

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria, Ciudad de México, México.

ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,

Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE BOMBEO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO COSECHADOR DE MIEL MELIPONA XUNÁAN KAAB

**EVALUATION OF PUMPING TECHNOLOGIES IN
THE IMPLEMENTATION OF A PROTOTYPE MELIPONA
HONEY HARVESTER, XUNÁAN KAAB**

Janet Guadalupe Pech de la Portilla

Tecnológico Nacional de México, México

Carlos Humberto López May

Tecnológico Nacional de México, México

Mario Rodolfo Chan Chi

Tecnológico Nacional de México, México

Oscar Ulises Sánchez Sánchez

Tecnológico Nacional de México, México

Mariana Abigail Chim Cen

Tecnológico Nacional de México, México

Evaluación de Tecnologías de Bombeo en la Implementación de un Prototipo Cosechador de Miel Melipona Xunáan Kaab

Janet Guadalupe Pech de la Portilla¹

janet.pd@conkal.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1035-5054>

Tecnológico Nacional de México
Campus Conkal
México

Mario Rodolfo Chan Chi

mario.cc@conkal.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0006-4301-1406>

Tecnológico Nacional de México
Campus Conkal
México

Mariana Abigail Chim Cen

121800135@conkal.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0002-8418-6123>

Estudiante del Tecnológico Nacional de
México, Campus Conkal
México

Carlos Humberto López May

carlos.lm@conkal.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0005-8777-992X>

Tecnológico Nacional de México
Campus Conkal
México

Oscar Ulises Sánchez Sánchez

lc18800226@conkal.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0001-9966-9235>

Estudiante del Tecnológico Nacional de
México, Campus Conkal
México

RESUMEN

La meliponicultura, práctica ancestral en la península de Yucatán, enfrenta grandes desafíos para su permanencia como el uso de técnicas rudimentarias, el bajo rendimiento de cosecha y el esfuerzo físico que demanda a las mujeres productoras mayas. Este trabajo presenta el diseño e implementación de un prototipo cosechador de miel de melipona beecheii que integra un sistema electromecánico con tecnologías de bombeo (peristáltica y de vacío), evaluadas por su viabilidad en la extracción. La metodología adoptó un enfoque mixto, combinando entrevistas, observaciones y pruebas piloto en meliponarios de Hunucmá, Motul y Cantamayec. Los resultados muestran que ambas tecnologías preservan la calidad de la miel, aunque la mini bomba de vacío presentó mayor rapidez, menor consumo energético y reducción del estrés en las abejas, mientras que la bomba peristáltica ofreció mayor control y facilidad de mantenimiento. La implementación del prototipo permitió reducir en un 60 % el tiempo de cosecha, disminuir riesgos físicos para las productoras y asegurar un proceso más higiénico. En conclusión, este proyecto contribuye a la modernización de la meliponicultura, empoderando a las mujeres mayas, fortaleciendo la economía local y promoviendo la sostenibilidad de una práctica cultural milenaria.

Palabras clave: meliponicultura, prototipo, bomba peristáltica, bomba de vacío, mujeres mayas

¹ Autor principal.

Correspondencia: carlos.lm@conkal.tecnm.mx

Evaluation of Pumping Technologies in the Implementation of a Prototype Melipona Honey Harvester, Xunáan Kaab

ABSTRACT

Meliponiculture, an ancestral practice in the Yucatan Peninsula, faces major challenges to its survival, such as the use of rudimentary techniques, low harvest yields, and the physical effort required of Mayan women producers. This work presents the design and implementation of a prototype Beecheii melipona honey harvester that integrates an electromechanical system with pumping technologies (peristaltic and vacuum), evaluated for their viability in extraction. The methodology adopted a mixed approach, combining interviews, observations, and pilot tests in meliponary hives in Hunucmá, Motul, and Cantamayec. The results show that both technologies preserve the quality of the honey, although the mini vacuum pump was faster, consumed less energy, and reduced stress on the bees, while the peristaltic pump offered greater control and ease of maintenance. The implementation of the prototype reduced harvesting time by 60%, decreased physical risks for producers, and ensured a more hygienic process. In conclusion, this project contributes to the modernization of meliponiculture, empowering Mayan women, strengthening the local economy, and promoting the sustainability of an ancient cultural practice.

Keywords: meliponiculture, prototype, peristaltic pump, vacuum pump, mayan women

*Artículo recibido 02 setiembre 2025
Aceptado para publicación: 29 setiembre 2025*



INTRODUCCIÓN

Las abejas sin aguijón han sido conocidas y utilizadas como parte del acervo biológico y de conocimientos desde las culturas ancestrales. Se considera que inicialmente el aprovechamiento se dio de manera silvestre dada la importancia de los recursos de extracción de cera y miel para rituales y usos medicinales. Posteriormente se desarrollaron estrategias de manejo rudimentarias que con el tiempo derivaron en el manejo actual (SEMARNAT,2023).

Según Matú et al. (2025, como se citó en Ayala, 1999), en México, se han identificado alrededor de 46 especies de meliponinos, de las cuales 17 habitan en la península de Yucatán. Matú et al. (2025, como se citó en Camberos, 2019), comenta que en el caso de la península de Yucatán, la *Melipona beecheii* o, Xunáan Kaab ‘señora abeja’ en maya, fue utilizada por los antiguos sacerdotes mayas para aliviar algunas enfermedades relacionadas con los ojos, oídos y piel; además, su miel y cera fue objeto de pago tributario entre diferentes culturas antes y después de la llegada de los españoles.

En la península de Yucatán, la crianza de abejas sin aguijón es una actividad de traspatio o “solar” heredada de la cultura maya. Aunque se ha visto reducida por la pérdida de sus hábitats naturales y la introducción de la abeja “doméstica” (*Apis mellifera*), no ha sido abandonada por completo. Estas abejas sin aguijón se distribuyen ampliamente en las regiones tropicales y subtropicales. La miel que producen se encuentra entre las mejores del mundo, por lo que su precio supera en un 30% el de la miel obtenida de las abejas *Apis mellifera* (abejas con aguijón); esto significa una importante oportunidad de comercio para las regiones donde se practica la meliponicultura.(Ortiz et al, 2023).

Estas actividades al realizarse en los traspatios de los hogares refuerzan las relaciones familiares como lo comenta (López, 2020) indicando que en las comunidades mayas yucatecas, la communalidad -y acción colectiva- se manifiesta en las relaciones al interior de las familias, entre miembros de la comunidad y con el entorno natural. Por ejemplo, el trabajo en el solar ofrece el beneficio de la convivencia familiar, aunque la labor de la mujer en su sostenimiento es particularmente importante. Por lo general, la madre es la que organiza las labores de mantenimiento, apoyada por el padre, mientras que los jóvenes y niños realizan los trabajos que se les indica.

La miel de *Melipona beecheii* es apreciada a nivel mundial por sus propiedades organolépticas, medicinales y nutricionales.



Diversas investigaciones han documentado su capacidad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria y antitumoral, lo que la posiciona como un recurso de alto valor social y económico. Su precio puede superar en un 30 % al de la miel convencional de *Apis mellifera*, convirtiéndola en un producto estratégico para el comercio local y regional (Ramos, 2021).

Sin embargo a pesar de todos estos factores positivos que tiene la crianza de la abeja melipona, esta actividad se encuentra en peligro de desaparecer por la introducción de la abeja europea, la abeja *Apis mellifera*, la cual presenta mayor rendimiento de miel por colmena. En la actualidad algunos estudios señalan que la pérdida de la Meliponicultura es multifactorial entre los que destacan: la deforestación y fragmentación de selvas, expansión de la ganadería y agricultura, arribo de la abeja africana, el abandono del campo por falta de empleos, el manejo y reproducción deficiente, así como la pérdida de conocimiento tradicional en las siguientes generaciones están influyendo grandemente. Otros factores importantes que están contribuyendo a la pérdida de esta actividad es la agroindustria, con su uso de agrotóxicos y su componente de deforestación, la depredación inmobiliaria y la proliferación de mega granjas de cerdos y pollos en la península de Yucatán tienen a las abejas en riesgo. Comunidades mayas y expertos dieron detalles del desastre, a la par de exhibir la desidia de gobiernos y organismos de control (Elsegui, 2025). Durante la realización del presente proyecto de investigación se encontró que en las comunidades rurales como Cantamayec, Cholul de Cantamayec, Hunucmá, Sanahcat, Motul entre los municipios visitados, la meliponicultura aún mantiene su vigencia, donde en especial las mujeres mayas han preservado y transmitido los conocimientos asociados a esta tradición. Sin embargo, su producción enfrenta importantes desafíos: la extracción tradicional es manual, lenta y artesanal, lo que demanda un esfuerzo físico considerable, incrementando el riesgo de contaminación y puede provocar estrés en las colonias. Bajo estas condiciones, obtener un litro de miel requiere cerca de un año completo de trabajo, reduciendo la competitividad y sostenibilidad de las y los meliponicultores frente a una creciente demanda internacional.

En algunos apiarios visitados en las comunidades de Hunucmá, Cantamayec, Cholul de Cantamayec y Motul, aún se emplean métodos rudimentarios en el manejo de los meliponarios, utilizando jobones elaborados con maderas locales como ya'axnik, jabín y tzalam (Uchín, 2021), o cajas tecnificadas tipo INPA de dimensiones estandarizadas (Ramírez, 2023).



Mientras los jobones responden a la tradición ancestral, las cajas permiten un manejo más eficiente y menor estrés a las abejas, facilitando el control de plagas, la alimentación y la división de colonias. No obstante, incluso con estas mejoras, el proceso de cosecha sigue representando un reto debido a la limitada tecnificación en la extracción de la miel.

En este escenario, las mujeres meliponicultoras desempeñan un rol central, pero enfrentan dificultades asociadas a la naturaleza manual del proceso. El uso de espátulas de madera, recipientes plásticos y largas jornadas bajo altas temperaturas vuelven el trabajo agotador y riesgoso, tanto para la salud de las apicultoras como para la integridad de las colmenas. Estas limitaciones ponen en riesgo la calidad del producto y restringen la capacidad productiva, afectando la sostenibilidad de la actividad. Frente a tales desafíos, la incorporación de tecnologías en la meliponicultura ha comenzado a explorarse como una alternativa estratégica. Estudios recientes proponen el uso de sistemas de monitoreo electrónico e Internet de las Cosas (IoT) para evaluar condiciones ambientales como temperatura, humedad, presión y peso, a fin de optimizar la producción y garantizar la supervivencia de las colonias (Novelo et al., 2021; Márquez et al., 2022). Estas experiencias evidencian el potencial de la innovación tecnológica en el fortalecimiento de la apicultura, reduciendo visitas innecesarias a los meliponarios y promoviendo un ambiente más adecuado para las abejas.

En este contexto, el diseño e implementación de prototipos electromecánicos para la extracción de miel representan un avance significativo. El uso de tecnologías de bombeo, como bombas peristálticas y de vacío, constituye una alternativa viable para mejorar la eficiencia del proceso, reducir riesgos de contaminación, disminuir el estrés de las abejas y aumentar la productividad de las productoras. Además de los beneficios técnicos, estas innovaciones buscan empoderar a las mujeres mayas al facilitarles herramientas que optimicen su labor y fortalezcan su autonomía económica, sin perder de vista el respeto a los saberes ancestrales y a la sostenibilidad cultural y ambiental de la meliponicultura. El propósito final de esta investigación es la implementación de tecnologías en la cosecha de la miel de la abeja melipona haciendo un comparativo entre las bombas peristálticas y de vacío, seleccionando la que mejor se adapte a las necesidades de las mujeres productoras.



METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos, tal como lo plantea Hernández Sampieri et al. (2022), con el propósito de obtener una comprensión integral del proceso de cosecha de miel *Melipona beecheii* y de la funcionalidad de los prototipos diseñados, con interpretaciones de la percepción dadas por las productoras de los meliponarios con el uso de las bombas para la extracción de miel. Este enfoque mixto permite combinar la fortaleza del análisis estadístico con la profundidad interpretativa del conocimiento social, logrando resultados más completos y contextualizados. En este sentido, la investigación se centró tanto en la evaluación técnica del rendimiento de las bombas (componente cuantitativo) como en la percepción de las productoras mayas sobre su facilidad de uso, ergonomía y aceptación (componente cualitativo). Este tipo de estudios, según Hernández Sampieri et al. (2022), facilita la triangulación de datos al combinar mediciones objetivas con interpretaciones sociales, enriqueciendo los resultados obtenidos. Este estudio adoptó un diseño aplicado y participativo, donde las productoras de miel estuvieron presentes como colaboradoras activas en todas las fases del desarrollo de estos prototipos de bomba: diagnóstico, diseño, validación y pruebas. Esta metodología se fundamenta en la investigación-acción participativa (IAP), que busca generar soluciones tecnológicas a partir del conocimiento local y la participación comunitaria (Sandoval, 2022). El carácter aplicado del proyecto permitió evaluar el impacto de las tecnologías en escenarios reales de producción, asegurando su pertinencia social, técnica y económica.

Alcance y Comunidades beneficiadas.

La investigación se llevó a cabo en meliponarios ubicados en los municipios de Hunucmá, Motul, Cantamayec y Cholul de Cantamayec (municipios pertenecientes al estado de Yucatán), donde cada productora resguarda entre 25 y 45 cajas tipo INPA de abejas *Melipona beecheii*. La población estuvo conformada por mujeres productoras de miel pertenecientes a comunidades mayas. El muestreo fue dirigido y no probabilítico el cual estuvo integrado por 25 participantes con experiencia comprobada en la cosecha artesanal de miel, tomando en cuenta su conocimiento práctico en la cosecha artesanal, tiempo y disposición de colaborar con el desarrollo y evaluación del prototipo.



Instrumentos y técnicas de recolección de datos

En la fase cualitativa, se realizaron entrevistas semiestructuradas y observaciones directas durante el uso de los prototipos de bombeo peristáltico y vacío. En las entrevistas se recabaron percepciones respecto a la facilidad de uso, la rapidez de extracción, la seguridad de las abejas, la calidad del producto final y la ergonomía del equipo.

El análisis se efectuó mediante la categorización temática identificada según Miles et al. (2014), identificando ventajas, limitaciones y recomendaciones de las productoras. Las preguntas realizadas fueron validadas por tres personas expertas en apicultura y diseño de prototipos tecnológicos, garantizando la pertinencia y claridad de los ítems.

En la fase cuantitativa, se efectuaron pruebas experimentales controladas de ambos prototipos con un volumen de referencia de 50 ml de miel en frascos de vidrio estándar, repitiendo este proceso de las mediciones tres veces por tipo de bomba, con la finalidad de obtener promedios confiables. Se midieron parámetros como el tiempo de extracción, el nivel de vacío, el flujo volumétrico, consumo energético y la hermeticidad del sistema. Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva, obteniendo promedios, desviaciones estándar y comparaciones de eficiencia entre los prototipos.

Fases del proceso metodológico.

El proceso metodológico se estructuró en cuatro fases:

Diagnóstico inicial: Identificación de necesidades y limitaciones de las productoras mediante entrevistas y observación participante. Durante esta etapa de diagnóstico se realizaron las entrevistas y observaciones en meliponarios de Hunucmá, Motul y Cantamayec para identificar problemáticas, percepciones y expectativas de las productoras, identificando sus necesidades más apremiantes y limitaciones durante la cosecha.

Se documentaron los métodos tradicionales de cosecha (uso de jeringas) y las condiciones de trabajo en los meliponarios, cabe señalar que la mayoría de las productoras trabajan con cajas tecnificadas conocidas como INPA. En la figura 1y 2 podemos observar un meliponario y colmenas utilizando las cajas tipo INPA por las productoras.



Figura 1. Extracción de la miel realizada utilizando jeringas



Figura 2. Las colmenas se encuentran ubicadas en cajas tecnificadas tipo INPA



Diseño del prototipo: En esta etapa se realizó la selección de materiales y mecanismos de bombeo, priorizando higiene, durabilidad, bajo costo y facilidad de mantenimiento. De igual manera se priorizó, que la estructura electromecánica sea de fácil operación para las productoras las cuales no todas tienen un gran acercamiento con el uso de tecnologías. Se determinó que los materiales adecuados a utilizar sean acero inoxidable AISI 304, que las mangüeras sean de grado alimenticio (silicón en mangüeras grado alimenticio) y se llevaron a cabo las especificaciones técnicas tal es el caso de la bomba peristálticas se eligió una de 12 V y bombas de vacío de -58 kPa. En el diseño del prototipo se consideraron criterios de durabilidad, higiene y bajo costo. Se optó por implementar dos sistemas: una bomba peristáltica y una mini bomba de vacío, comparando su desempeño. En la figura 3 y 4 se muestran los diseños de los prototipos de las bombas desarrolladas.

Figura 3. Propuesta prototipo mini bomba vacío.

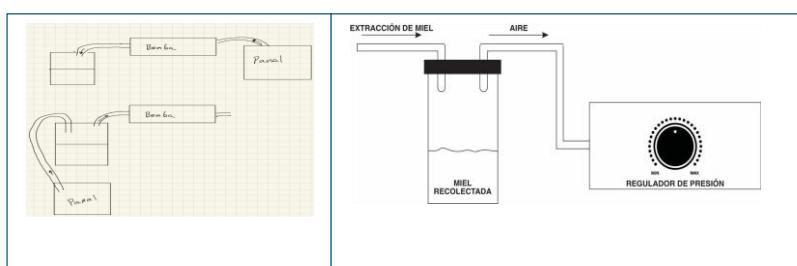
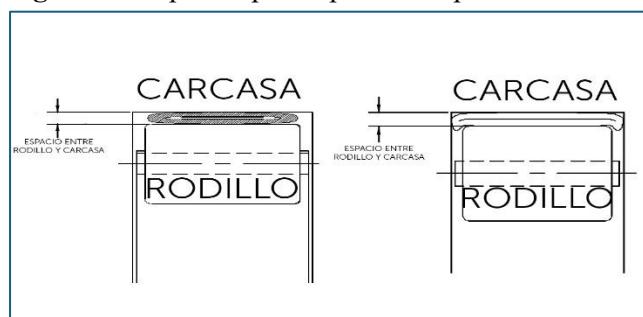


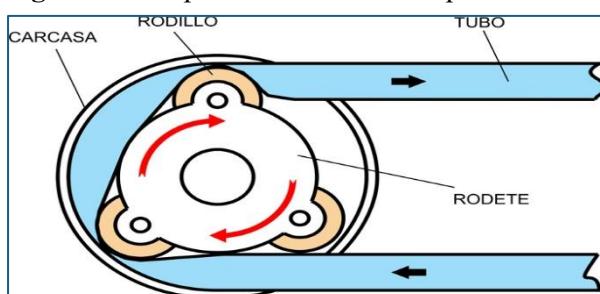
Figura 4. Propuesta prototipo bomba peristáltica.



Fuente: Tomada de *¿Cómo funciona una bomba peristáltica?*, por TecnoProducts, 2023, [\[https://tecnoproducts.com/blog/novedades/conduccion/como-funciona-una-bomba-peristaltica/\]](https://tecnoproducts.com/blog/novedades/conduccion/como-funciona-una-bomba-peristaltica/). Derechos reservados.

La forma de trabajar es la siguiente: Según TecnoProducts (2023), la bomba peristáltica es utilizada en muchísimas aplicaciones de la industria ya que proporcionan una manera sencilla y directa de transportar fluidos sensibles sin que estos entren en contacto con pistones o piezas móviles. Las partes que la componen son un tubo flexible y deformable la cual va a estar en contacto con la miel (mangueras de silicona), la carcasa es la estructura de la bomba, el rotor que se encuentra unido al eje central y gira por la acción del motor y finalmente los rodillos que giran unidos al rotor son los que aprietan las mangueras contra la carcasa. La figura 5 muestra las partes que componen la bomba peristáltica.

Figura 5. Componentes de la bomba peristáltica



Fuente: Tomada de *¿Cómo funciona una bomba peristáltica?*, por TecnoProducts, 2023, [<https://tecnoproducts.com/blog/novedades/conduccion/como-funciona-una-bomba-peristaltica/>]. Derechos reservados.

Construcción, funcionamiento y pruebas: Se ensamblaron los prototipos y se realizaron pruebas en meliponarios de las cuatro comunidades participantes. En las figuras 6 y 7 se muestran como quedaron finalmente ensambladas las bombas peristálticas y de vacío.

Figura 6. Diseño de la bomba peristáltica



Figura 7. Diseño de la mini bomba de vacío



La bomba peristáltica mecánica combina sus elementos descritos en la figura 5 para formar una bomba de desplazamiento positivo es decir, mover la miel encerrada repetidamente en un volumen fijo y moviéndolo mecánicamente a través del sistema. El rotor de la bomba gira sellando dos partes del tubo (manguera) contra la carcasa de la bomba. Esto genera que una parte de la miel quede encapsulado entre los dos sellos, haciendo que una parte de la miel sea empujado hacia el exterior. A medida que el rotor sigue girando, la miel encapsulada sigue moviéndose en el interior del tubo, a la vez que sigue expulsando y descargando la miel de la parte superior y el fluido va llenando el espacio que deja el sello de la parte inferior que se está desplazando. Por último, la miel se ha liberado completamente de la parte superior, mientras que queda encapsulado otra extracción de la miel en la zona media y comienza a entrar nueva miel por la parte inferior. Este proceso se repite tantas veces que sea necesario extraer la miel del meliponario.

La mini bomba de vacío funciona de la siguiente manera, se colocan dos mangueras en un frasco con tapa hermética, al absorber el aire del recipiente por una manguera se crea una presión negativa que hace que en la otra manguera pueda aspirar la miel. El recipiente debe ser de un material que no se deforme con la presión del aire, por ejemplo el vidrio. De esta forma la bomba de vacío siempre estará succionando aire y la otra manguera succionará la miel o cualquier otro líquido. El tipo de bomba usado es de membrana (también llamada de diafragma) es un tipo de bomba volumétrica que extrae el aire o gas de un recinto cerrado para generar presión negativa (vacío). Su principio de funcionamiento se basa en el movimiento oscilante de una membrana flexible que mueve un motor eléctrico. Esta descripción corresponde a la figura 7.

Cabe señalar que durante las pruebas realizadas y las observaciones de campo se documentaron parámetros de rendimiento, tiempo de extracción, consumo energético, nivel de ruido, impacto y comportamiento de las abejas durante el proceso. La muestra que se trabajó fue de 25 meliponarios en la cual cada productora tenía entre 15 a 45 colmenas. A continuación se presentan imágenes de pruebas realizadas utilizando los prototipos en los meliponarios. En las figuras 8, 9 y 10 se muestran los meliponarios visitados.



Figura 8. Visita al meliponario de Motul



Figura 9. Las colmenas del meliponario de Cantamayec.



Figura 10. Meliponario de Hunucmá



En las figuras 11 y 12 pruebas realizadas en los meliponarios con cada una de las bombas diseñadas

Figura 11. Pruebas con la mini bomba de vacío



Figura 12. Pruebas con la bomba peristáltica.



Evaluación participativa: Durante esta fase se realizó una valoración conjunta de los resultados técnicos y de la percepción de las usuarias para determinar ajustes y mejoras. Se realizaron repetidas pruebas con volúmenes estándar de miel (50 ml). Durante esta fase se validaron las metodologías establecidas por la parte cualitativa se realizaron entrevistas semiestructuradas y observaciones directas durante la manipulación de los sistemas de bombeo. Se recabaron percepciones respecto a la facilidad de uso, la rapidez de extracción, la seguridad de las abejas, la calidad del producto final y la ergonomía del equipo. El análisis se efectuó mediante la categorización temática propuesta por Miles et al. (2014), identificando ventajas, limitaciones y recomendaciones de las participantes.

Para la fase cuantitativa, se efectuaron pruebas controladas de ambos prototipos con un volumen de referencia de 50 ml de miel en frascos estándar, repitiendo el proceso tres veces por tipo de bomba. Se midieron parámetros como el tiempo de extracción, el nivel de vacío, el flujo volumétrico y la hermeticidad del sistema. Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva, obteniendo promedios, desviaciones estándar y comparaciones de eficiencia entre los prototipos.

Esta triangulación metodológica permitió validar los hallazgos desde una perspectiva técnica y social. En la figura 13 las productoras y productores del meliponario de Cantamayec expresan sus opiniones y recomendaciones para el uso de las bombas peristálticas y de vacío.

Figura 13. Intercambio de experiencias con el uso de los prototipos.



Validez, confiabilidad y consideraciones éticas.

Con el propósito de garantizar la validez y confiabilidad de los resultados, se combinó la observación directa, las entrevistas y las pruebas experimentales mediante una estrategia de triangulación metodológica. Igualmente, se analizaron los datos de manera cruzada entre comunidades con el fin de reconocer coincidencias y comportamientos comunes. Es importante señalar que durante todo el proceso se respetaron las consideraciones éticas, solicitando el consentimiento y autorización para observar el proceso que siguen las mujeres productoras en sus meliponarios sobre la recolección de la miel utilizando sus técnicas artesanales garantizándoles la confidencialidad de la información proporcionada. Asimismo, se hicieron pruebas con las bombas procurando que cada diseño del prototipo fuera seguro para las abejas y congruente con las prácticas tradicionales de las comunidades, sin alterar su entorno natural. El trabajo de campo se desarrolló entre enero y junio de 2025, durante el periodo de cosecha activa de miel, lo que permitió realizar las pruebas en condiciones óptimas de producción.

Finalmente, los resultados obtenidos en ambas fases metodológicas sirvieron de base para formular ajustes técnicos al prototipo y definir recomendaciones sobre su implementación en comunidades rurales de Yucatán.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se estableció en la metodología a seguir el muestreo fue dirigido y no probabilístico, trabajando con 25 mujeres que poseen meliponarios en las comunidades de Hunucmá donde se aplicaron 9 instrumentos, Motul se aplicaron 8 instrumentos y entre Cantamayec y Cholul de Cantamayec se aplicaron 8 instrumentos, todos estos municipios pertenecen al estado de Yucatán, donde aproximadamente cada una de ellas tiene entre 15 a 45 colmenas. Las participantes evaluaron ambos prototipos (bomba peristáltica y bomba de vacío) mediante encuestas tipo Likert y entrevistas semiestructuradas, con el fin de comparar su desempeño técnico, ergonomía, calidad de la miel y satisfacción general.

A continuación se describen los resultados obtenidos de las bombas propuestas según los criterios evaluados: en la tabla 1 se presenta la evaluación al desempeño técnico donde se observan los resultados estadísticos que evidencian una tendencia favorable hacia la bomba de vacío en la mayoría de los indicadores evaluados. Este instrumento utilizó la escala de Likert parametrizada con los valores del 1 al 5 donde el valor 1 indica “Muy deficiente” y el valor 5 indica “Excelente”. En esta tabla podemos observar dentro de los resultados obtenidos que la bomba de vacío obtuvo medias superiores en tiempo de extracción (4.6 ± 0.5 vs. 3.0 ± 0.5), rapidez del flujo (4.6 ± 0.5 vs. 3.1 ± 0.5) y nivel de succión (4.4 ± 0.5 vs. 3.3 ± 0.5).

Esto confirma su mayor eficiencia en la transferencia de miel, reduciendo significativamente el tiempo de cosecha. En cuanto al consumo energético percibido, la bomba de vacío alcanzó una media de 4.4 ± 0.5 , frente a 3.2 ± 0.5 en la peristáltica, reflejando un funcionamiento más económico. Asimismo, el nivel de ruido fue moderado (4.1 ± 0.6) en la bomba de vacío y más alto en la peristáltica (2.6 ± 0.6), lo que se asocia con un menor estrés en las colonias durante la extracción.



Tabla 1. Análisis cuantitativo del desempeño técnico

| Indicador | Vacio (Media ± DE) | Peristáltica (Media ± DE) |
|----------------------|--------------------|---------------------------|
| Tiempo de extracción | 4.6 ± 0.5 | 3.0 ± 0.5 |
| Rapidez del flujo | 4.6 ± 0.5 | 3.1 ± 0.5 |
| Nivel de succión | 4.4 ± 0.5 | 3.3 ± 0.5 |
| Consumo energético | 4.4 ± 0.5 | 3.2 ± 0.5 |
| Nivel de ruido | 4.1 ± 0.6 | 2.6 ± 0.6 |

En la tabla 2 se establecen las mediciones técnicas, donde los hallazgos encontrados fueron: el tiempo promedio de extracción de 50 ml fue de 10.5 ± 1.2 s para la bomba de vacío y 55 ± 6 s para la peristáltica. El caudal resultante fue de ≈ 285 ml/min para la bomba de vacío frente a ≈ 55 ml/min para la peristáltica. Además, el consumo energético se mantuvo en 18 ± 1.5 W (vacío) frente a 24 ± 2 W (peristáltica), y los niveles de ruido fueron de 58 ± 3 dB y 68 ± 4 dB, respectivamente.

Tabla 2. Mediciones técnicas

| Indicador | Vacio (Media ± DE) | Peristáltica (Media ± DE) |
|--|----------------------|---------------------------|
| Tiempo promedio de extracción de (50 ml) | 10.5 (± 1.2 s) | 55 (± 6 s) |
| Caudal (ml/min) | 285.0 (± 22.5) | 54.5 (± 9.1) |
| Consumo energético (W) | 18.0 (± 1.5) | 24.0 (± 2.0) |
| Ruido (dB) | 58.0 (± 3.0) | 68.0 (± 4.0) |

En la tabla 3 se evaluó la satisfacción del usuario y ergonomía, se obtuvo que la percepción de las productoras le otorga una mejor calificación a la bomba de vacío en los rubros de facilidad de uso (4.5 ± 0.5), seguridad (4.5 ± 0.5) y comodidad física (4.4 ± 0.5), mientras que la bomba peristáltica registró valores entre 3.4 y 3.9, reflejando una experiencia de operación más demandante. La satisfacción general con la bomba de vacío alcanzó 4.6 ± 0.5 , superando el 20 % respecto a la peristáltica (3.7 ± 0.5). En términos ergonómicos, el peso y tamaño de la bomba de vacío fueron calificados con 4.2 ± 0.5 , al considerarse más manejable en campo, mientras que la bomba peristáltica obtuvo 3.6 ± 0.5 . Sin embargo, la facilidad de limpieza favoreció ligeramente a la peristáltica (4.3 ± 0.4) por su sistema de mangueras desmontables.

Tabla 3. Satisfacción del usuario y ergonomía

| Indicador | Vacio (Media ± DE) | Peristáltica (Media ± DE) |
|-----------------------|--------------------|---------------------------|
| Facilidad de uso | 4.50 ± 0.50 | 3.60 ± 0.50 |
| Seguridad | 4.50 ± 0.50 | 3.90 ± 0.50 |
| Comodidad física | 4.40 ± 0.50 | 3.40 ± 0.50 |
| Satisfacción general | 4.6 ± 0.5 | 3.7 ± 0.5 |
| Peso y tamaño | 4.20 ± 0.50 | 3.60 ± 0.50 |
| Facilidad de limpieza | 4.00 ± 0.40 | 4.30 ± 0.40 |

En la tabla 4 se obtuvieron resultados de la categoría de evaluación de mantenimiento y calidad de la miel, este análisis mostró que la bomba de vacío presentó mejor desempeño en caudal (4.7 ± 0.5), consumo (4.5 ± 0.5), mantenimiento (4.4 ± 0.5) y ruido (4.2 ± 0.6), confirmando su eficiencia y bajo requerimiento de servicio. En cuanto a la calidad de la miel, ambas tecnologías conservaron niveles altos (4.6 ± 0.4 y 4.5 ± 0.4), sin diferencias apreciables en textura, aroma o color, lo que sugiere que ninguno de los sistemas altera las propiedades organolépticas del producto.

Tabla 4. Evaluación de mantenimiento y calidad de la miel

| Indicador | Vacio (Media ± DE) | Peristáltica (Media ± DE) |
|--------------------|--------------------|---------------------------|
| Caudal | 4.70 ± 0.50 | 3.00 ± 0.50 |
| Consumo | 4.50 ± 0.50 | 3.10 ± 0.50 |
| Mantenimiento | 4.40 ± 0.50 | 3.30 ± 0.50 |
| Ruido | 4.20 ± 0.60 | 2.80 ± 0.60 |
| Calidad de la miel | 4.50 ± 0.40 | 4.60 ± 0.40 |

En la tabla 5 donde se midieron las preferencias de uso y percepciones cualitativas el 68 % de las productoras manifestó preferir la bomba de vacío, mientras que 20 % optó por la peristáltica y 12 % consideró útil utilizar ambas según el tipo de cosecha. En las entrevistas cualitativas, las participantes destacaron que la bomba de vacío les permitió “trabajar con menor esfuerzo y sin molestar a las abejas”, además de reducir el tiempo total de extracción. Por otro lado, la bomba peristáltica fue valorada por su control preciso del flujo y su fácil limpieza, características útiles en cosechas pequeñas o demostrativas.

Tabla 5. Preferencias de uso y percepciones cualitativas

| Opción | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------------|------------|------------|
| Bomba de vacío | 17 | 68 % |
| Bomba peristáltica | 5 | 20 % |
| Ambas | 2 | 10 % |
| Ninguna | 1 | 2 % |



DISCUSIÓN

La convergencia de datos técnicos y testimoniales demuestra que la bomba de vacío ofrece mayor eficiencia, ergonomía y sostenibilidad energética, aspectos cruciales para la meliponicultura comunitaria. La bomba peristáltica, aunque más lenta y ruidosa, mantiene ventajas en higiene y control del flujo, por lo que sigue siendo una alternativa viable en procesos donde la precisión y limpieza sean prioritarias. En conjunto, la aplicación de estos prototipos redujo en promedio un 60 % el tiempo de cosecha, mejoró la ergonomía de las productoras y fortaleció el empoderamiento femenino en las comunidades participantes, al integrar tecnología apropiada que respeta la cultura y el entorno de la meliponicultura maya.

CONCLUSIONES

El diseño e implementación del prototipo cosechador de miel de abeja *Melipona beecheii* representa un avance tecnológico significativo para la meliponicultura en comunidades mayas, al integrar metodologías participativas, criterios de eficiencia y respeto al entorno biológico. Los resultados obtenidos en la aplicación de los instrumentos cuantitativos y cualitativos con 25 productoras de Hunucmá, Motul y Cantamayec confirman la viabilidad y pertinencia del desarrollo.

La bomba de vacío se posicionó como la opción más eficiente y ergonómica, al reducir en más del 60 % el tiempo de cosecha, ofrecer un flujo continuo y hermético, y mantener un bajo consumo energético (≈ 18 W) y nivel de ruido moderado (≈ 58 dB), condiciones que minimizan el estrés de las abejas y mejoran la experiencia de las operadoras. Asimismo, fue valorada con mayores promedios en facilidad de uso, comodidad, seguridad y satisfacción general, superando en promedio un 25 % a la bomba peristáltica.

Por su parte, la bomba peristáltica mostró ventajas en limpieza, mantenimiento y control del flujo, manteniendo una alta calidad higiénica y una excelente conservación de las propiedades organolépticas de la miel. Estas características la hacen una alternativa adecuada para contextos donde la precisión y la manipulación cuidadosa sean prioritarias, como en producciones demostrativas o en lotes de alta pureza. Desde el enfoque cualitativo, las productoras destacaron que la tecnología introducida disminuye el esfuerzo físico, reduce la exposición al calor y al zumbido constante y facilita la extracción sin dañar las colmenas.



El 100 % de las participantes manifestó que participar en este tipo de proyectos fortalece su autonomía y sentido de pertenencia cultural, al demostrar que la innovación tecnológica puede coexistir con los saberes tradicionales.

En síntesis, los resultados confirman que la integración de tecnologías de bombeo en la meliponicultura promueve una práctica más sostenible, productiva y equitativa, que respeta las condiciones ecológicas locales y potencia el empoderamiento femenino en las comunidades mayas. Este prototipo constituye una base sólida para futuras adaptaciones y escalamiento del diseño, orientadas a la producción comunitaria y la consolidación de la economía meliponícola regional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Elsegui, P. (2025). La muerte masiva de las abejas nos deja a las puertas de una crisis alimentaria. Blog o Boletín Jaltún: Investigación y Acción Colectiva. <https://jaltun.mx/la-muerte-masiva-de-las-abejas-nos-deja-a-las-puertas-de-una-crisis-alimentaria/>
- Hernández-Sampieri, R., Mendoza, C., & Torres, P. (2022). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.^a ed.). McGraw-Hill.
- López, M. (2020). La decolonialidad como alternativa para la conservación de la biodiversidad. El caso de la meliponicultura en la Península de Yucatán. Revista Península vol.16 no.1 Mérida ene./jun. 2021 Epub 04-Feb-2021. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-57662021000100029
- Márquez, J., Loaiza, J., Gómez, M., & Álvarez, C. (2022). Sistema de monitoreo de un apiario basado en el internet de las cosas. Encuentro Internacional De Educación En Ingeniería. <https://doi.org/10.26507/paper.2302>
- Matú, E., Valdivieso, I., Aguilar, R., Pat, L., & Aguilar, E. (2025). Meliponicultura del noroeste de Yucatán: historia, desafíos y transmisión de saberes. *Estudios De Cultura Maya*, 65, 189-217. <https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.2025.1/0Q27R1V056>
- Miles, M., Huberman, A., & Saldaña, J. (2013). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.



- Novelo, E., Wan, M., Can, S., & Medina, J. (2021). Monitoreo electrónico del ambiente en la producción de miel de abeja Melipona beecheii mediante el uso del internet de las cosas. ECTI. Vol 1. p. 25-29. <https://ojs.valladolid.tecnm.mx/index.php/CongresoNacional/issue/view/4>
- Ortiz, A., Bolívar, D., & Estrada, R. (2023). La meliponicultura: herencia maya en la península de Yucatán. Revista Ciencia. octubre-diciembre de 2023 ♦ volumen 74 número 4 ciencia. <https://revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-74-numero-4/358-novedades-cientificas/1051-la-meliponicultura-herencia-maya-en-la-peninsula-de-yucatan>
- Ramirez, J. (2023). La meliponicultura tecnificada, abejas sin aguijón en cajas. Blog. <https://abejasmiel.com/meliponicultura-tecnificada/>
- Ramos, L. (2021). La meliponicultura en Yucatán, un legado maya para proteger. CIATEJ. <https://ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/La-meliponicultura-en-Yucatan--un-legado-maya-para-proteger/198>
- Sandoval, E. (2022). Investigación participativa como herramienta de cambio social: retos y oportunidades. Revista Multidisciplinar de Estudios Generales. Vol.1 N.4 p.18-25. https://www.researchgate.net/publication/387205675_Investigacion_participativa_como_herramienta_de_cambio_social_retos_y_oportunidades_Participatory_research_as_a_tool_for_social_change_challenges_and_opportunities
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). La meliponicultura en México: un acercamiento a las prácticas tradicionales y a las perspectivas de su manejo contemporáneo. <https://www.gob.mx/semarnat/polinizadores>
- TecnoProducts (2023). ¿Cómo funciona una bomba peristáltica?. TecnoProducts. <https://tecnoproducts.com/blog/novedades/conduccion/como-funciona-una-bomba-peristaltica/>
- Uchin, A. (2021). Manejo tradicional de la abeja de los pueblos mayas (Melipona beecheii). The Nature Conservancy. https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/mexico/Manejo_tradicional_de_la_abeja_de_los_pueblos_mayas.pdf

