

## Los socios microbianos de las abejas sin aguijón y sus colmenas

*Vi en un documental que las colmenas contienen microbios  
beneficiosos,  
¿es eso cierto?*



Foto: D. Burge

Catalina Murillo-Cruz <sup>1,2</sup>, Ingrid Aguilar <sup>3</sup>, Eduardo Herrera <sup>3</sup>, Gabriel Zamora<sup>3</sup>,  
Sofía Bianchi<sup>1</sup> and Adrián Pinto- Tomás

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Estructuras Microscópicas (CIEMic), Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, <sup>2</sup> Escuela de Medicina, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, <sup>3</sup>Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales (CINAT), Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, <sup>4</sup>Centro de Investigación en Biología Celular y Molecular (CIBCM), Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica

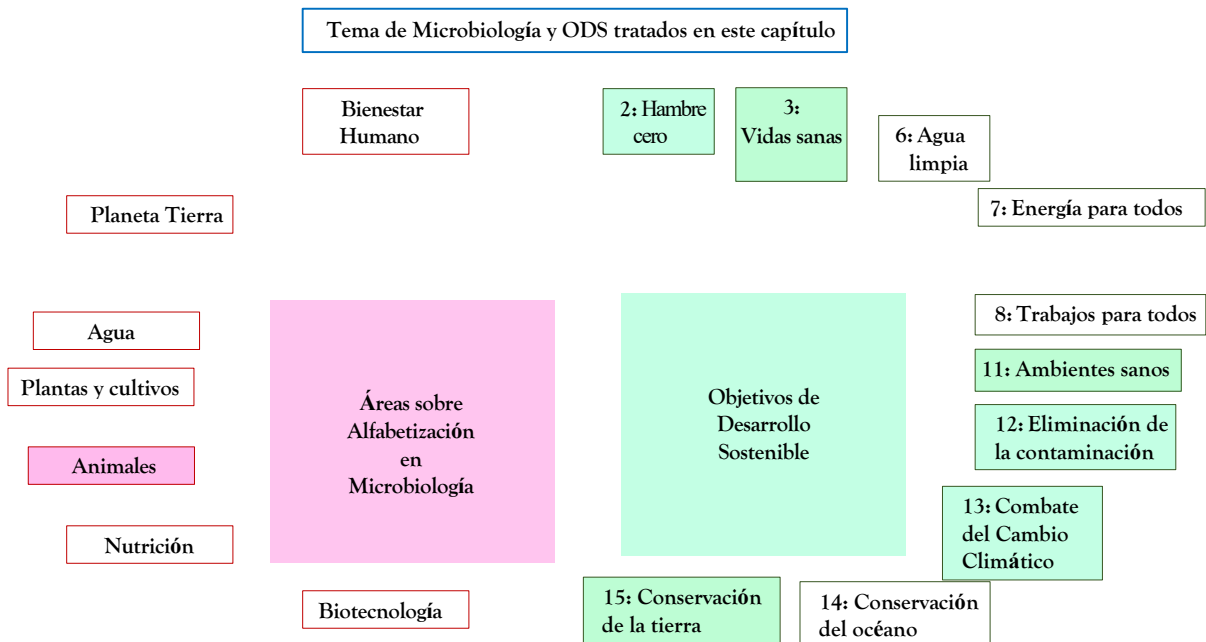
## Los socios microbianos de las abejas sin aguijón y sus colmenas

### Historia

Las abejas sin aguijón, las parientes menos conocidas de las abejas melíferas reciben su nombre por su aguijón reducido. Debido a su miel dulce con propiedades curativas, los seres humanos han interactuado con estas abejas desde la antigüedad. Existen aproximadamente 500 especies descritas, y el grupo está ampliamente distribuido en las regiones tropicales del mundo. Alrededor del 75% de esta diversidad se encuentra en el Neotrópico, que comprende Centro y Suramérica, incluyendo la parte tropical del sur de México y el Caribe.

Las abejas sin aguijón son **insectos eusociales** caracterizados por una división reproductiva del trabajo, superposición de generaciones y nidificación cooperativa, y se consideran polinizadores importantes. Las abejas y los diferentes componentes de sus colonias están asociados con **microorganismos** que influyen en su desarrollo e incluso en el éxito evolutivo de la especie. Lamentablemente, como ocurre con muchas especies neotropicales, estas abejas están siendo amenazadas por el cambio climático, la pérdida de hábitat, la fragmentación del hábitat y la contaminación por agroquímicos. Por lo tanto, se necesita una acción urgente no solo para conservarlas en beneficio del planeta, sino también para seguir aprendiendo de su estilo de vida y de sus relaciones con socios microbianos beneficiosos.

### El contexto de la microbiología y la sociedad



La microbiología: la colmena de las abejas sin aguijón; estrategias para mantener una colmena saludable; el microbioma de las abejas sin aguijón; diversidad; funciones del microbioma en la colonia de abejas sin aguijón.

Cuestiones de sostenibilidad: amenazas al microbioma de las abejas y el uso potencial de microbios beneficiosos para combatirlos; miel: uno de los componentes de la colmena de abejas sin aguijón con propiedades beneficiosas; polinización; modelo de comunicación de la colmena.

## Los socios microbianos de las abejas sin aguijón y sus colmenas: la microbiología

1. **La colmena de las abejas sin aguijón.** Las abejas sin aguijón forman colonias permanentes de tamaños variables, que van desde cientos hasta miles de individuos. Normalmente, las colonias están formadas por dos castas femeninas (grupos de individuos especializados en realizar ciertas tareas): las obreras y las reinas, y una casta masculina, los zánganos. Estos insectos son altamente sociales porque tienen una clara división del trabajo y una distribución de las tareas reproductivas. Las obreras son altruistas, ya que cuidan de las crías sin recibir ningún beneficio directo. Dentro de las colmenas se pueden encontrar las celdas de cría, que son pequeñas cámaras hechas de cerumen blando (cera y resina), cada una construida para criar a una única abeja. En resumen, antes de que la reina ponga un huevo, varias obreras regurgitan alimento larval dentro de la cámara y, después de que el huevo es puesto, la cámara se cierra y permanece sellada hasta que emerge la abeja adulta. Alrededor de las cámaras de cría podemos ver el involucrum, un material resistente compuesto por diferentes proporciones de cera y resina. Para cubrir las paredes del nido y crear un espacio bien protegido, las abejas producen una mezcla más fuerte llamada batumen, que contiene más resina, barro, material vegetal y, en algunas especies, incluso heces animales. Alrededor del involucrum están los pots de almacenamiento, llenos de miel o polen, donde el néctar, secreciones azucaradas producidas por insectos chupadores de savia o jugo de frutas, se convierten en miel. El proceso de transformar el néctar en miel requiere evaporación del agua, fermentación por microbios —incluyendo levaduras y bacterias—, así como la adición de enzimas (proteínas que aceleran las reacciones químicas de las células) y otras sustancias secretadas por las glándulas de las abejas obreras.



Foto: E. Herrera, D. Burge y M. Ramírez

2. **Estrategias para mantener una colmena saludable.** ¿Cómo mantienen estas abejas su colmena sana cuando tantas de ellas viven dentro de un ambiente húmedo y cálido? Por ejemplo, las obreras salen de la colmena en busca de alimento y podrían traer microorganismos dañinos de regreso. Un componente que juega un papel principal en la protección de la colonia contra enfermedades es la resina. Las abejas obtienen esta sustancia pegajosa de las plantas y la usan en la construcción del nido, el almacenamiento de alimentos y la defensa contra depredadores y microbios causantes de enfermedades, conocidos como patógenos. Las resinas tienen propiedades antimicrobianas que evitan que los alimentos se descompongan y que los patógenos los ataquen, lo cual es muy importante en ambientes tropicales (donde los microbios se multiplican más fácilmente) y en comunidades de insectos sociales (donde las enfermedades pueden propagarse rápidamente dentro de una población densa de individuos genéticamente relacionados). Algunos estudios también informan que la resina puede ayudar a moldear y sostener comunidades microbianas beneficiosas que

son esenciales para el rendimiento de la colonia. Además, el uso de resina afecta no solo la composición microbiana de la colmena, sino también la **diversidad** microbiana intestinal de las abejas e incluso sus propiedades físicas y sus capacidades de aprendizaje.

3. **El microbioma de las abejas sin aguijón.** Los insectos, al igual que otros organismos, se consideran **holobiontes**: metaorganismos individuales que consisten en el insecto más sus microbios. Además, la colección de genomas de los microorganismos asociados con las abejas sin aguijón, conocida como microbioma, ayuda al insecto de muchas maneras, como en la nutrición, digestión, resistencia a toxinas y defensa. Los beneficios que los insectos obtienen de sus microbiomas han contribuido a su diversificación y a su exitosa adaptación a diferentes ambientes a lo largo del tiempo.

El microbioma intestinal de las **Meliponini** (abejas sin aguijón), aunque diverso en su composición, generalmente incluye bacterias, levaduras, hongos y virus. Estos **simbiontes** microbianos, encontrados en los intestinos de las abejas, están íntimamente asociados con ellas y evolucionan junto a ellas. La composición del microbioma no es estática: cambia dependiendo de la etapa de vida de la abeja y de su papel dentro de la colonia, así como de la especie o la comunidad (debido a la dieta, información genética y el ambiente). Los estudios científicos han demostrado que la sociabilidad del hospedador facilita el desarrollo y el mantenimiento de microbiomas especializados; algunos componentes del microbioma pueden transmitirse horizontalmente de nidos maternos a nidos hijos cuando las abejas obreras transportan materiales de construcción y alimentos almacenados hacia un nuevo nido.

El conocimiento sobre el microbioma de las abejas sin aguijón aún es limitado. Un estudio previo sobre la diversidad microbiana intestinal de 25 especies de corbículas (abejas melíferas, abejas sin aguijón y abejorros) muestra que uno de los miembros del **microbioma central** (conjunto de taxones microbianos característicos de un hospedador o ambiente) es *Lactobacillus*, que cumple funciones importantes como la protección contra patógenos, la digestión de alimentos y la fermentación del polen para hacer pan de abeja.

4. **Diversidad y funciones del microbioma en las colonias de abejas sin aguijón.** Dentro de la colmena, las abejas no son las únicas que poseen microorganismos beneficiosos: los diferentes componentes de la colonia también cuentan con esta valiosa ayuda. Aunque existe cierto conocimiento sobre las funciones de algunos microorganismos en algunas especies de abejas sin aguijón, la investigación actual es muy específica, por lo que se necesita más estudio para obtener una perspectiva general de las asociaciones microbianas en todas las Meliponini.

Las colonias de abejas sin aguijón suelen estar colonizadas por tres grandes grupos de bacterias, cada uno con funciones distintas. *Bacillus* contribuye a la fermentación de la miel y a la producción de **pan de abeja**, una mezcla de néctar y polen que las abejas utilizan como alimento para sus larvas. *Streptomyces* secreta **antibióticos** —sustancias que destruyen o inhiben el crecimiento bacteriano— dentro de las cámaras de cría para proteger a las larvas de patógenos. Por su parte, las bacterias del ácido láctico, que funcionan de manera similar a como lo hacen en el intestino de la abeja, parecen brindar tanto protección contra patógenos como apoyo en la fermentación del polen. Estas bacterias pueden ingresar a la colmena desde diversas fuentes, incluyendo el polen, el aire, las flores y también los tractos digestivos de las propias abejas.

Estos microorganismos también pueden ser beneficiosos para los seres humanos; por ejemplo, se ha descubierto que muchas de estas bacterias pueden ser agentes de **biocontrol** o **biofertilizantes**, así como **probióticos**, que son microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren un beneficio para la salud del huésped.

El género de levaduras más común encontrado en las colonias de abejas sin aguijón es *Stammerella*, que, junto con bacterias, contribuye a la fermentación del néctar almacenado dentro de los potes de cerumen. Además, se cree que una especie de *Zygosaccharomyces* que crece dentro de las celdas de cría ayuda con la supervivencia y el desarrollo larval hasta la etapa adulta al producir compuestos que desempeñan un papel esencial en la regulación de las funciones celulares.

Los roles de los hongos filamentosos y de los virus dentro de las colonias de abejas sin aguijón no han sido estudiados extensamente hasta ahora. Sin embargo, se cree que los hongos, además de ser patógenos oportunistas, podrían servir como fuente de alimento para las abejas (aunque las esporas fúngicas son mucho menos nutritivas que el polen). La mayoría de los virus se consideran perjudiciales o indicadores de abejas no saludables, pero se necesitan más estudios para determinar sus roles en la naturaleza y cuáles pueden encontrarse en abejas sanas.

**5. Amenazas al microbioma de las abejas y el potencial uso de microbiomas benéficos para combatir estas amenazas.** El microbioma es crucial para la salud de las abejas, pero su composición puede alterarse por cambios en la dieta o factores externos como los agroquímicos o cambios en la temperatura regional y la precipitación. En el caso de las abejas obreras (que pueden considerarse la columna vertebral de la colonia), los antibióticos utilizados para tratar larvas en la colmena, así como los pesticidas, pueden perturbar sus microbiomas, lo que las vuelve más vulnerables a los patógenos. Por esta razón, el uso de microbios beneficiosos (como los utilizados en probióticos) para mejorar la salud de la colonia en abejas sociales está ganando mayor atención. El problema es que la mayoría, si no todos, los probióticos para abejas disponibles en el mercado consisten principalmente en bacterias que no son de abejas (siendo más parecidos a probióticos humanos). Es importante señalar que los estudios han demostrado que los probióticos necesarios para las abejas tienen un mayor impacto en la inmunidad o en la capacidad de resistir infecciones cuando están compuestos por especies de su propio intestino. Esto se debe a que estos microorganismos pueden restablecerse y persistir en las abejas y tienen efectos similares a sus propios microbiomas, a diferencia de las fórmulas comerciales que no se establecen bien. ¿Cómo resolver este problema? El enfoque más directo sería introducir probióticos comerciales compuestos por microorganismos propios de las abejas. Otra estrategia potencialmente beneficiosa es el uso de probióticos diseñados genéticamente, bacterias modificadas genéticamente del intestino de las abejas que se mejoran para tener funciones específicas, como degradar sustancias dañinas, ayudar a las abejas a ganar resistencia a agroquímicos o incluso mejorar directamente su inmunidad.

**6. Miel: uno de los componentes de las colmenas de abejas sin aguijón con copropiedades benéficas.** Uno de los componentes más importantes producidos por las abejas sin aguijón es la miel. Hace más de dos mil años, la antigua cultura maya mesoamericana comenzó a criar abejas sin aguijón y a utilizar su miel en alimentos, objetos religiosos y medicina. Actualmente, una serie de investigaciones realizadas con la miel de la especie costarricense *Tetragonisca angustula* ha permitido que este producto, muy apreciado en la medicina tradicional, sea considerado un candidato novedoso para formar parte de apósitos para heridas.

Los microorganismos que infectan heridas pueden agregarse y formar cubiertas protectoras llamadas biopelículas, que desafían el sistema inmunológico del huésped y resisten los tratamientos con antibióticos, incluidos aquellos utilizados para prevenir o inhibir el crecimiento de microorganismos que causan infecciones en la piel. Las biopelículas dificultan así el proceso de cicatrización. Sin embargo, la miel de *T. angustula* puede destruir biopelículas bacterianas. Los ingredientes activos contra las biopelículas son dos proteínas llamadas factores de destrucción de biopelículas de *T. angustula* (TABDFs).

Las abejas sin aguijón también pueden ser una nueva fuente de antibióticos. Investigaciones recientes sugieren que algunos de los microorganismos que viven con estas abejas producen compuestos antimicrobianos que podrían contribuir a crear nuevos medicamentos y nuevas estrategias para tratar infecciones.

**7. Polinización.** En las plantas con flores, la transferencia de polen —que contiene las células reproductivas masculinas— desde la parte masculina (la antera) hasta la parte receptiva del órgano reproductor femenino (el estigma) a menudo requiere agentes externos como viento, agua o animales. Las abejas sin aguijón recolectan polen de las anteras y lo transportan al nido en una cesta especial

ubicada en sus patas traseras. El polen es una de las principales fuentes de nutrientes para la colonia y se coloca en las celdas del panal de cera donde las obreras agregan secreciones hechas de microorganismos beneficiosos, enzimas y miel. Luego, el polen es fermentado por bacterias (bacterias del ácido láctico y *Bacillus*) para producir pan de abeja, que es la principal fuente de proteínas, lípidos, vitaminas y macro y microelementos en su dieta.

Aunque gran parte del polen termina en el nido, parte de él puede transferirse de una planta a otra y resultar en polinización. Este proceso beneficia tanto a las plantas como a los humanos, ya que las abejas polinizan una gran proporción de nuestros cultivos alimentarios, y alrededor de 50 especies de abejas se crían específicamente para este propósito. De esta manera, contribuyen a la diversidad de frutos y semillas, y mantienen las poblaciones de plantas silvestres, apoyando así la biodiversidad y el funcionamiento de los **ecosistemas**. Se ha descubierto que las abejas silvestres son muy importantes en la producción agrícola; sin ellas, entre el 5 y el 8 % de todos los cultivos podrían perderse, lo que implicaría que los humanos tendrían que cambiar su dieta y dedicar vastas áreas de tierra a suplir las crecientes demandas de la producción agrícola.

El declive de las poblaciones de abejas melíferas ha sido ampliamente reportado. Sin embargo, aunque ya se ha empezado a documentar la pérdida de biodiversidad en abejas silvestres en regiones tropicales, la disminución de estas especies ha pasado casi desapercibida, lo cual es preocupante, ya que las abejas sin aguijón son miembros clave de los bosques tropicales.

**8. Las abejas sin aguijón nos enseñan a cómo comunicarnos eficientemente.** Las abejas tienen una gran capacidad de coordinación: utilizan sistemas de comunicación complejos e interactivos para organizar sus actividades diarias, como trabajar juntas para recolectar alimento, defender la colonia y reproducirse. Por ejemplo, para reclutar durante la recolección de alimento, algunas especies se golpean entre sí para comunicar la presencia de recursos, mientras que otras emiten pulsos torácicos (sonidos zumbantes) que pueden indicar una fuente de alimento y su distancia. Además, en algunas especies las abejas forrajeras (que supervisan la búsqueda y recolección de alimento) depositan marcas de olor (feromonas) en la ruta desde la fuente de alimento hasta la entrada del nido para alertar a otras forrajeras; estas marcas pueden ser atractivos o repelentes dependiendo de lo que las abejas deseen comunicar. Asimismo, los investigadores están estudiando si esta comunicación se mantiene o incluso mejora mediante microorganismos (principalmente provenientes de resinas) en la capa externa del cuerpo de las abejas, conocida como cutícula, lo que les ayuda a reconocerse unas a otras.

Aunque puede haber cientos o miles de abejas dentro de una colonia, todas pueden trabajar juntas de forma cooperativa y en armonía. ¿Cómo gestionan esto sin conflicto? Una colonia no es una unidad rígida donde la reina manda y las obreras obedecen. Las abejas eusociales tienen al menos dos niveles de organización: el nivel individual y el nivel de la colonia. Los individuos (las obreras) toman decisiones basadas en sus experiencias y en la información inmediata que les proporciona el entorno, lo cual es suficiente para que la colmena funcione como una unidad.

Podemos comparar la colmena con las sociedades humanas; la colmena puede verse como una sociedad donde cada miembro tiene un papel esencial en el buen funcionamiento de la comunidad, logrando sincronización a través de la comunicación. Por lo tanto, para que una sociedad tenga éxito, cada individuo debe asumir responsabilidad y mantener una comunicación adecuada con los demás miembros.

### **Relevancia para los objetivos de desarrollo sostenible y los grandes desafíos**

• **Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible.** Aunque Los productos de las abejas y sus microorganismos han sido utilizados para consumo humano desde tiempos ancestrales y siguen siendo importantes hoy en día. Aunque la miel es el producto más conocido, otros componentes como el propóleo y el polen también son comestibles y poseen diversas propiedades beneficiosas para la salud humana. Dado que las abejas sin aguijón son poco conocidas, la introducción de los componentes de sus colonias en las

sociedades modernas podría ayudar a abrir nuevos mercados y productos saludables. Además, el manejo de colonias de Meliponini podría mejorar la polinización y aumentar el rendimiento de los cultivos.

- **Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.** El consumo de productos de abeja, incluidos los microorganismos que contienen, es beneficioso para los seres humanos. Por tanto, los productos de las abejas como la miel y el propóleo pueden utilizarse como remedios caseros para dolencias menores; también pueden desarrollarse como medicamentos, alimentos funcionales y cosméticos de alta calidad para la regeneración de tejidos.

- **Objetivo 11: Entornos saludables.** Las actividades humanas producen contaminantes cuyos niveles y toxicidad suelen superar la capacidad del ambiente para limpiarse por sí mismo. Por ello, el análisis y monitoreo sistemático del medio ambiente es una cuestión cada vez más relevante. La presencia de abejas se considera un indicador informativo de salud ambiental, pero también los productos y materiales de sus colmenas se consideran buenos indicadores de contaminación ambiental por sustancias tóxicas. Las abejas pueden transportar muchos contaminantes depositados en las plantas de las que se alimentan; los pesticidas usados en agricultura pueden convertirse en la causa de mortalidad masiva para estos insectos.

- **Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.** Las abejas tienen la responsabilidad de realizar uno de los procesos más importantes de la naturaleza: la polinización de la mayoría de las plantas. Este trabajo es esencial para fertilizar las flores y asegurar la producción de frutos y semillas viables. De esta manera, las abejas ayudan a sostener la vida de plantas y otros animales. Los cultivos también se benefician de los servicios de polinización de las abejas, garantizando así su producción; esto tiene un impacto en la seguridad alimentaria. Criar adecuadamente abejas nativas puede promover mayores rendimientos agrícolas y mantener una producción sostenible de productos de abeja para consumo personal y local.

- **Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.** El cambio climático ha sido una de las posibles causas del declive de los polinizadores. Se han demostrado disminuciones locales en la riqueza y abundancia de especies polinizadoras, así como cambios geográficos en la distribución de especies. Además, el cambio climático puede alterar la fenología de la floración, afectando negativamente a los polinizadores al causar un desajuste espacial o temporal entre planta y polinizador. Unir esfuerzos y emprender acciones que ayuden a mitigar los efectos del cambio climático tendrá un efecto positivo en las poblaciones de abejas nativas y de polinizadores en general. Podemos apoyar los servicios de polinización en plantas silvestres y agroecosistemas, beneficiando así nuestra seguridad alimentaria.

- **Objetivo 15: Conservación de la tierra.** Las poblaciones de abejas se ven afectadas negativamente por múltiples causas, especialmente la pérdida de hábitats naturales, que generalmente es el resultado de diversas actividades humanas como la deforestación, la agricultura, la ganadería, la urbanización y otras prácticas que contribuyen a la fragmentación del hábitat. Por lo tanto, es necesario promover la conservación del suelo para mantener las poblaciones de abejas, que desempeñan un papel esencial en nuestro planeta. Una alternativa para lograr este objetivo es incluir franjas de terreno con plantas florales alrededor de los cultivos en actividades agrícolas, lo que atraerá una mayor diversidad y cantidad de polinizadores y evitará la destrucción de demasiada tierra para la agricultura.

### Posibles implicaciones para las decisiones

#### 1. *Individual*

- a. ¿Cuando ves una abeja, estás consciente de los microbios benéficos asociados a ella?
- b. ¿Si tuvieras un jardín te gustaría plantar flores que sabes que atraerán abejas sin aguijón? ¿Las usarías como polinizadores para una huerta en casa?
- c. ¿Comerías otros productos de las abejas sin aguijón como pan de abeja y propolis? ¿Considerarías usar productos o medicinas que contengan miel de abejas sin aguijón?

#### 2. *Políticas comunitarias*

- a. Considerando los beneficios de los productos comerciales derivados de las abejas sin aguijón, por ejemplo, miel usada como vendajes para heridas, ¿puedes pensar en algún otro posible producto innovador?
- b. Piensas que la colmena puede servir como un modelo para mejorar el trabajo en equipo y las habilidades de comunicación?
- c. Conoces alguna política sobre polución, contaminación por basura, deforestación y agricultura que pueda proteger los espacios verdes que son hábitats naturales de las abejas sin aguijón? ¿Si no que crees que se deba hacer para asegurar esto?

#### 3. *Políticas nacionales*

- a. Sabes que es la Meliponicultura? ¿Ahora sabes que es, crees que es buena idea fomentar la implementación de la Meliponicultura a través de programas educacionales y pe incentivos para granjeros para manejar las colonias de abejas sin aguijón?
- b. ¿En qué formas podría el país promover e innovar estudios pioneros acerca de los microbiomas de abejas sin aguijón para entender sus funciones y para desarrollar productos en industrias médica, farmacéutica y cosmética?
- c. ¿Podría reducir el uso de agroquímicos y establecer líneas de tierra con plantas floreciendo tener un impacto significativo en la preservación de abejas sin aguijón?

### Participación de la pupila

1. *Discusión en clase de los temas de ecología de abejas y el potencial impacto económico de las abejas sin aguijón.*

2. *Conciencia de las partes interesadas del alumno.*

- a. ¿Cómo ha cambiado mi percepción sobre las abejas al conocer la presencia de microorganismos?
- b. Todo en el planeta está interrelacionado, ¿cómo afecta a los humanos el declive o la desaparición de las especies de abejas sin aguijón?
- c. ¿Cuál es la clave para que las abejas se organicen eficientemente en grupos grandes?

Un marco de educación microbiana enfocado en niños

3. *Ejercicios (podrían hacerse en cualquier nivel, pero estos son probablemente el nivel de educación secundaria)*

a. Sombrero loco

- i. Divide a los participantes en equipos de cinco miembros.
- ii. Los equipos se separan temporalmente y se ubican en distintas partes del salón.
- iii. Cada miembro del equipo construirá un “sombrero loco” que represente un componente de la colmena (asignado por el profesor o elegido de una lista específica) y sus microorganismos relacionados.
- iv. Una vez que hayan terminado, los equipos regresan a la misma parte del salón usando los sombreros locos y los explican al resto de sus compañeros.
- v. Sus compañeros observarán cuidadosamente los sombreros y tratarán de adivinar el rol de cada participante.
- vi. Al final, todos reflexionarán sobre qué ocurriría si alguno de estos componentes no estuviera presente en la colmena.

b. Crucigrama (Copyright 2022. Discovery Education)

VERTICALES (DOWN)

Un tipo de microorganismo presente en el microbioma de las abejas sin aguijón.

Barrera hecha de resina mezclada con pequeñas cantidades de secreciones de glándulas salivales y cera.

Regiones del mundo donde se encuentran las abejas sin aguijón.

Componente extremadamente importante de la colonia, fermentado con el aporte de bacterias Bacillus.

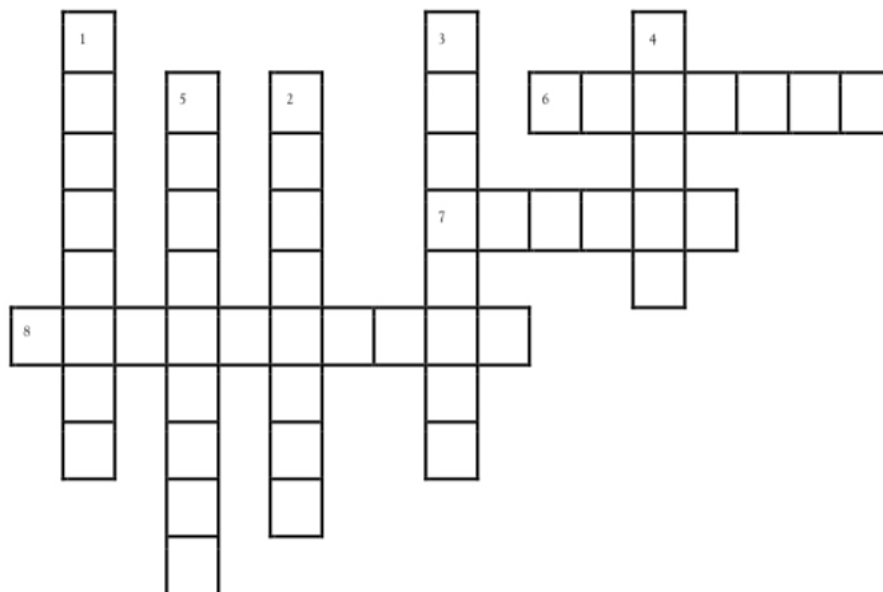
Cuerpo multi-organísmico donde la mayoría de las células son microbianas.

HORIZONTALES (ACROSS)

6. Estructura formada por microorganismos que infectan una herida y que puede ser destruida por componentes de la miel de las abejas sin aguijón.

7. Principal fuente de nutrientes de la colonia.

8. Productos para garantizar la salud y la inmunidad de la colonia de abejas sin aguijón.



**La base de evidencia, lectura adicional y ayudas para enseñar**

1. de Paula, G. T., Menezes, C., Pupo, M. T., & Rosa, C. A. (2021). Abejas sin aguijón e interacciones microbianas. *Current Opinion in Insect Science*, 44, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.11.006>
2. Guimarães-Cestaro L, Martins MF, Martinez LC, Alves MLTMF, Guidugli-Lazzarini KR, Nocelli RCF, Malaspina O, Serrão JE, Teixeira ÉW. (2020). Presencia de virus, microsporidios y residuos de pesticidas en tres especies de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) en el campo. *Naturwissenschaften*, 107:16. <https://doi.org/10.1007/s00114-020-1670-5>
3. Grüter, C. (2020). *Stingless Bees: Their Behaviour, Ecology and Evolution (Fascinating Life Sciences)* (1.ª ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60090-7>
4. Hanson, P., Fernández, M., Lobo, J., Gordon, F., Coville, R., Aguilar, I., Acuña, M. & Herrera, E. (2021). Abejas de Costa Rica. Editorial UCR. Recuperado de <https://editorial.ucr.ac.cr/ciencias-naturales-y-exactas/item/2595-abejas-de-costa-rica.html>
5. IPBES. (2016). El informe de evaluación de la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas sobre polinizadores, polinización y producción de alimentos. S.G. Potts, V.L. Imperatriz-Fonseca, H.T. Ngo, eds. Bonn, Alemania; Secretaría del IPBES. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3402856>
6. Madigan, M., Aiyer, J., Buckley, D., Sattley, W., & Stahl, D. (2021). *Brock Biology of Microorganisms*, Edición Global (16.ª ed.). Pearson.
7. Main, D. (2022). Estas abejas sin aguijón elaboran miel medicinal. Algunos la llaman un “líquido milagroso”. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/stingless-bees-honey-helping-peruvian-amazon>
8. Motta, E. V. S., Powell, J. E., Leonard, S. P., & Moran, N. A. (2022). Perspectivas de probióticos en abejas sociales. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 377:1853. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0156>
9. Ngalimat, M. S., Raja Abd Rahman, R. N. Z., Yusof, M. T., Amir Hamzah, A. S., Zawawi, N., & Sabri, S. (2020). Una revisión sobre la asociación de bacterias con abejas sin aguijón. *Sains Malaysiana*, 49:1853–1863. <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4908-08>
10. Nguyen, P. N., Rehan, S. M. (2023). Efectos ambientales en el microbiota de las abejas. *Microbial Ecology*, 86:1487–1498. <https://doi.org/10.1007/s00248-023-02226-6>
11. Sánchez-Bayo, F. & Wyckhuys, K.A.G. (2019). Declive mundial de la entomofauna: una revisión de sus causas. *Biological Conservation*, 232:8–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
12. Shanahan, M., & Spivak, M. (2021). Uso de la resina por abejas sin aguijón: una revisión. *Insects*, 12:719. <https://doi.org/10.3390/insects12080719>
13. Vasquez R. (2022). Explorando el micro-mundo de las abejas sin aguijón de la Amazonía. *National Geographic Society*. <https://www.youtube.com/watch?v=ravajwLr1zs>
14. Zamora, L. G., Beukelman, C. J., van den Berg, A. J. J., Aerts, P. C., Quarles van Ufford, H. C., Nijland, R., Arias, M. L. (2017). Una visión de las propiedades antibiofilm de las mieles costarricenses de abejas sin aguijón. *Journal of Wound Care*, 26:168–177. <https://doi.org/10.12968/jowc.2017.26.4.168>

**Glosario**

**Agroquímicos:** sustancias químicas utilizadas en agricultura, incluyendo fertilizantes químicos, herbicidas e insecticidas.

**Antibióticos:** medicamentos que destruyen o inhiben el crecimiento de bacterias.

**Bee bread (pan de abeja):** mezcla amarga y marrón de néctar y polen que suele prepararse y almacenarse en la colmena, y que las abejas usan como alimento para sus larvas.

**Biocontrol:** control de plagas y parásitos mediante el uso de otros organismos; por ejemplo, peces y depredadores acuáticos que se alimentan de larvas de mosquitos.

## Un marco de educación microbiana enfocado en niños

**Biofertilizantes:** sustancias que contienen microorganismos vivos que promueven el crecimiento de las plantas.

**Biopelícula (Biofilm):** comunidad de microorganismos adheridos a una superficie que produce una cubierta protectora y puede dificultar la cicatrización de heridas.

**Brood chambers (celdas de cría):** estructuras donde se desarrollan las larvas.

**Castas:** individuos estructural y funcionalmente especializados en especies eusociales, como reinas y obreras.

**Core microbiome (microbioma central):** conjunto de taxones microbianos, o atributos genómicos y funcionales, característicos de un huésped o ambiente específico.

**Diversidad:** nivel de diversidad biológica local o global; a menudo medido como número de especies o taxones superiores, y utilizado como indicador del nivel de diversidad genética.

**Ecosistema:** complejo dinámico de organismos y su ambiente físico que interactúan como una unidad funcional.

**Engineered (organismo modificado):** organismo modificado mediante manipulación genética.

**Environments (ambientes):** las condiciones o alrededores donde vive u opera una persona, animal, microorganismo o planta.

**Especies eusociales:** especies animales coloniales que viven en grupos familiares multigeneracionales donde la mayoría de individuos cooperan para ayudar a pocos miembros reproductores.

**Fermentación:** proceso mediante el cual levaduras o bacterias producen alcohol, ácido láctico, ácido acético y otros compuestos al metabolizar azúcares.

**Glándula:** órgano que fabrica sustancias químicas.

**Holobionte:** conjunto formado por un huésped y los microbios que viven en él o a su alrededor, formando una unidad ecológica.

**Inmunidad:** capacidad de un organismo para resistir infecciones.

**Involucrum:** material resistente hecho de diferentes proporciones de cera y resina, construido por las abejas alrededor de las celdas de cría.

**Cultura maya:** antigua civilización precolombina conocida por su arte, arquitectura, matemáticas y astronomía.

**Meliponini:** tribu de abejas conocida comúnmente como abejas sin aguijón.

**Meliponicultura:** crianza y manejo de abejas nativas sin aguijón.

**Mesoamericano:** región histórica del continente americano que abarca desde el sur de México hasta el norte de Costa Rica.

**Microbioma:** colección de genomas de todos los microorganismos presentes en un ambiente particular.

**Microorganismo:** organismo demasiado pequeño para ser visto a simple vista.

**Probiótico:** microorganismo vivo que, en cantidades adecuadas, confiere un beneficio para la salud del huésped.

**Resina:** sustancia pegajosa e insoluble en agua, exudada por algunos árboles y plantas.

**Simbionte:** relación íntima entre organismos que se desarrolla a través de una asociación prolongada y coevolución.

**Wound dressing (vendaje):** preparación médica que promueve la curación de heridas.

**Wound healing (cicatrización):** proceso biológico de reemplazo y reconstrucción de tejido dañado.