollo del zángano	31
22	Métodos de evaluación de colmenas	32
23	Dos observadores evaluando un cuadro de forma subjetiva	33
24	Diferentes formas de disposición de la cría en los cuadros	34
25	Componentes del área de cría.	35
26	38 imágenes utilizadas en la presentación Power Point para ser evaluadas subjetivamente.	38
27	Estudiantes realizando la evaluación subjetiva de una colmena.	41
28	Atril de madera y cámara utilizados para sacar foto a los cuadros.	42
29	Vista de Google Earth del campo experimental No 2, de Facultad de Veterinaria	42
30	Colmenas del campo experimental No 2 de Facultad de Veterinaria.	43
31	Cuadro siendo procesado en el ImageJ.	43
32	Cuadro siendo procesado en el Coumb Count.	44
33	Grafica de los errores de estimación según grupo.	47
34	Grafica que muestran los tres tipos de error asociados a los promedios de las estimaciones de cada figura según el grupo.	48

35	Graficas de regresión del valor estimado vs real para ambos grupos.	50
36	Grafica de error estimado en función del área real.	51
37	Gráfico de errores de estimación según la forma de la imagen para ambos grupos.	52
38	Graficas de regresión comparando los métodos CC y subjetivo vs el ImagenJ.	54
39	Graficas comparando los errores de estimación entre método semiautomático y subjetivo, respecto a ImageJ.	55

LISTA DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1	Distribución de colmenas y número de propietarios de colmenas en las distintas regiones del Uruguay en el año 2021.	23
2	Número de propietarios de colmenas y colmenas a nivel nacional en el periodo 2010-2020	24
3	Producción de miel en Uruguay en el periodo 2010-2020	25
4	Medidas de resumen de los errores absoluto, absoluto con signo, y % de error, de las imágenes según grupo.	46
5	Medidas de resumen de los errores asociados a promedios de estimaciones.	48
6	Valores obtenidos a partir del coeficiente de Lin	50
7	Valores obtenidos por el coeficiente de Kendall.	51
8	Valores obtenidos por Kruskal-Wallis.	52
9	Datos arrojados por el coeficiente de Lin.	53
10	Medidas de resumen de los distintos tipos de errores de los métodos subjetivos y semiautomático respecto al imagenJ.	55
11	Tabla comparativa entre los usuarios experientes e inexperientes	57
12	Tabla comparativa entre los diferentes métodos de evaluación.	57
13	Tabla de valores de los observadores con experiencia.	64
14	Tabla de valores de los observadores sin experiencia.	65
15	Tabla comparativa entre métodos del área operculada de colmena real 1 y 2.	66
16	Tabla comparativa entre métodos del área operculada de colmena real 3 y 4.	67

RESUMEN

En investigación apícola es fundamental evaluar el desarrollo de las colonias previo al inicio de los ensayos para lograr colonias que sean uniformes y reducir el error experimental, y luego, durante el ensayo para poder evaluar la respuesta a los tratamientos que se apliquen. A tales efectos, existen métodos de evaluación subjetivos y objetivos, los primeros se basan en la estimación de uno o dos operadores, son rápidos y causan poco estrés en las colonias, pero pueden tener un error importante. Los métodos objetivos inicialmente eran poco prácticos, llevaban mucho tiempo y estresaban a las colonias por lo que se utilizaban en general al inicio y al final de los experimentos. Sin embargo, la fotografía digital permitió que el tiempo con las colmenas abiertas fuera mínimo, aunque el procesamiento de las imágenes posterior demandaba mucho tiempo de trabajo, pero recientemente un método semiautomático ha permitido disminuir los tiempos de análisis. El objetivo del trabajo fue comparar dos métodos de evaluación de área de cría en colmenas de abejas *Apis mellifera* respecto al análisis de imágenes utilizando el software ImageJ. Los dos métodos evaluados fueron: subjetivo, consistente en la estimación visual, y el semiautomático (software CombCount). El trabajo tuvo 2 partes, la primera fue que personas con y sin experiencia estimaran el área de una secuencia de figuras en una pantalla, y la segunda parte se llevó adelante en el apiario del Campo Experimental N° 2 de Libertad, donde se realizó la evaluación subjetiva y fotografía del área de cría de 4 colmenas, las fotografías luego fueron analizadas por ImageJ y por CombCount. En la estimación de una secuencia de figuras se encontraron diferencias en la estimación realizada por usuarios experimentados respecto a los sin experiencia. En la comparación del método subjetivo y objetivo utilizando CombCount respecto al método objetivo de referencia utilizando ImageJ, se determinó que CombCount es superior respecto al método subjetivo. Se concluye que lo ideal es utilizar en orden de exactitud y precisión primero el software ImageJ, luego el software CombCount y por último el método subjetivo. Pero esto depende del tipo de trabajo que se vaya a realizar y del estudio y la prioridad de los datos a obtener. Por otra parte, el método subjetivo fue más preciso que lo supuesto previamente, pero quienes realicen las estimaciones deben ser operadores experimentados.

SUMMARY

In beekeeping research, it is essential to evaluate the development of the colonies prior to the start of the trials to achieve uniform colonies and reduce experimental error, and then during the trial to be able to evaluate the response to the treatments applied. For this purpose, there are subjective and objective evaluation methods, the first ones are based on the estimation of one or two operators, they are fast and cause little stress in the colonies but they can have an important error, the objective methods were initially impractical, they took a long time. time and stressed the colonies so they were used in general at the beginning and at the end of the experiments, however digital photography allowed the time with the open hives to be minimal, however the processing of the subsequent images demanded a lot of time work, but recently a semi-automated method has reduced analysis times. The objective of the work was to determine the difference between two methods of evaluation of the area of brood of hives of *Apis mellifera* bees with respect to the analysis of images using the software ImageJ. The two methods evaluated were subjective, consisting of visual estimation and semi-automatic (software CombCount). The work had 2 parts, the first was for people with and without experience to estimate the area of a sequence of figures on a screen, and the second part was carried out in the apiary of the Experimental Field No. 2 of Libertad, where the subjective evaluation and photography of the brood area of 4 hives, the photographs were then analyzed by ImageJ and by CombCount. In the estimation of a sequence of figures, differences were found in the estimation made by experienced users compared to those without experience. In the comparison of subjective and objective method using CombCount versus the reference objective method using the software ImageJ, the software CombCount was found to be superior to the subjective method. It is concluded that the ideal is to use in order of accuracy and precision first the ImageJ, then the CombCount and finally the subjective. But this depends on the type of work to be carried out and the study and priority of the data to be obtained. On the other hand, the subjective method was more accurate than previously assumed, but the estimators must be experienced operators.

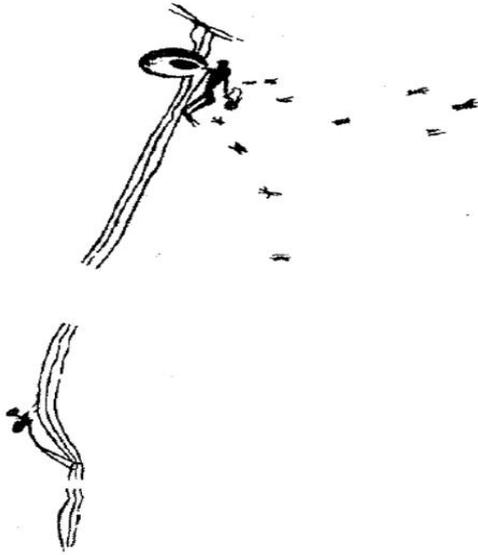
1.- INTRODUCCIÓN

1.1- Breve historia de la apicultura, de los cazadores de miel a la apicultura moderna.

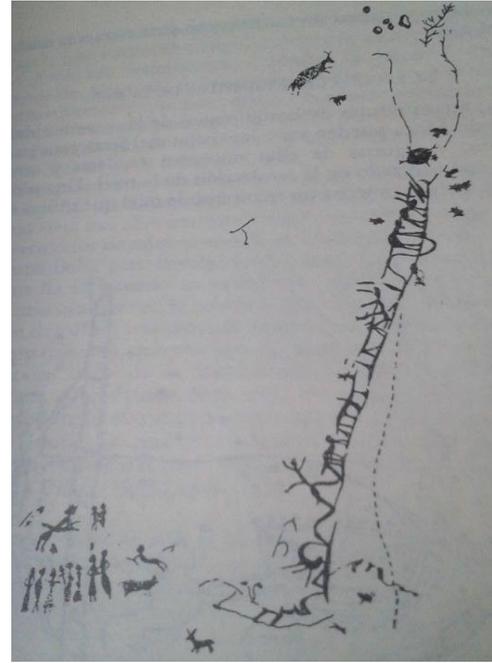
Las abejas se separaron de las avispas hace 100 millones de años y hay registros de las abejas melíferas desde hace 5 millones de años. Se estima que los homínidos aparecieron hace 5 millones de años y el *Homo sapiens* u hombre moderno hace 250.000 años. El Hombre moderno durante gran parte de su existencia recurrió para su sustento a la caza y a la recolección, y las abejas melíferas ocupaban los continentes por los que se fue dispersando el hombre (África, Europa y Asia) de forma que en algún momento pasaron a estar dentro de sus objetivos de caza ya que en sus colonias almacenaban alimentos. El hombre inicialmente depredó a esas colonias silvestres como lo hacen otros animales como osos y tejones (Crane, 1999).

Hay indicios de la obtención de productos de las colonias de abejas que datan de épocas en las cuales las poblaciones plasmaban pinturas y representaciones sobre su vida cotidiana, como la pintura rupestre que fue encontrada en la cueva de la Araña de Bicorp (Valencia), con una antigüedad estimada de 9000 años. Este fue el primer registro encontrado que trata sobre la caza de abejas y la recolección de miel en el Mesolítico, fue descrita por Hernández-Pacheco en 1924 y se trata de una persona que lleva una cesta mientras está subiendo por una escalera en una pared rocosa, para llegar hasta un hueco donde estaría la colonia de abejas (Fig.1, A) (Crane, 1999).

En 1978 fue publicada una imagen Mesolítica parecida pero más social, en la cual hay 4 personas en una escalera, una se está cayendo y 12 están agrupadas en el suelo esperando que caigan panales de miel, y abejas grandes volando alrededor (Fig.1, B) (Crane, 1999).



A



B

Fig. 1: Pinturas rupestres del Mesolítico que representan personas obteniendo miel de colonias en cavidades de roca. **A)** Persona cazando miel de un nido, abejas alrededor, y otra subiendo por una escalera en la roca en la parte inferior. **B)** Cuatro personas en una escalera subiendo hacia el nido de abejas, varias abejas alrededor del nido, una persona se está cayendo y hay 12 personas en el piso esperando que caiga el panal de abejas. Tomado de Crane (1999).

Las técnicas de caza de miel que se muestran en el arte rupestre del Mesolítico son bastantes similares a las realizadas por los cazadores de miel de la actualidad. La caza de miel solía hacerse por pocos individuos dentro de un grupo generalmente hombres, y era un hábito transmitido de padres a hijos (Crane, 1999).

Con el desarrollo de la agricultura, las comunidades comienzan a asentarse y en algún momento se entendió que las abejas solían establecer sus colonias en cavidades, con lo que si les ofrecían esos lugares podrían tener las colonias donde ellos quisieran, comenzando así el proceso que se conoce como los domesticadores de abejas. De esta manera, el hombre comenzó a obtener recursos y pudo tener un cuidado y seguimiento de las colmenas (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021). Existen abundantes registros del grado de desarrollo que tuvo la apicultura en Egipto (Fig.2).

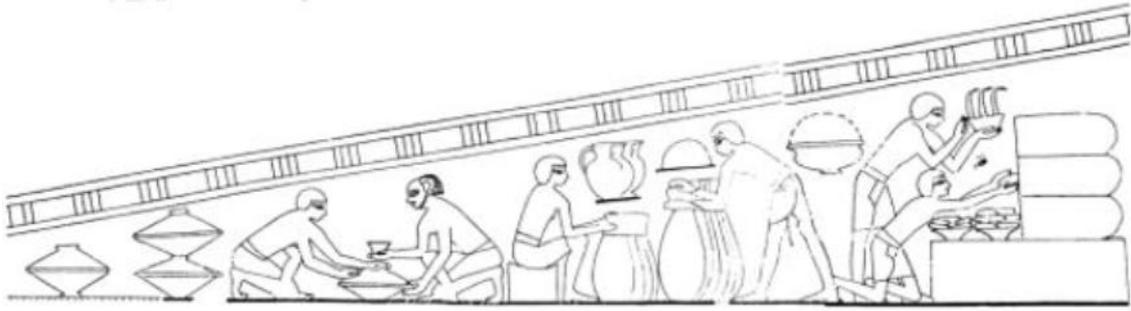


Fig. 2: Pintura en tumba en Egipto que muestra un manejo de miel a granel donde hay una línea de producción de derecha a izquierda. Empieza con tres colmenas, dos platos con panales y posiblemente seis frascos de almacenamiento de miel altos y cuatro más pequeños. Tomado de Crane (1999).

En cada región se utilizaron los materiales que más abundaban, y esos recipientes se conocen como colmenas rústicas, que pueden ser de arcilla, paja, madera o troncos huecos (Fig.3, A, B, C y D). Actualmente se siguen utilizando diversos tipos de colmenas rústicas y en todos los casos tienen panales fijos hechos naturalmente por las abejas (FAO, 2021).



A



B



C



D

Fig. 3: Diferentes materiales para la confección de colmenas rústicas. **A)** Colmena de barro. **B)** Colmena de Corcho. **C)** Colmenas de paja y madera. **D)** Colmenas de Tronco (FAO, 2021).

Las abejas alojadas en colmenas rústicas a lo largo de miles de años permitieron que el hombre las tuviera cerca y pudiera disponer fácilmente de sus productos. Sin embargo, no eran más que un simple recipiente donde la colonia se establecía y no permitía mayores manejos o controles. Tampoco era posible adaptarla a los importantes cambios de población que experimentan las colonias a lo largo de la temporada, y el propio proceso de cosecha que implicaba cortar y retirar panales enteros podía derivar en la muerte de la colonia (FAO, 2021).

Durante siglos se entendió el problema de que el retiro de los panales durante la cosecha ponía en riesgo la sobrevivencia de la colonia y se apuntaba hacia poder retirar los panales, cosecharlos y reintegrarlos a la colonia. Existen registros de muchas de estas intenciones que fueron surgiendo en Europa, la más cercana al éxito fue en Ucrania en 1807, Prokopovich desarrolló una colmena de cuadros móviles (los cuadros eran marcos de madera donde se construyen los panales) que inclusive se produjo a nivel comercial (FAO, 2021) (Fig.4).

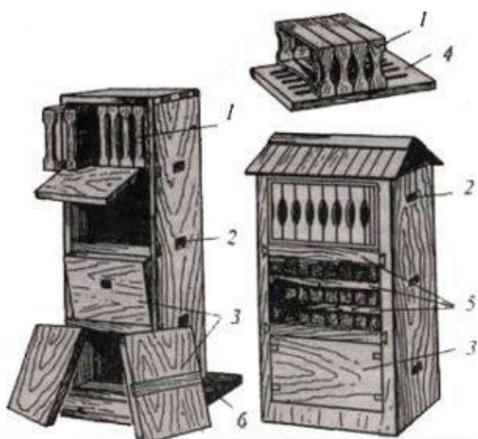


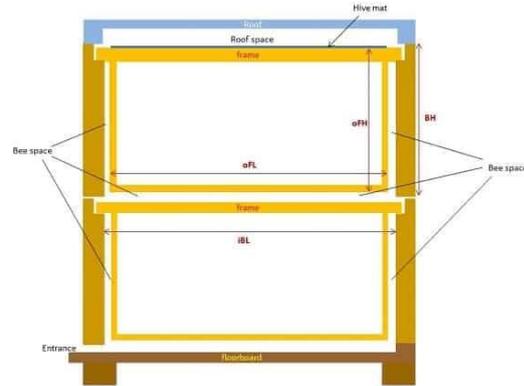
Fig. 4: Colmena de cuadros móviles desarrollada por Prokopovich. Diseño y disposición de los cuadros. Recuperado de <https://bee.net.ua/es/vulik-prokopovicha/>, fecha de consulta 5 de agosto de 2022.

Sin embargo, los cuadros eran fácilmente retirables hasta que era ocupada por una colonia, luego las abejas fijaban con propóleos los cuadros a las paredes de la colmena y a los otros cuadros por lo que resultaban muy difíciles de retirar, por alguna razón las abejas inmovilizaban los cuadros móviles. En 1851 Langstroth en Estados Unidos desarrolló el concepto de “Espacio de abeja” que es el espacio entre 9,5 mm y 12,7 mm que las abejas utilizan para desplazarse dentro de la colonia. Cuando las medidas son menores las abejas propolizan esos espacios, y si son mayores pueden construir panales. A partir de este concepto diseñó y patentó la colmena que da lugar al inicio de la apicultura moderna (Fig.5) (FAO, 2021).

La colmena moderna o movilista permite retirar y volver a colocar fácilmente los cuadros, así luego que se cosechan los panales vacíos vuelven a ser introducidos en la colonia y las abejas no deben construirlos de vuelta. Pero además, pasaron a permitir las revisiones sanitarias y del estado de las colonias, y mediante el retiro o la colocación de alzas estandarizadas con cuadros, se adapta la colmena al tamaño de la colonia (Wilder, 2014).



A



B



C



D



E



F

Fig. 5: Colmenas de cuadros móviles Langstroth. **A)** Langstroth mostrando su colmena. Recuperado de <https://explorepahistory.com/displayimage.php?imgId=1-2-204D>, fecha de consulta 5 de agosto de 2022. **B)** Esquema interior de la colmena mostrando el “espacio de abeja” (Corona Apicultores, 2013). **C)** Colmena moderna vista del exterior. **D)** Disposición interna de los cuadros en la colmena. **E)** Apicultor revisando un cuadro (Ingrao, 2021). **F)** Cuadro con cría operculada (Milbrath (Kane y Faux, 2021).

1.2- La apicultura y su importancia.

La Apicultura es la actividad agropecuaria que se encarga de la crianza y cuidado de las abejas del género *Apis mellifera*; tiene como objetivo obtener los recursos producidos por ellas, y posteriormente su recolección para el consumo humano. Forma parte de la agricultura de todas las regiones del mundo, en mayor o menor escala basándose en la domesticación de estas abejas. En algunas partes lo realizan como actividad principal y en otras de manera complementaria (Organización Mundial de Sanidad Animal, OIE, 2014).

La apicultura permite obtener una serie de productos de la colmena como miel, propóleos, polen, veneno, cera y jalea real, además de lo que es la propia producción de material vivo como reinas, núcleos y paquetes de abejas, sin embargo, el mayor aporte que realizan es la polinización tanto de cultivos comerciales como para el mantenimiento de la biodiversidad (FAO, 2021).

Gallai Salles, Settele, & Vaissière (2009) cuantificaron el beneficio económico causado por los insectos polinizadores en el año 2005, entre los que se destacan las abejas melíferas, adjudicándole un valor de €153.000.000.000, lo que representó el 9,5% del valor total de la producción agrícola de ese año. Esas cifras son muy moderadas, ya que solo se consideraron los cultivos más importantes para el consumo humano directo, y no incluyen la contribución de los polinizadores en la producción de semillas de cultivos, ni a las pasturas y cultivos forrajeros, la producción de flores ornamentales, así como tampoco el valor de los polinizadores en el mantenimiento de los ecosistemas silvestres, valores importantes que siguen sin ser calculados.

La polinización es la acción de introducir polen desde las células masculinas de la flor (estambres), hasta la zona femenina de la flor (estigma), de esta manera se produce la fecundación y consiguiente producción de frutas y semillas (Pantoja, Smith-Pardo, García, Sáenz & Rojas, 2014). Los polinizadores son animales que transportan polen de las partes masculinas de las flores hacia las femeninas, para la formación de frutos (FAO, 2009).

Existen 90.548.801 colmenas en explotación alrededor del mundo, y una producción anual de 2.065.535 toneladas de miel (Food and Agricultura Data, FAOSTAT, 2020).

1.3 Productos de la colmena.

Miel

“Se entiende por miel la sustancia dulce natural producida por abejas *Apis mellifera* a partir del néctar de las plantas o de secreciones de partes vivas de éstas o de excreciones de insectos succionadores de plantas que quedan sobre partes vivas de las mismas y que las abejas recogen, transforman y combinan con sustancias específicas propias, y depositan, deshidratan, almacenan y dejan en el panal para que madure y añeje. La miel se compone esencialmente de diferentes azúcares, predominantemente fructosa y glucosa además de otras sustancias como ácidos orgánicos, enzimas y partículas sólidas derivadas de la recolección. El color de la miel varía de casi incoloro a pardo oscuro. Su consistencia puede ser fluida, viscosa, o total o parcialmente cristalizada. El sabor y el aroma varían, pero derivan de la planta de origen” (Fig.6) (Codex Alimentarius, 1981, p. 2).



Fig. 6: Distintos tipos de miel envasada (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, MGAP, 2021a).

Propóleo

Son resinas viscosas e impermeables al agua que son recolectadas por las abejas pecoreadoras de las yemas de los árboles, y lo utilizan para cubrir el nido con el fin de reforzarlo, evitar pérdidas de calor (Jean –Prost & Le Conte, 2007), para la defensa ante microorganismos y también lo utilizan para tapar grietas y sellar la colmena combinado con cera (Fig.7, A y B) (FAO, 2021).

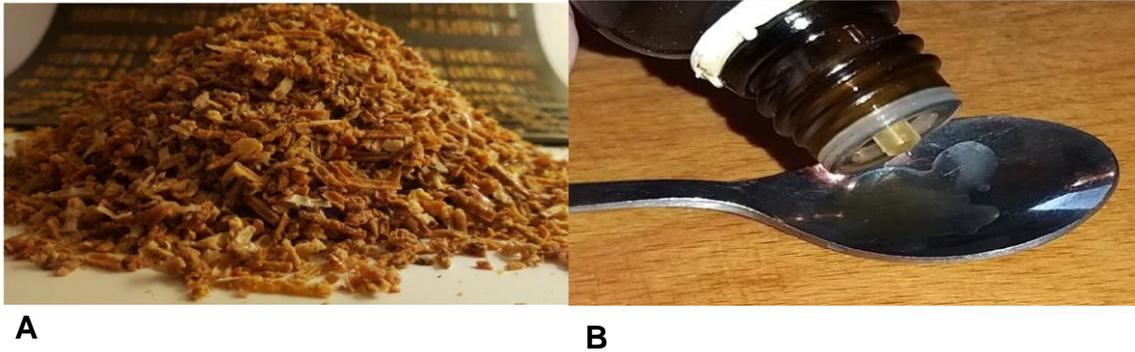


Fig. 7: Propóleo. **A)** Propóleo extraído de una malla. **B)** Tintura de propóleo de uso medicinal (FAO, 2021).

Cera

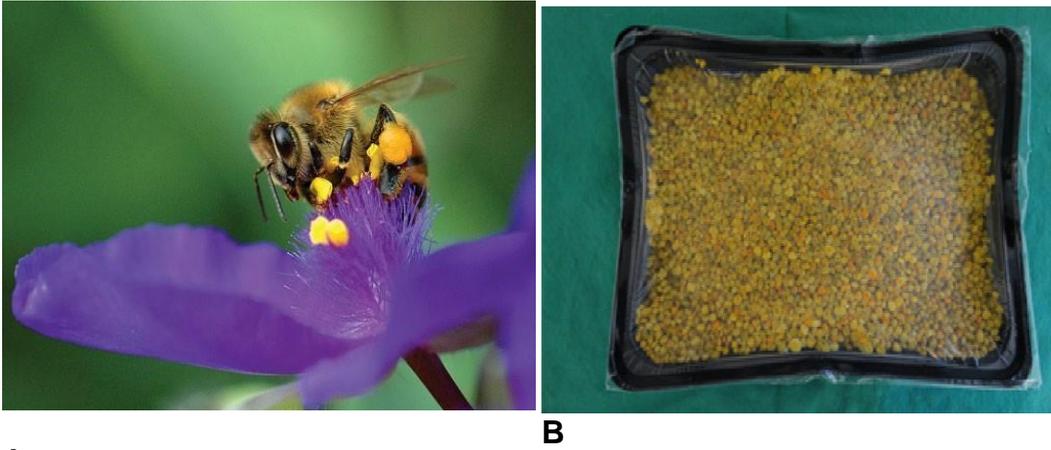
Sustancia a base de lípidos segregada por las glándulas cereras de las abejas obreras jóvenes. La utilizan para la formación de panales con el fin de almacenar alimento y donde la reina pone los huevos (Fig.8) (FAO, 2021).



Fig.8: Abeja con cera sobresaliendo de su cuerpo donde se encuentran las glándulas cereras (Huang, (Kane & Faux, 2021)).

Polen

Son pequeños granos que se encuentran en los estambres de las flores (células masculinas), de tamaños y formas variables (Jean –Prost & Le Conte, 2007). Es una fuente rica de alimento para la colonia que contiene una mezcla de proteínas, carbohidratos, lípidos y microminerales (Fig.9 A y B) (FAO, 2021).



A

B

Fig. 9: A) Abeja posada en una flor, transportando polen en sus miembros (Huang, 2021). **B)** Sustituto alimenticio de polen de abeja (FAO, 2021).

Jalea Real

Es un producto natural producido por las abejas, constituido por una mezcla de secreciones de las glándulas hipofaríngeas y mandibulares de las obreras. La producen para alimentar a las larvas durante los primeros tres días de vida, y a la reina durante toda la etapa larvaria hasta el resto de su vida (Fig.10) (FAO, 2021).



Fig. SEQ Fig * ARABIC 10: Jalea Real (FAO, 2021).

Veneno

Es un líquido secretado por dos glándulas conectadas al aguijón de la abeja (Jean-Prost & Le Conte, 2007), y es producido para defenderse contra los depredadores o dentro de la colonia (Fig.11 A y B) (FAO, 2021).



A

B

Fig. 11: Apitoxina. **A)** Gota de veneno en aguijón de abeja. **B)** Abeja picando con el aparato de defensa (Aguijón). Recuperado de <https://www.ecocolmena.org/apitoxina-el-secreto-del-veneno-de-las-abejas/>, fecha de consulta 5 de agosto de 2022.

Producción de material vivo.

Producción de reinas.

Se realiza con el fin de mejorar la calidad de las colmenas, tiene un gran impacto en la biodiversidad genética y en la transmisión de enfermedades. Se basa en que un grupo de abejas jóvenes las cuales no tienen reina, generen una nueva reina alimentando las larvas con jalea real, para esto se deben usar abejas huérfanas. Cualquier huevo femenino tiene el potencial de convertirse en una reina hasta los primeros tres días de larva, y dentro de estos días el apicultor debe retirar manualmente las larvas mediante un procedimiento de injerto, desde una celda de obrera a una celda real y se las introduce en una colmena con abejas jóvenes y huérfanas, donde las obreras huérfanas se darán cuenta de la falta de feromona de reina y procederán a hacer una nueva. Uno o dos días antes de que la abeja reina eclosiona, se debe transferir a un núcleo de apareamiento donde tendrá una temperatura adecuada y buena alimentación (Fig.12) (FAO, 2021).



A

B

Fig. 12: Producción de reinas. **A)** Cuadro con celdas reales. **B)** Reina identificada con un marcador y varias obreras alrededor (FAO, 2021).

Producción de núcleos

Es una pequeña colonia que contiene una hembra en postura, 4 o 5 cuadros con abeja adulta, diferentes estadios de cría y alimento. Luego es traspasada a cajones más grandes a medida que necesite espacio. Se utiliza para multiplicar abejas cuando es necesario, también son comercializadas por algunos apicultores (Fig.13) (Lee & Router, 2021).



Fig. 13: Núcleo. Recuperado de <https://www.pinterest.com.mx/pin/527976756286138121/>, fecha de consulta 5 de agosto de 2022.

Producción de paquetes de abejas

Es una caja que contiene aproximadamente 7.000 a 10.000 abejas y una reina fecundada, encerrada en una jaula con jarabe de azúcar como fuente de alimento. Estas cajas son comercializadas (Fig.14) (Lee & Router, 2021).



Fig. 14: Paquete de abejas. Recuperado de <https://apiculturaymiel.com/apicultura/paquetes-de-abejas-como-se-hacen-y-cuales-son-sus-ventajas/>, fecha de consulta 5 de agosto de 2022.

1.4- La apicultura en el Uruguay.

Las primeras colonias de abejas melíferas fueron introducidas en Uruguay en 1834 por Bernardino Rivadavia que había desembarcado en las costas de Colonia del Sacramento ya que no podía ingresar a Argentina por problemas políticos y había optado por radicarse en nuestro país. En 1892, 40 años después de que Langstroth patentara la colmena de cuadros móviles, Sixto Perea (apicultor y educador del momento) introduce las primeras colmenas movilizadas en el Uruguay (Cordara, 2011).

A partir del siglo XX, con la incorporación de las colmenas modernas, el sector apícola comienza a crecer y a consolidarse respondiendo a una creciente demanda de miel del exterior, que hasta ahora continúa.

En el año 2021 el registro Nacional de propietarios de Colmenas en SINATPA (Sistema Nacional de Trazabilidad de Productos Apícolas) se registraron 2.608 propietarios de colmenas y un total de 598.682 colmenas (Tabla 1). Siendo los departamentos con mayor cantidad de apicultores Rivera, Soriano y Río Negro, y con mayor cantidad de colmenas el departamento de Soriano.

Distribución de colmenas y número de apicultores en el territorio uruguayo en el 2021

Tabla. 1: Distribución de colmenas y número de propietarios de colmenas en las distintas regiones del Uruguay en el año 2021: Litoral Norte está comprendido por Artigas, Salto, Paysandú; Litoral Sur por Rio Negro, Soriano, Colonia; Centro Sur por Flores, Florida, Durazno, Canelones, Montevideo y San José, Noreste por Rivera, Cerro Largo, Tacuarembó; y Este por Rocha, Maldonado, Lavalleja y Treinta y Tres (Sistema Nacional de Trazabilidad de productos Apícolas, SINATPA, 2021).

Región	N° colmenas	N° de Apicultores
Litoral Norte	94.022	374
Litoral Sur	214.041	724
Centro sur	166.830	748
Noreste	86.630	535
Este	37.159	227
TOTAL	598.682	2.608

Los apiarios están georreferenciados, la Fig.15 muestra la distribución de los mismos en el territorio en el 2020.

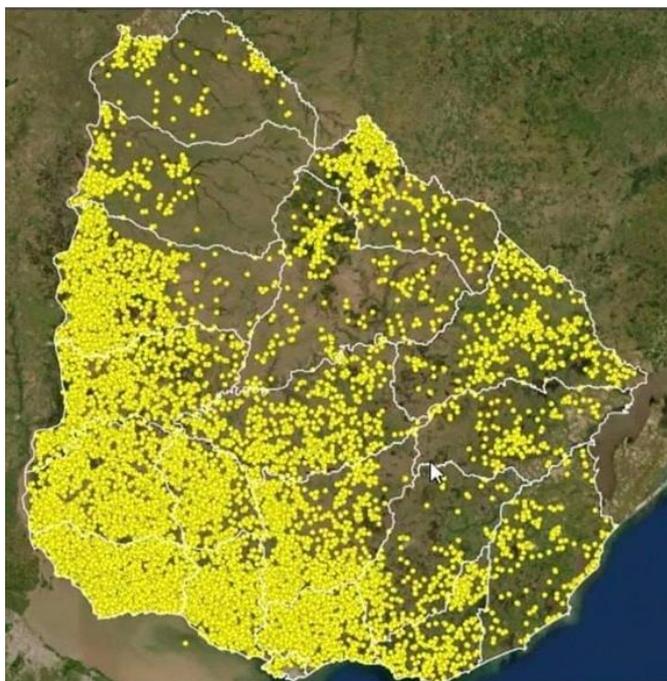


Fig. 15: Apiarios de la Declaración Jurada, 2020 (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, MGAP, 2021b).

En la Fig.16 se muestra una tendencia a la baja de propietarios de colmenas y un aumento en la concentración de colmenas por propietario en el periodo de 2010-2020 (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, MGAP, 2021c).

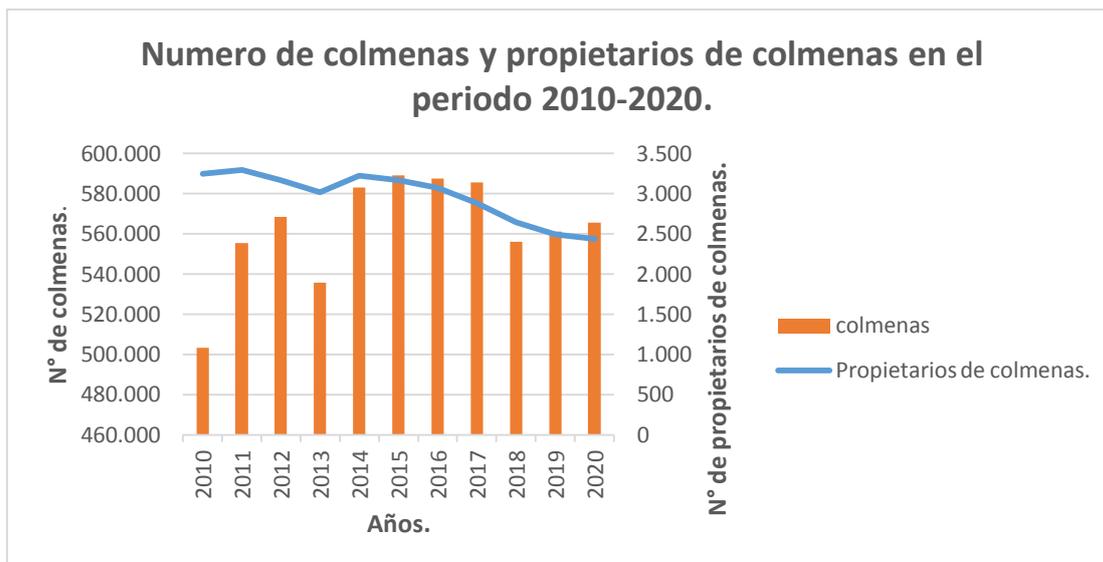


Fig. 16 Tendencia en el número de propietarios de colmenas y cantidad de colmenas en el periodo 2010-2020 en el territorio uruguayo (Dirección de Estadística Agropecuaria, DIEA, 2021).

Número de colmenas y número de apicultores en periodo 2010 – 2020 en el Uruguay

Tabla 2: Datos sobre propietarios de colmenas y colmenas a nivel nacional en el periodo 2010-2020 (DIEA, 2021).

Año	Nº de Apicultores	Nº de Colmenas
2010	3.244	503.179
2011	3.292	555.450
2012	3.165	568.312
2013	3.021	535.613
2014	3.224	582.989
2015	3.165	589.228
2016	3.071	587.512
2017	2.880	585.734
2018	2.644	556.107
2019	2.489	560.983
2020	2.438	565.654

En el año 2020, a nivel nacional los productos apícolas declarados en Uruguay fueron: miel, propóleo, cera, polen, apitoxina, jalea real, reinas, núcleos, paquetes de abejas, trashumancia y polinización. El 32% de los productores se dedicaba a la producción de miel, el 18% a la cera, el 16% al propóleo, el 10% a producir núcleos, y el 24% producen miel junto con otras actividades (Sistema Nacional de Trazabilidad de productos Apícolas, SINATPA, 2020).

Producción de miel periodo 2010-2020.

Tabla 3: Datos a nivel nacional sobre producción de miel en toneladas, periodo 2010-2020 (DIEA, 2021).

Año	Toneladas de miel
2010	8.205
2011	15.031
2012	11.509
2013	12.952
2014	12.060
2015	13.193
2016	10.057
2017	11.599
2018	9.565
2019	9.253
2020	13.811

En el año 2020 se produjeron unas 13.811 toneladas de miel de acuerdo al SINATPA. El promedio de producción anual de la última década fue de 11.900 t aproximadamente.

Cadena apícola en Uruguay.

El sector Apícola en el Uruguay está orientado a la producción de miel a granel y está formado por 5 eslabones: producción, extracción, acopio, homogeneización y comercialización. Genera unos 12.000 puestos de trabajo. Las mieles uruguayas son principalmente de pradera, monte nativo y eucaliptus. El segundo producto más importante es la producción de propóleo. La producción de cera, polen, apitoxina y jalea real son mínimas (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, MGAP, 2021d).

Exportaciones.

En cuanto a las exportaciones de miel en el periodo de 2011-2020, Uruguay exporto un promedio de 10.700 toneladas, y si se compara con el promedio de producción anual en el año 2020, podemos decir que el 90% de la miel que se produce se exporta (MGAP, 2021c).

En el año 2020 la exportación de miel fue de aproximadamente 15.000 toneladas duplicando casi el volumen de exportación del año 2019; esto fue debido a que, junto con la producción anual, se exporto un stock de años anteriores (MGAP, 2021c).

En 2020 el precio de exportación fue de US\$ 1.976 por tonelada, 4% menos que en 2019. Esta baja en el precio se puede explicar debido a registros de malas cosechas de los principales mercados (EEUU y Europa), el

encarecimiento de los fletes que llevo a tener que competir con mercados de origen más cercano y de mejor calidad, y por el aumento de controles de fraudes (MGAP, 2021c).

En los primeros 10 meses del año 2021, las exportaciones de miel alcanzaron unos US\$ 32,2 millones (US\$/tonelada 3.300), superando el total de exportaciones del año 2020, debido a una tendencia en la suba de precio que comenzó a fines de este año (MGAP, 2021c). Los principales destinos de exportación para Uruguay en el año 2020 fueron España 38%, EEUU 27% y Alemania (12%) (MGAP, 2021c).

Uruguay tiene una gran fortaleza en el sector, ya que tiene un sistema de trazabilidad de miel muy bueno, siendo una gran oportunidad de atraer a los mercados (MGAP, 2021c). Este sistema se basa en identificar el producto a lo largo de la cadena productiva, de forma organizada, documentada y registrada, georreferenciación de apiarios y aplicación de plaguicidas. Toda la información obtenida permite identificar los problemas del sector, ver el origen y la forma de poder corregirlos. Es llevada adelante por la Dirección General de Granja (DIGEGRA) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, mediante el Sistema Nacional de trazabilidad de Productos Apícolas (SINATPA) en el cual deben registrarse todos los años los propietarios de colmenas y salas de extracción de miel (MGAP, 2021e).

En cuanto al propóleo, este mercado ha crecido a lo largo del mundo en los últimos años por lo que es el segundo producto más requerido y su principal destino es la exportación. En 2018 se alcanzó a exportar 21.600 kg por un valor de 3.8 millones de dólares. Se estima que se producen unos 100g de propóleo por colmena por año (MGAP, 2021d).

Problemas de exportación.

Entre 2016 y 2020 el sector sufrió problemas en a la exportación debido a la competencia desleal de mieles adulteradas en el mercado internacional y por problemas de colocación de los productos por una baja en los límites del contenido de glifosato en miel. Además, existen muchas pérdidas de colmenas, disminución en rendimientos productivos por colmena y altos costos productivos, así como cambios en los precios de exportación y restricciones para arancelarias (MGAP, 2021d).

Perdidas de colonias en Uruguay.

Las pérdidas de colonias anuales han sido cercanas al 30%. Según estudio sobre las pérdidas de colmenas en Uruguay, en el periodo 2013-2014 fueron del 28% anual, y las principales causas fueron por pérdida de reinas, enfermedades, parásitos y pesticidas (Antúnez, 2016). Hoy en día se sabe que la eficiencia de la producción de las colmenas aumenta a medida que la colonia está constituida por más abejas, porque las colonias más grandes y fuertes crían más que las colonias más chicas, en iguales condiciones ambientales (Farrar, 1937).

Por estas pérdidas de colmenas, el apicultor se ve obligado a reponerlas realizando divisiones de las mismas, generando núcleos que en el futuro serán

nuevas colmenas. Esto hace que siempre tenga colmenas medianas y nunca llegue a tener colmenas muy grandes, lo cual por lo anterior se traduce en menor producción.

El sector apícola necesita el apoyo de la academia para abordar todas las limitantes y problemas mencionados anteriormente, que son muchos; y a nivel de ciencias agrarias, los aportes estarían focalizados en aspectos nutricionales, genéticos, de manejo y sanitarios, de forma de poder mejorar la productividad del sector.

1.5- Ciclo biológico de la colonia.

El ciclo de la colonia es anual, depende mucho de la vegetación que haya disponible en el medio ambiente, en zonas templadas comienza en primavera. Se caracteriza por tener cuatro fases:

Desarrollo: Comienza en primavera, en esta fase la reina pone aproximadamente 2000 huevos por día. En este periodo se estabiliza la población de abejas, y a principios de otoño empieza a poner menos huevos (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, AFSSA, 2009).

Periodo de enjambre: Es un tipo de reproducción asexual que se da a fines de la primavera, cuando la colonia alcanza su punto máximo de población de abejas, la reina abandona la colonia con un grupo de obreras, y fundan otra nueva colonia en otro lugar. Luego en la colonia original nace una nueva reina para reemplazar a la que se fue y continúa el ciclo (AFSSA, 2009; Jean –Prost & Le Conte, 2007).

Preparación para el invierno: En esta fase la colonia produce abejas obreras que van a estar en la colonia todo el invierno y así llegar con más fuerza a la primavera siguiente. Estas abejas vivirán más tiempo que las abejas obreras del verano las cuales tienen mayor desgaste y viven pocas semanas (AFSSA, 2009).

Invernada: En esta etapa la población se reduce a unos miles de abejas obreras, y junto con la reina permanecen en la colmena alimentándose de las reservas que obtuvieron en el verano (AFSSA, 2009).

En la primavera, la reina comienza a poner huevos, las obreras empiezan a salir al exterior, y la fuerza de la colonia empieza a aumentar gradualmente hasta que alcance su pico máximo.

Al final del verano comienza la mortalidad de abejas, las colonias se achican, la fuerza disminuye hasta llegar al otoño. Si una colonia está muy débil, no sobrevivirá el invierno (AFSSA, 2009).

1.6- Integrantes de la colonia.

Son insectos que pertenecen al orden Hymenoptera (de la especie *Apis mellifera*, conviven en colonias formadas entre 20.000 a 50.000 individuos entre ellos una reina, varios zánganos (principalmente en primavera) y varias obreras (Jean –Prost & Le Conte, 2007) pudiendo llegar a descender hasta 5.000 individuos en invierno (AFSSA, 2009). Tienen un periodo de huevo, larva, pupa y adulto, los cuales se desarrollan dentro de la colmena (AFSSA, 2009) (Fig. 17).

Son insectos eusociales los cuales se caracterizan por dividir tareas dentro de la colmena, el cuidado cooperativo de la cría y la superposición de más de una generación dentro de la colmena. Hay una estrecha comunicación coreográfica y química entre todos los individuos de la colonia (Radcliffe, 2021).



Fig.17: Etapas del desarrollo (huevo, larva, pupa y adulto). Recuperado de <http://www.abejapedia.com/ciclo-de-vida-de-las-abejas-meliferas/> , fecha de consulta 31 de julio de 2022, modificado en Paint 3D.

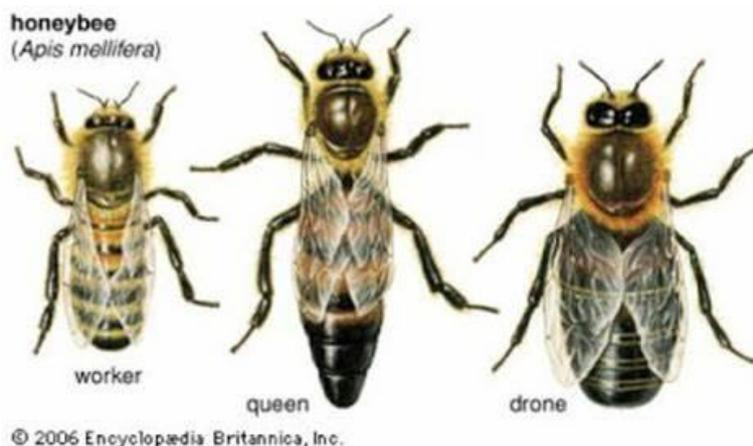


Fig.18: Integrantes de la colonia. En orden de izquierda a derecha: Obrera, reina y zángano. Recuperado de <https://jaleaymiel.wordpress.com/2014/05/01/61/>, fecha de consulta 5 de agosto de 2022.

La reina.

El periodo de desarrollo es de 15 días aproximadamente (Fig.19). Es la única hembra que tiene sus órganos reproductivos desarrollados completamente, se distingue de los otros participantes de la colmena por tener un abdomen alargado y esbelto debido al desarrollo de los ovarios (Yadav, Kumar & Jat, 2017). Es la madre de todos los individuos de la colonia, está especializada en fecundarse y poner huevos. Su función en la colmena es generar descendencia para mantener la existencia de la colonia (AFSSA, 2009). Sus larvas podrán ser futuras abejas obreras, reinas o zánganos dependiendo si fueron fecundados o no, y según el tipo de alimentación (Yadav et al., 2017). Toda la etapa larvaria es alimentada con jalea real (Jean –Prost & Le Conte, 2007). Puede vivir hasta 5 años (AFSSA, 2009).

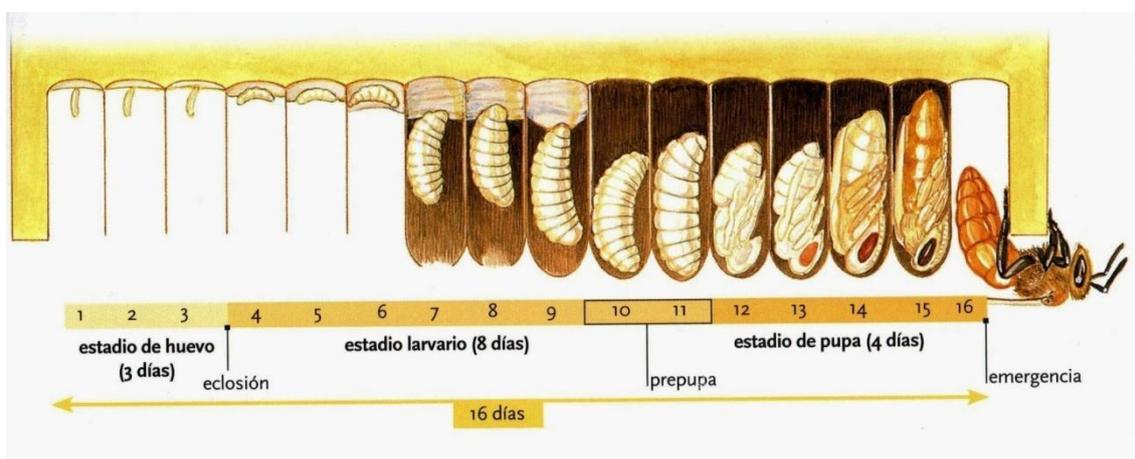


Fig.19: Esquema de desarrollo de la reina (Clement, 2012).

A los 15 días de nacer, la reina realiza vuelos de fecundación donde se aparea con varios zánganos. Durante la cópula, el semen del macho queda guardado en la espermateca, donde los espermatozoides vivos pasaran allí varios años hasta la fecundación de los óvulos que están destinados a formar reina u obrera. Luego de 2 a 5 días del apareamiento comienza la puesta de huevos. Estos tienen forma cilíndrica, levemente curvados, y están sujetos a la parte inferior de la celda (Yadav et al., 2017). En el caso de que la descendencia sea futura reina u obrera, estos huevos son fecundados (huevos diploides $2n$) (la reina pone los huevos luego de haber liberado una porción de espermatozoides) (Guiomar, 2011). Luego según la alimentación que reciba esa larva joven, se diferenciarán en reina y obrera, en el caso de que sea reina, la alimentan toda su vida larvaria con jalea real y en el caso de que sea obrera lo harán solo los primeros tres días. Por otro lado, si es un futuro zángano, la reina va a poner huevos no fecundados (haploides n) (Jean –Prost & Le Conte, 2007). La reina es criada en una celda más grande y alargada que la celda de obrera, llamada celda real, y es realizada por las obreras (Jean –Prost & Le Conte, 2007).

La obrera

El periodo de desarrollo es de 21 días (Fig. 20), son los individuos más chicos de la colonia, están especializadas dependiendo del tipo de función en la colonia, tienen lenguas más grandes que el resto de los individuos, mandíbulas más fuertes y alas que alcanzan sus extremidades, presentan un hueco en la articulación tibio tarsiana en donde llevan el polen y un mecanismo de defensa que las diferencian ampliamente como es el aparato picador (Yadav et al., 2017). En su etapa larvaria a partir del tercer día son alimentadas con papilla de miel, polen y agua, dándoles características físicas y fisiológicas como el poco desarrollo de los órganos genitales (Jean –Prost & Le Conte, 2007). Por esto, la mayoría son estériles (Yadav et al., 2017).

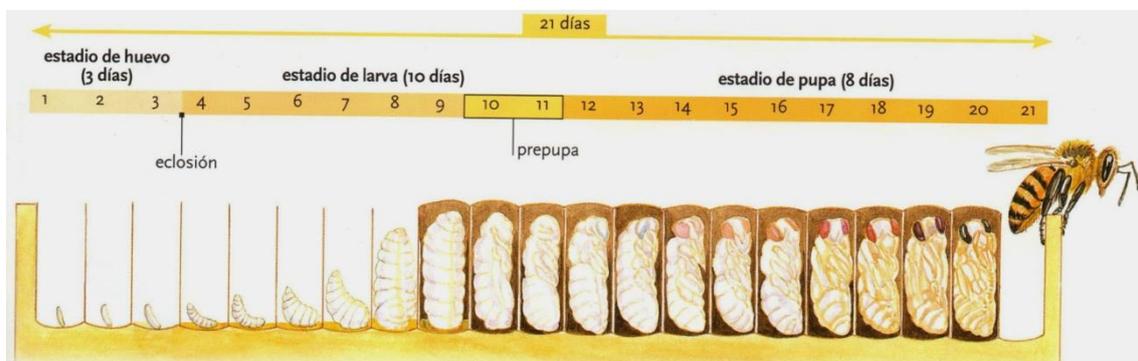


Fig.20: Esquema del desarrollo de una obrera (Clement, 2012).

Las abejas obreras realizan actividades como recolección de polen, secretar cera, limpiar la colmena, regular la temperatura (AFSSA, 2009), construir panales, cuidar y alimentar a las crías, fabricar jalea real, aprovisionar la colmena de agua y alimento. Las obreras construyen con cera los panales recubiertos en ambas caras por cavidades hexagonales donde van a ser depositadas las crías y el alimento (Jean –Prost & Le Conte, 2007).

Los primeros días realizan actividades de limpieza en la colmena como el pulido de las celdas recientemente desocupadas por abejas recién nacidas; del 3er día a los 10 días posteriores empiezan a alimentar a las crías, junto con el cuidado de la reina y el operculado de las celdas; luego de los 10 días empiezan a almacenar alimento, reciben néctar de las abejas recolectoras, lo convierten en miel y lo depositan en celdas de almacenamiento; en este momento tienen un mayor funcionamiento de sus glándulas hipofaríngeas secretando las enzimas necesarias para producir miel; al mismo tiempo empiezan a desarrollar las glándulas venenosas y así estar prontas para defenderse, empaquetan polen, ventilan la colmena con sus alas, y si es necesario realizan celdas con cera para agrandar la colmena. Desde los 20 días en adelante, la abeja realiza tareas de recolección de néctar, polen, resina, y agua y las llevan a la colmena (Seeley, 1995).

Las obreras tienen una vida útil dependiendo de la época del año en que la reina pone los huevos. En verano tienen una vida útil corta de entre 3 y 6 semanas, las cuales se reemplazan constantemente.

Las nacidas a fines de verano tienen una vida más larga de hasta 27 semanas ya que viven hasta la siguiente primavera (AFSSA, 2009).

Zángano

El periodo de desarrollo total es de 23 días (Fig.21). Es más grande que la reina, no tiene ningún aparato para la recolección del polen y tampoco pueden picar. Los primeros tres días de etapa larvaria son alimentados con jalea real y luego igual que la obrera. La celda del zángano es más grande que la de las obreras, y con el opérculo más convexo. Viven aproximadamente 6 meses, las obreras los suelen sacar de las colmenas cuando hay pocos recursos y estos terminan muriendo de hambre porque no pueden valerse por sí mismos. Generalmente se ven en la colonia en primavera y verano (Yadav et al., 2017).

Los zánganos son los encargados de fertilizar a las reinas vírgenes (AFSSA, 2009). El apareamiento se lleva a cabo en el aire, lejos de la colonia, y luego de este terminan muriendo (Yadav et al., 2017).

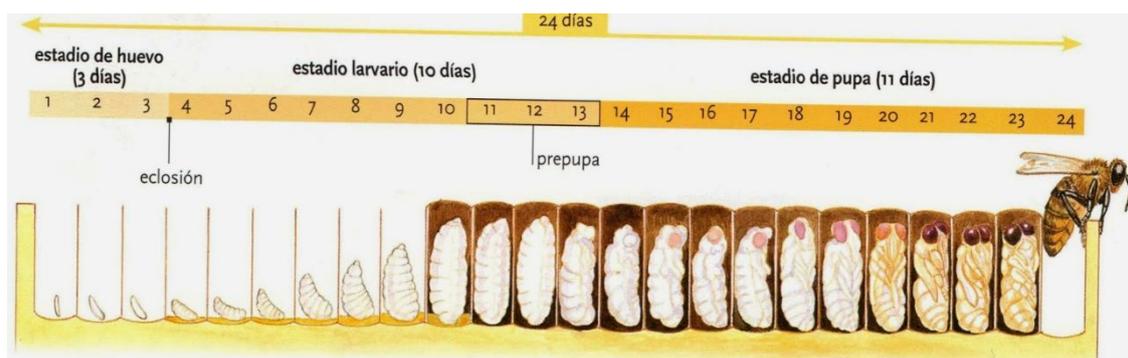


Fig.21: Esquema del desarrollo de un zángano (Clement, 2012).

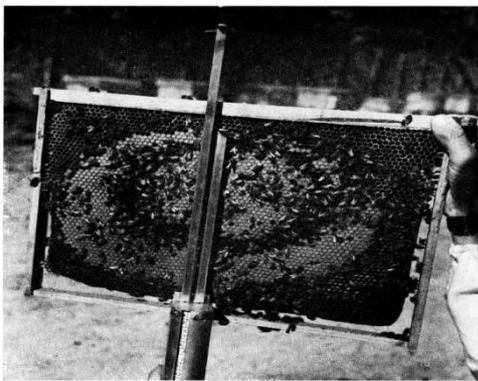
1.7- Métodos de evaluación

La evaluación del estado de desarrollo de las colonias de abejas, tanto en cría como en abejas adultas suele utilizarse generalmente en dos contextos: al comienzo de un estudio como parte de los manejos necesarios para estandarizar las colonias a efectos de reducir el error experimental o como variables de respuesta durante y/o al final de un experimento (Delaplane, Van Der steen & Guzman-Novoa, 2013).

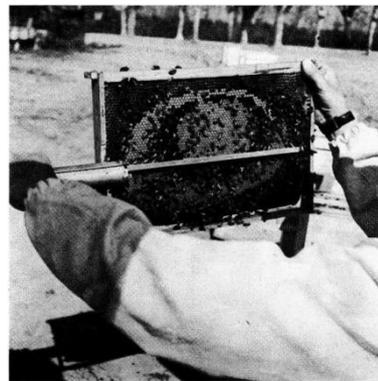
Los métodos utilizados desde los inicios de la investigación apícola han sido básicamente dos: 1) métodos objetivos (MO) y 2) métodos subjetivos (MS).

Los MO fueron evolucionando a lo largo del tiempo valiéndose de artefactos que medían las elipses del área de cría (Fig.22 A & B) (Fresnaye & Lensky, 1962), grillas en las cuales se anotaban los cuadrantes completos y las fracciones de cuadrantes (Fig.22 C), o una hoja de celofán apoyada sobre un vidrio que se superponía al cuadro de cría -donde previamente se habían

retirado a todas las abejas adultas- y en esa hoja se dibujaba el área ocupada por la cría la que luego era medida mediante un planímetro (Fig.22 D) (Fresnaye & Lensky, 1961). Estos métodos, y otros que eran variantes de estos, se utilizaban en general al inicio o al final de los experimentos, ya que en general eran lentos y causaban un gran estrés a las colonias (Delaplane et al., 2013; Fresnaye & Lensky, 1961). Luego, los avances de la fotografía digital y del análisis de imágenes posibilitaron que se pudieran realizar utilizando pocos minutos de tiempo en cada colmena. Sin embargo, el procesamiento de esas imágenes puede llevar una cantidad de tiempo considerable, de acuerdo a la cantidad de colmenas que estén en el experimento, la frecuencia en la que se tomen los registros y lo que se vaya a evaluar de la cría: un sector del área de cría, toda el área de cría, un componente particular del área de cría o todos los componentes (Delaplane et al., 2013, Yoshiyama, Kimura, Saitoh & Iwata, 2011, Juri, Nogueira, Invernizzi & Pedrana, 2018).



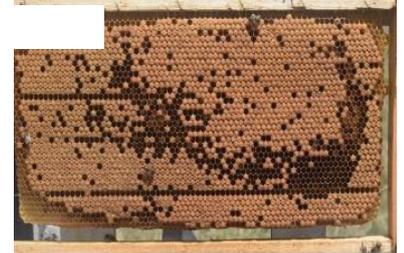
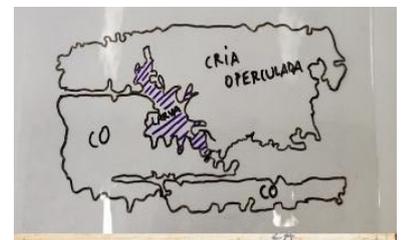
A



B



C



D



E

Fig. 22: Métodos objetivos de evaluación de colmenas. **A)** y **B)** Instrumento para medir el eje menor y mayor de las elipses del área ocupada por la cría. **C)** Grilla para la contabilización de

cuadrantes. **D)** Dibujos en acetatos apoyados sobre el panel. **E)** Fotografía y análisis de imágenes.

Los MS implican que uno o dos operadores estimen el área ocupada por la cría en los cuadros (Fig. 23) y se va generando en el campo una planilla de datos, que luego es pasada a una planilla electrónica y es procesada. A nivel de campo es un proceso rápido, que conlleva poco estrés para las colmenas, y que posteriormente no implica mucho trabajo. Sin embargo, se considera que conlleva un error importante (Fresnaye & Lensky, 1961), pero la poca disponibilidad de recursos humanos que puedan dedicar cientos de horas para procesar las fotografías generadas a lo largo de un ensayo hace que los MS sean una alternativa interesante y muy utilizada.

No hay estudios del error que conllevan los MS, de forma que se pueda saber, de acuerdo al ensayo que se va a realizar, si es pertinente su utilización. Por otra parte, recientemente se ha desarrollado un método semiautomático de análisis de imágenes que reduciría en forma considerable el tiempo de procesamiento de cada fotografía (Colin, Bruce, Meikle & Barron, 2008), sin embargo, este método utiliza solo uno de los componentes del área de cría: la cría operculada.



Fig. 23: Métodos subjetivos. Dos observadores evalúan en forma individual el área de cría de los cuadros que les van siendo presentados por un operador.

La evaluación del área de cría de una colonia implica varias dificultades, ya que cuando la colonia llega al máximo desarrollo puede llegar a ocupar una superficie cercana a 1 m². La misma se puede distribuir en ambas caras de 10 o más cuadros, ocupando desde la totalidad de la cara de un cuadro a una muy pequeña parte del mismo. Además, pueden formar figuras irregulares que son difíciles de estimar, ya sea por el bloqueo de polen o por el nacimiento de las abejas que dejan un sector vacío y otro con abejas por nacer (Fig.24).

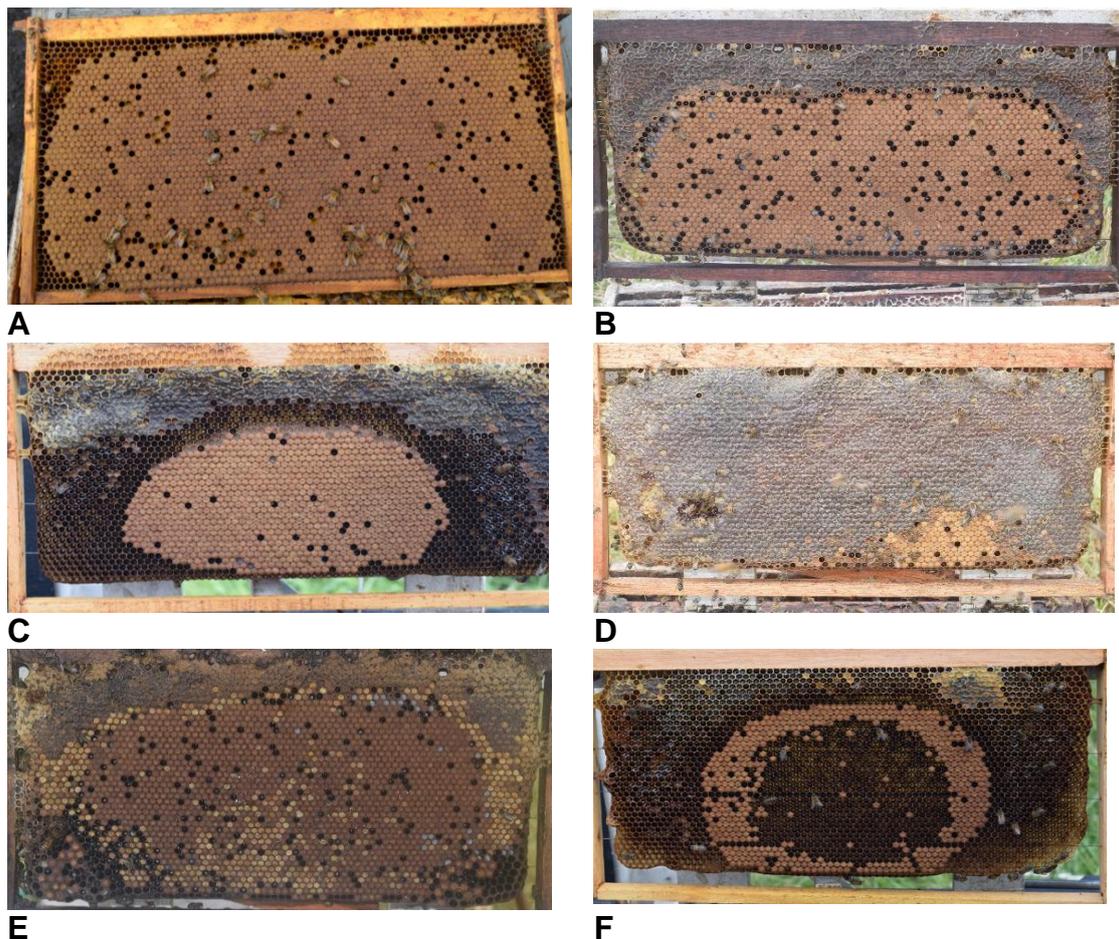
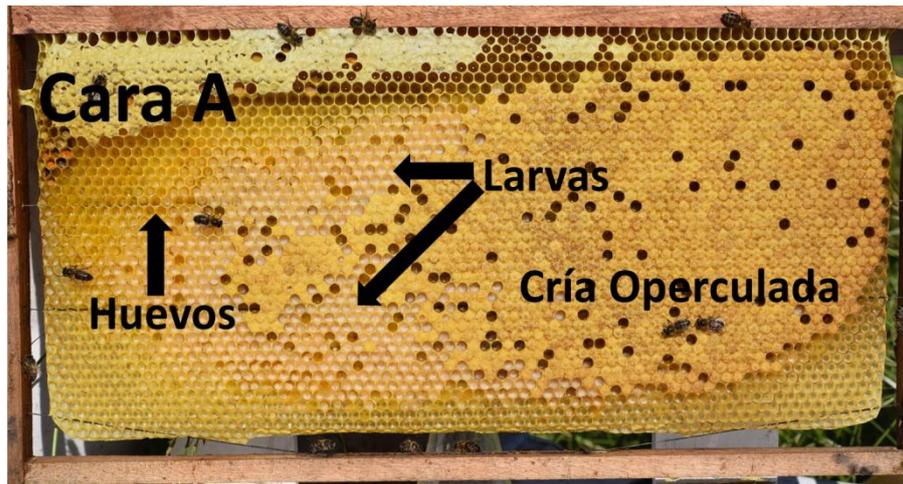


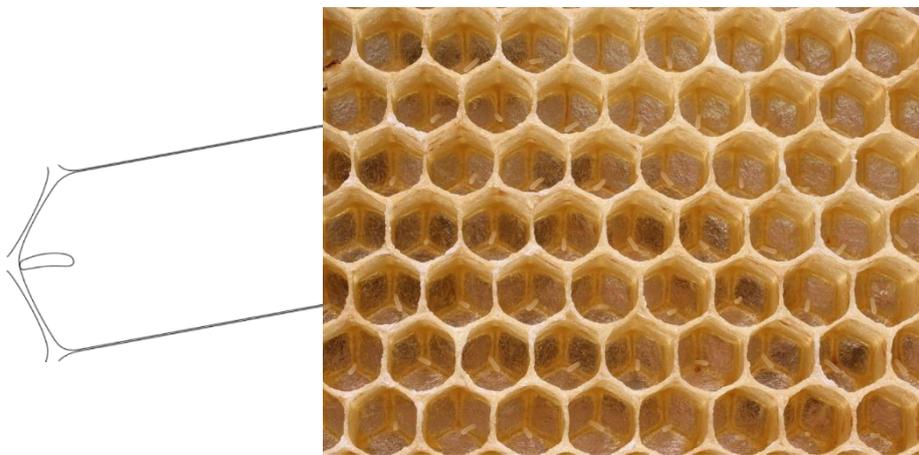
Fig. 24: Diferentes formas de disposición de la cría operculada en los cuadros. **A)** Cubriendo gran parte. **B)** Ocupando un área mediana. **C)** Ocupando un área pequeña. **D)** Ocupando un pequeño parche. **E)** Bloqueada parcialmente por polen. **F)** Formando figuras irregulares por el nacimiento de las abejas.

El ciclo de la abeja obrera es de 3 días como huevo, que es donde ocurre el desarrollo embrionario, 6 días como larva, donde es alimentada y aumenta de tamaño en forma muy rápida, y 12 días como cría operculada que es el período de tiempo en el cual ocurre la metamorfosis (Fig.20). En un mismo cuadro podemos tener todas las etapas del desarrollo (Fig.25A). Además, debido al tamaño no todos los estadios son fáciles de visualizar, ya que los huevos recién puestos están perpendiculares al fondo de la celda que ocupan y en los días 2 y 3 se van inclinando lo que facilita un poco su visualización (Fig.25B y C). Las larvas en los primeros días no son fáciles de observar (Fig.25D): el contenido de las celdas con cría es difícil de ver durante 4 o 5 días de los 21 días del ciclo de la abeja.

Los MO y MS pueden ser utilizados en forma conjunta a lo largo de un ensayo, por lo que es importante conocer en qué momentos es pertinente utilizar cada uno.

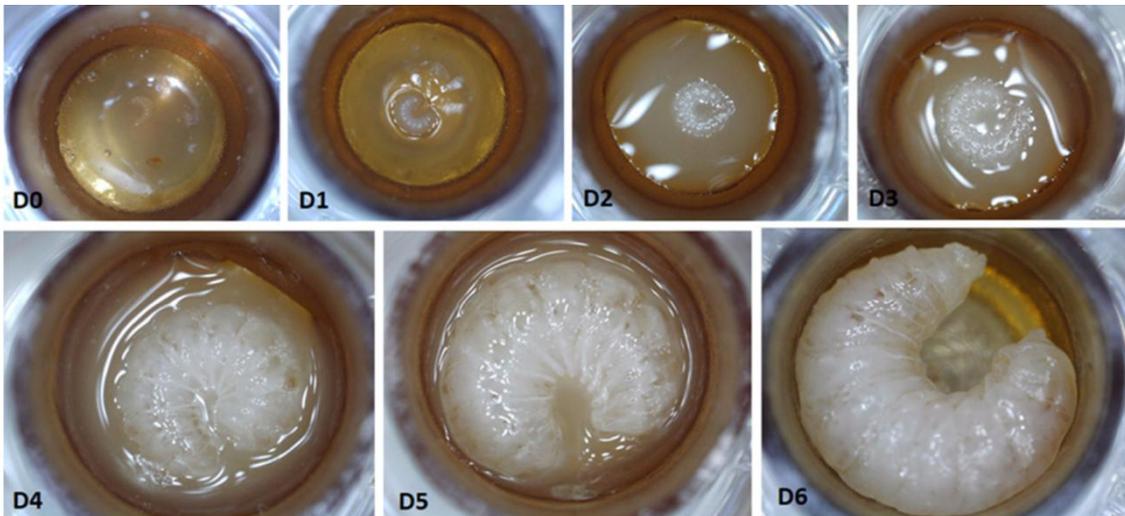


A



B

C



D

Fig. 25: Componentes del área de cría. **A)** Cuadro con huevos, cría abierta y cría operculada. **B)** Esquema de un huevo recién puesto en posición casi perpendicular al fondo de la celda. **C)** Huevos. **D)** Desarrollo de las larvas entre el día 0 y el día 6 (Kruszakin & Migdal, 2022).

Los MO y los MS se pueden utilizar en forma combinada a lo largo de un ensayo, por lo que es necesario conocer a) la magnitud del error que puede existir en el MS, y b) en los MO la equivalencia en la evaluación del área de

cría entre el método de análisis de imágenes realizado en forma manual y el semiautomático.

Basándonos en la bibliografía no surgen las siguientes preguntas:

¿El método subjetivo es bueno?

¿Evaluadores con o sin experiencia?

¿Qué utilizar, ImageJ, CC o subjetivo?

2.-HIPÓTESIS

El método subjetivo es más impreciso que el método objetivo y semiautomático. En particular, este último puede sustituir al análisis de imagen.

3.-OBJETIVOS

Generales

Evaluar el área de cría en colonias de abejas melíferas utilizando métodos de evaluación subjetivo, objetivo y semiautomático y evaluar el desempeño de dichos métodos.

Específicos

- 1) Analizar las estimaciones de áreas de una secuencia de imágenes en el ordenador por varios observadores, con y sin experiencia. Comparar estas estimaciones con el valor real conocido para determinar el error de las estimaciones. Comparar errores entre grupos de medidores según su experiencia.
- 2) Determinar si existe asociación entre el tamaño real del área estimada y el nivel de error cometido en las estimaciones.
- 3) Comparar las estimaciones de área de cría operculada obtenidas mediante método semiautomático y mediante un método subjetivo (observación) respecto de las mediciones realizadas con análisis de imágenes.
- 4) Comparar los errores de estimación entre el método semiautomático y el subjetivo, respecto del método de análisis de imágenes.

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Evaluación de imágenes

Para el estudio inicial se utilizaron 38 imágenes realizadas en Microsoft Office Power Point, las cuales representaban de forma esquemática un cuadro en una colmena. Creamos diferentes figuras en color marrón sobre un fondo naranja. Dichas figuras en marrón representaban el área ocupada por cría.

Las figuras creadas se clasificaron en 4 tipos: las 8 primeras eran figuras simples, las siguientes 8 eran similares a las que se pueden ver en una colonia y las restantes 22 eran figuras realizadas a partir de fotos de dos colmenas reales.

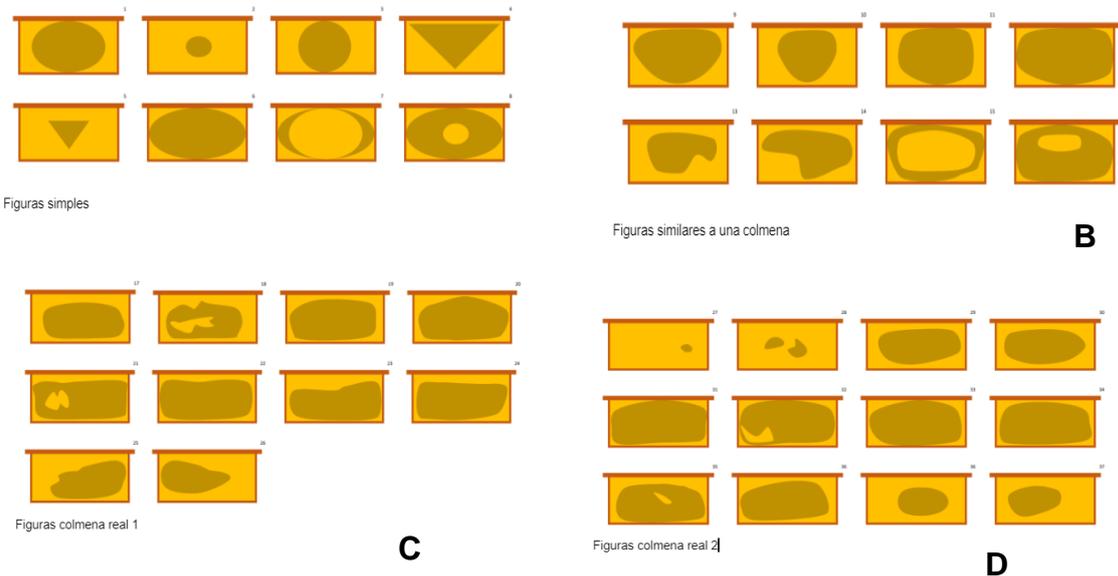


Fig. 26: 38 imágenes utilizadas en la evaluación inicial en Power Point. **A)** Figuras simples. **B)** Figuras similares a una colmena. **C)** Figura realizada a partir de una colmena real (Colmena 1). **D)** Figura realizada a partir de una colmena real (Colmena 2).

4.1.1 Estimación del porcentaje de área ocupada por el color marrón

Se invitaron a observadores con experiencia (10) y sin experiencia (44) para realizar la evaluación de las imágenes. Todos ellos eran estudiantes de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de la República, con un promedio de edad de 30 años. La presentación se permitió ver durante 20 segundos cada imagen y había un descanso de 10 segundos antes de pasar a la siguiente. En cada imagen había que hacer una estimación de qué porcentaje ocupa el área marrón en el marco total. Con estas observaciones se realizó el llenado de planillas con los porcentajes estimados que ocupaba la figura marrón.

4.1.2 Análisis estadístico

4.1.2.1 Cálculo de errores individuales

A partir de lo registrado en la planilla Excel, se calculó los errores cometidos en cada una de las estimaciones, para cada figura y para cada observador: porcentaje de error ($|\text{valor estimado} - \text{valor real}|/\text{valor real}$), error absoluto sin signo ($|\text{valor real} - \text{valor estimado}|$) y error absoluto con signo ($\text{valor real} - \text{valor estimado}$). El valor real fue estimado mediante el programa ImageJ, que es el Gold standard de este trabajo. Para caracterizar los errores cometidos se calcularon las medidas de resumen para estos datos: promedio, mediana, desvío, valor máximo, valor mínimo y rango. Con estos datos se construyeron las gráficas box plot respectivas.

4.1.2.2 Cálculo de errores promedio

A partir de las estimaciones de los observadores, se obtuvo una estimación promedio para cada una de las figuras, tanto para el grupo con experiencia como el grupo sin experiencia. A partir de la estimación promedio y conociendo los valores reales, se calcularon los correspondientes errores (porcentaje de error, error absoluto con signo y error absoluto sin signo). Se obtuvieron las medidas de resumen y se elaboraron los boxes plot de errores comparando los 2 grupos: con y sin experiencia.

4.1.2.3 Análisis de normalidad y comparación entre los métodos

Previo a la realización de cualquier test estadístico, se utilizó el test de Shapiro-Wilk para evaluar si los datos presentaban una distribución normal. Para comparar los errores entre grupos con y sin experiencia, se realizó el test de Wilcoxon (test no paramétrico para comparar medidas pareadas).

4.1.2.4 Coeficiente de correlación y concordancia

Con el objetivo de analizar la concordancia entre las estimaciones promedio de los grupos con y sin experiencia y los valores reales obtenidos mediante ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/>), se calculó el Coeficiente de Concordancia de Lin (CCC) para cada grupo utilizando un complemento de Excel y el software RStudio (RStudio Team, 2020).

El índice CCC se basa en diferenciar entre las observaciones realizadas por dos observadores a un mismo sujeto, y así evaluar la concordancia entre las dos lecturas. Se mide la variación desde la línea de 45° a través del origen. Tiene una interpretación intuitiva porque incluye componentes de precisión como grado de variación y grado de ubicación o cambio de escala. Cuando hay un nuevo instrumento y hay que validarlo, se debe comparar cómo funciona, y ver si el nuevo puede sustituir el método tradicional. Tales procesos de validación frecuentemente se evalúan utilizando el coeficiente de correlación de Pearson, a la prueba de t pareada, el análisis por cuadrados mínimos con pendiente igual a 1 y el intercepto igual a 0, el coeficiente de variación, o el coeficiente de correlación intraclase. Existen desventajas en el uso de todas estas estadísticas, ya que no se puede evaluar la reproducibilidad utilizando solamente una de ellas.

La correlación y regresión lineal son suficientes para evaluar el acuerdo entre dos métodos, pero existe la necesidad de un índice de resumen para evaluar la reproducibilidad de las mediciones. Este índice fue desarrollado por Lin (1989) y se denomina el coeficiente de correlación de concordancia. Se grafica el resultado obtenido con el método 1 contra el resultado obtenido con el método 2 para cada muestra, con el fin de observar si los puntos están sobre una línea de 45 grados que pasa por el origen, esto es la línea de concordancia. La reproducibilidad perfecta del ensayo será cuando los puntos caen sobre la línea de concordancia. El resultado es el grado de reproducibilidad. El coeficiente de correlación de concordancia puede tener valores desde -1 a +1 y sus valores absolutos no pueden ser mayores que el coeficiente de correlación de Pearson. El mismo se calcula como el producto del coeficiente r de Pearson por un "factor de corrección del sesgo" (C_b). Este factor mide el desvío de la recta de regresión de las mediciones respecto de la recta "ideal" a 45°, siendo un reflejo de la exactitud del método y el coeficiente de Pearson es un reflejo de la precisión.

Para visualizar la concordancia entre estimaciones y valor real, se representa un diagrama de dispersión con una recta de regresión para cada grupo. Se calcula el coeficiente de Pearson r (coeficiente de regresión), así como su intercepto y el valor de la pendiente.

4.1.2.5 Correlación entre el área de figura y el error

Para determinar si existe asociación entre el área de cada figura y el porcentaje de error cometido, se calculó el coeficiente de Kendall para ambos grupos. Se realizaron 2 gráficas reflejando estos datos, una para cada grupo. El coeficiente de Kendall es una alternativa al coeficiente de Pearson cuando falla al menos una de las suposiciones del coeficiente de Pearson (ej. relación lineal entre variables involucradas).

4.1.2.6 Correlación entre la forma de la figura y el error

En esta etapa se tipificaron las 38 imágenes como A, B, C y D según su forma. La A corresponde a las 8 figuras simples, B a las 8 figuras similares a las de una colmena real, C y D eran representaciones de imágenes reales de dos colmenas respectivamente. Para determinar si la forma de las figuras tiene un efecto sobre los errores cometidos al estimar su área, se realizó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis para cada tipo de error (error absoluto sin signo y porcentaje de error de las estimaciones promedio) y para cada grupo (con y sin experiencia), así como su correspondiente box plot, en el cual se representaron los 4 tipos diferentes de formas (A, B, C y D). Esta prueba tiene como hipótesis nula que no existe diferencia entre los grupos y como hipótesis alternativa de que hay al menos un grupo que se diferencia del resto. Si el valor p es superior a 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula porque no hay evidencia suficiente, si da menor se rechaza la misma.

4.2 Comparación entre métodos:

A. Método subjetivo vs objetivo (ImageJ)

B. Método semiautomático (CombCount) vs objetivo (ImageJ)

4.2.1 Evaluación subjetiva a campo

Se procedió a realizar una evaluación subjetiva del área de cría total y operculada por parte de 2 observadores, en 4 colmenas, las cuales contenían 9 cuadros cada una. Estas estimaciones fueron registradas en una planilla individual para cada observador.



Fig. 27: Estudiantes realizando la evaluación subjetiva del área de cría de una colmena.

Una vez finalizada la evaluación subjetiva de los mismos, se procedió a la toma de fotografías con una cámara reflex Nikon d5300 con objetivo Nikon de 50 mm. La cámara se colocó en un extremo de un bastidor y en el otro se presentaron los cuadros a ser fotografiados.



A



B

Fig. 28: Atril utilizado para tomar las fotos. **A)** Cuadro en posición para fotografiarlo. **B)** Cámara réflex Nikon d5300 con objetivo Nikon de 50 mm.

Las colmenas utilizadas fueron del apiario del campo N°2 de libertad

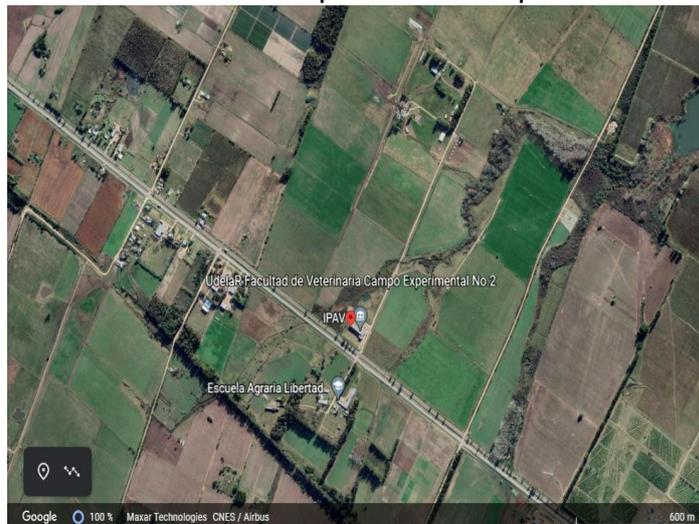


Fig. 29: Vista Google Earth de la Udelar Facultad de Veterinaria Campo Experimental No. 2.



Fig. 30: Colmenas de la Udelar Facultad de Veterinaria Campo Experimental No. 2.

4.2.2 Análisis objetivo (ImageJ) y semiautomático (CombCount) de las imágenes

Una vez tomadas todas las fotografías, se descargaron a la PC dividiéndose en colmena 1, colmena 2, colmena 3 y colmena 4. Se realizó un promedio de las estimaciones realizadas por los 2 observadores tanto para el área de cría operculada como para el área de cría total, confeccionando sus correspondientes tablas de datos (promedio área de cría total subjetivo y promedio área de cría operculada subjetivo).

Se analizaron en la computadora las imágenes una a una con el software ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/>), que es un método objetivo, se midió el área total de cría (huevo, larva y cría operculada), confeccionando su tabla de datos correspondiente (área de cría total según ImageJ y área de cría operculada según ImageJ). El software ImageJ fue considerado el Gold standard en este estudio.



Fig. 31: Procesamiento de foto tomada de un cuadro de una colmena en ImageJ.

Por otro lado, las imágenes se analizaron en el software Comb-Count (de aquí en más CC) (<https://github.com/jakebruce/CombCount#combcount>), método semiautomático, pero este sólo estima el área operculada del cuadro, se confecciona su tabla correspondiente de datos (área operculada CC).

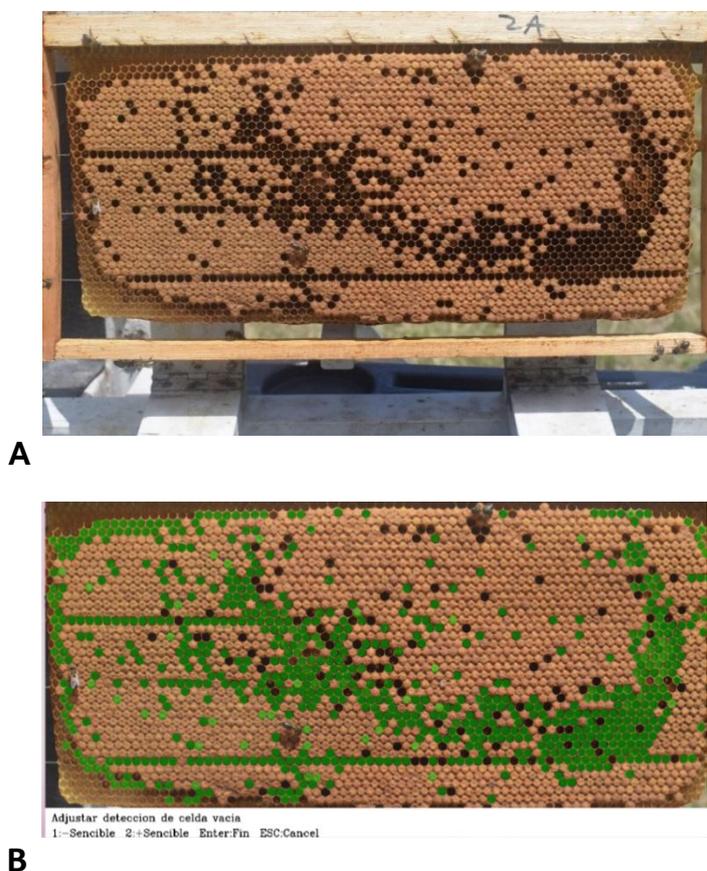


Fig. 32: Procesamiento de foto tomada de un cuadro de una colmena, en Coumb Count. **A)** Imagen real inicial. **B)** Imagen procesada en Coumb Count. (<https://github.com/jakebruce/CombCount#combcount>)

4.2.3 Análisis estadístico

4.2.3.1 Coeficiente de correlación y concordancia

Se comparó el área de cría operculada según cada uno de los 2 métodos respecto al Gold standard ImageJ (Tabla Anexo 2).

A partir de estos datos, se estudió la concordancia entre los grupos ImageJ vs CC e ImageJ vs Subjetivo, se calculó el coeficiente de Lin.

4.2.3.2 Calculo de errores

Se hizo una caracterización de los errores de las estimaciones para cada grupo: porcentaje de error ($|\text{valor método evaluado} - \text{valor ImageJ}| / \text{valor}$

Image J), error absoluto sin signo ($|\text{valor método evaluado} - \text{valor ImageJ}|$) y error absoluto con signo ($\text{valor método evaluado} - \text{valor ImageJ}$). Se calculó las medidas de resumen para estos errores: promedio, mediana, desvío, valor máximo, valor mínimo y rango. Con estos datos se construyeron las gráficas box plot respectivos.

5.- RESULTADOS

5.1 Evaluación de los errores en imágenes

Se compararon los errores obtenidos en las estimaciones de la superficie de cada una de las 38 imágenes por cada uno de los 54 observadores para los grupos con y sin experiencia.

En primer lugar, se analizó el error absoluto sin signo de las estimaciones para cada grupo (Fig.33 A), así como el error absoluto con signo (Fig.33 B) y el porcentaje de error (Fig.33 C). Las medidas de resumen calculadas se presentan en (Tabla 4).

Se puede observar un mayor rango de valores de error en los usuarios sin experiencia, y con valores extremos más altos.

Tabla de errores de estimaciones individuales

Tabla 4: Medidas de resumen de error absoluto sin signo según grupo, medidas de resumen del error absoluto con signo según grupo y medidas de resumen del % error según grupo.

	Error absoluto sin signo		Error absoluto con signo		% Error	
	Con exp	Sin exp	Con exp	Sin exp	Con exp	Sin exp
Medidas de resumen						
Media	7,06	8,43	1,84	3,53	19,83	25,00
Mediana	6,00	7,00	1,50	4,00	11,39	14,00
Desvío	5,92	6,94	9,03	10,33	31,04	44,16
Minino	0,00	0,00	-36,00	-61,00	0,00	0,00
Máximo	47,00	61,00	47,00	38,00	362,00	900,00
Rango	47,00	61,00	83,00	99,00	362,00	900,00

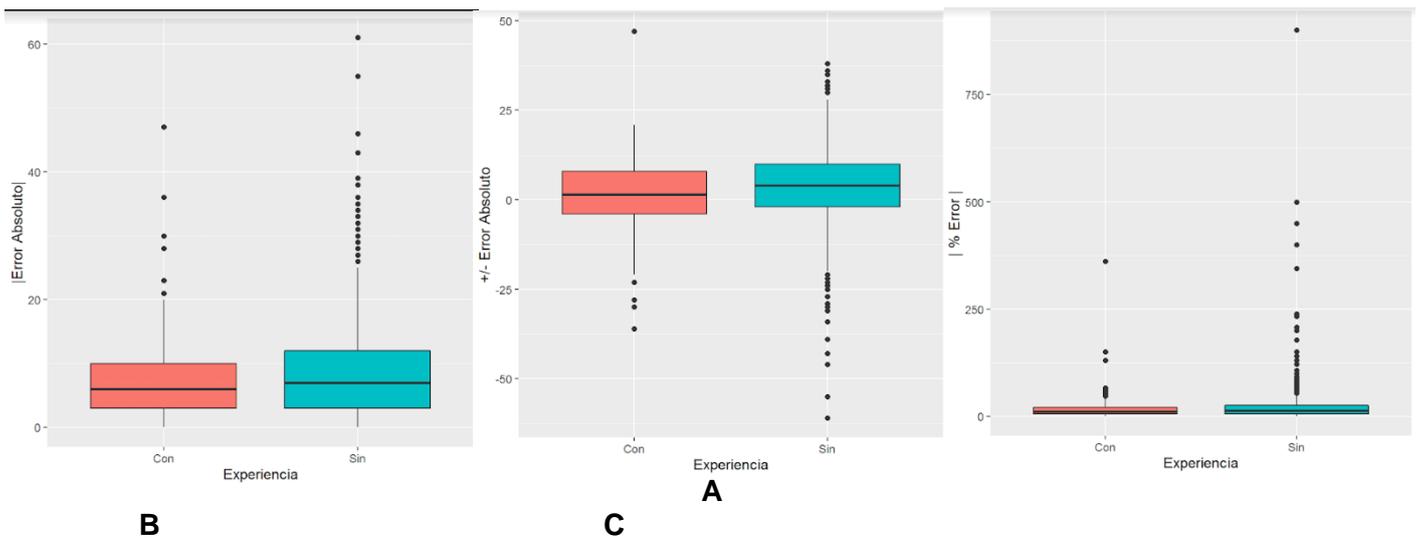


Fig. 33: Graficas de errores en las estimaciones de las imágenes según grupo. **A)** Error absoluto sin signo según grupo. **B)** Error absoluto con signo según grupo. **C)** Porcentaje de error según grupo.

5.2 Evaluación de errores en los promedios de estimaciones

Estos promedios de estimaciones son el valor que arroja el método subjetivo, permitiéndonos de esta manera poder analizar los datos en conjunto.

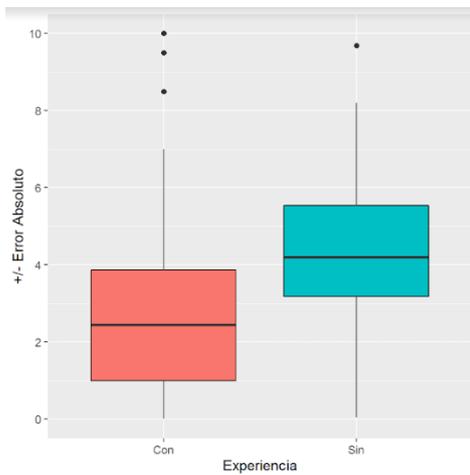
En las siguientes gráficas (Fig.34 A, B y C) se muestran los tres tipos de error asociados a los promedios de las estimaciones de cada figura según el grupo. Los promedios de las estimaciones por figura están detallados en las tablas 12 y 13 presentes en el Anexo 1. Las medidas de resumen de los errores asociados a promedios de estimaciones se presentan en la Tabla 5. En las gráficas del error absoluto sin signo (Fig.34 A) y con signo (Fig.34 B), se puede observar que tenemos un rango de errores con poca diferencia, no sustancial, entre ambos grupos. Se puede observar una mayor media y mediana en el grupo inexperto.

En cuanto al porcentaje de error (Fig.34 C) el grupo sin experiencia presenta un mayor rango que el grupo con experiencia. Asimismo, el grupo sin experiencia presenta, mayor media y mediana.

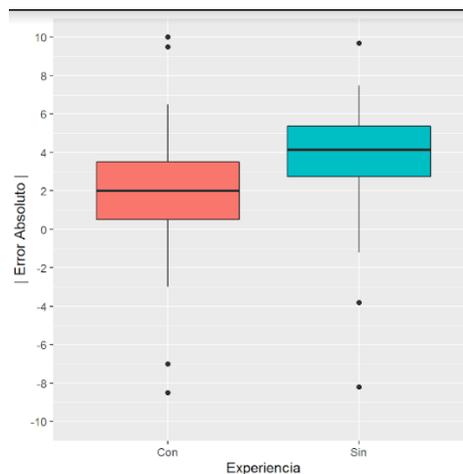
Tabla de errores promediados

Tabla 5: Medidas de resumen del error absoluto sin signo según grupo, medidas de resumen del error absoluto con signo según grupo y medidas de resumen del % error según grupo.

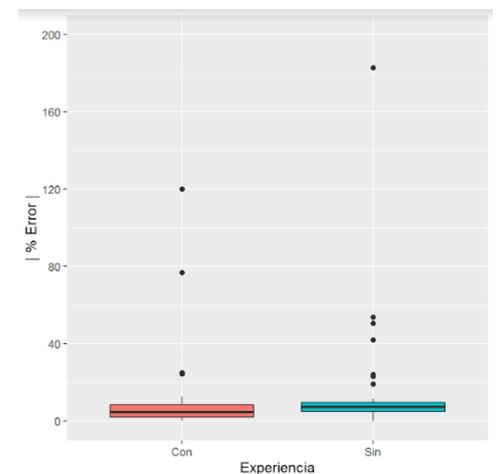
Medidas de resumen	Error absoluto sin signo		Error absoluto con signo		% Error	
	Con exp	Sin exp	Con exp	Sin exp	Con exp	Sin exp
Media	3,05	4,23	1,84	3,53	10,81	15,71
Mediana	2,45	4,20	2,00	4,15	4,64	7,40
Desvío	2,58	2,26	3,57	3,27	22,23	30,61
Minino	0,00	0,05	-8,50	-8,20	0,00	0,08
Máximo	10,0	9,68	10,0	9,68	120,0	182,95
Rango	10,0	9,63	18,5	17,9	120,0	182,87



A



B



C

Fig. 34: Graficas de errores asociados a los promedios de estimaciones. **A)** Error absoluto sin signo según grupo. **B)** Error absoluto con signo según grupo. **C)** Porcentaje de error según grupo.

5.3 Comparación de errores entre grupos con y sin experiencia

Una vez calculados los 3 tipos de errores para cada uno de los grupos, se compararon los mismos entre el grupo con experiencia y sin experiencia para ver si hay diferencias significativas en los errores cuando el método es llevado a cabo por observadores con distinta experiencia.

En primer lugar, se analizó si existía normalidad en el set de datos de errores mediante el test de Shapiro-Wilk. Como se determinó que en ningún caso los errores seguían una distribución normal (p -valor <0.05), la comparación de errores se hizo con el test no paramétrico de Mann-Whitney-Wilcoxon para muestras pareadas. El test halló evidencia para rechazar la hipótesis nula y afirmar que la mediana de las diferencias es significativamente distinta de 0 ($W=166.5$, $Z= -2.959$, p -valor = 0.002). Por lo observado en la Fig.39, es evidente que las estimaciones del grupo sin experiencia fueron más inexactas. Lo mismo se observó para el error con signo, ($W=126$, $Z = -3.5459$, p -value = 0.0002101), y el porcentaje de error ($W=187$, $Z = -2.6612$ p -value = 0.006918).

5.4 Evaluación de la exactitud y precisión del método según nivel de experiencia

Antes de analizar los resultados se debe advertir que como la distribución de los residuos (la diferencia de lo que vale el punto que está por arriba de la recta y de lo que tendría que valer según la recta) no es normal, se debe interpretar con precaución los datos de la regresión. La normalidad fue evaluada con el test de Shapiro-Wilk (p -valor <0.05).

En el grupo con experiencia, la recta de regresión ($y = 1,006x + 1,523$, $R^2 = 0.978$) no presenta un gran alejamiento respecto a la recta ideal (Fig.35 A). Se obtuvo un coeficiente de Lin "sustancial", según definición de McBride (2005), de 0.986. En el grupo sin experiencia la recta de regresión ($y = 1,012x + 2,891$, $R^2 = 0.981$) se aleja un poco más de la ideal, y puede observarse una distancia mayor entre las mismas (Fig. 35 B). También se obtuvo un coeficiente de Lin "sustancial" de 0.984.

A partir de estas observaciones, se puede afirmar que el método de evaluación subjetivo utilizado es bueno, se nota que la recta se asemeja en ángulo a la ideal, y la distancia no es demasiado con respecto a la misma. El coeficiente de Lin en ambos casos es sustancial (McBride, 2005). Los parámetros que reflejan la exactitud (Cb, Location shift, Scale shift) resultaron ser mejores para el grupo con experiencia. La precisión que se refleja en el coeficiente r , presenta una diferencia negligible entre ambos grupos, siendo muy alta en ambos casos. Las medidas obtenidas por el coeficiente de Lin se encuentran en la siguiente tabla:

Medidas arrojadas por el coeficiente de Lin

Tabla 6: Valores obtenidos a partir del coeficiente de Lin.

Datos descriptivos	Con experiencia	Sin experiencia
r	0,989	0,990
Coefficiente de Concordancia de LIN	0,985	0,979
Límite inferior (95%)	0,972	0,962
Límite superior (95%)	0,992	0,988
scale shift	1,018	1,022
location shift	0,079	0,152
Cb	0,997	0,988

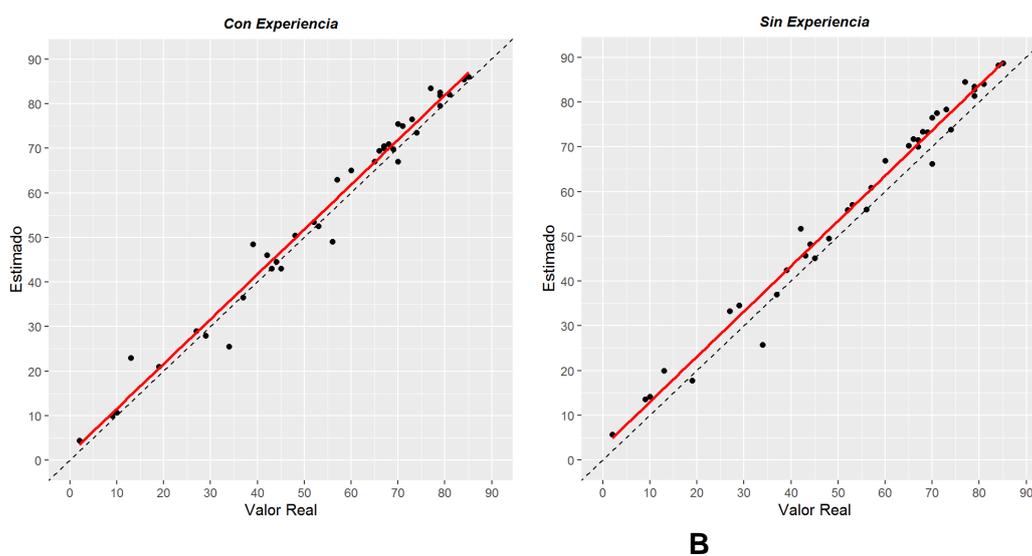


Fig. 35: Graficas de regresión. **A)** Valores estimados vs reales, con su recta de regresión, grupo con experiencia. **B)** Valores estimados vs reales, con su recta de regresión, grupo sin experiencia.

5.5 Efecto del área real en el error de estimación

Se utilizó el coeficiente de Kendall en lugar de utilizar Pearson por ausencia de normalidad (Shapiro-Wilk, p-valor<0.05) y no linealidad en los valores.

La hipótesis inicial era que cuanto mayor es el área de la figura, menor es el error que se comete al estimar. Este coeficiente cuantifica la correlación entre el error y el tamaño del área. Sirve para ver si existe relación significativa decreciente o creciente entre los valores.

Respecto al error absoluto sin signo (Fig. 36 A), no se observa una asociación significativa entre el área real y el error cometido para el grupo con experiencia

(tau = 0.099, p-valor = 0.39) y tampoco para el grupo sin experiencia (tau= -0.119, p-valor= 0.30).

Respecto al error absoluto con signo (Fig. 36 B), podemos observar que, en el caso del grupo con experiencia, hay un comportamiento decreciente de los valores estimados, significativa, llegando a errores negativos en algunos valores, tendiendo a subestimar a medida que las áreas son de mayor tamaño (tau= -0.31, p-valor= 0,005). Esto no se observa en el grupo sin experiencia, que muestra un leve comportamiento decreciente al estimar, no significativa, tendiendo a subestimar las áreas más grandes (tau= -0,08, p-valor= 0,47). Esto podría haber sido por azar.

Al analizar el porcentaje de error en función del área real (Fig. 36 C), lo que se observa es que, cuanto más chica es el área de la imagen, el error es más alto. Si bien esta tendencia se observa en ambos grupos, en el grupo con experiencia (tau= -0.21, p-valor= 0,05) la correlación no resultó significativa mientras que en el grupo sin experiencia sí lo fue (tau= -0,42, p-valor= 0,0001).

En resumen, al aumentar el tamaño de las áreas a estimar se observa: subestimación del grupo en con experiencia, sobre estimación en el grupo sin experiencia; disminuye el % de error, más marcadamente en grupo sin experiencia. Los valores del coeficiente de Kendall son ilustrados en la siguiente tabla:

5.6 Efecto de la forma de la figura en el error de estimación

Valores arrojados por el coeficiente de Kendall

Tabla 7: Valores obtenidos a partir del coeficiente de Kendall.

Valores de Kendal	Error absoluto sin signo		Error absoluto con signo		% Error	
	Con exp	Sin exp	Con exp	Sin exp	Con exp	Sin exp
Tau	0,099	-0,119	-0,317	-0,082	-0,220	-0,423
p-value	0,390	0,300	0,005	0,473	0,053	0,000

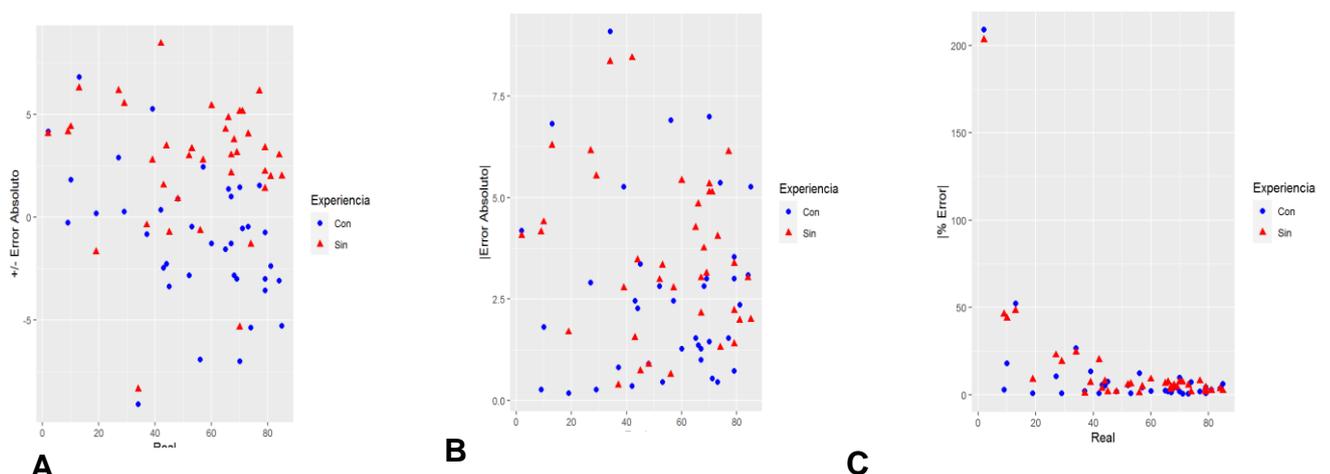


Fig. 36: Gráficas de error de estimación en función del área real. **A)** Error absoluto sin signo. **B)** Error absoluto con signo. **C)** Porcentaje de error.

A cada figura se la clasificó según el tipo de imagen: A, B, C, o D. Este método evalúa si hay diferencia en los errores de estimación según los 4 diferentes tipos de imágenes. Este método tiene como hipótesis nula que los errores no difieren según el tipo de imagen y como hipótesis alternativa que sí hay diferencia en al menos en un grupo respecto al resto. Para esta parte, se consideraron el módulo del error absoluto y el porcentaje de error según la forma de la imagen, para los grupos con y sin experiencia. Al observar la distribución del error absoluto en (Fig. 37 A), no hay diferencias significativas dentro de cada grupo respecto a el tipo de imagen (Tabla 8). Lo mismo para él % de error (Fig. 37B) (Tabla 8). Si comparamos entre los grupos, en la distribución de errores absolutos, hay diferencias entre los grupos con experiencia y sin experiencia, ya que las cajas arrojadas en el box plot por el grupo sin experiencia, se encuentran más arriba. A partir del análisis realizado, tanto para el error absoluto como el porcentaje de error, concluimos que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula ya que el p-valor es mayor a 0.05. Por lo tanto, no podemos afirmar que la forma de la figura tenga un efecto significativo sobre el error cometido.

Valores arrojados por el método Kruskal-Wallis.

Tabla 8: Datos de las figuras obtenidos por Kruskal-Wallis.

Valores obtenidos	Error absoluto		% Error	
	Con exp	Sin exp	Con exp	Sin exp
p-value	0,581	0,854	0,559	0,637
chi-squared	1,959	0,779	2,066	1,700
df	3,000	3,000	3,000	3,000

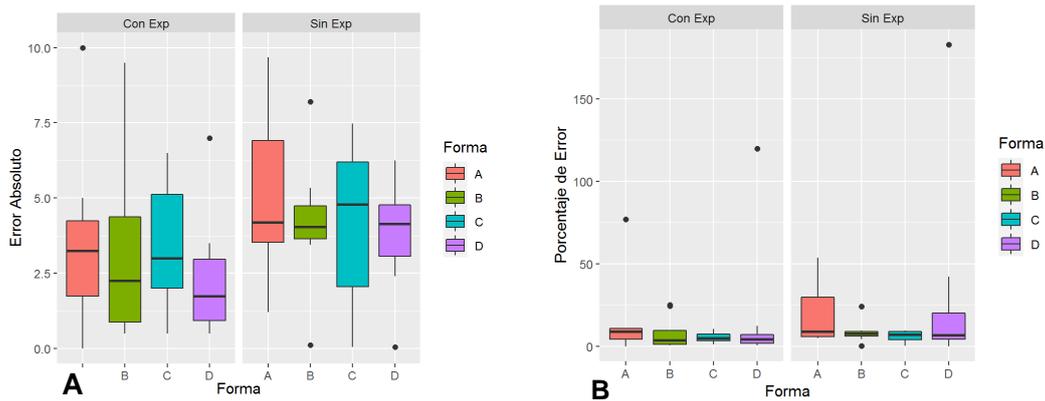


Fig. 37: A) Gráfico representando el error absoluto con respecto a las distintas formas de las imágenes, estimadas tanto para el grupo con y sin experiencia. **B)** Gráfico representando el porcentaje de error con respecto a las diferentes formas de las imágenes que fueron estimadas, tanto para el grupo con y sin experiencia.

5.7 Comparación de área de cría operculada estimada mediante método semiautomático y subjetivo respecto a ImageJ.

Comparando el método semiautomático vs el ImageJ, la recta de regresión ($y = 0,8585x + 0,2023$, $R^2 = 0,962$) difiere menos de la ideal que al analizar el método subjetivo vs el ImageJ ($y = 1,2033x + 0,8837$, $R^2 = 0,967$) (Fig. 38). En el primer caso, la pendiente es menor a la de la recta "ideal" mientras que, en el segundo caso, la pendiente es mayor. Para el primer análisis se obtuvo un coeficiente de Lin de 0.9627 (Tabla 9), "sustancial" según McBride (2005); para el segundo análisis se obtuvo un coeficiente de Lin de 0.9384 (Tabla 9) "moderado" (McBride, 2005). Los parámetros que miden la exactitud del método (Cb, Location shift, Scale shift) resultaron ser mejores para el método semiautomático. La precisión (r) tuvo una diferencia mínima entre ambos grupos (Tabla 9).

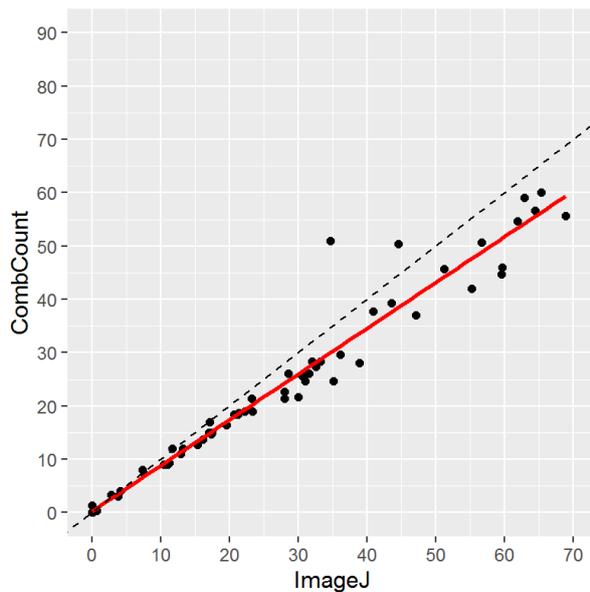
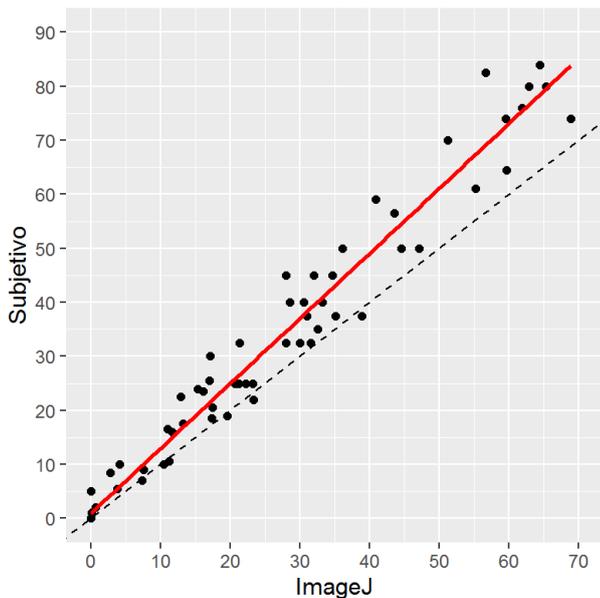
Podemos decir comparando ambos coeficientes que el método semiautomático tiene mayor similitud/concordancia con el Gold Standard ImageJ.

Valores obtenidos a partir del coeficiente de Lin.

Tabla 9: Medidas arrojadas por el coeficiente de Lin del método semiautomático vs ImageJ, y método subjetivo vs ImageJ.

Datos descriptivos	Coumb Count vs ImageJ	Subjetivo vs ImageJ
r	0,981	0,983
CCC lin	0,961	0,938
Límite inferior (95%)	0,943	0,914

Límite superior (95%)	0,943	0,956
Scale shift	1,142	1,223
Location shift	0,151	0,235
Cb	0,980	0,954



B

A

Fig. 38: Graficas de regresión. **A)** Valores estimados vs reales, con su recta de regresión, grupo con experiencia. **B)** Valores estimados vs reales, con su recta de regresión, grupo sin experiencia.

5.8 Comparación de los errores de estimación entre método semiautomático y subjetivo, respecto a ImageJ.

Podemos observar en la Tabla 10 que las estimaciones hechas con el método semiautomático arrojan menor porcentaje de error que con el método subjetivo, respecto al ImageJ. El método subjetivo exhibe errores más extremos, con un máximo de 665.3, media de 34.7 y un desvío estándar de 84.4 como se observa en la figura 39.

Medidas de resumen de errores comprando los métodos

Tabla 10: Medidas de resumen del error absoluto sin signo según método, medidas de resumen del error absoluto con signo según método y medidas de resumen del % error según método.

Medidas de resumen	Error absoluto s/signo		Error absoluto c/signo		% Error	
	ImageJ vs CC	ImageJ vs Subj	ImageJ vs CC	ImageJ vs Subj	ImageJ vs CC	ImageJ vs Subj
Media	3,60	5,50	-2,90	5,40	13,30	34,70
Mediana	2,50	3,40	-2,20	3,40	11,90	14,20
Desvío	4,10	6,10	4,60	6,20	14,80	84,40
Mínimo	0,00	0,00	-14,90	-1,50	0,00	0,00
Máximo	16,30	25,80	16,30	25,80	100,00	665,30
Rango	16,30	25,80	31,20	27,30	100,00	665,30

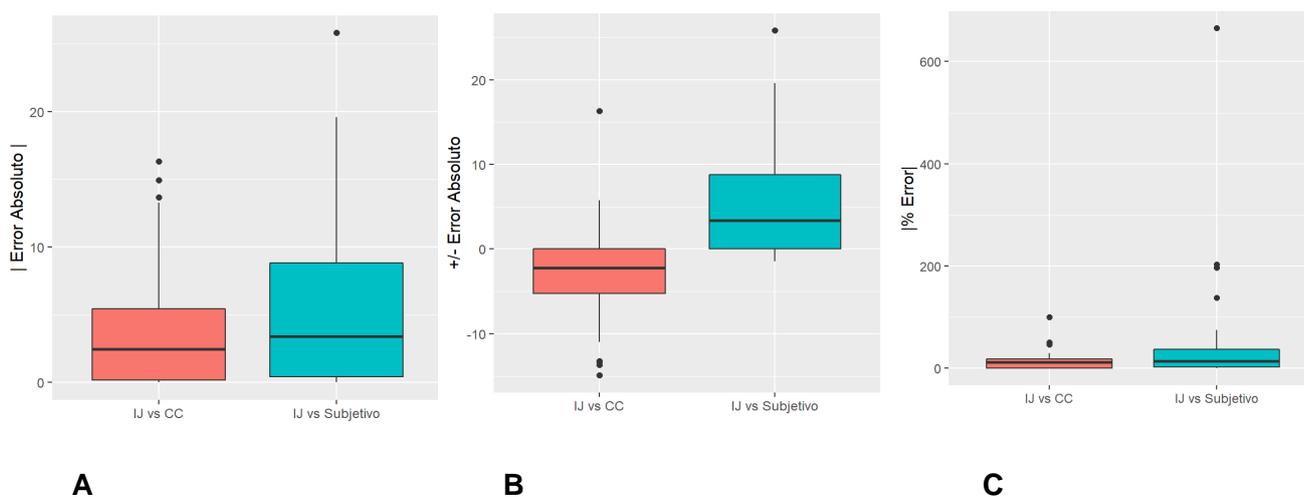


Fig. 39: Graficas de errores. **A)** Error absoluto sin signo según métodos. **B)** Error absoluto con signo según métodos. **C)** Porcentaje de error según métodos.

6- DISCUSIÓN

6.1. Evaluación de imágenes

Inicialmente, esperábamos observar que los errores de los usuarios sin experiencia fueran mayores de lo que realmente fueron.

Hay valores más extremos en los grupos sin experiencia y hay más variabilidad en los errores, lo que habla de un comportamiento más heterogéneo de los observadores, por lo que podemos ver la altura de la caja de los boxes plot.

Las estimaciones individuales que se realizaron inicialmente en Microsoft Power Point, sin promediar, aparentan ser altas y dar un resultado alejado del valor real, lo cual se reflejaría en una performance pobre, con estimaciones inexactas, del método en cuestión. Sin embargo, en general y contrario a lo esperado, en el promedio no se observan grandes diferencias respecto a las medidas reales.

Las estimaciones individuales, una vez promediadas para cada figura, no arrojan grandes diferencias respecto al resultado del Gold Standard, ya que se compensan al realizar el promedio, y esto nos da como resultado valores más similares al real. Sin embargo, conforme a lo esperado, se hallaron diferencias significativas en los errores cometidos por el grupo con experiencia y el grupo sin experiencia, siendo el primero el que presentó una mejor performance con menores errores. Esta superioridad se tradujo en un ligeramente mayor coeficiente de concordancia de Lin en el grupo experiente, coeficiente responsable de cuantificar el grado de “acuerdo” y “precisión” entre un método en estudio y un Gold Standard (Barnhert, Heber & Song, 2002). La exactitud fue ligeramente superior mientras que la precisión fue similar entre ambos grupos. Las escasas diferencias pueden deberse a que la experiencia de los usuarios corresponde al trabajo en el campo de apicultura. Al trasladar el método de evaluación subjetivo a una pantalla de pc puede verse alterada la misma, se sigue demostrando su experiencia porque es una habilidad que ya tienen adquirida, pero no se demuestra una gran diferencia con el otro grupo, lo que suponemos que se debe a este motivo. Por lo tanto, coherentemente con la suposición inicial, el grupo sin experiencia tuvo un desempeño ligeramente inferior, aunque mejor de lo esperado.

Al comenzar este estudio, pensamos que cuanto mayor es la figura, el error que comete el usuario es menor. Nos llamó la atención que había errores promedios que en magnitud eran pequeños y sin embargo aparecen porcentajes de error muy altos. En un principio juzgamos el método en base al porcentaje de error y por eso pensamos que el método era malo, pero esos porcentajes corresponden a áreas pequeñas, y en definitiva el error no es tan grande en magnitud, pero sí en porcentaje. Esto explica el resultado del coeficiente de Lin, que dice que el método es substancial (McBride, 2005), porque se basa en los errores absolutos no en los porcentajes de error.

Nosotras suponíamos que las formas más simples (A) arrojarían errores más pequeños, lo que no sucede. No se estudió si ocurre lo mismo en situación de campo. Suponemos que en ese caso los experientes hubieran tenido menor error en sus mediciones.

En definitiva, no hay diferencias en los errores cometidos con respecto a las formas de las figuras. Los errores observados en la primera parte, se reflejan aquí también, para todas las formas hay mayores errores en el grupo sin experiencia. De esta manera ratificamos una vez más la superioridad del grupo con experiencia.

Resumen comparativo de usuarios experimentes e inexperientes

Tabla 11: Comparación de los diferentes puntos estudiados según la experiencia

	Usuarios experimentes	Usuarios inexperientes
Errores individuales	Altos	
Errores promedios	NO hay grandes diferencias con respecto al valor real, pero muestrea mejor performance	NO hay grandes diferencias con respecto al valor real, pero se refleja la inexperiencia
Lin	Ligeramente superior, mejor exactitud (Cb) y precisión similar (r)	Ligeramente menor, pero mejor de lo esperado, menor exactitud (Cb) y precisión (r) similar
Tamaño de la figura	No influye en cuanto al error cometido	
Formas de las figuras	No hay diferencia significativas en los errores cometidos, pero los inexpertos presentan una mayores errores	

6.2. Comparación entre métodos:

En cuanto al coeficiente de Lin, podemos ver una clara superioridad en el método semiautomático respecto al subjetivo.

Resumen comparativo de la performance de los métodos de evaluación

Tabla 12: Tabla comparativa entre los diferentes métodos de evaluación.

	Métodos subjetivos	CombCount	Image J Gold Standard
Áreas de evaluación	Área operculada, así como área de huevos y larvas	Solamente área operculada	Área operculada, así como área de larva y huevos
Tiempo de evaluación	Unos pocos segundos	Unos pocos segundos	Unos cuantos minutos
Facilidad en la evaluación	Relativa a experiencia del evaluador	Muy sencillo	Muy complicado, sobre todo en huevos y larvas
Necesidad de experiencia	Si	No	Intermedia
Margen de error	Medio, sujeta a experiencia del evaluador	Relativamente bajo	Muy bajo, cercano a cero.
Preparación previa	No	Si	Si
Materiales extras a la colmena	No	Si	Si

En el subjetivo, la exactitud es peor que en el semiautomático y la precisión es similar en ambos. Pero en sí, el coeficiente de Lin nos muestra que el semiautomático es mejor método (substancial) que el subjetivo (moderado) (McBride, 2005).

La información de relevancia que obtenemos es que dependiendo del estudio que vayamos a realizar determinará qué método elegimos, ya que los dos son buenos (uno mejor que el otro), pero con diferentes costos económicos, tiempo, materiales, dificultad, etc (Tabla. 12). El método semiautomático es mejor que el subjetivo ya que, muestra menos errores, valores más próximos a los reales, tiene un coeficiente de Lin alto (lo cual implica que puede sustituir al Gold Standard) pero es más costoso y requiere más tiempo que el subjetivo.

7.- CONCLUSIONES

Como conclusión podemos decir que se cumple nuestra hipótesis, ya que vemos que el método subjetivo es más impreciso que el método semiautomático y el objetivo. Igualmente, el método subjetivo presentó un desempeño superior al esperado, especialmente cuando los medidores son experientes. Con respecto al análisis de imagen, el mismo puede ser sustituido por el método semiautomático, ya que este ofrece valores similares a los reales.

8- CONSIDERACIONES FINALES

Se comenzó suponiendo que el método subjetivo era un mal método, debido a que se estaban juzgando los porcentajes de error, lo cual fuimos viendo que no era así, ya que esos porcentajes eran de áreas pequeñas y se debe de evaluar la magnitud de los errores y los mismos eran pequeños. Esto fue corroborado por el coeficiente de Lin, que dice que el método es excelente, porque se basa en los errores absolutos no en los porcentajes de error.

Tenemos que tener en cuenta que en nuestro estudio se utilizaron muchos más usuarios sin experiencia que experientes, lo cual puede haber mejorado los resultados obtenidos por parte de este grupo, ya que se promediaron sus estimaciones.

Podemos decir que el método subjetivo es muy bueno para evaluar el área de cría de una colmena, pero hay ciertas cosas a tomar en cuenta, como, por ejemplo, se debe tener en cuenta que los evaluadores sean preferentemente con experiencia y que se haga una evaluación de varios observadores.

Por otro lado, vemos que hay un método que es mejor que el subjetivo, el semiautomático, dando valores más parecidos a los reales (Image J), siendo un poco más exacto que el anterior. Pero este método tiene sus desventajas ya planteadas anteriormente. Por lo cual hay que tomar en cuenta estos pros y contra a la hora de determinar qué método elegir en base al estudio que queremos realizar y su impacto.

Nuestra sugerencia es que si es para ver únicamente el crecimiento de una colmena se utilice sin problemas el subjetivo, pero si se quiere estudiar el desarrollo de alguna enfermedad, o la eficacia de algún tratamiento se invierta un poco más de esfuerzo y se realice el método semiautomático. Lógicamente la mejor opción siempre sería realizar el método Gold Standard, pero sabemos que consume muchísimos más recursos. Depende del usuario, y de que cantidad de detalles necesite en sus resultados. Una ventaja no menor es que el Image J evalúa también área de huevos y de larvas, no solamente la operculada como el método semiautomático.

8.- BIBLIOGRAFÍA

- Abejapedia. (s.f.). *Ciclo de vida de la abeja melífera*. Recuperado de <http://www.abejapedia.com/ciclo-de-vida-de-las-abejas-meliferas/>
- Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. (2009). *Mortalités, effondrements et affaiblissements des colonies d'abeilles*. París: AFSSA.
- Antúnez, K., Invernizzi, C., Mendoza, Y., Van Engelsdorp, D., & Zunino, P. (2016). Honeybee colony losses in Uruguay during 2013–2014. *Apidologie*, 48, 364-370.
- Apiculturaymiel. (2021). *Paquetes de abejas: Como se hacen y cuáles son sus ventajas*. Recuperado de <https://apiculturaymiel.com/apicultura/paquetes-de-abejas-como-se-hacen-y-cuales-son-sus-ventajas/>
- Barnhart, H.X., Haber, M., & Song., J. (2002). Overall Concordance Correlation Coefficient for Evaluating Agreement Among Multiple Observers. *Biometrics*, 58(4), 1020–1027.
- Clement, H. (2012). *Tratado de Apicultura*. Barcelona: Omega.
- Colin, T., Bruce, J., Meikle, E.G., & Barron, A.B. (2008). The development of honey bee colonies assessed using a new semi- automated brood counting method: ComnCount. *Plos One*, 13(10), e02220555816.
- Colmenar. (2017). *Colmena Prokopovich*. Recuperado de <https://bee.net.ua/es/vulik-prokopovicha/>
- Cordara, J.J. (2011). *Los inicios de la apicultura en la República Oriental del Uruguay*. Montevideo: Hemisferio sur.
- Corona Apicultores. (2013). *Colmena Langstroth II*. Recuperado de Corona Apicultores: http://coronaapicultores.blogspot.com/2013_11_19_archive.html
- Crane, E. (1999). *The world history of beekeeping and honey hunting*. New York: Routledge.
- Delaplane, K.S., Van Der steen, J., & Guzman-Novoa, E. (2013). Standard methods for estimating strength parameters of *Apis mellifera* colonies. *Journal of Apicultural Research*, 52(2), 1-12.
- Dirección de Estadística Agropecuaria. (2021). *Anuario Estadístico Agropecuario 2021*. Montevideo: DIEA: Recuperado de <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2021/LIBRO%20ANUARIO%202021%20Web.pdf>
- Ecocolmena. Innovación social en apicultura. (s.f.). *El secreto de la apitoxina de las abejas*. Recuperado de <https://www.ecocolmena.org/apitoxina-el-secreto-del-veneno-de-las-abejas/>

- ExplorePaHistory. (s.f.). *Lorenzo L. Langstroth with his moveable frame beehive, circa 1890*. Recuperado de <http://explorepahistory.com/displayimage.php?imgId=1-2-204D>
- Farrar, C. L. (1937). The influence of colony populations on honey production. *Journal of Agricultural*, 54(12), 945-954.
- Food and Agriculture Data. (2020). *Datos sobre alimentación y agricultura*. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Good beekeeping practices for sustainabel apiculture*. Roma: FAO.
- Fresnaye, J., & Lensky, Y. (1961). Méthodes d'appréciation des surfaces de couvain dans les colonies d'abeilles. *Les Annales de l'Abeille*, 4(4), 369-379.
- Fresnaye, J., & Lensky, Y. (1962). Un appareil pour le calcul Rapide Des surfaces de couvain dans les ruches. *Les Annales de l'Abeille*, 5(2), 145-153.
- Gallai, N., Salles, J.M., Settele, J., & Vaissière, B.E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68 (3), 810–821.
- Guiomar, N.P. (2011). Genética del comportamiento: Abejas como modelo. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 213-229.
- Ingrao, A.J. (2021). Equipment and Safety En T.R. Kane & C.M. Faux (Ed.). *Honey Bee Medicine for the Veterinary Practitioner* (pp. 151- 166). Hoboken: Wiley Blackwell.
- Jaleaymiel. (2014). *Abejas: organización y castas*. Recuperado de <https://jaleaymiel.wordpress.com/2014/05/01/61/>
- Jean-Prost, P., & Le Conte, Y. (2007). *Apicultura. Conocimientos de la abeja. Manejo de la colmena* (4° ed.). Madrid: Mundi – Prensa.
- Juri, P., Nogueira, E., Invernizzi, C., & Pedrana, G. (2018). Evaluación objetiva de colonias de abejas melíferas mediante análisis de imágenes. En Federación Latinoamericana de Apicultura (Ed.), *XIII Congreso Latinoamericano de Apicultura* (p. 229). Montevideo: Uruguay.
- Kane, T.R., & Faux, C.M. (2021). *Honey Bee Medicine for the Veterinary Practitioner*. Hoboken: Wiley Blackwell.
- Kruszakin, R., & Migdal, P. (2022). Toxicity Evaluation of Selected Plant Water Extracts on a Honey Bee (*Apis mellifera* L.) Larvae Model. *Animals*, 12(2), 178. doi: 10.3390/ani12020178
- Lee, K., & Router, G.S. (2021). The Apiarist. En T.R. Kane & C.M. Faux (Ed.), *Honey Bee Medicine for the Veterinary Practitioner* (pp.167-182). Hoboken: Wiley Blackwell.

- McBride, G.B. (2005). *A Proposal for Strength-of-Agreement Criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient*. Hamilton: National Institute of Water and Atmospheric Research.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. (2021a). *Análisis de consumo actual y demanda y potencial de miel en el mercado uruguayo*. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/analisis-consumo-actual-demanda-potencial-miel-mercado-uruguayo>
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. (2021b). *Distribución de las colmenas en el Uruguay*. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/distribucion-colmenas-uruguay>
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. (2021c). Sector apícola: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA*. Montevideo: OPYPA. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2021/analisis-sectorial-cadenas-productivas/sector-apicola>
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. (2021e). *Sistema Nacional de Trazabilidad de productos Apícola (SINATPA)*. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/tramites-y-servicios/servicios/sistema-nacional-trazabilidad-productos-apicolas-sinatpa#:~:text=En%20la%20producci%C3%B3n%20de%20miel,apiarios%20y%20aplicaci%C3%B3n%20de%20plaguicidas>
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2021d). Problemas y oportunidades de la cadena apícola en el Uruguay. En *Anuario OPYPA*. Montevideo: OPYPA. Recuperado de [Problemas y oportunidades de la cadena apícola en Uruguay. E. Aguirre, V. Durán, E. Hernández, B. Branchiccela | Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca \(www.gub.uy\)](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2021/analisis-sectorial-cadenas-productivas/sector-apicola)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Norma para la miel (CXS 12-1981). En *Codex Alimentarius*. Roma: FAO.
- Organización Mundial de Sanidad Animal. (2014). *Proteger a las abejas, preservar nuestro futuro*. Recuperado de <https://www.woah.org/es/proteger-a-las-abejas-preservar-nuestro-futuro/>
- Pantoja, A., Smith-Pardo, A., Garcia, A., Saenz, A., & Rojas, F. (2014). *Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe*. Santiago: FAO.
- Pinterest. (s.f). Núcleo de Abejas. Recuperado de <https://www.pinterest.com.mx/pin/527976756286138121/>

- Radcliffe, R.W. (2021). The Superorganism and herd Health for the Honey Bee. En T.R. Kane & C.M. Faux (Ed.), *Honey Bee Medicine for the Veterinary Practitioner* (pp. 21-32). Hoboken: Wiley Blackwell.
- Seeley, T. (1995). *The Wisdom of the Hive: The Social Physiology of Honey Bee Colonies*. Londres: Harvard University.
- Sistema Nacional de Trazabilidad de productos Apícolas. (2020). *Registro Nacional de propietarios de colmenas 2020*. Recuperado de https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2021-06/Datos%202021%20Apicultura_0.pdf
- Sistema Nacional de Trazabilidad de productos Apícolas. (2021). *Registro Nacional de propietarios de colmenas 2021*. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2022-03/Informe%20de%20Datos%20del%20RNPC%202021%20%282%29.pdf>
- Todocoleccion. (2015). *Ucrania 2 hs. 2015 Prokopovich, abejas. Miel*. Recuperado de <https://www.todocoleccion.net/monedas-antiguas-europa/ucrania-2-hr-2015-prokopovich-abejas-miel~x53401080>
- Wilder, J. (2014). Beekeeping History and Domestication. En W. Ritten (Ed.), *Bee health and veterinarians* (pp. 29-31). Paris: OIE.
- Yadav, S., Kumar, Y., & Jat, B. L. (2017). Honeybee: Diversity, castes and life cycle. En *Industrial Entomology* (pp. 5-34). Singapore: Springer.
- Yoshiyama, M., Kimura, K., Saitoh, K., & Iwata, H. (2011). Measuring colony development in honey bees by simple digital image analysis. *Journal of Apicultural Research*, 50(2), 170-172.

9.- ANEXOS

9.1.- Anexo 1

Tabla de medidas de resumen de promedio de usuarios experientes y sus errores

Tabla 13: Observadores con experiencia, valor estimado promedio y sus errores

CON EXPERIENCIA						Error Abs. (con signo)	Error Abs. (sin signo)	% Error (sin signo)
Figura	Valor Real	Media	SD	Mínimo	Máximo			
1	60	65.0	6.7	60	80	5.0	5.0	8.3
2	9	10.0	3.3	5	15	1.0	1.0	11.1
3	43	43.0	9.5	30	60	0.0	0.0	0.0
4	42	46.0	5.2	35	50	4.0	4.0	9.5
5	13	23.0	14.8	10	60	10.0	10.0	76.9
6	79	82.5	5.4	75	90	3.5	3.5	4.4
7	19	21.0	8.1	10	30	2.0	2.0	10.5
8	70	67.0	11.4	40	80	-3.0	3.0	4.3
9	68	71.0	6.6	60	80	3.0	3.0	4.4
10	44	44.5	8.6	30	60	0.5	0.5	1.1
11	67	70.0	7.1	55	80	3.0	3.0	4.5
12	85	86.0	5.2	80	95	1.0	1.0	1.2
13	39	48.5	9.7	35	60	9.5	9.5	24.4
14	52	53.5	8.5	40	65	1.5	1.5	2.9
15	34	25.5	8.6	15	45	-8.5	8.5	25.0
16	74	73.5	7.1	60	85	-0.5	0.5	0.7
17	57	63.0	10.1	50	75	6.0	6.0	10.5
18	45	43.0	12.5	25	65	-2.0	2.0	4.4
19	71	75.0	6.7	65	85	4.0	4.0	5.6
20	73	76.5	10.0	60	90	3.5	3.5	4.8
21	70	75.5	9.0	60	85	5.5	5.5	7.9
22	77	83.5	7.1	70	90	6.5	6.5	8.4
23	65	67.0	6.3	60	75	2.0	2.0	3.1
24	69	69.8	4.3	65	78	0.8	0.8	1.2
25	48	50.5	11.2	30	65	2.5	2.5	5.2
26	37	36.5	9.1	25	55	-0.5	0.5	1.4
27	2	4.4	1.3	2	5	2.4	2.4	120.0
28	10	10.7	3.5	4	15	0.7	0.7	7.0
29	56	49.0	14.5	20	65	-7.0	7.0	12.5
30	53	52.5	15.1	25	70	-0.5	0.5	0.9
31	84	85.5	5.5	75	90	1.5	1.5	1.8
32	79	79.5	7.2	70	90	0.5	0.5	0.6
33	81	82.1	8.2	70	90	1.1	1.1	1.4
34	79	81.8	8.0	70	90	2.8	2.8	3.5
35	66	69.5	11.2	50	85	3.5	3.5	5.3
36	67	70.5	7.2	60	80	3.5	3.5	5.2
37	27	29.0	10.2	15	45	2.0	2.0	7.4
38	29	28.0	7.9	20	45	-1.0	1.0	3.4

Tabla de medidas de resumen de promedio de usuarios sin experiencia y sus errores

Tabla 14: **Observadores sin experiencia, valor estimado promedio y sus errores**

SIN EXPERIENCIA								
Figura	Valor Real	Media	SD	Mínimo	Máximo	Error Abs. (c/signo)	Error Abs. (s/signo)	% Error (s/signo)
1	60	66.9	10.5	40	85	6.9	6.9	11.5
2	9	13.5	6.9	5	40	4.5	4.5	50.5
3	43	45.7	8.1	30	60	2.7	2.7	6.2
4	42	51.7	13.0	30	80	9.7	9.7	23.1
5	13	20.0	8.7	5	44	7.0	7.0	53.8
6	79	82.8	11.7	18	95	3.8	3.8	4.9
7	19	17.8	7.9	5	35	-1.2	1.2	6.3
8	70	66.2	15.1	15	88	-3.8	3.8	5.5
9	68	73.3	8.7	45	85	5.3	5.3	7.9
10	44	48.2	11.5	24	80	4.2	4.2	9.6
11	67	71.5	10.5	40	90	4.5	4.5	6.8
12	85	88.7	6.3	64	99	3.7	3.7	4.4
13	39	42.5	12.9	20	70	3.5	3.5	8.9
14	52	55.9	11.4	35	78	3.9	3.9	7.4
15	34	25.8	8.1	10	45	-8.2	8.2	24.1
16	74	73.9	11.3	35	90	-0.1	0.1	0.2
17	57	60.8	11.4	30	80	3.8	3.8	6.7
18	45	45.1	10.2	18	70	0.1	0.1	0.2
19	71	77.5	9.0	50	91	6.5	6.5	9.2
20	73	78.4	8.8	50	94	5.4	5.4	7.4
21	70	76.5	9.2	50	90	6.5	6.5	9.3
22	77	84.5	6.8	60	95	7.5	7.5	9.7
23	65	70.3	10.0	50	95	5.3	5.3	8.2
24	69	73.3	9.1	50	90	4.3	4.3	6.2
25	48	49.5	12.2	27	75	1.5	1.5	3.1
26	37	37.0	11.4	15	70	0.0	0.0	0.1
27	2	5.7	3.2	1	20	3.7	3.7	183.0
28	10	14.2	5.5	3	30	4.2	4.2	42.0
29	56	56.0	12.8	25	80	0.0	0.0	0.1
30	53	57.1	13.2	10	85	4.1	4.1	7.7
31	84	88.2	5.3	75	98	4.2	4.2	5.0
32	79	81.4	7.9	65	98	2.4	2.4	3.0
33	81	84.1	8.5	65	99	3.1	3.1	3.8
34	79	83.5	8.5	56	99	4.5	4.5	5.7
35	66	71.8	11.1	41	88	5.8	5.8	8.7
36	67	70.0	10.5	33	90	3.0	3.0	4.4
37	27	33.3	9.9	15	65	6.3	6.3	23.1
38	29	34.6	8.5	20	60	5.6	5.6	19.3

9.2.- Anexo 2

Comparación del área operculada por colmena

Tabla 15: Tabla comparativa del área operculada según método en colmenas reales 1 y 2.

Colmena	Promedio estimación subjativa operculada en %	Análisis del área operculada promedio CC %	Análisis del área operculada en ImageJ %
1	0,0	0	0,0
1	0,0	0,0	0,0
1	16,5	9,0	11,0
1	8,5	3,3	2,8
1	40,0	25,7	30,6
1	59,0	37,7	40,9
1	25,0	18,3	21,3
1	24,0	12,7	15,4
1	80,0	59,0	62,9
1	80,0	60,0	65,3
1	45,0	28,3	32,1
1	32,5	18,7	21,3
1	17,5	12,0	13,3
1	23,5	13,7	16,2
1	74,0	44,7	59,6
1	50,0	29,7	36,2
1	0,0	0,0	0,0
1	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0
2	82,5	50,7	56,7
2	84,0	56,7	64,4
2	76,0	54,7	61,9
2	70,0	45,7	51,2
2	30,0	17,0	17,2
2	40,0	26,0	28,6
2	9,0	7,3	7,6
2	7,0	8,0	7,4
2	10,5	9,3	11,3
2	10,0	9,0	10,4
2	45,0	22,7	28,1
2	56,5	39,3	43,6
2	16,0	12,0	11,7
2	20,5	15,0	17,4
2	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0

Comparación del área operculada por colmena

Colmena	Promedio estimación subjativa operculada en %	Análisis del área operculada promedio CC %	Análisis del área operculada en ImageJ %
3	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0
3	74,0	55,7	68,9
3	37,5	28,0	39,0
3	0,0	0,0	0,0
3	2,0	0,3	0,7
3	5,5	3,0	3,8
3	1,0	0,0	0,1
3	50,0	37,0	47,2
3	37,5	24,7	35,1
3	64,5	46,0	59,7
3	61,0	42,0	55,3
3	19,0	16,3	19,6
3	32,5	26,0	31,6
3	5,0	1,3	0,0
3	22,0	19,0	23,4
3	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0
4	35,0	27,3	32,6
4	25,0	18,3	20,7
4	37,5	24,7	31,0
4	40,0	28,3	33,3
4	25,5	15,0	17,0
4	25,0	19,0	22,3
4	10,0	4,0	4,2
4	18,5	14,7	17,4
4	32,5	21,3	28,0
4	32,5	21,7	30,1
4	25,0	21,3	23,2
4	22,5	11,0	13,0
4	45,0	51,0	34,7
4	50,0	50,3	44,6
4	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0

Tabla 16: Tabla comparativa del área operculada según método en colmenas reales 3 y 4.