

Área del Conocimiento de Agricultura

OBTENCIÓN DE APITOXINA MEDIANTE ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA – DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero
Químico

Elaborado por:

BR. GERALD ADOLFO
FLORES SOZA,
2020-0821U

BR. ROSALBA JURIETH
GUTIÉRREZ ARÁUZ,
2020-0795U

Tutor:

MCS. LEONARDO
ANTONIO CHAVARRÍA
CARRIÓN

Asesor:

ING. MARLOVIO
JOSÉ SEVILLA
HERNANDEZ

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA	III
DEDICATORIA	IV
RESUMEN	
.....	
V	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 BIOLOGÍA APÍCOLA	4
3.1.1 ABEJA	4
3.1.2 TAXONOMÍA.....	4
3.1.3 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE <i>APIS MELLIFERA</i>	5
3.1.4 COLMENA LANGSTROTH.....	6
3.2 APITOXINA.....	8
3.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA APITOXINA	8
3.2.2 PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LA APITOXINA	9
3.2.3 PROPIEDADES COSMÉTICAS Y TERAPÉUTICAS	9
3.3 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	10
3.3.1 MÉTODO DE RECOLECCIÓN MANUAL	10
3.3.2 MÉTODO DE RECOLECCIÓN POR SUCCIÓN	11
3.3.3 MÉTODO DE RECOLECCIÓN POR ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA	12
3.4 NTON 11 009-07	13
3.4.1 NORMATIVA PARA LA PRODUCCIÓN ANIMAL ECOLÓGICA (APICULTURA)	13
3.5 PLAN NACIONAL DE LUCHA CONTRA LA POBREZA Y PARA EL DESARROLLO HUMANO	13
IV. MATERIAL Y MÉTODO	15
4.1 MATERIAL Y COSTOS.....	15
4.2 ECUACIONES DE DISEÑO	19
4.2.1 PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO.....	22
6.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....	22

4.2.2	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO.....	24
4.2.3	IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO EN ENTORNO APÍCOLA	24
4.2.4	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROTOTIPO	25
4.2.5	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	25
V.	DISEÑO EXPERIMENTAL	26
5.1	DISEÑO 2K	26
5.2	FACTORES Y FORMULACIÓN	26
VI.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	28
6.1	DISEÑO GENERAL DEL CIRCUITO ELÉCTRICO	28
6.2	PLANO DE LA PLACA DE CIRCUITO IMPRESO	29
6.3	ESTRUCTURA SUPERFICIAL DEL PROTOTIPO	30
6.4	CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO	32
6.5	ENSAMBLAJE ELÉCTRICO	33
6.6	EFICIENCIA DEL PROTOTIPO	33
VII.	CONCLUSIONES	37
VIII.	RECOMENDACIONES.....	39
IX.	REFERENCIAS	40
X.	ANEXOS	
		
		44

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LA COLMENA LANGSTROTH	7
TABLA 2. COMPOSICIÓN DE APITOXINA DE LA ABEJA APIS MELLIFERA	8
TABLA 3. MATERIAL Y COSTOS DEL EXTRACTOR DE APITOXINA.....	15
TABLA 4. EPP EN EL APIARIO Y LABORATORIO	25
TABLA 5. FACTORES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	26
TABLA 6. RESULTADO DE PRUEBAS REALIZADAS EN EL APIARIO	34
TABLA 7. RESUMEN DE LA VARIANCIA	35
TABLA 8. ANÁLISIS DE VARIANCIA	35

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ANATOMÍA EXTERNA DE APIS MELLIFERA	6
FIGURA 2. COMPONENTES DE LA COLMENA LANGSTROTH.....	7
FIGURA 3. FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN	25
FIGURA 4. DISEÑO EN GENERAL DEL CIRCUITO ELÉCTRICO EN PROTEUS 8 ...	28
FIGURA 5. PLANOS DE LA PLACA DE CIRCUITO ELÉCTRICO REALIZADO.....	29
FIGURA 6. PLANO DE LA ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO	31
FIGURA 7. MARCO DE MADERA DEL PROTOTIPO	32
FIGURA 8. PLACA DE CIRCUITO IMPRESO CON COMPONENTES SOLDADOS..	33
FIGURA 9. GRÁFICO DE LAS EXTRACCIONES REALIZADAS	36

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, por concederme la fortaleza, la serenidad y el discernimiento necesarios para culminar este proyecto.

A mi mamá, cuyo amor incondicional ha sido la base de mis metas y mi mayor fuente de inspiración. Su esfuerzo diario, su entrega y cada uno de sus sacrificios han hecho posible que hoy alcance este logro. Este triunfo también le pertenece.

A mi hermana, por acompañarme con cariño, comprensión y apoyo incondicional en cada etapa. A mi abuelo, por su sabiduría, su constante ánimo y por creer siempre en mis capacidades.

A mi compañera de tesis, quien se convirtió en un amigo fundamental durante este proceso. Gracias por tu confianza, paciencia y dedicación. Este trabajo refleja el esfuerzo compartido que construimos con compromiso y compañerismo. A mis amigos, por hacer de la vida universitaria una experiencia más ligera, llena de apoyo, motivación y buenos momentos. Su compañía fue esencial para mantener el ánimo en los días más difíciles.

A mi tutor, por su orientación profesional y humana, por cada indicación precisa y por su compromiso en asegurar la calidad académica de este proyecto.

A ASA, por su apoyo emocional constante, brindándome motivación en los momentos de mayor presión y convirtiéndose en un sostén indispensable para completar este camino.

Al Cuerpo de Bomberos de Masaya, por su disposición, respaldo y apoyo durante la investigación, facilitando recursos y acompañamiento cuando más se necesitó.

Al Apiario Sanganito, por abrirnos sus puertas y confiar plenamente en nuestro trabajo, permitiendo realizar este estudio en un entorno real y propicio para el desarrollo del proyecto.

Br. Gerald Adolfo Flores Soza

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, por haberme dado la fuerza, la sabiduría y la claridad necesarias para avanzar en cada etapa de este camino.

A mi mamá, mi mayor ejemplo de amor y entrega. He visto su esfuerzo diario, su lucha incansable y su dedicación absoluta para brindarme lo mejor. Cada uno de mis logros es reflejo de su sacrificio, de sus oraciones y de su fe en mí. A mi papá, a quien Dios puso en mi vida para fortalecer mis pasos e impulsarme a ser mejor. Gracias por ser guía, motivación y ejemplo. A mi hermano, quien ha sido una inspiración constante. Cada día me impulsa a ser mejor y a esforzarme para ser un ejemplo para él.

A mi tía, uno de mis pilares más firmes, gracias por su apoyo incondicional y por estar presente en los momentos más importantes; su ayuda fue fundamental para llegar hasta aquí. A mi familia, que siempre creyó en mí, que me alentó y me acompañó en cada etapa.

A mi compañero de tesis, quien más que colega ha sido un amigo importante en mi vida. Gracias por tu paciencia, tu confianza y por caminar conmigo durante este proceso. Tu apoyo y compromiso hicieron posible que concluyéramos este trabajo juntos. A mis amigos, quienes hicieron de la universidad un lugar más llevadero, lleno de aprendizajes, apoyo y compañerismo.

A mi tutor, por su guía, su apoyo y su calidad docente. Nada de esto habría sido posible sin su acompañamiento profesional y humano.

Al Apiario Sanganito, por abrirnos sus puertas y confiar plenamente en nuestro trabajo. A mis docentes, quienes formaron mi camino académico y aportaron a mi crecimiento profesional.

Br. Rosalba Jurieth Gutiérrez Aráuz

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a Dios, quién ha hecho todo esto posible y quién me ha ayudado en todos los procesos.

En segundo lugar, a la memoria de mi abuelita, cuya ausencia sigue marcando mi vida, pero cuyo amor, consejos y fortaleza permanecen como inspiración constante. Su recuerdo fue uno de los motores más importantes para no rendirme y culminar esta tesis. Cada página representa un homenaje a todo lo que ella sembró en mí.

Dedico también este logro a mi mamá, por su entrega incansable; a mi hermana y a mi abuelo, por su apoyo y cariño incondicional; y a ASA, por brindarme ánimo y estabilidad emocional en los momentos más exigentes.

Extiendo esta dedicatoria a mi compañero de tesis, a quienes me acompañaron desde la amistad, y al Cuerpo de Bomberos de Masaya, que ha sido un pilar importante en mi formación y en el desarrollo de este proyecto.

A todos ellos, gracias por caminar conmigo y ser parte fundamental de este logro.

Br. Gerald Adolfo Flores Soza

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, antes que nada, a Dios, por ser mi guía constante y el sostén que me dio serenidad y fuerzas cuando más lo necesité. Cada avance en este camino estuvo lleno de Su gracia, y a Él encomiendo este logro con un corazón agradecido.

A mi mamá, cuyo amor firme y su ejemplo de lucha han sido el motor que me impulsó a llegar hasta donde estoy. Este título es un reflejo del sacrificio que ha hecho por mí y del amor inmenso que siempre me ha dado. A mi papá, por ser inspiración y apoyo, por creer en mi capacidad aun cuando yo dudaba, y por motivarme a seguir el camino que hoy culmina con éxito. A mi hermano, que sin saberlo ha sido una chispa de motivación constante. Que este logro le muestre que los sueños pueden alcanzarse con dedicación y que siempre estaré para él.

A mi familia entera, que me acompañó en cada etapa con palabras de aliento y cariño sincero. Y especialmente, dedico este trabajo a mi tía Ligia Aráuz:

Este triunfo también le pertenece a ella, gracias por su apoyo, su confianza y su amor incondicional. Cada consejo, cada esfuerzo y cada gesto suyo quedó sembrado en mí y florece hoy en este logro.

A mi compañero de tesis, por caminar a mi lado con paciencia, compromiso y amistad sincera. Gracias por confiar en mí y por ser un apoyo fundamental en este recorrido. A mis amigos, por hacer más livianos los días complicados y más memorables los días felices. Y a mis amigas, por estar presentes en mis caídas y mis levantadas, con cariño, escucha y ánimo constante. A todos ustedes, con profundo agradecimiento y cariño, dedico este logro que marca el cierre de una etapa y el comienzo de otra llena de esperanza.

Br. Rosalba Jurieth Gutiérrez Aráuz

RESUMEN

La apicultura nicaragüense se ha desarrollado principalmente en la producción de miel, cera y polen; sin embargo, la apitoxina continúa siendo un recurso subutilizado debido a la ausencia de métodos de extracción disponibles en el país. La falta de tecnologías accesibles, el desconocimiento técnico y el elevado costo de equipos comerciales han limitado la incorporación del veneno de abeja como un producto aprovechable dentro del sector apícola nacional.

En respuesta a esta necesidad, el presente estudio tuvo como objetivo diseñar y construir un prototipo de extractor de apitoxina mediante estimulación eléctrica, con el fin de introducir al país una alternativa tecnológica segura, funcional y económicamente viable para los apicultores.

El prototipo desarrollado se basa en un sistema electrónico que emplea un Arduino Nano como unidad de control, un relé de 5 V y un conjunto de resistencias y componentes que permiten modular el voltaje aplicado. La estructura se complementa con una única placa de vidrio, sobre la cual las abejas realizan el contacto cuando reciben estímulos eléctricos de baja intensidad.

Este mecanismo induce una respuesta defensiva natural hacia las abejas, liberando pequeñas gotas de veneno sin causar daño significativo. Aunque en la literatura se describen voltajes de hasta 24 V para este tipo de extracción, en este proyecto se decidió trabajar con 12 V, por ser un nivel seguro, controlable y compatible con el diseño propuesto.

La estabilidad del sistema electrónico y el desempeño del mecanismo de estimulación permitieron obtener cantidades consistentes de veneno en cada prueba, evidenciando su funcionalidad bajo distintas condiciones operativas.

En conjunto, este proyecto representa un aporte innovador para la apicultura nicaragüense, abriendo camino al aprovechamiento de un subproducto de alto valor comercial y promoviendo la diversificación económica del sector.

La pertinencia de este estudio también radica en su contribución al desarrollo económico local y a la generación de nuevas oportunidades productivas para pequeños y medianos apicultores.

Este tipo de iniciativas se alinea con los esfuerzos del Gobierno de Nicaragua por fomentar actividades económicas sostenibles y mejorar los ingresos de las familias productoras, en concordancia con los lineamientos del Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza, que promueve la incorporación de tecnologías apropiadas, la diversificación productiva y el fortalecimiento de emprendimientos agropecuarios en territorios rurales. Asimismo, responde al lineamiento gubernamental de fortalecer la investigación y la innovación en temas prioritarios para el país, impulsando la generación y difusión de nuevos conocimientos que contribuyan al desarrollo de soluciones tecnológicas accesibles y pertinentes para el sector productivo nacional.

I. INTRODUCCIÓN

La apicultura constituye una actividad de gran relevancia económica, social y ambiental debido a su contribución directa a la polinización, la seguridad alimentaria y la generación de ingresos en zonas rurales. A nivel mundial, aproximadamente el 75 % de los cultivos alimentarios dependen en alguna medida de la polinización realizada por insectos, especialmente por abejas, lo que subraya la importancia estratégica de este sector para los sistemas agroalimentarios y la sostenibilidad ambiental (Food and Agriculture Organization [FAO], 2019).

En Nicaragua, la apicultura se orienta principalmente a la producción de miel, cera, polen y propóleo; no obstante, existen otros subproductos apícolas con alto valor agregado que permanecen poco aprovechados. Entre ellos destaca la apitoxina, un veneno producido por la abeja *Apis mellifera*, ampliamente utilizado en las industrias farmacéutica, cosmética y terapéutica debido a sus propiedades antiinflamatorias, analgésicas y bioactivas, así como por su aplicación en el tratamiento de enfermedades reumáticas y neurológicas (Fratini et al., 2017; Fratellone & Fratellone, 2016).

La extracción de apitoxina se basa en métodos que estimulan a las abejas para liberar pequeñas cantidades de veneno sin causarles la muerte, siendo la estimulación eléctrica de bajo voltaje una de las técnicas más seguras, eficientes y éticamente aceptadas. Diversos estudios han validado la eficacia de estos sistemas en contextos apícolas variados, reportando rendimientos económicamente viables y compatibles con la apicultura sostenible (Bucio & Martínez-Jaime, 2019).

No obstante, en países en desarrollo como Nicaragua, la adopción de esta tecnología enfrenta importantes limitaciones. La inexistencia de equipos especializados en el mercado nacional, sumada al alto costo de los modelos

comerciales importados y a la falta de formación técnica, restringe las oportunidades de innovación y diversificación productiva, especialmente entre pequeños y medianos apicultores rurales (Torres et al., 2020).

En este contexto, el presente trabajo de grado propone el diseño y construcción de un prototipo de extractor de apitoxina mediante estimulación eléctrica, orientado a garantizar la integridad de las abejas y la sostenibilidad de los apiarios. El proyecto busca ofrecer una alternativa tecnológica económica, reproducible y accesible para los apicultores nicaragüenses, contribuyendo a la diversificación de la producción apícola y al fortalecimiento de la economía rural.

Asimismo, esta investigación se alinea con los esfuerzos nacionales dirigidos a promover la innovación, el emprendimiento y el desarrollo sostenible en el sector agropecuario, impulsando actividades con mayor valor agregado y fomentando la competitividad de la agroindustria apícola (Ministerio Agropecuario de Nicaragua, 2022).

De esta manera, el estudio representa un avance significativo hacia el aprovechamiento responsable de la apitoxina como un nuevo recurso productivo, integrando principios de sostenibilidad, ética y desarrollo tecnológico local en beneficio del sector apícola y del desarrollo nacional.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Desarrollar un dispositivo de estimulación eléctrica para la obtención de apitoxina, con el fin de mejorar la productividad y competitividad de la apicultura en Nicaragua.

2.2 Objetivos específicos

- Diseñar un equipo de extracción para la obtención de apitoxina mediante estimulación eléctrica.
- Construir un prototipo basado en el diseño propuesto para la extracción de apitoxina.
- Evaluar la eficiencia del prototipo cuantificando la apitoxina recolectada en condiciones controladas.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Biología apícola

La biología apícola estudia la organización y fisiología de *Apis mellifera*, destacando su rol en la polinización y producción de miel, afectada por factores ambientales y enfermedades (Villacres & Palacios, 2017).

3.1.1 Abeja

La abundancia de *Apis mellifera* en Nicaragua también puede atribuirse a su alta adaptabilidad a diversos climas y ecosistemas, lo que le permite prosperar en varias regiones del país. Además, su capacidad para polinizar una amplia variedad de cultivos agrícolas ha sido beneficiosa para la producción de alimentos, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria y al crecimiento económico local (Rodríguez & González, 2020).

3.1.2 Taxonomía

Dentro de la clase Insecta, las abejas están clasificadas en el orden *Hymenoptera*, el cual incluye a insectos con alas membranosas como avispas y hormigas. Este grupo se distingue por su comportamiento social en muchas especies y por poseer mecanismos especializados de defensa, como aguijones (Bustillo & Lopez, 2023).

La familia *Apidae* es una de las más grandes dentro de la superfamilia *Apoidea* y comprende diversas especies de abejas, tanto solitarias como sociales. En esta familia se encuentran géneros importantes como *Apis* (abejas melíferas), *Bombus* (abejorros) y *Melipona* (abejas sin aguijón), (Ayala & Camou-Guerrero, 2014).

La taxonomía de *Apis mellifera* ha sido refinada con avances en la genómica, lo que ha permitido una comprensión más profunda de su evolución y su rol en los ecosistemas. A nivel genético, se han identificado características específicas que

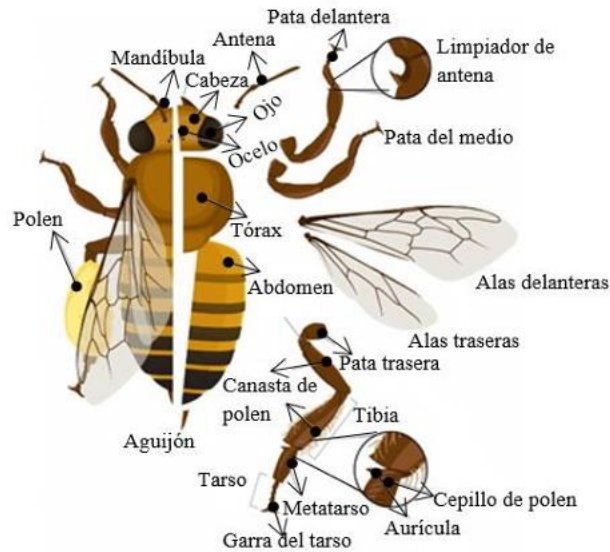
facilitan su adaptación a diferentes entornos, incluyendo su sistema inmune innato, que es fundamental para su supervivencia frente a patógenos y condiciones adversas (Ayala & Camou-Guerrero, 2017).

3.1.3 Características morfológicas de *Apis Mellifera*

En Nicaragua, *Apis mellifera* es la especie más abundante, principalmente debido a su introducción para la apicultura comercial. Se ha observado que las abejas en Nicaragua son en su mayoría abejas africanizadas, resultado de la hibridación entre abejas africanas y europeas. Esta hibridación ha sido favorecida por las prácticas de manejo apícola (Rodríguez & González, 2020).

Jernigan (2018) describe las tres regiones principales de los insectos: cabeza, tórax y abdomen. La cabeza, de forma triangular, contiene estructuras como las mandíbulas, los ojos compuestos y simples, y las antenas, esenciales para la detección de olores, sonidos y movimientos. El tórax alberga el aparato locomotor, compuesto por tres pares de patas y dos pares de alas, con funciones específicas como la limpieza de antenas y el traslado de polen. El abdomen, con nueve segmentos, incluye la glándula cerera y el aguijón, utilizado para la defensa, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Anatomía externa de *Apis Mellifera*



Nota. Tomado de Jernigan (2018).

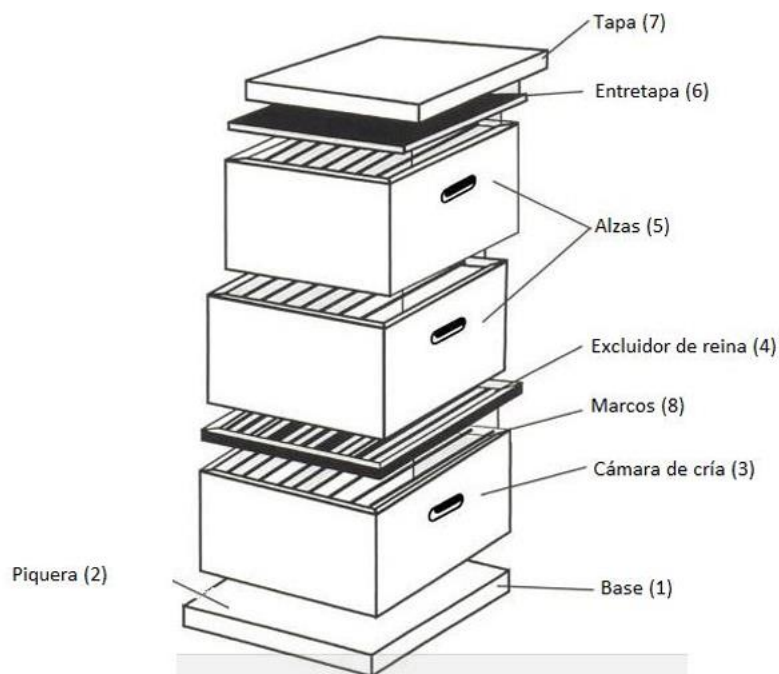
3.1.4 Colmena Langstroth

Magem (2017) explica que la colmena Langstroth, patentada en 1852 por Lorenzo Langstroth, se ha convertido en el estándar global en apicultura debido a su diseño desmontable y eficiente. Su estructura modular permite manipular los panales sin afectar la producción de miel y facilita la gestión de las colonias. Además, su diseño vertical, con una cámara de cría en la parte inferior y cajas superiores para la miel, optimiza el rendimiento de la colmena, garantizando un manejo más práctico y productivo en la apicultura moderna.

Magem (2017) describe la colmena Langstroth como un diseño modular que optimiza la apicultura. Incluye base elevada, piquera con guardapiquera, cámara de cría, excluidor de reina, alzas para miel, entretapa, techo impermeable y marcos reforzados, facilitando manejo y producción eficiente.

Tanto los componentes y características de la colmena Langstroth se presentan en la Figura 2 y Tabla 1 respectivamente.

Figura 2. Componentes de la colmena Langstroth



Nota. Tomado de Magem (2017)

Tabla 1. Características de la colmena Langstroth

Características	Colmena Langstroth
Números de cuadros	10
Dimensiones internas de la colmena	Cámara de cría y alza:
	Largo: 46 cm
	Ancho: 37 cm
Dimensiones del cuadro	Alto: 23 cm
	Longitud: 42 cm
	Altura: 20 cm

Nota. Tomado de Magem (2017)

3.2 Apitoxina

El veneno de abeja es un líquido transparente, sensible a la luz y al calor, que se seca rápidamente a temperatura ambiente. Según el apiterapeuta Alberto Moreno, la apitoxina es mucho más eficaz que la cortisona y la morfina en el tratamiento de inflamaciones y dolores (Dallo, 2014, p. 1-12). En términos de cantidad, una abeja puede liberar entre 0,012 y 0,04 miligramos de veneno con cada picadura (Martínez, 2019, p. 33-135).

3.2.1 Composición química de la apitoxina

Su composición química varía según factores como la edad de la abeja, la temporada y las condiciones ambientales. Como se muestra en la Tabla 2, la Apitoxina contiene componentes como melitina, apamina, fosfolipasa A₂, hialuronidasa, entre otros.

Tabla 2. Composición de apitoxina de la abeja *apis mellifera*

L. ¹ Compuesto	FRACCIONES	%PESO SECO
Enzimas	Fosfolipasa A2	10-12
	Fosfolipasa B o Lisofosfolipasa	1.0
	Hialuronidosa	1.0-2.0
	Fosfomonoesterasa acida	1.0
	α-D glucosidasa	0.6
Polipéptidos	Melitina	40-50
	Melitina F	0.01
	Apamina	2.0-3.0
	Peptidos401(MCDP)	2.0-3.0
	Adolapin	1.0
	Secapin	0.5

	Tertiapin	0.1
	Cardiopep	0.7
	Minimina	2.0
	Inhibidor de proteasa	0.01-0.8
	Procaminas A, B	1-4
Componentes no péptidos de bajo peso molecular	Histamina	0.7-0.15
	Dopamina	0.13-1
	Noradrenalina	0.1-0.7
Otros componentes	5 – hidroxitriptamina	0.0005
	Ácido vanil-mandel-eicoisoamil-acetato	0.0005

Nota. Tomado de Montoya et al. (2019)

3.2.2 Propiedades fisicoquímicas de la apitoxina

Díaz, J. C. (2020) describe que la apitoxina tiene una densidad de 1,131/3, de reacción ácida y está compuesta en un 88% por agua. Entre sus componentes se incluyen ácido fórmico, ácido clorhídrico, ácido ortofosfórico, colina, triptófano, y diversos microelementos como hierro, yodo, potasio, azufre, cloro, calcio, magnesio, manganeso, cobre y zinc. Además, contiene ácido gama aminobutírico, glucosa, fructosa, fosfolípidos, aminoácidos y feromonas.

El veneno seco presenta hasta un 0,4% de fosfato de magnesio, el cual se asocia a muchas de sus propiedades, siendo también rico en sustancias nitrogenadas, ácidos volátiles y diastasas (Díaz, J. C., 2020).

3.2.3 Propiedades cosméticas y terapéuticas

La apitoxina de *Apis mellifera* es reconocida por sus propiedades terapéuticas y cosméticas debido a su composición rica en diversos compuestos bioactivos. La melitina, uno de sus componentes principales, inhibe la liberación de mediadores

inflamatorios, lo que reduce la inflamación y el dolor en las articulaciones. La apitoxina estimula la circulación sanguínea, lo que ayuda a aliviar el dolor muscular y a mejorar la oxigenación de los tejidos, contribuyendo a la regeneración celular. (Figueroa, 2021)

Los productos cosméticos que contienen apitoxina, como cremas y serums son efectivos para combatir el envejecimiento prematuro, ya que poseen propiedades antioxidantes que protegen la piel contra el daño de los radicales libres. La cual es reconocida por su acción antimicrobiana, lo que la hace útil en el tratamiento de afecciones cutáneas como el acné, ayudando a reducir la inflamación y previniendo infecciones bacterianas (Rodríguez 2021).

Su combinación única de compuestos bioactivos la convierte en una opción valiosa para tratamientos médicos y cosméticos, lo que ha impulsado su popularidad en diversas aplicaciones terapéuticas y de belleza. (Gonzáles, 2019)

3.3 Métodos de extracción

Los métodos de extracción buscan obtener la apitoxina de forma eficiente y segura, asegurando la calidad del producto. A continuación, se presentan algunas técnicas utilizadas para este propósito.

3.3.1 Método de recolección manual

El método manual de recolección de apitoxina es una técnica rudimentaria en comparación con métodos como la estimulación eléctrica o la succión, pero se puede realizar sin equipos electrónicos.

La recolección manual se realiza mediante la estimulación de las abejas para que liberen su veneno, tocando el aguijón de las abejas con las manos o con un objeto

pequeño de forma que provoque la liberación del veneno. (Pérez, Gonzáles, López, 2020)

Este método requiere una gran destreza y experiencia por parte del operador, ya que el manejo inapropiado puede resultar en la muerte de la abeja o en una extracción ineficiente del veneno. Debido a la falta de un control preciso, la recolección manual tiende a ser menos eficiente y más riesgosa, tanto para la abeja como para el operador (Gómez, 2018).

3.3.2 Método de recolección por succión

La recolección por succión es un método que se realiza de manera mecánica utilizando un dispositivo de succión diseñado específicamente para esta tarea. Este dispositivo es capaz de crear un vacío controlado que permite extraer el veneno del aguijón de la abeja sin que ésta se vea seriamente afectada (Gómez, 2019).

El método por succión es una técnica de alta calidad para la obtención de veneno de abeja. Utiliza equipos especializado de alta calidad debidamente esterilizados, este método puede ser más adecuado en situaciones en las que se busca obtener veneno de abejas de manera menos invasiva (Fernández, 2021).

El método por succión es una de las técnicas más eficientes debido a que permite una mayor recolección en comparación con el método manual. Sin embargo, requiere la manipulación individual de cada abeja, lo que disminuye la producción y aumenta la inversión en equipo y mano de obra, limitando su viabilidad en operaciones a una escala considerable.

3.3.3 Método de recolección por estimulación eléctrica

El método por estimulación eléctrica se basa en la aplicación de impulsos eléctricos de baja intensidad para inducir a las abejas a liberar su veneno sin causarles daño significativo (Montoya et al., 2019)

Este método es preferido en muchas ocasiones sobre otros debido a su bajo impacto en las abejas. Mientras que la succión requiere el contacto físico directo con el aguijón, la estimulación eléctrica permite que el veneno se obtenga sin una intervención física directa, lo que minimiza el estrés de las abejas (Rodríguez, 2020).

Según Rodríguez et al. (2020), la descarga eléctrica de baja intensidad, permite que las abejas liberen el apitoxina de forma controlada y sin efectos secundarios perjudiciales para ellas.

Una de las ventajas del método de estimulación eléctrica es su eficiencia. Al inducir el veneno de múltiples abejas en poco tiempo, se pueden recolectar cantidades significativas de forma más rápida en comparación con otros métodos como la recolección manual o por succión (Pérez, 2019). Sin embargo, como destaca Pérez et al. (2019), el equipo debe ser cuidadosamente calibrado para evitar causar daño a las abejas o alterar el ciclo de vida de la colmena.

En la extracción de apitoxina mediante estimulación eléctrica, los voltajes comúnmente utilizados varían entre 9 y 30 voltios, dependiendo del diseño del equipo y la sensibilidad de las abejas. Este rango permite inducir la liberación del veneno de forma segura, controlada y sin afectar la supervivencia de la colonia (Gómez et al., 2021).

3.4 NTON 11 009-07

La NTON 11 009-07 es la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense que establece los requisitos para la producción animal ecológica en el país. Según el Instituto Nicaragüense de Normas (2007), esta normativa define las directrices que deben aplicarse durante la producción, el procesamiento, el almacenamiento, el transporte, la certificación y la comercialización de productos de origen animal obtenidos bajo prácticas ecológicas. Su finalidad es garantizar sistemas productivos sostenibles, libres de insumos de síntesis química y orientados al bienestar animal, la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales.

3.4.1 Normativa para la producción animal ecológica (apicultura)

La NTON 11 009-07 incorpora en su sección 4.11 los lineamientos específicos para la producción ecológica en el ámbito de la apicultura. Según el Instituto Nicaragüense de Normas (2007), esta normativa establece los principios generales que deben cumplir los sistemas apícolas ecológicos, definiendo aspectos como el periodo de conversión hacia prácticas orgánicas, el origen autorizado de las abejas y los criterios para la ubicación de los colmenares en zonas libres de fuentes de contaminación ambiental.

3.5 Plan Nacional de lucha contra la pobreza y para el desarrollo humano

El Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano 2022-2026 (PNLPDH) constituye el instrumento rector de las políticas públicas del Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (GRUN), orientado a promover un desarrollo económico inclusivo, sostenible y equitativo. Este plan busca elevar la calidad de vida de la población nicaragüense mediante la reducción de la pobreza

y las desigualdades sociales, priorizando la transformación productiva, la creación de empleo digno y el fortalecimiento del talento humano (GRUN, 2021).

Dentro de sus doce lineamientos estratégicos, el PNLPDH destaca la necesidad de fortalecer la economía creativa y asociativa, impulsar la transformación productiva del sector agropecuario, promover la innovación tecnológica, garantizar la sostenibilidad ambiental y fomentar la participación de los sectores rurales en la economía nacional. Estas directrices buscan dinamizar los sectores productivos con alto potencial de desarrollo, entre ellos la agricultura, la ganadería y la apicultura, con el propósito de generar oportunidades económicas sostenibles y reducir la brecha entre las zonas urbanas y rurales (Ministerio de Hacienda y Crédito Público [MHCP], 2021).

IV. MATERIAL Y MÉTODO

La fase experimental de este estudio se llevó a cabo en Masaya, Nicaragua, Laguna de Masaya, en el apiario de miel de abejas Sanganito. Basándose en el momento de ocurrencia de los eventos y la recopilación de datos, se trata de un estudio prospectivo, ya que se documentaron los datos a medida que los fenómenos ocurrían.

Según el análisis y el alcance de los resultados, se clasificó como una investigación descriptiva debido a que se detallaron las situaciones predominantes mediante la descripción exacta de las actividades y procesos.

4.1 Material y costos

Para la elaboración de un equipo extractor de apitoxina basado en el método de estimulación eléctrica se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 3. Material y costos del extractor de apitoxina

Módulo	Componente	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Control y Procesamiento	Arduino Nano	1	C\$ 390.00	C\$ 390.00
	PCB	1	C\$ 350.00	C\$ 350.00
Alimentación	Batería de 12V	3	C\$ 250.00	C\$ 750.00
Control de Potencia	Relé de 5V DC	1	C\$ 100.00	C\$ 100.00
	Transistor NPN BC547	1	C\$ 15.00	C\$ 15.00
	Diodo 1N4007	1	C\$ 5.00	C\$ 5.00
Sensores y Entradas	Interruptor	1	C\$ 45.00	C\$ 45.00
	Resistencia 10k	1	C\$ 4.00	C\$ 4.00
	LED verde	1	C\$ 5.00	C\$ 5.00

Indicador Visual	LED amarillo	1	C\$ 5.00	C\$ 5.00
	LED Rojo	1	C\$ 5.00	C\$ 5.00
	Resistencia 200k	3	C\$ 4.00	C\$ 12.00
Medición de	Resistencia de 15k	1	C\$ 4.00	C\$ 4.00
Batería	Resistencia 10k	1	C\$ 4.00	C\$ 4.00
Elementos	Cable de cobre	6 metros	C\$ 10.00	C\$ 60.00
Estructurales	Vidrio colector 5mm	1	C\$ 300.00	C\$ 300.00
	Marco de madera	1	C\$ 600.00	C\$ 600.00
Mano de Obra (Estimado)		25 H	C\$ 150/h	C\$ 2000.00
Total				C\$ 5,804.00

Nota. Producto de la investigación

El costo de mano de obra del prototipo se estimó con base en el tiempo requerido para el diseño, ensamblaje, programación, pruebas y construcción de la estructura del sistema. Se consideró un total de 25 horas de trabajo técnico, con una tarifa de C\$ 150.00 por hora, obteniendo un costo de mano de obra de C\$ 2,000.00. Este valor representa un estimado razonable acorde al nivel técnico requerido y al contexto académico del proyecto.

El sistema del extractor de apitoxina mediante estimulación eléctrica está conformado por un conjunto de componentes electrónicos y estructurales que trabajan de manera integrada para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente del equipo.

Entre los principales elementos se encuentran el Arduino Nano, encargado del control y la programación de los impulsos eléctricos; el relé de 5 V DC, que regula el paso de corriente hacia la malla conductora; el vidrio de 5 mm, que actúa como zona de recolección; y la madera, que sirve como estructura de soporte y protección.

Arduino Nano: El Arduino Nano es una placa electrónica de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega328P, diseñada para controlar y automatizar procesos de manera eficiente. Esta placa cuenta con 14 pines digitales de entrada y salida, 8 entradas analógicas, y puede funcionar a una frecuencia de reloj de 16 MHz con una tensión de 5 V (García & López, 2021).

En el caso del extractor de apitoxina, el Arduino Nano se utilizó como unidad de control del sistema electrónico, permitiendo programar parámetros específicos como la intensidad, frecuencia y duración de los pulsos eléctricos aplicados a la malla de estimulación (Rodríguez & Fernández, 2020).

PCB: Placa que soporta y conecta componentes electrónicos mediante pistas conductoras.

Batería de 12 V: Fuente portátil que suministra energía estable a sistemas eléctricos pequeños.

Módulo BMS: Controla carga, descarga y protección de baterías recargables multicelda.

Relé de 5V DC: El relé de 5 V DC es un dispositivo electromecánico que permite controlar el paso de corriente eléctrica en un circuito mediante una señal de baja potencia. Está compuesto por una bobina, un electroimán y un conjunto de contactos que se abren o cierran dependiendo de la activación del campo magnético generado por la corriente de control (Santos & Morales, 2020).

En el extractor de apitoxina, el relé de 5 V DC cumple una función esencial en la activación del sistema de descargas eléctricas, al permitir el paso de corriente hacia la malla de estimulación solo durante los intervalos programados (Pérez & Gutiérrez, 2021).

Transistor NPN BC547: Dispositivo semiconductor usado para conmutación y amplificación de señales.

Diodo 1N4007: Componente que permite corriente unidireccional y protege contra polaridad inversa.

Interruptor: Elemento mecánico que abre o cierra manualmente un circuito eléctrico.

Resistencia 10k: Limita corriente y ajusta niveles de señal en circuitos electrónicos generales.

LED verde: Diodo emisor que indica estados operativos normales mediante luz verde.

LED amarillo: Indicador luminoso usado para advertencias o estados intermedios del sistema.

LED rojo: Emisor lumínico empleado para alertas críticas o fallas operativas.

Resistencia 200k: Controla corrientes pequeñas en señales de medición o retroalimentación.

Resistencia 15k: Ajusta voltaje y protege componentes sensibles en circuitos electrónicos.

Cable de cobre: Conductor eléctrico eficiente usado para interconectar componentes electrónicos.

Vidrio colector 5 mm: El vidrio de 5 mm de espesor es un material ampliamente utilizado en aplicaciones industriales y científicas por su nula reacción con elementos y estabilidad térmica (Martínez & Rivera, 2019).

En el caso del extractor de apitoxina, el vidrio de 5 mm se utiliza como superficie de extracción. Este material evita el daño físico a las abejas durante la estimulación y permite la recolección del veneno sin contaminarlo (Hernández & Torres, 2021).

Marco de madera: La madera es un material natural ampliamente utilizado en la fabricación de estructuras por su resistencia, facilidad de manipulación y bajo costo. Gracias a sus propiedades dieléctricas, la madera también es un mal conductor de calor debido a su estructura covalente, que no tiene electrones libres para dispersar la energía térmica (Ramírez & López, 2020).

En el extractor de apitoxina, la madera se utiliza como estructura principal para sostener el sistema electrónico, el vidrio y la malla conductora. Su función es garantizar la estabilidad del equipo durante el proceso de estimulación eléctrica y brindar un aislamiento seguro entre los componentes energizados y el entorno (González & Pérez, 2021).

Para la ejecución del presente proyecto se aplicaron diversos métodos basados en los principios de diseño de equipos, considerando todos los aspectos necesarios para asegurar el correcto funcionamiento del prototipo extractor de apitoxina.

4.2 Ecuaciones de diseño

Las ecuaciones de diseño para un extractor de apitoxina por estimulación eléctrica consideran aspectos eléctricos, biológicos y mecánicos. Estas ecuaciones dependen de principios físicos y especificaciones del sistema.

Intensidad de Corriente eléctrica (I)

La corriente aplicada debe ser suficiente para estimular a las abejas sin causarles daño. Esto se calcula mediante la Ley de Ohm, la cual se presenta en la ecuación 1.

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Donde:

I: Corriente eléctrica (amperios)

V: Voltaje aplicado (voltios)

R: Resistencia del circuito (ohmios).

Intensidad del campo eléctrico (E)

El campo eléctrico generado entre los alambres de la rejilla se calcula mediante la ecuación 2.

$$E = \frac{V}{d} \quad (2)$$

Donde:

E: Intensidad del campo eléctrico (V/m).

d: Distancia entre los alambres de la rejilla (metros).

Número de hilos de acero inoxidable (n)

El número de hilos utilizados en el extractor se calcula mediante la ecuación 3.

$$N = \frac{w}{d+e} \quad (3)$$

Donde:

w: Ancho del espacio de trabajo (cm²)

N: Número de hilos

d: diámetro de los hilos (cm²).

e: Espacio entre hilos

Potencia consumida (P)

La energía necesaria para operar el extractor durante un tiempo determinado se calcula mediante la ecuación 4.

$$P = V * I \quad (4)$$

Donde:

P: Potencia consumida (vatios)

Capacidad de recolección (Q)

La cantidad de apitoxina recolectada depende del área activa y de la interacción de las abejas con la rejilla. Puede expresarse mediante la ecuación 5.

$$Q = k * A * t \quad (5)$$

Donde:

Q: Cantidad de apitoxina recolectada (mg).

k: Coeficiente relacionado con la eficiencia del sistema.

A: Área efectiva del colector (m²).

t: Tiempo de operación (segundos).

Resistencia térmica del sistema (Rt)

Para evitar el sobrecalentamiento del dispositivo, se calcula la resistencia térmica usando la ecuación 6.

$$Rt = \frac{\Delta T}{P} \quad (6)$$

Donde:

Rt: Resistencia térmica (°C/W).

ΔT: el aumento de temperatura permitido (°C).

4.2.1 Planteamiento del diseño

El prototipo de extractor de apitoxina tiene como función principal inducir la liberación controlada del veneno de abeja sin provocar la muerte del insecto. Mediante la aplicación de estímulos eléctricos de baja intensidad y duración limitada, las abejas son inducidas a aguijonear una superficie de vidrio, depositando la apitoxina sin desprender su aguijón.

El equipo opera bajo el principio de estimulación eléctrica pulsada, en el cual un microcontrolador regula impulsos eléctricos intermitentes de baja intensidad. Estos pulsos, aplicados a un marco colector con conductores, estimulan a las abejas durante ciclos de 4 segundos de activación y 6 segundos de reposo. Al intentar defenderse, las abejas descargan su veneno sobre el vidrio colector. Dado que el aguijón no penetra la superficie, las abejas no mueren, garantizando la preservación de la colmena.

Aunque la teoría establece que en la estimulación eléctrica para la extracción de apitoxina pueden emplearse voltajes de hasta 24 V, en el presente diseño se optó por utilizar 12 V, ya que este valor se adapta mejor a las características del prototipo descrito en el planteamiento del diseño. El sistema, basado en impulsos eléctricos pulsados controlados por un microcontrolador, aplica estímulos de baja intensidad durante ciclos de 4 segundos de activación y 6 segundos de reposo, lo que permite inducir la liberación del veneno sin causar daño ni mortalidad a las abejas, preservando así la integridad de la colmena.

6.2.1 Construcción del equipo

La construcción del prototipo de extractor de apitoxina se llevó a cabo siguiendo un enfoque sistemático que combinó criterios de seguridad eléctrica, ergonomía y eficiencia funcional. El proceso inició con el diseño de la estructura base,

elaborada en un marco no conductor con dimensiones aproximadas de 37 cm de ancho, 23 cm de largo y una altura de 6 cm.

El marco fue diseñado con madera para evitar riesgos de conducción de corriente hacia las abejas o al operador, aspecto esencial para preservar la integridad del proceso de recolección.

La superficie de estimulación está conformada por una matriz de hilos metálicos dispuestos en paralelo con una separación de aproximadamente 1 cm entre cada uno. Cada hilo con un diámetro de 2 mm, lo que proporcionó la resistencia mecánica necesaria para soportar los estímulos eléctricos repetitivos y, al mismo tiempo, aseguró un área de contacto adecuada para inducir la secreción de veneno en las abejas. Los hilos fueron fijados en el marco mediante puntos de anclaje aislantes.

Para la protección y recolección controlada de la apitoxina, se incorporó un vidrio templado con ranura de 0.5 cm, colocado de manera que permitiera la deposición del veneno sin que este entrara en contacto con los hilos eléctricos. El vidrio tiene una dimensión ligeramente superior a la superficie de estimulación, alcanzando aproximadamente 38 cm de ancho por 24 cm de largo.

El sistema de control eléctrico fue implementado mediante un microcontrolador programado para administrar ciclos de estimulación de 4 s de encendido y 6 s de descanso, con una duración total de 30 min por sesión.

El sistema incluyó indicadores luminosos de estado, un buzzer de alerta sonora y un mecanismo de apagado automático, lo que aseguró un manejo sencillo y seguro durante la operación.

4.2.2 Procedimiento experimental para la validación del prototipo

Al plantearse el circuito se procedió a utilizar un método de prueba utilizando un ETS-7000 analog system donde se partió de una simulación hecha en proteus 8 professional, así como se observa en la figura 3.

En donde se tomó en cuenta el voltaje emitido por el relé, el funcionamiento del Arduino ante distintos porcentajes de baterías con sus indicadores led, así como el funcionamiento del buzzer y el funcionamiento correcto del sistema con el código instalado. Al llevar esto a un entorno real PCB se plantearon las mismas pruebas para su correcto uso.

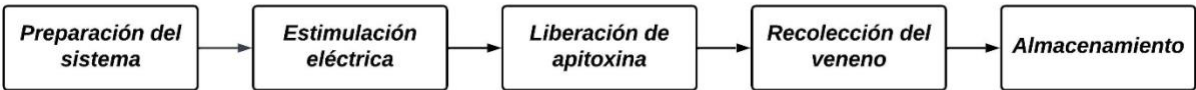
4.2.3 Implementación del prototipo en entorno apícola

El prototipo extractor de apitoxina se instaló en la entrada de la colmena, ajustándose a las dimensiones del marco tipo Langstroth, Iniciado el sistema donde se espera hasta que acabe su ciclo.

La abeja al segregar la apitoxina en la placa de vidrio se seca rápidamente debido a la exposición al aire, formando una película delgada que se adhiere a la lámina recolectora.

Posteriormente, el apicultor procedió a retirar cuidadosamente el vidrio, del cual se raspa el material en estado seco y se traslada a recipientes adecuados para su conservación en condiciones controladas de humedad, luz y temperatura, con el objetivo de preservar las propiedades bioactivas del veneno. El proceso puede ser resumido como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Flujograma del proceso de recolección



Nota. Producto de la investigación

4.2.4 Evaluación de la eficiencia del prototipo

La eficiencia del prototipo se evaluó mediante la cuantificación directa de la apitoxina recolectada en cada ensayo experimental. Para ello, el veneno depositado en el panel de vidrio fue recuperado mediante raspado controlado y posteriormente cuantificado en miligramos. Estas mediciones se realizaron en condiciones controladas de voltaje, tiempo de exposición y duración total del ciclo, permitiendo determinar el rendimiento del equipo en cada prueba.

4.2.5 Equipo de protección personal

En el ámbito tanto del apiario como del laboratorio, el uso adecuado del equipo de protección personal (EPP) es fundamental para garantizar la seguridad de los trabajadores y la correcta manipulación de los materiales y equipos. En la tabla 4 se proporciona las protecciones recomendadas para cada entorno, con el fin de prevenir accidentes y minimizar riesgos asociados a los procesos de trabajo.

Tabla 4. EPP en el apiario y laboratorio

Apiario	Laboratorio
Mono u overol de protección	Bata de laboratorio
Careta o Velo de protección	Guantes de nitrilo
Guantes de goma	Mascarilla quirúrgica
Botas de hule	Gorro quirúrgico
Ahumador	Zapatos cerrados o botas punta metálica
	Pantalón
	Gafas de protección

Nota. Producto de la investigación

V. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para realizar el presente estudio, se empleó un diseño experimental con el objetivo de obtener los datos necesarios que permitan analizar y determinar las condiciones óptimas para la recolección de apitoxina.

5.1 Diseño 2k

El diseño 2^k es un tipo de diseño factorial en el que cada factor se evalúa en dos niveles distintos. Este diseño es muy útil para estudios preliminares de experimentos donde se desean identificar los factores más influyentes y sus interacciones con un número mínimo de ensayos (Pulido et al., 2008).

5.2 Factores y formulación

Para esta investigación sobre la obtención de apitoxina, se utilizó un diseño experimental 2^2 , el cual se centrará en los siguientes factores representados en la siguiente tabla 5.

Tabla 5. Factores del diseño experimental

No.	Factor	Descripción
1	Duración del funcionamiento del sistema	Tiempo total durante el cual el extractor opera en un ciclo
2	Tiempo de exposición a la estimulación	Período durante el cual las abejas reciben impulsos eléctricos

Nota. Para cada factor se definieron dos niveles (bajo y alto), que se determinarán en función de estudios preliminares y condiciones experimentales óptimas. Producto de la investigación

En el apiario de miel de abejas Sanganito, se verificó el funcionamiento del sistema de extracción. De manera que se calibraron, prepararon y utilizaron los

instrumentos de medición (cronómetro, voltímetro y balanza de alta precisión) para este motivo, utilizando en todo momento el equipo de protección personal conforme a lo establecido en la Tabla 4.

Se realizaron, al menos, tres réplicas por cada combinación de factores que garantizaron la reproducibilidad de los resultados. Durante cada ensayo se registró:

- La duración total del funcionamiento (minutos).
- El tiempo de exposición a la estimulación eléctrica (segundos).
- La tensión eléctrica aplicada (V).
- La cantidad de apitoxina recolectada (mg).

También se documentaron los datos obtenidos en una tabla estructurada que permitió comparar los resultados según las diferentes combinaciones de niveles de cada factor. Aplicando un análisis de varianza (ANOVA) para identificar la significancia de cada factor y sus interacciones en la cantidad de apitoxina recolectada

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo expone de manera sistemática los resultados obtenidos durante el proceso de diseño del equipo de extracción de apitoxina. A partir del análisis técnico-funcional y la integración de los criterios operativos establecidos.

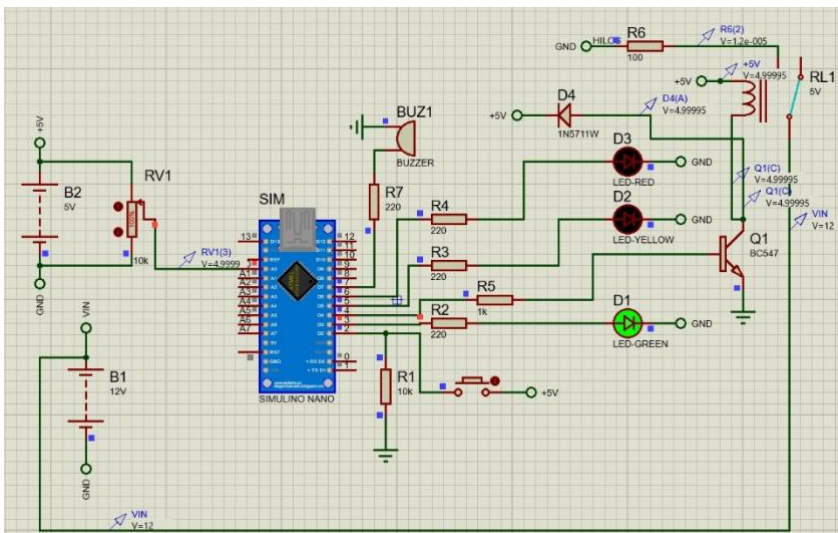
6.1 Diseño general del circuito eléctrico

A partir de los requerimientos expuestos en la sección 6.2.3 “Construcción del equipo”, se elaboró el plano de los componentes generales del sistema utilizando el software Proteus 8 professional.

Simultáneamente se realizaron las primeras pruebas en el programa, lo que permitió iniciar la validación del funcionamiento del equipo de manera digital, antes de su implementación física.

La Figura 4 muestra el diagrama completo de los componentes, evidenciando la ubicación y disposición de cada elemento dentro del circuito.

Figura 4. Diseño en General del Circuito Eléctrico en Proteus 8



Nota. Producto de la investigación

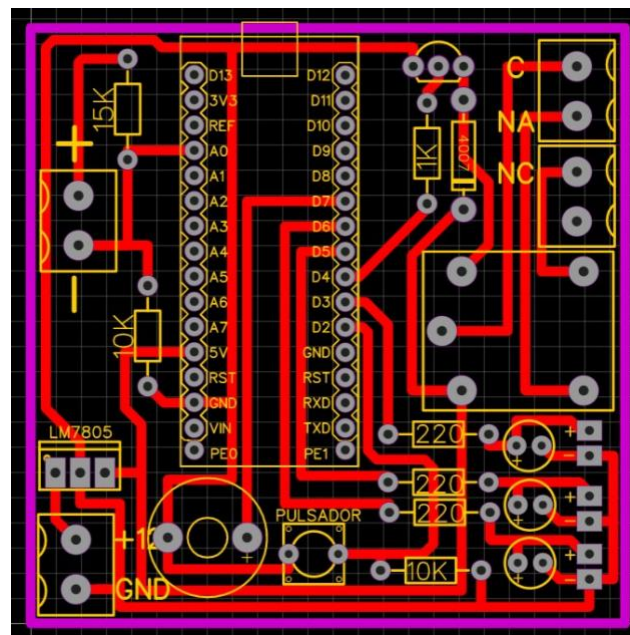
6.2 Plano de la placa de circuito impreso

La placa de circuito impreso destinada a la construcción del sistema se diseñó tomando como referencia los requerimientos operativos necesarios para evitar fallas y garantizar un funcionamiento estable durante el proceso de extracción.

Este diseño se realizó pensando en las necesidades prácticas del apicultor, facilitando el uso del equipo y permitiendo una integración eficiente de los componentes electrónicos responsables del control del sistema.

La Figura 5 presenta el plano general del PCB, donde se observa la distribución de componentes, pistas y conexiones que conforman la arquitectura electrónica del extractor.

Figura 5. Planos de la Placa de Circuito Eléctrico Realizado

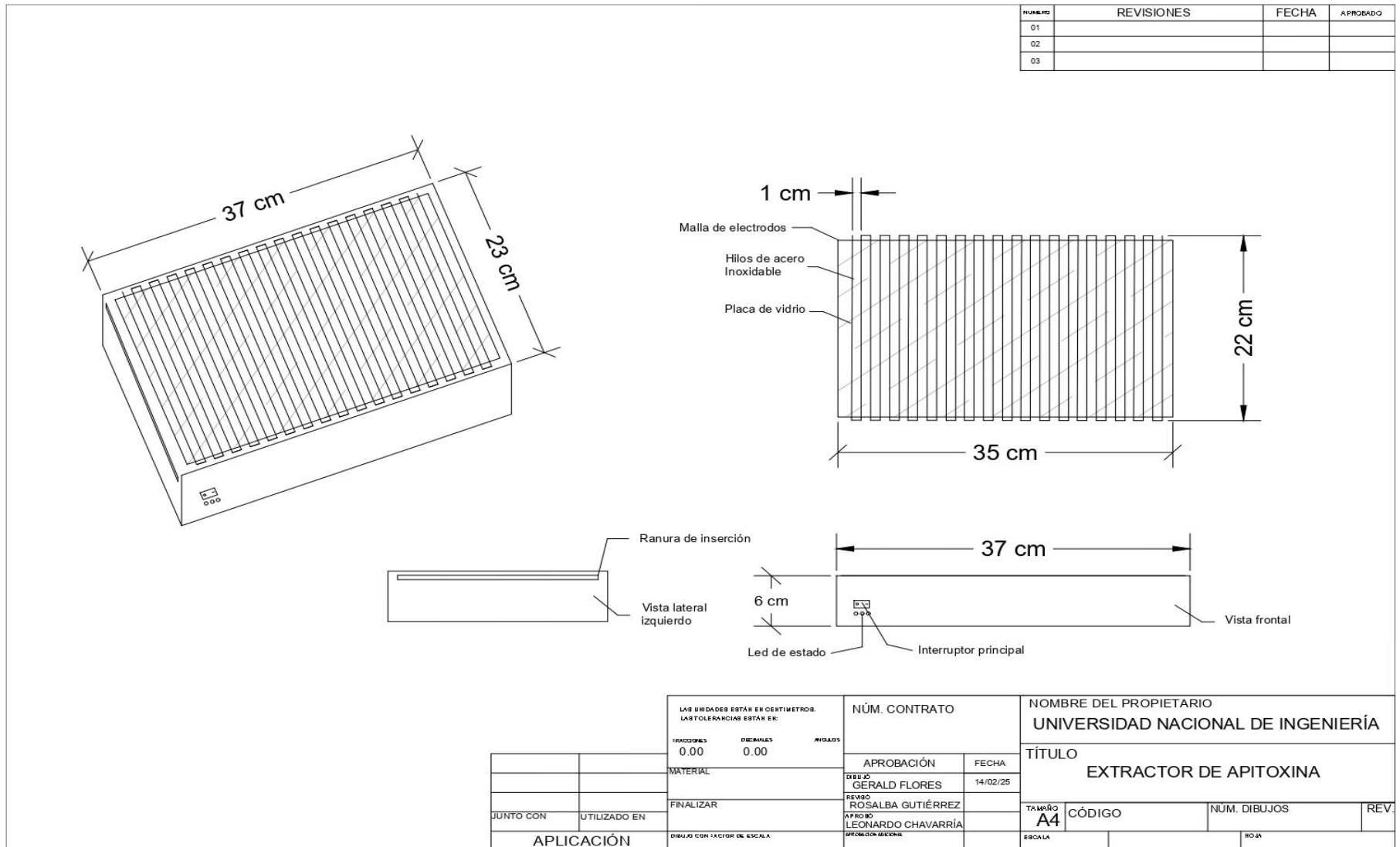


6.3 Estructura superficial del prototipo

Se presenta en la Figura 6 el diseño final del plano estructural del extractor, el cual cumple con los criterios necesarios para su correcto funcionamiento y permite dar inicio al proceso de fabricación.

Este diseño facilitó la organización de los componentes del sistema, asegurando que la disposición estructural respondiera de manera adecuada a los requerimientos operativos planteados durante el desarrollo del proyecto.

Figura 6. Plano de la estructura del prototipo



Nota. Producto de la investigación

6.4 Construcción del equipo

El proceso de construcción física del extractor se llevó a cabo consecuentemente con el diseño. Durante esta etapa, se ensamblaron las piezas y se integraron los módulos del sistema, garantizando que cada elemento cumpliera con los criterios de seguridad, funcionalidad y eficiencia previamente definidos.

Se verificó que la estructura fuera robusta y estable. Este paso permitió transformar el diseño conceptual en un prototipo tangible como se ve en la figura 7.

Figura 7. Marco de madera del prototipo

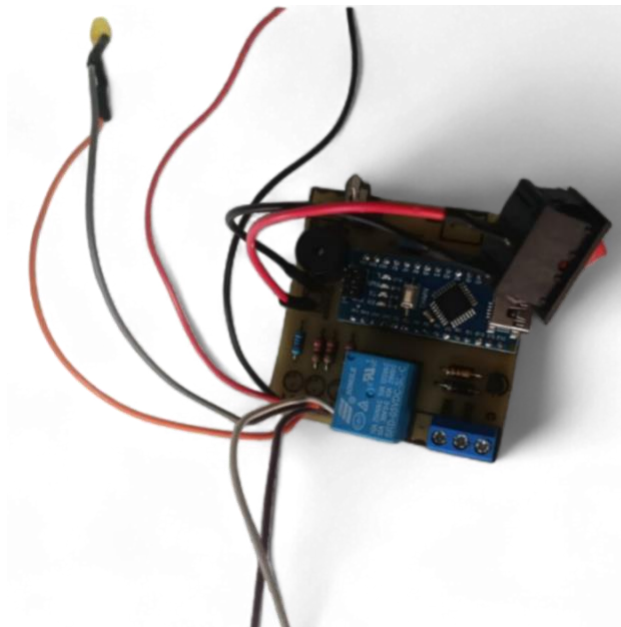


Nota. Producto de la investigación

6.5 Ensamblaje eléctrico

La construcción electrónica del extractor se llevó a cabo una vez definidos los planos del PCB y el diagrama de componentes generales. Se realizaron pruebas de continuidad y verificación de cada módulo, garantizando que el sistema operara de manera estable y segura.

Figura 8. Placa de Circuito impreso con componentes soldados



Nota. Producto de la investigación

6.6 Eficiencia del prototipo

Se realizaron un total de 8 pruebas experimentales como se muestra en la tabla 6, correspondientes a las combinaciones de los dos factores evaluados: duración del funcionamiento del sistema (nivel bajo y alto) y tiempo de exposición a la estimulación (nivel bajo y alto). Cada combinación contó con tres repeticiones, lo que permitió analizar de manera estadística el efecto de ambos factores sobre la cantidad obtenida.

Tabla 6. Resultado de pruebas realizadas en el Apiario

No.	Duración del sistema (min)	Tiempo de exposición (s)	Apitoxina recolectada (mg/10)
1	10	5	6
2	10	5	7
3	10	5	5
4	10	15	18
5	10	15	20
6	10	15	19
7	25	5	12
8	25	5	10

Nota. Producto de la investigación

Para el análisis se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0):

H_{01} : No existen diferencias significativas en la cantidad de apitoxina recolectada entre los distintos niveles de duración del sistema.

H_{02} : No existen diferencias significativas en la cantidad de apitoxina recolectada entre los distintos niveles de tiempo de exposición.

H_{03} : No existe interacción significativa entre la duración del sistema y el tiempo de exposición sobre la cantidad de apitoxina recolectada.

Hipótesis alternativa (H_1):

H_{11} : Existen diferencias significativas en la cantidad de apitoxina recolectada entre los distintos niveles de duración del sistema.

H_{12} : Existen diferencias significativas en la cantidad de apitoxina recolectada entre los distintos niveles de tiempo de exposición.

H_{13} : Existe interacción significativa entre la duración del sistema y el tiempo de exposición sobre la cantidad de apitoxina recolectada.

En la tabla 7 y 8 se muestran los resultados del análisis de varianzas dependiente de las pruebas realizadas.

Tabla 7. Resumen de la variancia

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Duración del sistema (min)	8	110	13.75	48.21428571
Tiempo de exposición (s)	8	70	8.75	26.78571429
Tensión (V)	8	96	12	0
Apitoxina recolectada (mg)	8	97	12.125	37.55357143

Nota. Producto de la investigación

Si F calculado $> F$ crítico o p -value $< \alpha$, se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 8. Análisis de variancia

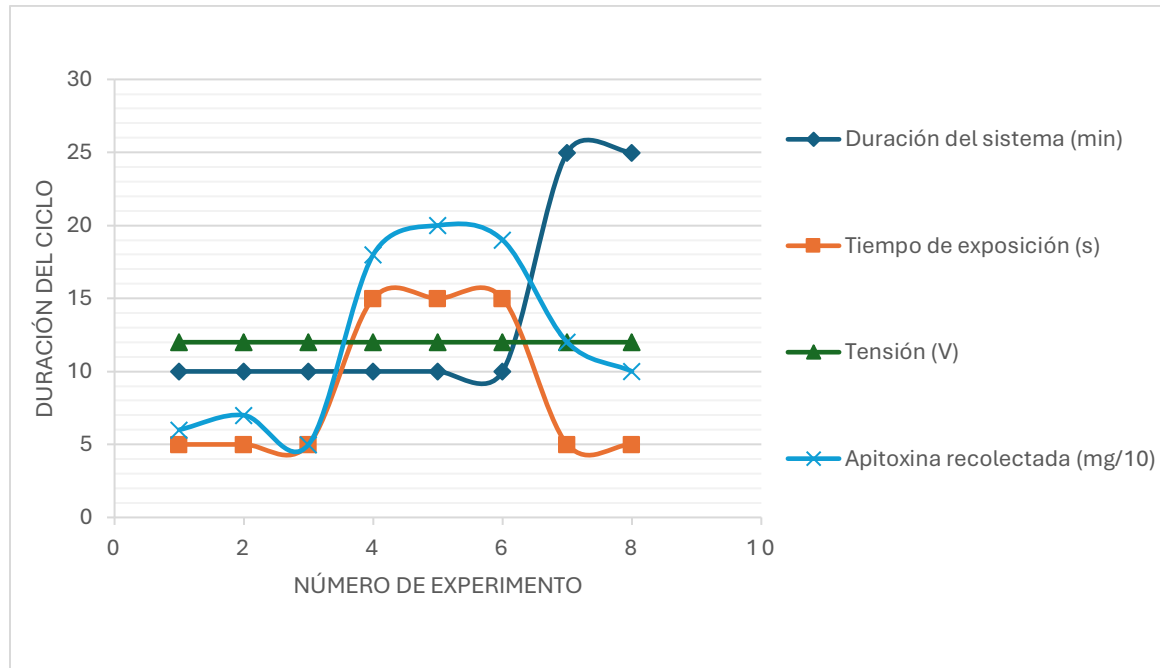
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	433.1	4	108.275	4.566500979	0.004502778	2.641465186
Dentro de los grupos	829.875	35	23.71071429			
Total	1262.975	39				

Nota. Producto de la investigación.

$\alpha = 0.05$ $MSE = 23.71071429$ $t_{(0.025, 35)} \approx 2.030$
 $F_{\text{calculado}}: 4.566500$ $(p\text{-value}): 0.0045$ $LSD = 4.94$
 $F_{\text{crítico}}: 2.641465186$ $n = 8$

En la Figura 9 se aclara los resultados de las pruebas realizadas en la evaluación del sistema.

Figura 9. Gráfico de las extracciones realizadas



Nota. Producto de la investigación

Como F calculado (4.567) > F crítico (2.641) y

Como p -value (0.0045) < α (0.05)

Se rechaza la hipótesis nula. Existen diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los grupos.

Manteniendo el Tiempo Bajo (5 s), aumentar la duración de 10 a 25 minutos incrementa la producción en solo +5.0 mg*10 (de 6.0 a 11.0 mg*10). Esto es un aumento del 83%. Mientras que manteniendo la duración Baja (10 min), aumentar el tiempo de exposición de 5 a 15 segundos incrementa la producción de apitoxina en un +13.0 mg*10 (de 6.0 a 19.0 mg*10).

Este es un aumento del 217%. El tiempo de exposición es, con mucha diferencia, el parámetro de mayor impacto al menos con los datos obtenidos experimentalmente.

VII. CONCLUSIONES

El desarrollo de este estudio permitió abordar de manera integral la problemática existente en Nicaragua respecto a la falta de tecnologías accesibles para la extracción de apitoxina.

Desde la revisión bibliográfica inicial hasta la construcción y validación del prototipo, el proceso avanzó de forma progresiva, demostrando que la estimulación eléctrica es un método seguro, eficiente y adecuado para la liberación controlada del veneno sin afectar la supervivencia de las abejas.

La evidencia documental confirma que este procedimiento es uno de los más utilizados a nivel internacional y que su adaptación al contexto nacional constituye un aporte relevante para la innovación apícola.

El diseño del sistema se basó en principios eléctricos, estableciendo parámetros de voltaje, corriente, tiempos de estimulación y materiales que garantizaron la funcionalidad del equipo. Aunque la literatura reporta voltajes de hasta 24 V para este tipo de procesos, la elección de trabajar con 12 V se ajustó a los requerimientos del prototipo y a la necesidad de proteger la integridad de la colonia. Los resultados obtenidos en las pruebas confirmaron que esta decisión fue acertada, ya que no se observaron daños significativos en los enjambres.

La construcción del prototipo con materiales accesibles como madera, vidrio y componentes electrónicos de bajo costo demostró que es posible replicar esta tecnología de forma económica y funcional en Nicaragua.

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten evaluar la eficiencia del prototipo desarrollado mediante la cuantificación de la apitoxina recolectada bajo condiciones controladas de operación. A diferencia del estudio de referencia presentado por Montoya et al. (2019), donde la obtención de apitoxina se ve influenciada por variaciones de temperatura y humedad ambiental, el prototipo diseñado en este estudio operó manteniendo constante la tensión

aplicada (12 V) y regulando de manera precisa el tiempo de exposición y la duración del sistema.

En particular, se observó que un mayor tiempo de exposición eléctrica produce un incremento medible en la cantidad de apitoxina recolectada, lo que confirma la capacidad del prototipo para regular el rendimiento del proceso de forma reproducible.

Si bien los valores obtenidos corresponden a una escala experimental, los resultados evidencian que el prototipo presenta una eficiencia operativa adecuada para su etapa de desarrollo, ya que permite cuantificar la producción de apitoxina en función del tiempo y las condiciones eléctricas aplicadas, minimizando la influencia de factores externos.

En este sentido, el sistema cumple con el objetivo de evaluar la eficiencia del proceso en condiciones controladas, sentando las bases para futuras mejoras y un posible escalamiento del método de obtención de apitoxina.

El dispositivo no solo representa una herramienta técnica innovadora, sino que también abre oportunidades económicas para pequeños y medianos apicultores al permitir diversificar la producción tradicional. Este trabajo sienta así las bases para futuras investigaciones.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Evaluar la viabilidad económica y comercial de la apitoxina, considerando costos de producción, posibles mercados y requisitos para su exportación. Esto permitirá determinar el potencial de la actividad para diversificar los ingresos del sector apícola.
2. Evitar extracciones durante épocas de lluvias, reduce la efectividad del proceso.
3. Promover la incorporación del tema en carreras afines, como ingeniería agronómica, veterinaria e ingeniería química, para ampliar la investigación multidisciplinaria.
4. Se recomienda utilizar un banco de baterías de litio en serie soldadas por puntos en una lámina de metal en paralelo para aumentar voltaje, utilizando un módulo BMS de regulación de voltaje y un puerto de carga tipo C para su alimentación cuando esté descargada.
5. Almacenar de manera adecuada la apitoxina obtenida, cumpliendo con sus condiciones de almacenado.

IX. REFERENCIAS

Ayala, R. (1999). Revisión de las abejas sin aguijón de México (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Folia Entomológica Mexicana*.

Ayala, R., & Camou-Guerrero, A. (2014). Diversidad, conocimiento local y uso de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) en el municipio de Nocupétaro, Michoacán, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*.

Ayala, R., & Camou-Guerrero, A. (2017). Nuevo registro de abeja sin aguijón del género *Plebeia* (Apidae: Meliponini), en el Alto Balsas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*.

Ayala, R., Griswold, T. L., & Yanega, D. (1996). Apoidea (Hymenoptera). En J. Llorente, A. García, & E. González (Eds.), *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México*.

Bucio-Villalobos, C. M., & Martínez-Jaime, O. A. (2019). Extracción de apitoxina con un colector eléctrico en Irapuato, Guanajuato, México. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 459–467. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33987>

Camacho Pérez, M. D. L. Á. (2010). Caracterización morfométrica de la abeja *Apis mellifera* en Nicaragua. *Universidad Nacional Agraria*.

Díaz, J. C. (2020). *La apitoxina*. Edición de autor.

Fernández, A. J., Ruiz, J. M., & López, D. P. (2021). Métodos avanzados en la recolección de apitoxina: Succión y control de calidad. *Apicultura y Salud*.

Fratellone, P. M., & Fratellone, G. (2016). Apitherapy products for medicinal use. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 22(12), 1020–1022. <https://doi.org/10.1089/acm.2015.0346>

Freire Feijo, M. C. (2022). Diseño e implementación de un prototipo electrónico para la extracción de apitoxina en abejas de la región amazónica preservando su vida.

García, M., & López, A. (2021). Introducción a los sistemas de control con Arduino Nano. Editorial Alfaomega.

Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional. (2021). Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano 2022–2026. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. https://www.hacienda.gob.ni/Ministerio/direccion-superior/Plan%20de%20Lucha%20Contra%20la%20Pobreza%20y%20para%20el%20Desarrollo%20Humano%202022_2026.pdf

Gómez, M. T., González, P. A., & Castillo, L. R. (2019). Técnica de succión para la extracción de apitoxina de *Apis mellifera* y sus aplicaciones. *Revista de Apiterapia y Medicina Complementaria*.

Gómez, M. T., Rodríguez, F. A., & Hernández, C. L. (2018). Técnicas de recolección manual de veneno de abeja. *Apicultura y Salud*.

Hernández, L., & Torres, P. (2021). Materiales industriales y su aplicación en equipos eléctricos. Editorial Limusa.

Instituto Nicaragüense de Normas Técnicas. (2007). NTON 11 009-07: Norma técnica obligatoria para la producción animal ecológica. Instituto Nicaragüense de Normas Técnicas.

Ivars, J. (2024, 25 noviembre). Apitoxina: Qué es y cómo extraer veneno de abeja. Blog de Apicultura de la Tienda del Apicultor. <https://www.latiendadelapicultor.com/blog/apitoxina-que-es-y-como-extraer-veneno-de-abeja/>

Jernigan, C. M. (2018). Abeja Bonanza: La historia de las abejas melíferas. Anatomía de abejas. Arizona State University. <https://askabiologist.asu.edu/anatomía-de-abejas-melíferas>

Magem, J. B. (2017). Colmena y portanúcleo tipo Langstroth. Tecnología Apropiada para el Apicultor, 1(1), 51.

Martínez, J., & Rivera, C. (2019). Propiedades físicas del vidrio y su uso en equipos de laboratorio. Universidad Autónoma de México.

Montoya, B., Argueta, M., Aldana, J., Castellanos, M., & Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (USAM). (2019). Estandarización del proceso de obtención de apitoxina para el cumplimiento de requisitos de exportación. Masferrer Investiga. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2022/02/1358714/diciembre2019-ano-9-vol-4-paginas-49-61.pdf>

Pérez, D., & Gutiérrez, M. (2021). Componentes electrónicos aplicados en automatización básica. Editorial Tecnológica.

Pérez, R. D., González, M. T., & López, J. G. (2020). Métodos manuales en la recolección de apitoxina. Revista de Apiterapia.

Pérez, R. M., Martínez, C. F., & Sánchez, T. J. (2018). Aplicaciones terapéuticas de la apitoxina recolectada por succión.

Pulido, H. G., De la Vara Salazar, R., Carrasco, A. C., & Sánchez, M. O. (2008). Análisis y diseño de experimentos.

Redalyc. (2024). Estudio biométrico de poblaciones de abejas (*Apis mellifera* L.). <https://www.redalyc.org>

Rodríguez, A. L., Pérez, J. M., & Torres, F. R. (2019). Recolección manual de apitoxina: Ventajas y desventajas. *Journal of Bee Research*.

Rodríguez, J. A., & González, M. A. (2020). Africanized honeybee population (*Apis mellifera* L.) in Nicaragua. *Frontiers in Veterinary Science*.

Rodríguez, P., & Fernández, L. (2020). Aplicaciones de microcontroladores Arduino en proyectos tecnológicos. Universidad Politécnica de Madrid.

Santos, R., & Morales, J. (2020). Principios de electrónica y control de potencia. Universidad Nacional Autónoma de México.

Villacres, E., & Palacios, G. (2017). Biología y manejo de las abejas melíferas. Ediciones Universitarias.

X. ANEXOS

A. FIGURAS

Figura A.1 Malla electrificada en la apertura de la colmena Langstroth



Nota. Tomado de Bucio & Martínez-Jaime (2019)

Figura A. 2 Malla electrificada por fuera de la apertura de la colmena



Langstroth

Nota. Tomado de Ivars (2024)

Figura A. 3 Ficha técnica de Arduino

Arduino Nano V3.0 Microcontroller Board

ATmega328 CH340G

Digital I/O Pins: 14 (of which 6 provide PWM output)

Operating Voltage: 5V

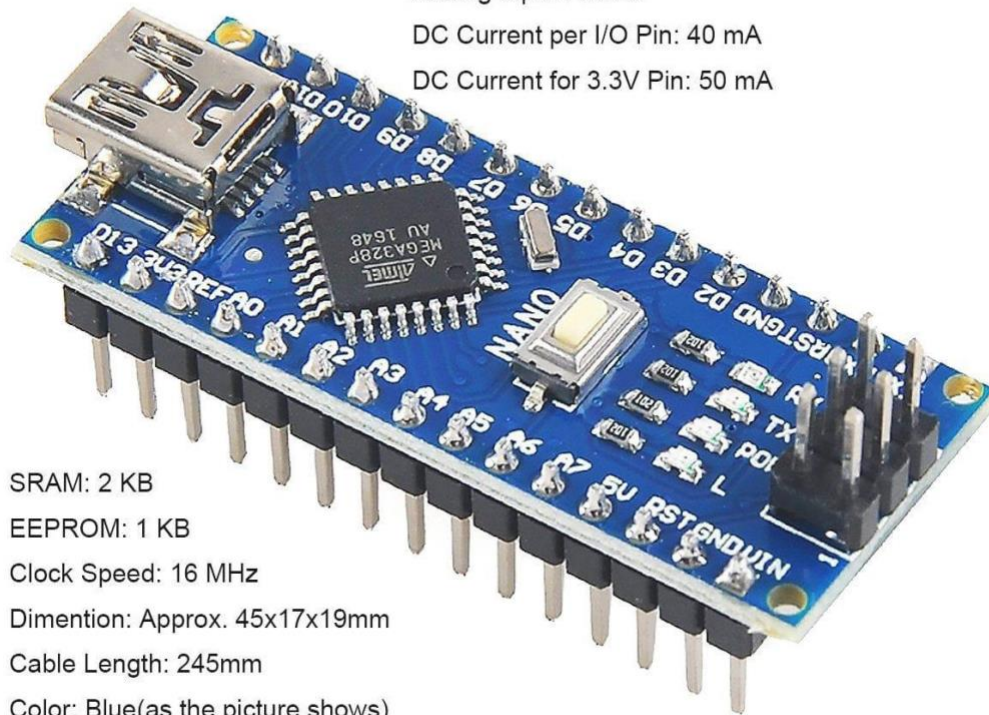
Input Voltage: (recommended) 7V-12V

Input Voltage: (limits) 6V-20V

Analog Input Pins: 8

DC Current per I/O Pin: 40 mA

DC Current for 3.3V Pin: 50 mA



SRAM: 2 KB

EEPROM: 1 KB

Clock Speed: 16 MHz

Dimension: Approx. 45x17x19mm

Cable Length: 245mm

Color: Blue(as the picture shows)

The boards come assembled, you don't need to solder it by yourself.

Nota: Tomada de Arduino Nano Technical Specifications (2025)

Figura A. 4 Ficha técnica de bornes para circuitos



RELAY ISO9002



1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.

(Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

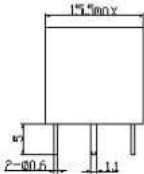
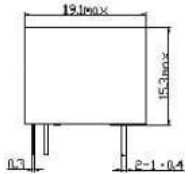
3. ORDERING INFORMATION

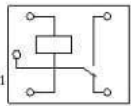
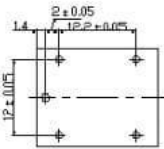
SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	03 ^ 05 ^ 06 ^ 09 ^ 12 ^ 24 ^ 48VDC	S:Sealed type	L:0.36W	A:1 form A
		F:Flux free type	D:0.45W	B:1 form B
				C:1 form C

4. RATING

C C C	FILE NUMBER:CH0052885-2000	7A/240VDC
C C C	FILE NUMBER:CH0036746-99	10A/250VDC
UL /CUL	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
T U V	FILE NUMBER: R9933789	10A/240VAC 28VDC

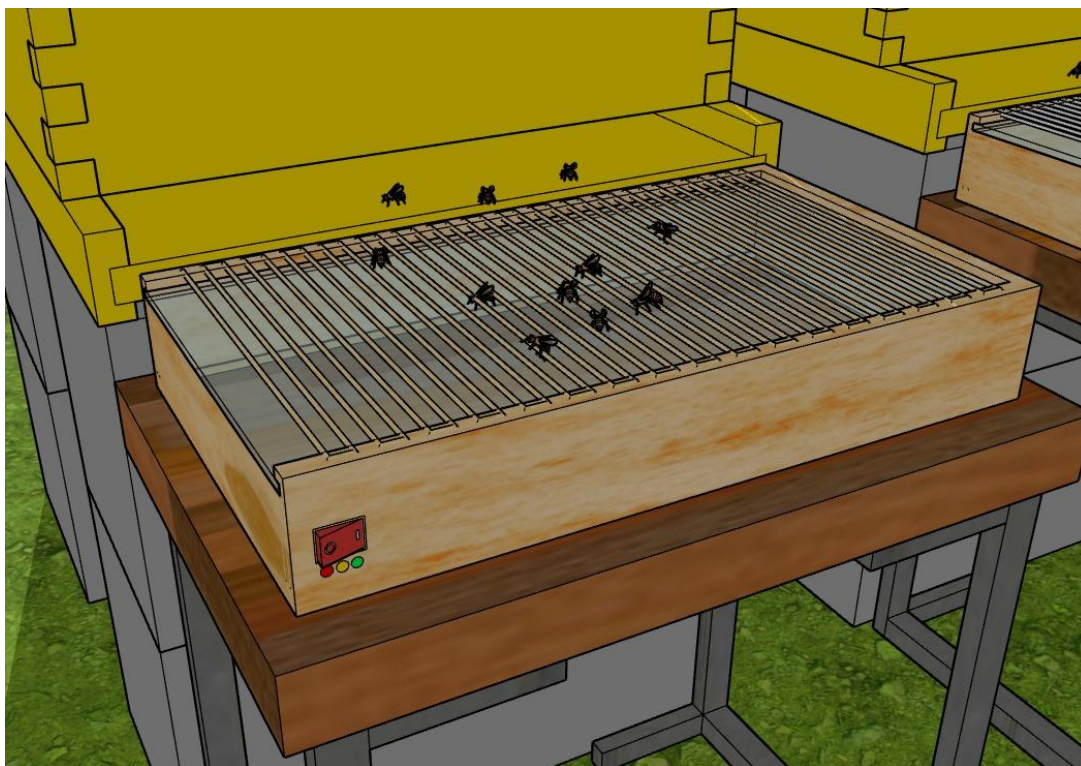
5. DIMENSION (unit:mm) DRILLING (unit:mm) WIRING DIAGRAM





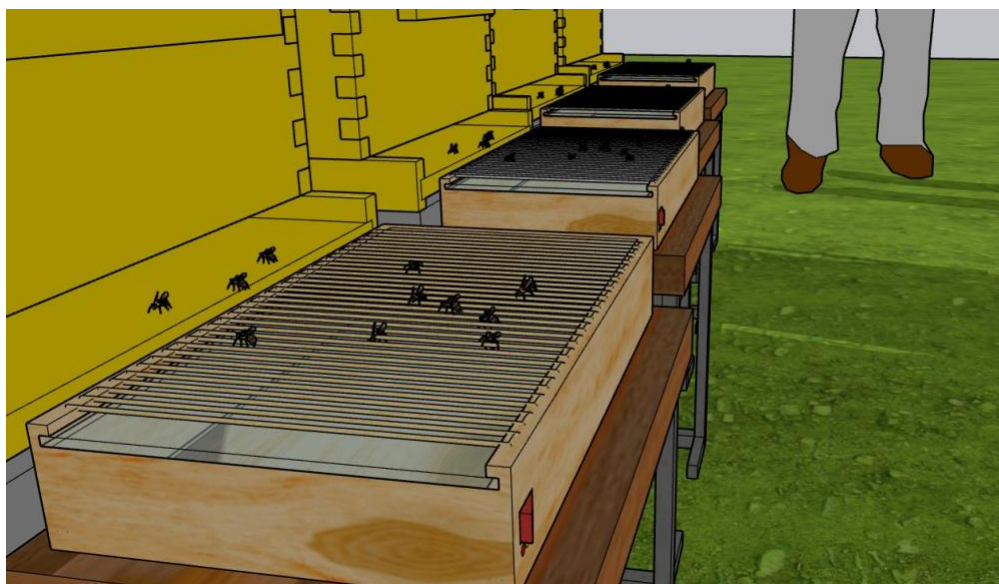
Nota: tomado de Phoenix Contact. (2025).

Figura A. 5 Simulación en el programa SketchUp



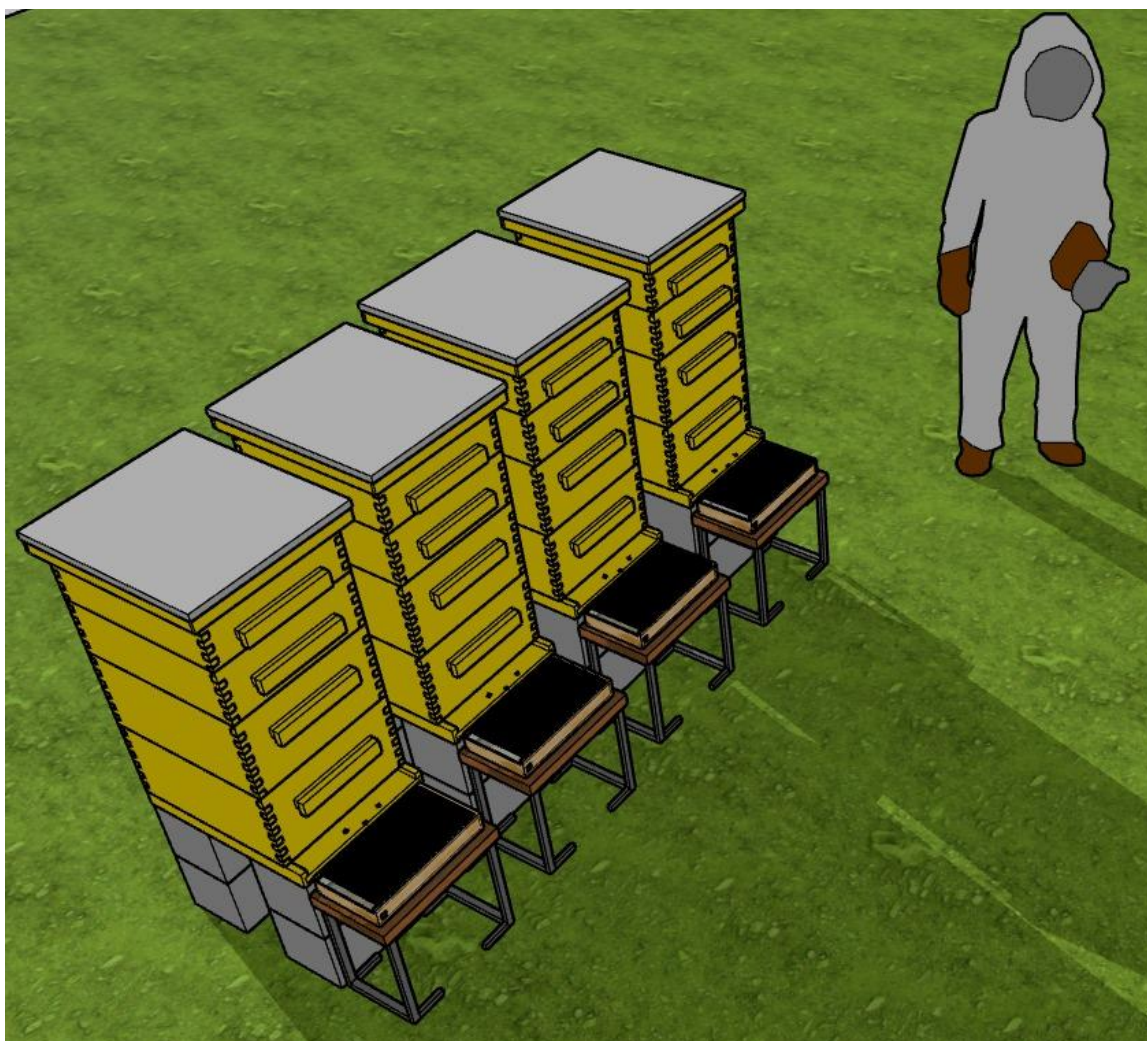
Nota: Producto de la investigación

Figura A. 6 Simulación en el programa SketchUp



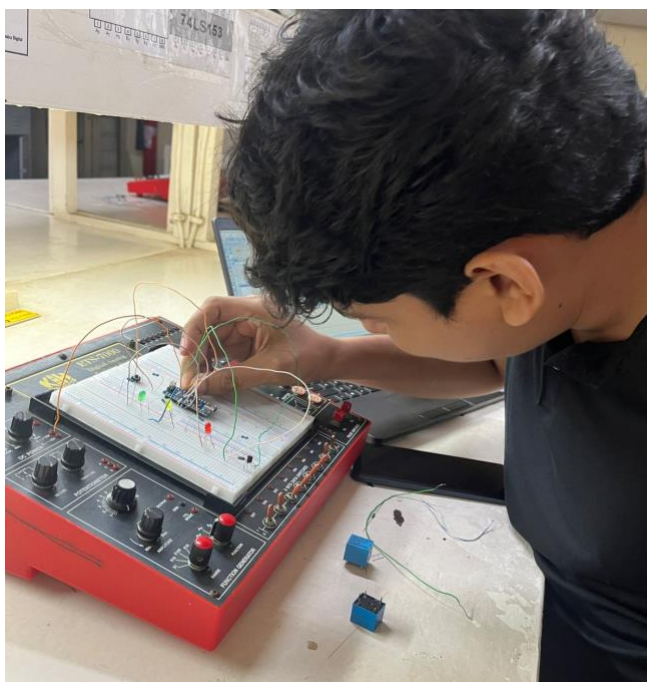
Nota: Producto de la investigación

Figura A.7 Simulación en el programa SketchUp



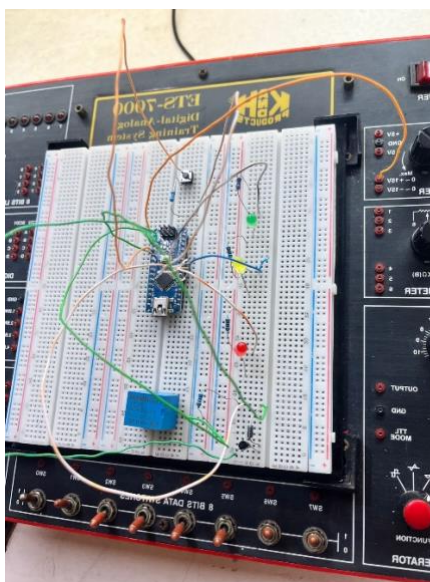
Nota: Producto de la investigación

Figura A. 8 Pruebas eléctricas del sistema previo a construcción



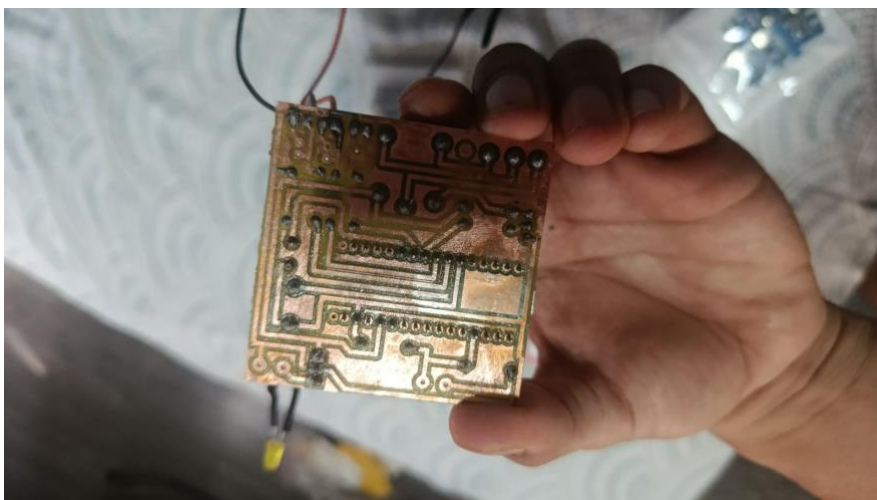
Nota: Producto de la investigación

Figura A. 9 Circuito completo en simulador ETS-7000



Nota: Producto de la investigación

Figura A. 10 Circuito impreso con componentes soldados



Nota: Producto de la investigación

Figura A. 11 Instalación del extractor en colmena



Nota: Producto de la investigación

Figura A. 12 Puesta en marcha del equipo extractor



Nota: Producto de la investigación

Figura A. 13 Primera recolección de apitoxina en placa de vidrio



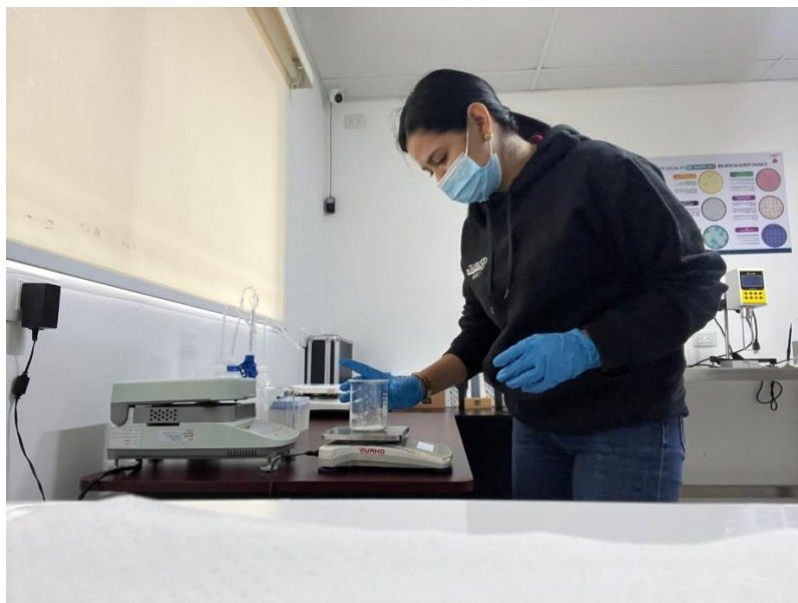
Nota: Producto de la investigación

Figura A. 14 Primera extracción de apitoxina



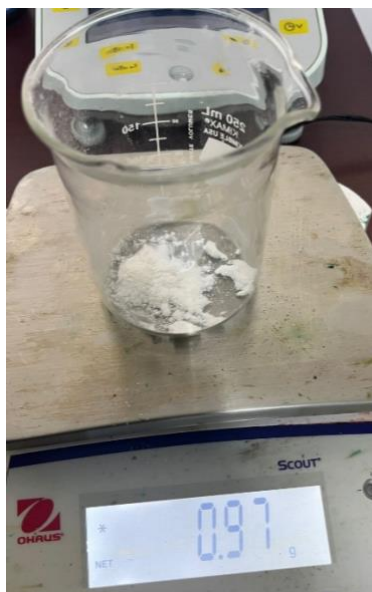
Nota: Producto de la investigación

Figura A. 15 Pesado en laboratorio post extracción



Nota: Producto de la investigación

Figura A. 16 Peso total de extracciones



Nota: Producto de la investigación

B. MEMORIA DE CALCULO Y CÓDIGO DEL ARDUINO NANO

Intensidad de corriente eléctrica (I)

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = 12 / 24000$$

$$I = 0.0005 \text{ A} = 0.5 \text{ mA}$$

Intensidad del campo eléctrico (E)

$$E = V / d$$

$$E = 12 / 0.02$$

$$E = 600 \text{ V/m}$$

Número de hilos de acero inoxidable (N)

$$N = \frac{w}{d_{\text{hilo}} + e}$$

$$N = 0.3 / (0.002 + 0.01)$$

$$N = 0.3 / 0.012$$

$$N = 25 \text{ hilos}$$

Potencia consumida (P)

$$P = V * I$$

$$P = 12 * 0.0005$$

$$P = 0.006 \text{ W}$$

Capacidad de recolección (Q)

$$Q = k * A * t$$

$$Q = 0.003 * 0.05 * 1800$$

$$Q = 0.27 \text{ mg}$$

Resistencia térmica del sistema (Rt)

$$Rt = \frac{\Delta T}{P}$$

$$Rt = 10 / 0.006$$

$$Rt \approx 1666.67 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

```

/* Extractor de Apitoxina - Nano
 * Sesión: 30 min | Pulsos: 4 s ON / 6 s OFF
 * Interruptor en D2 (a +5V y GND)
 * LEDs: Verde D3, Amarillo D5, Rojo D6
 * Relé: D4
 * Buzzer: D7
 */

#define PIN_RELAY 4
#define LED_GREEN 3
#define LED_YELLOW 5
#define LED_RED 6
#define BUZZER 7
#define SWITCH_PIN 2
#define VBAT_PIN A0

// Tiempos
const unsigned long T_ON = 4000UL; // 4 s ON
const unsigned long T_OFF = 6000UL; // 6 s OFF
const unsigned long T_SES = 30UL * 60UL * 1000UL; // 30 min
const unsigned long T_AUTO_OFF = 10UL * 60UL * 1000UL; // 10 min post-
sesión

// Estados
enum State {IDLE, RUNNING, FINISHED};
State state = IDLE;

bool pulseOn = false;
unsigned long tSessionStart = 0;
unsigned long tPhaseStart = 0;
unsigned long tEndSession = 0;

// --- FUNCIONES AUXILIARES ---
int readBatteryPercent() {
    int raw = analogRead(VBAT_PIN);
    int pct = map(raw, 0, 1023, 0, 100);
    return constrain(pct, 0, 100);
}

void alloff() {
    digitalWrite(PIN_RELAY, LOW);
    digitalWrite(LED_GREEN, LOW);
    digitalWrite(LED_YELLOW, LOW);
    digitalWrite(LED_RED, LOW);
    noTone(BUZZER);
}

```

```

    state = IDLE;
}

// --- SESIÓN ---
void startSession() {
    state = RUNNING;
    pulseOn = true;
    tSessionStart = millis();
    tPhaseStart = tSessionStart;
    digitalWrite(PIN_RELAY, HIGH);
    digitalWrite(LED_GREEN, HIGH);
    tone(BUZZER, 1500, 300); // sonido inicio
}

void endSession() {
    state = FINISHED;
    digitalWrite(PIN_RELAY, LOW);
    pulseOn = false;
    tEndSession = millis();

    // Señal de finalización
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        tone(BUZZER, 1000);
        delay(400);
        noTone(BUZZER);
        delay(300);
    }

    digitalWrite(LED_GREEN, HIGH); // verde fijo
}

// --- CONTROL DE PULSOS ---
void handlePulses() {
    unsigned long now = millis();
    if (now - tSessionStart >= T_SES) {
        endSession();
        return;
    }

    if (pulseOn && (now - tPhaseStart >= T_ON)) {
        pulseOn = false;
        tPhaseStart = now;
        digitalWrite(PIN_RELAY, LOW);
    } else if (!pulseOn && (now - tPhaseStart >= T_OFF)) {
        pulseOn = true;
    }
}

```

```

    tPhaseStart = now;
    digitalWrite(PIN_RELAY, HIGH);
}

// Parpadeo verde
if ((now / 500) % 2 == 0)
    digitalWrite(LED_GREEN, HIGH);
else
    digitalWrite(LED_GREEN, LOW);
}

// --- MONITOREO DE BATERÍA ---
void checkBattery() {
    int p = readBatteryPercent();

    digitalWrite(LED_YELLOW, LOW);
    digitalWrite(LED_RED, LOW);

    if (p <= 5) {
        for (int i = 0; i < 5; i++) {
            tone(BUZZER, 1200);
            delay(300);
            noTone(BUZZER);
            delay(200);
        }
        alloff();
    } else if (p <= 15) {
        digitalWrite(LED_RED, HIGH);
    } else if (p <= 30) {
        digitalWrite(LED_YELLOW, HIGH);
    }
}

// --- CONFIGURACIÓN ---
void setup() {
    pinMode(PIN_RELAY, OUTPUT);
    pinMode(LED_GREEN, OUTPUT);
    pinMode(LED_YELLOW, OUTPUT);
    pinMode(LED_RED, OUTPUT);
    pinMode(BUZZER, OUTPUT);
    pinMode(SWITCH_PIN, INPUT_PULLUP);
    pinMode(VBAT_PIN, INPUT);
    alloff();
}

```

```

// --- LOOP PRINCIPAL ---
void loop() {
    bool switchOn = digitalRead(SWITCH_PIN) == LOW; // LOW cuando se conecta
a GND

    if (switchOn) {
        if (state == IDLE) startSession();
        else if (state == RUNNING) {
            handlePulses();
            checkBattery();
        } else if (state == FINISHED) {
            unsigned long now = millis();
            if (now - tEndSession >= T_AUTO_OFF) {
                allOff();
            }
        }
    } else {
        allOff();
    }
}

```