



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



TEC
de Teziutlán

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

Tesis



“Diseño de prototipo de incubadora para la crianza de
grillo doméstico (*Acheta domestica*)”

PRESENTA:

DIEGO ESPÍNDOLA CABRERA

CON NÚMERO DE CONTROL
19TE0423

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO
IIAL-2010-219

DIRECTORAS DE TESIS:
DRA. MAYRA NICOLÁS GARCÍA

“ La Juventud de hoy, Tecnología del Mañana”

TEZIUTLÁN, PUEBLA, 17 DE SEPTIEMBRE 2024



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Teziutlán, Puebla., el día 30 del mes de mayo del año 2024, el que suscribe **Diego Espíndola Cabrera** alumno de la carrera de **Ingeniería en Industrias Alimentarias** con número de control **19TE0423**, adscrito al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis de licenciatura bajo la dirección de la **Dra. Mayra Nicolás García, Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa y Dr. Luis Omar Colombo Mendoza** ceden los derechos del trabajo titulado **"Diseño de prototipo de incubadora para la crianza de grillo (*Acheta domesticus*)"** al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y a los directores del proyecto para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones: mayra.ng@teziutlan.tecnm.mx; julieta.ve@teziutlan.tecnm.mx; luis.cm@teziutlan.tecnm.mx; L19TE0423@teziutlan.tecnm.mx, si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Diego Espíndola Cabrera

Vo. Bo



Dra. Mayra Nicolás García
Directora de Tesis



Dra. Julieta del Carmen Villalobos
Espinosa
Directora de Tesis



Dr. Luis Omar Colombo Mendoza
Director de Tesis

Agradecimientos

Agradezco enormemente al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán por todo el apoyo y calidad educativa que ofrece a sus estudiantes, asimismo, a todos los docentes que tuve la fortuna de conocer en el instituto y que me brindaron mucho del conocimiento que puse en práctica durante este proyecto, principalmente a la Lic. Zabdi Aridai González Arcos y a la Dra. Mayra Nicolás García quienes no dudaron en ayudarme desde el principio, también a la Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa de quién, desde primer semestre obtuve mucho del mejor conocimiento de la carrera.

Agradezco a mis padres y familiares por haberme dado todo el apoyo económico y emocional durante todo este tiempo y gracias a ello puedo seguir en la universidad.

Resumen

Para el año 2050 se estima que habrá un incremento del 60% al 70% en la demanda de productos de origen animal. Sin embargo, las fuentes tradicionales de proteína generan mayor huella hídrica. Se han buscado alternativas de fuente proteicas como los insectos, tales como el grillo doméstico que se considera como un sistema productivo sostenible para el sector agroalimentario. Por lo anterior, el objetivo del presente proyecto fue diseñar un prototipo de incubadora para la reproducción y crianza de grillo doméstico (*Acheta domestica*). El diseño consiste en tres cajones con la integración de un sistema de componentes para controlar las variables para su reproducción y crecimiento tales como temperatura, humedad y oxigenación mediante termostatos, higrómetros y ventiladores. La temperatura dentro de la incubadora se logró aumentar con ayuda de focos incandescentes de 7 W y la humedad con ayuda de humidificadores ultrasónicos. La incubadora se sometió a pruebas de funcionalidad durante 5 meses consecutivos (noviembre 2023 - abril 2024). En cuanto a la efectividad del sistema para controlar la temperatura y humedad, se colocaron higrómetros digitales y termómetros analógicos para comparar los datos de los sensores, en los niveles 2 y 3, los sensores de la incubadora coincidieron con el termómetro analógico, pero se observaron variaciones de 5 unidades en la temperatura y humedad. En el primer nivel se observó que la temperatura no es uniforme en la totalidad del espacio y no llegaba a más de 20 °C. Sin embargo, después de colocar una fuente de calor en la parte inferior la temperatura logró aumentar a más de 30 °C, una temperatura suficiente para la incubación de los grillos. Se realizaron mediciones del amperaje y voltaje de la incubadora en conjunto y de los niveles por separado, registrándose un consumo general de 1.26 A, con una tensión de 126 V, lo que genera un gasto máximo aproximado de 160 W de potencia aparente, siendo el tercer nivel el de mayor consumo, con 103 W, seguido del segundo nivel con 34 W y el tercer nivel con 22 W. Se realizó un análisis de varianza y gráficas de regresión lineal, determinando que no existen diferencias significativas entre las lecturas de los sensores de la incubadora y los termómetros externos, y que el comportamiento de los datos

brindados por los sensores de la incubadora coincide con el real. Por lo que se concluye que la incubadora puede ser utilizada para su propósito. Las pruebas de efectividad comenzaron desde el 22/04/2024, se colocaron grillos dentro de la incubadora para observar su comportamiento y desarrollo; en las pruebas se logró mantener con vida a la mayoría de los grillos por aproximadamente un mes, después de ese tiempo comenzaron a morir. En cuanto a la reproducción, lograron eclosionar aproximadamente 500 huevecillos y las ninfas que nacieron se desarrollaron eficazmente, por ello, se concluye que la incubadora cumple con su propósito y es viable para la cría y reproducción de *A. domesticus*.

Palabras clave: *Acheta domesticus*, incubadora, controladores, reproducción, crianza.

Abstract

By 2050, it is estimated that there will be an increase of 60% to 70% in the demand for products of animal origin. However, traditional protein sources generate a greater water footprint. Alternative protein sources such as insects have been sought, such as the domestic cricket, which is considered a sustainable production system for the agri-food sector. Therefore, the objective of this project was to design a prototype of an incubator for the reproduction and rearing of the domestic cricket (*Acheta domestica*). The design consists of three drawers with the integration of a system of components to control the variables for its reproduction and growth such as temperature, humidity and oxygenation through thermostats, hygrometers and fans. The temperature inside the incubator was increased with the help of 7 W incandescent bulbs and the humidity with the help of ultrasonic humidifiers. The incubator underwent functionality tests for 5 consecutive months (November 2023 - April 2024). Regarding the effectiveness of the system to control temperature and humidity, digital hygrometers and analog thermometers were placed to compare the data from the sensors, in levels 2 and 3, the incubator sensors coincided with the analog thermometer, but they were observed variations of 5 units in temperature and humidity. In the first level it was observed that the temperature is not uniform throughout the space and did not reach more than 20 °C. However, after placing a heat source at the bottom the temperature managed to increase to more than 30 °C, a temperature sufficient for the crickets to incubate. Measurements of the amperage and voltage of the incubator as a whole and of the levels separately were made, recording a general consumption of 1.26 A, with a voltage of 126 V, which generates an approximate maximum consumption of 160 W of apparent power, being the third level is the one with the highest consumption, with 103 W, followed by the second level with 34 W and the third level with 22 W. An analysis of variance and linear regression graphs were carried out, determining that there are no significant differences between the sensor readings. of the incubator and the external thermometers, and that the behavior of the data provided by the incubator sensors coincides with the real one.

Therefore, it is concluded that the incubator can be used for its purpose the effectiveness tests began on 04/22/2024, crickets were placed inside the incubator to observe their behavior and development; In the tests, most of the crickets were kept alive for approximately a month, after that time they began to die. Regarding reproduction, approximately 500 eggs were able to hatch and the nymphs that were born developed effectively, therefore, it is concluded that the incubator meets its purpose and is viable for the breeding and reproduction of *A. domesticus*.

Key words: *Acheta domesticus*, incubator, controllers, reproduction, breeding.

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2022a) reportó que en el 2022 la población mundial alcanzó los 8,000 millones de personas. En el año 2020 entre 720 y 811 millones de personas pasaron hambre en todo el mundo, destacando los países de África (282 millones), Asia (418 millones), América Latina y el Caribe (60 millones). Casi una de cada tres personas en el mundo no tuvo acceso a una alimentación adecuada en 2020, lo que representa un aumento de aproximadamente 320 millones de personas (ONU, 2022b). El cambio climático, la desertificación, la pobreza y los conflictos son algunos motivos que causan el hambre en el mundo y se estima que para el 2050 la población alcanzará los 9,700 millones de personas, lo que representa un aumento del 21%, esto significa que la producción de alimentos también debe aumentar. Sin embargo, las actividades de la agricultura y ganadería tienen un impacto ambiental negativo, sobre todo porque requieren de grandes extensiones de tierras, lo que provoca tala inmoderada de árboles, pérdida de bosques, aparición de zonas erosionadas, terrenos compactados, pérdida de suelo y fertilidad (ONU 2022b; García Montero, 2023).

De acuerdo con la Federación Colombiana de Ganaderos, en el año 2020 se estimó que una persona consume aproximadamente 19 kg de carne de cerdo, 34 kg de pollo, 8 kg de pescado y 17 kg de res (De Ganaderos, 2018). Orzechowski (2022) estimó que el sacrificio mundial de animales superó los 73 mil millones de animales en 2020 considerando vacas, pollos, cerdos y ovejas en comparación con los más de 38 mil millones de animales en el 2000. Según estas cifras, en 20 años se observó un aumento del 52%, por lo que es de esperar que con el paso del tiempo y aumento de la población la producción de carne también aumente. En el 2009, la FAO emitió un informe en el que se redacta una serie de pasos a seguir para asegurar que la producción de alimentos sea suficiente para alimentar a los 9,100 millones de personas que habrá en el mundo para 2050; asegurar que la producción de alimentos sea

suficiente para alimentar a toda la población es una de las mayores preocupaciones.

Por otra parte, la entomofagia, cuyo significado se refiere al consumo de alimentos derivados de insectos podría mejorar el aporte nutricional de alrededor de 805 millones de personas que sufren inseguridad alimentaria en el mundo (Chaves, 2021). Si bien varía según la especie de insecto, la mayoría de estos se destacan por tener un alto porcentaje de proteína, ácidos grasos insaturados, algunos minerales como hierro, magnesio, zinc, manganeso, fósforo, cobre y selenio, además de algunas vitaminas. Se han reportado algunas especies de insectos para el consumo humano y animal tales como el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), la mosca negra soldado (*Hermetia illucens*), el grillo doméstico (*Acheta domestica*), el grillo rayado (*Gryllobates sigillatus*), el grillo de campo (*Gryllus assimilis*) y el gusano de la harina menor (*Alphitobius diaperinus*) (Huis et al., 2013; Aguilera et al., 2021; Arévalo- Arévalo et al., 2022). El grillo doméstico (*A. domestica*) es considerado uno de los insectos criados más prometedores debido a su composición nutricional y su menor consumo alimenticio y de agua, en comparación con otros animales de corral (Fernandez-Cassi et al., 2019; Cavalleiro et al., 2023). A pesar de que la entomofagia se ha estudiado a la fecha, aún se requiere de estudios que permitan mejorar el rendimiento y la producción de insectos (Stull & Patz, 2020) mediante el diseño de incubadoras que brinden las condiciones ideales de temperatura y humedad para su desarrollo y disminuyan la huella hídrica en la producción de insectos.

Índice

Carta de cesión derechos.....	1
Agradecimientos.....	2
Resumen.....	3
Abstract.....	5
Introducción.....	7
Índice	9
Índice de Figuras.....	11
Índice de Tablas.....	12
Lista de abreviaturas.....	13
CAPÍTULO I.....	14
GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	14
1.1 Descripción de la Institución.....	15
1.2 Planteamiento del Problema.....	16
1.2.1 Preguntas de Investigación.....	16
1.3 Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo General.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
1.4 Justificación.....	17
1.5 Hipótesis.....	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Entomofagia.....	20
2.1.1 Perspectivas de la Alimentación en el Futuro.....	20
2.1.2 Aplicaciones en Alimentación Humana.....	21
2.1.3 Perspectivas de Uso Sostenible del Grillo.....	21
2.1.4 Situación Actual en la Legislación y Comercialización de Insectos.....	22
2.1.5 Impacto Social.....	22
2.1.6 Impacto Económico.....	23
2.1.7 Impacto Ambiental.....	24
2.1.8 Inocuidad Alimentaria.....	24

2.2 Insectos de mayor consumo.....	25
2.2.1 <i>Gryllus assimilis</i>	25
2.2.2 <i>Acheta domesticus</i>	26
2.2.3 Características de <i>Acheta domesticus</i>	26
2.2.4 Ciclo de vida.....	26
2.3 Factores de Crecimiento.....	29
2.3.1 Temperatura.....	29
2.3.2 Luminosidad.....	30
2.3.3 Humedad.....	31
2.3.4 Alimentación.....	31
2.3.5 Espacio.....	32
2.4 Generalidades biológicas de <i>Acheta domesticus</i>	33
2.4.1 Reproducción.....	33
2.4.2 Puesta de huevos.....	34
2.4.3 Crecimiento.....	34
2.4.4 Canibalismo.....	35
2.4.5 Características de machos y hembras.....	35
2.5 Aporte Nutricional.....	36
2.6 Producción de Grillo a Nivel Industrial.....	36
2.6.1 Reproducción.....	37
2.6.2 Alimento.....	37
2.6.3 Crecimiento de la población.....	37
2.6.4 Cosecha.....	38
2.6.5 Faena.....	38
Capítulo III.....	40
Desarrollo y metodología.....	40
3.1 Diseño CAD/CAM del Prototipo.....	41
3.2 Elaboración e instalación de los componentes en la Incubadora.....	42
3.3 Determinación de los rangos ideales de temperatura y humedad.....	46
3.4 Análisis de datos.....	46
Capítulo IV.....	47

Resultados.....	47
4.1 Elaboración del prototipo de la Incubadora de Grillo.....	48
4.2 Pruebas de Funcionalidad.....	52
4.3 Pruebas de Efectividad.....	53
4.4 Relación Temperatura–Humedad Relativa.....	57
4.5 Consumo Eléctrico.....	59
4.6 Determinación de los rangos ideales de temperatura y humedad.....	61
Capítulo V.....	64
Conclusiones.....	64
5.1 Conclusiones relativas a los objetivos específicos.....	65
5.2 Conclusiones relativas al objetivo general.....	66
5.3 Aportaciones originales.....	66
5.4 Limitaciones del modelo planteado.....	66
5.5 Recomendaciones.....	68
Capítulo VI.....	69
Competencias desarrolladas.....	69
Capítulo VII.....	71
Fuentes de información.....	71
Capítulo VIII.....	80
Anexos.....	80

Índice de Figuras

Figura 1. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.....	15
Figura 2. Diseño CAD/CAM del prototipo de incubadora.....	41
Figura 3. Diagrama del circuito eléctrico del sistema. A) Nivel 1; B) Nivel 2; C) Nivel 3.....	45
Figura 4. Prototipo de incubadora de grillo. A) con cajones B) sin cajones.....	49
Figura 5. Sistema de componentes de control. A) Ventilación y humidificación; B) Control STC-3028.....	50
Figura 6. Gráfica del comportamiento de la temperatura, A) tercer nivel; B)	

segundo nivel; primer nivel C).....	54
Figura 7. Gráficas de correlación (Temperatura – Humedad relativa), A) tercer nivel; B) segundo nivel; C) primer nivel.....	58
Figura 8. Cría de grillo en prototipo de incubadora. A) Cajón del primer nivel, B) crías del primer grupo de grillos.....	63

Índice de Tablas

Tabla 1. Generalidades del grillo doméstico (<i>Acheta domestica</i>).....	28
Tabla 2. Condiciones óptimas de crecimiento de <i>Acheta domestica</i>	35
Tabla 3. Composición nutricional de <i>Acheta domestica</i>	36
Tabla 4. Generalidades técnicas de los componentes empleado en la incubadora.	43
Tabla 5. Comportamiento del funcionamiento de la incubadora.....	52
Tabla 6. Análisis de varianza de las temperaturas en la incubadora.....	55
Tabla 7. Análisis de varianza de las temperaturas, a) tercer nivel; b) segundo nivel; c) primer nivel.....	56
Tabla 8. Amperaje, voltaje y potencia de la incubadora.....	59
Tabla 9. Registro de temperaturas de incubadora y termómetros.....	81
Tabla 10. Materiales y equipos de elaboración.....	82

Lista de abreviaturas

- ☒ MDD – Millones de dólares
- ☒ mm – Milímetros
- ☒ cm – Centímetros
- ☒ “ – pulgadas
- ☒ m – metros
- ☒ pz – piezas
- ☒ V – Voltaje
- ☒ A – Ampere
- ☒ W – Watts
- ☒ Hz – Hertz

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Descripción de la Institución

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST) se ubica en Teziutlán, Puebla. Se caracteriza por ser una institución pública de educación superior, actualmente cuenta con 8 licenciaturas, de las cuales 7 son ingenierías. El ITST tiene un sistema de gestión de calidad basado en la ISO 9001:8. El área en donde se realizó el proyecto es en la división de Ingeniería en Industrias Alimentarias.



Figura 1. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.

1.2 Planteamiento del Problema

Actualmente, existen aproximadamente 8,000 millones de personas en el mundo.

Sin embargo, gran parte de la población sufre de inseguridad alimentaria, debido a diversos factores como la falta de alimentos, falta de tierras destinadas para agricultura o ganadería, situación de sequía extrema y dificultad de acceso al agua. Se estima que para el año 2050, la población crecerá un 25%, por lo que habrá un total de 9,700 millones de personas, lo que significa que la producción de alimentos debe incrementar de igual manera para satisfacer la demanda, esto presenta un problema ambiental, ya que para conseguirlo la producción agrícola y ganadera deben aumentar su producción, debido a que son las principales fuentes de dichos alimentos (ONU, 2022). La problemática surge debido a que la agricultura y ganadería requieren de un amplio territorio para llevar a cabo sus actividades, y ello implica tala de árboles, pérdida de bosques, alto consumo de agua, contaminación de aguas y suelos, emisión de gases de efecto invernadero, entre otros. Todas estas consecuencias ambientales son indicadores de que se debe pensar en una alternativa más sustentable para satisfacer la demanda alimentaria a futuro. Por ello, es importante la búsqueda de alternativas a las fuentes convencionales de alimentación, como lo serían los insectos, sin embargo, aún se requiere de investigación para reproducirlos de manera controlada. Por lo anterior, el desarrollo de un modelo de incubadora que permita tener el control de la temperatura, humedad y ventilación del ambiente, y con ello poder establecer las condiciones en las que mejor se desarrollan es necesario.

1.2.1 Preguntas de Investigación

- ☒ ¿Qué condiciones necesitan los grillos para su reproducción?
- ☒ ¿El material de fabricación de la incubadora permite la supervivencia de los grillos?
- ☒ ¿Qué parámetros se pueden controlar en la incubadora? ¿La cría de grillo se puede mantener controlada?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar, construir y evaluar un prototipo de incubadora para la reproducción y crianza de grillos (*Acheta domestica*) a nivel laboratorio.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar el diseño CAD/CAM de la incubadora.
2. Seleccionar el material y los componentes de control en la incubadora.
3. Evaluar el funcionamiento del sistema del prototipo.
4. Establecer las condiciones idóneas de crecimiento de grillos en el prototipo.

1.4 Justificación

Diversas investigaciones realizadas han demostrado que la entomofagia es una alternativa viable para complementar la alimentación de las personas en el futuro (RSA-CONICET, 2021), esto debido a diversos factores como el aporte nutricional. Se ha demostrado que diversos insectos como los grillos aportan una cantidad considerable de proteínas (67-75%), valor que supera considerablemente al aporte de la carne de varios animales (Aguilera et al., 2021; Guzmán-Valiente et al., 2022). Adicionalmente, la harina de insectos al igual que cualquier otra harina tiene una gran versatilidad a la hora de ser procesada, ya que puede dar origen a una gran cantidad de alimentos. En comparación con los animales de corral, los insectos requieren de menos consumo de agua y menos espacio para vivir, la eficiencia al momento de ser transformados en alimento es mayor y generan menos gases de efecto invernadero (Huis et al. 2013; Gallegos & Cortéz, 2019). Sin embargo, la crianza de estos insectos no está establecida, ya que a la fecha existen pocas entidades que han destinado recursos para desarrollar métodos que optimicen la cría de cultivos de insectos (Stull, 2020), por ejemplo, la comisión europea aprobó el consumo de siete especies de insecto para producir alimentos para consumo animal (Vera, 2022). Por lo

anterior, el objetivo del presente trabajo es diseñar una incubadora para la reproducción y crianza de grillos (*Acheta domestica*) a nivel laboratorio que permita su reproducción controlada.

1.5 Hipótesis

Los componentes y el material empleado para la construcción del prototipo de incubadora son aptos para un correcto funcionamiento y posterior desarrollo y reproducción de grillo doméstico (*Acheta domestica*).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Entomofagia

El termino entomofagia se refiere al consumo de insectos por los seres humanos, se practica en muchos países de todo el mundo, principalmente en regiones de Asia, África y América Latina (Ramos et al., 2006; Avendaño et al., 2020). El uso de insectos para la alimentación humana complementa el aporte nutricional de alrededor de 2000 millones de personas en el mundo, esto porque es una actividad que ha sido recurrente en la alimentación de las personas desde mucho tiempo atrás. Sin embargo, hasta hace poco, la entomofagia no había captado la atención de los medios de comunicación, las instituciones de investigación, los chefs y otros miembros de la industria alimentaria, los legisladores y demás organismos que se ocupan de la alimentación humana y animal (Avendaño et al., 2020).

2.1.1 Perspectivas de la Alimentación en el Futuro

La ONU estima que para el 2050 la población humana incrementará de 7.700 millones de personas a 9.700, lo que genera una mayor necesidad de producción de alimentos (ONU, 2022). Sin embargo, la tierra que está a disposición para el aumento de las actividades de la agricultura y ganadería no satisface la demanda, además, las actividades ganaderas generan entre un 15 y 26% de los gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento del planeta, reducen la biodiversidad de la flora y la fauna, utilizan demasiada agua y en general no llevan a cabo prácticas sustentables. Estos factores representan obstáculos para la producción de los alimentos demandados por la población tanto de personas como de animales. Por ello, se necesita buscar alternativas que permitan satisfacer la demanda de alimentos de una manera sustentable. En respuesta a estas necesidades han surgido con fuerza la crianza y producción de insectos para consumo humano y animal (Avendaño et al., 2020).

2.1.2 Aplicaciones en Alimentación Humana

La FAO ha estimado que la entomofagia se practica por más de 2 mil millones de personas en el mundo (Pérez et al., 2018). Los insectos son consumidos en la mayoría de sus estadios de desarrollo, en algunos casos, los huevos y larvas de varios insectos son consumidos por humanos, así como pupas, ninfas y adultos, siendo la mayoría de ellos recolectados en el medio natural. Se han identificado un total de 2,037 especies de insectos que se consumen alrededor del mundo, dentro de las cuales se encuentran ordenes como: *Coleoptera* (634 especies), *Lepidóptera* (359 especies), *Hymenoptera* (302 especies), *Ortóptera* (279 especies), *Hemiptera* (220 especies), *Isoptera* (63 especies), *Odonata* (60 especies) y *Diptera* (25 especies) (Meyer-Rochow & Jung, 2020; Abril, 2022). En varios países occidentales, la idea de consumir insectos es rechazada debido a que se consideran desagradables, o no se practica por cuestiones culturales la entomofagia no se practica. Por ello, el rechazo que tiene la población hacia los insectos es una de las mayores barreras para la inclusión de estos como fuente de proteína alternativa dentro de la dieta diaria y, por lo tanto, para la normalización de la entomofagia (López, 2019). Debido al aporte nutricional que ofrecen los insectos, ha puesto especial atención en el desarrollo controlado de insectos para consumo. Los principales alimentos a base de insectos que se comercializan incluyen panes, pastas, curry, salsas, golosinas, paté, barras energéticas, bebidas con y sin alcohol, galletas, tortillas, hamburguesas y salchichas (Avendaño et al., 2020; Aguilera et al., 2021; Cavalheiro et al., 2023).

2.1.3 Perspectivas de Uso Sostenible del Grillo

Se espera que en 2050 haya un aumento entre 60% y 70% en la demanda de alimentos de origen animal. Este aumento demandará enormes cantidades de recursos para alimentar tanto a personas como animales, así, es de esperar que las fuentes de proteína tradicionales sean las más sobreexplotadas y perjudiciales para el ambiente (ONU, 2022). Por esta razón, la FAO incluyó el uso de insectos en la alimentación humana y animal como una fuente alternativa de nutrientes desde el 2003 debido a sus características nutricionales y su bajo

impacto ambiental. Una de las especies más prometedoras es el grillo doméstico tropical (*Gryllobates sigillatus*), cuyo potencial como sistema productivo sostenible ha sido demostrado en varios países asiáticos y europeos (Arévalo-Arévalo et al., 2022).

2.1.4 Situación Actual en la Legislación y Comercialización de Insectos

En los últimos años se ha impulsado el uso de insectos para consumo humano como un recurso que trata de aumentar su aceptación ante los consumidores. Asimismo, esto ha impulsado significativamente la producción de insectos principalmente en Norte América, Europa y África, debido a sus ventajas como alimento humano y animal. Debido a las características nutricionales y al bajo impacto al medio ambiente, los insectos son considerados “alimentos novedosos”, por ello, la FDA determinó que al igual que los productos convencionales, las regulaciones alimentarias también deben aplicarse a los insectos destinados a consumo humano y animal. Sin embargo, la misma FDA ha considerado a los insectos como aditivos alimentarios, y por ello su comercialización se debe revisar y aprobar a menos que su uso este catalogado como "Generalmente considerado seguro" (Lähteenmäki-Uutela et al., 2018; Arévalo-Arévalo et al., 2022). Factores como las sanciones y regulaciones que aplican a productos derivados de insectos determinan los productos que se pueden lanzar, asimismo, las diferencias que existen en las regulaciones de los diferentes países determinan los lugares en los que se puede comercializar un producto, su disponibilidad y costo (Lähteenmäki-Uutela et al., 2018; Stull & Patz, 2020).

2.1.5 Impacto Social

Algunos factores como el crecimiento demográfico, la urbanización y el crecimiento de la clase media han aumentado la demanda de alimentos a escala mundial, especialmente de las fuentes de proteínas de origen animal, asimismo, la producción tradicional de alimento para animales, como harinas de pescado, soja y cereales, se intensifican aún más, por lo que debe mejorarse la eficiencia

de los recursos y ampliarse mediante el uso de fuentes alternativas (Gallegos & Cortéz, 2019; Parra, 2022). En 2030 habrá que alimentar a más de 9.000 millones de personas, además de a los miles de millones de animales que se crían anualmente con fines alimentarios o recreativos y como mascotas (Abril et al., 2022). En el 2009, la FAO dio a conocer un informe en el que se destacan los pasos que se deben seguir para asegurar la alimentación de los 9,100 millones de personas que habrá en 2050. La mayor preocupación es asegurar que la producción de alimentos sea suficiente para toda la población. El uso de productos procesados de insectos como alimento podría mejorar la alimentación de 805 millones de personas en el mundo que sufren de inseguridad alimentaria. En general, la mayor parte de los insectos ofrece un alto contenido de proteínas, además de elementos como magnesio, selenio, zinc, fósforo, hierro, manganeso y algunas vitaminas. Se destacan seis especies autorizadas actualmente por la Unión Europea para el consumo humano y animal: gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), mosca negra soldado (*Hermetia illucens*), grillo doméstico (*Acheta domesticus*), grillo rayado (*Gryllodes sigillatus*), grillo de campo (*Gryllus assimilis*) y gusano de la harina menor (*Alphitobius diaperinus*) (Aguilera et al., 2021; Arévalo-Arévalo et al., 2022).

2.1.6 Impacto Económico

En la última década se ha impulsado el consumo de insectos procesados como una alternativa para mejorar la aceptación de los consumidores. Asimismo, esto ha impulsado significativamente la producción de insectos, principalmente en Norte América, Europa y África, debido a sus ventajas como alimento humano y animal, así como por sus propiedades nutricionales. (Arévalo-Arévalo et al., 2022). En 2019 el mercado de insectos para consumo humano y animal superó los 112 MDD en el mundo, se espera un crecimiento de más del 47% para el 2026 con un valor aproximado de 710 MDD. Por ello, se espera un aumento de la demanda de productos derivados y procesados de insectos, lo cual representaría oportunidades económicas y de negocios tanto a obreros como a empresarios, pudiendo generar plantas de procesamiento y diversos empleos (Portillo & Edwin,

2017). Actualmente, existen empresas que se dedican a la producción de insectos a nivel industria en México, tal es el caso de la empresa Griyum (Arévalo -Arévalo et al., 2022; Lagos, 2023).

2.1.7 Impacto Ambiental

Factores externos como la contaminación del suelo y del agua debida a la ganadería intensiva y el sobrepastoreo están provocando la degradación de los bosques, lo que contribuye al cambio climático y a otros impactos ambientales destructivos (Huis et al., 2013). La eficiencia de los insectos para la conversión del alimento es muy alta en comparación con los animales de corral, por ejemplo: un grupo de grillos con 1 kg de masa corporal necesita 2 kg de alimento para generar un aumento de 1 kg en su masa corporal total, por el contrario, el ganado requiere 8 kg de alimento para generar un aumento de 1 kg en su masa corporal, por lo que los grillos tienen una eficiencia alimenticia del 50% y el ganado solo del 12.5%. Además, las emisiones de efecto invernadero que generan la mayor parte de los insectos son menores a los generados por el ganado tradicional. Por ejemplo, los cerdos generan de 10 a 100 veces más emisiones con efecto invernadero por kg de peso que algunos insectos. Además, los insectos se pueden alimentar de residuos alimenticios o humanos, como abono o estiércol, y pueden obtener proteínas de alta calidad con estos residuos. También utilizan menor consumo de agua que el ganado tradicional, por ejemplo, los gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*) son más resistentes a las sequías que el ganado, y en general, la cría de insectos depende de menos tierra que la actividad ganadera convencional (Prósper, 2020).

2.1.8 Inocuidad Alimentaria

Hasta la fecha no se ha identificado ningún caso de enfermedades o parasitoides transmitidos a personas que se hayan derivado del consumo de insectos, al igual que cualquier otro alimento, los insectos deben ser manipulados con las mismas condiciones sanitarias. Sin embargo, pueden ocasionar reacciones alérgicas similares a las que causan los crustáceos. En comparación con los mamíferos y las aves, los insectos pueden plantear un

riesgo menor de transmisión de infecciones zoonóticas a los humanos, el ganado y la fauna, aunque este tema debe investigarse más a fondo (Gallegos & Cortéz, 2019). Zielińska et al. (2021) revelaron que existe la posibilidad de alimentar insectos como *Tenebrio Molitor* y *Zophobas Morio* con espuma de poliestireno y posteriormente ser utilizados como alimento humano sin tener alguna consecuencia negativa en la salud. Por otra parte, Knežić et al. (2024) reportaron que la hemolinfa larvaria de insectos como *Tenebrio Molitor* y *Zophobas Morio* tiene un efecto citotóxico en las células, ya que se trataron células humanas cancerosas y normometabólicas y se observaron efectos citotóxicos después de 48 h.

2.2 Insectos de mayor consumo

Se calcula que en el mundo alrededor de 1900 especies diferentes de insectos se utilizan para consumo humano. La mayor parte de las especies identificadas se recolectan de la naturaleza. Sin embargo, la información disponible sobre la cifra de insectos que se consumen en el mundo es inexacta. Actualmente, los insectos más consumidos son los escarabajos (*coleópteros*) (31%), las orugas (*lepidópteros*) (18%), abejas, avispas y hormigas (*himenópteros*) (14%), saltamontes, langostas y grillos (*ortópteros*) (13%), cigarras, fulgoromorfos, saltahojas, cochinillas y chinches (*hemípteros*) (10%), termitas (*isópteros*) (3%), libélulas (*odonatos*) (3%), moscas (*dípteros*) (2%) y otros órdenes (5%) (Apolo, 2015; Cabrera, 2021).

2.2.1 *Gryllus assimilis*

El tamaño de este insecto puede variar de 0.9 y 2.5 cm, por lo que se considera una de las especies de mayor tamaño criadas en cautiverio, por lo general las hembras son más grandes que los machos, sus antenas llegan a crecer lo mismo que su cuerpo y con forme crecen adquieren un color más oscuro. Tanto machos y hembras se desarrollan sexualmente al llegar a la adultez, los machos desarrollan las alas que les permiten generar los sonidos característicos y las hembras su ovipositor. Llegan a vivir hasta 4 meses en ambientes con climas tropicales y temperaturas que van de 20 a 30 °C (Romo, 2024). Llevan una dieta

omnívora y tienen una gran capacidad reproductiva, pudiendo desarrollar más de 200 huevos. Su composición nutricional se destaca porque más del 60% de su peso en seco, es proteína; otros porcentajes en su composición son: 2.8% de minerales, 4.8% de fibra, 7.8% de carbohidratos, 0.7% de fósforo y 0.4% de calcio (Proteinsecta, 2021).

2.2.2 *Acheta domestica*

El grillo doméstico (*A. domestica*) es uno de los que más se utilizan para criar en granjas de insectos, generalmente para comercializarlo como alimento vivo. Llegan a medir 3 cm cuando son adultos, siendo la hembra generalmente más grande que el macho. Esta especie de grillo produce un canto bastante ruidoso que lo caracteriza. El grillo aporta un 62-75% de proteína, 2% de grasa, 3% de minerales, 5% de fibra y 11% de carbohidratos, lo que convierte a esta especie en una de las más solicitadas por su riqueza nutricional como alimento para consumo humano y animal (Proteinsecta, 2021; Cavalheiro et al., 2023).

2.2.3 Características de *Acheta domestica*

El grillo doméstico (*A. domestica*) requiere de 7 semanas para llegar a la etapa adulta y durante este tiempo pasa por 7 mudas. Para la cría de esta especie es recomendado que se tenga una relación de 1 macho por 10 hembras en el cultivo, y retirar los huevos como mínimo cada 2 semanas, ya que es el tiempo que tardan en incubar, cabe destacar que las hembras llegan a poner hasta 30 huevos en cada puesta (Parra, 2023). Dentro de sus características los grillos cuentan con dos ojos simples, dos ojos compuestos, dos antenas, una boca, palpos junto a la boca, dos cercis, dos alas, dos alas coberteras, cuatro patas caminadoras, dos patas saltadoras y las hembras tienen un ovipositor (Portillo & Edwin, 2017).

2.2.4 Ciclo de vida

El ciclo de vida del grillo doméstico criado en cautividad dura entre 2 y 3 meses, generalmente incubados a temperaturas entre 25 y 35 °C, miden entre 16 y 21 mm de longitud, regularmente las hembras son más grandes que los machos.

Durante toda su vida pasan por la etapa de huevo, ninfa y adulto, siendo la etapa de ninfa en la que se desarrolla para llegar a ser adulto (Romo, 2024). Cuando las hembras realizan la puesta, lo hacen en el suelo a 1cm de profundidad para evitar que los huevos sean dañados; con esto comienza el ciclo de vida de los grillos. Para ello, utilizan un órgano sexual llamado ovipositor, el cual tiene una forma tubular alargada que se entierra en el suelo y permite depositar los huevos (Arp et al., 2021).

Los huevos tienen una forma ovalada de aproximadamente 2 mm de largo x 0.5 mm de diámetro. Estos eclosionan entre 10 a 15 días después de la puesta. Las ninfas son de color claro y tienen el cuerpo blando, debido a que todavía no se desarrolla su exoesqueleto, pero se endurece rápidamente y adquiere el color marrón característico de su especie. Durante su desarrollo, las ninfas cambian de exoesqueleto de seis a diez veces hasta alcanzar la madurez. En la última muda, las hembras desarrollan por completo su ovopositor, mientras que los machos desenvuelven sus alas con las que producen su canto característico (Cruz-Fagua & Arévalo-Arévalo, 2021; Vera, 2022; Parra, 2023). En la Tabla 1 se muestran algunas generalidades de *A. domesticus*.

Tabla 1. Generalidades del grillo doméstico (*A. domesticus*).

Característica	Descripción
Distribución	Desde el norte de África y Asia hasta el sur de Europa actualmente es considerado plaga en todo el mundo.
Características	Mide de 0.25 – 0.3 cm, sus antenas llegan a medir lo mismo que su cuerpo. Los adultos, al tener más materia lignocelulósica en su exoesqueleto se digieren con más dificultad que los más pequeños. Son bastante ruidosos. Los adultos cantan activamente y no tienen una vida prolongada.
Hábitat	Viven en pastizales y cerca de hogares humanos.
Comportamiento	Suelen socializar con los de especie, son poco agresivos y territoriales con otros grillos.
Alimentación	Su alimentación es omnívora: comen tallos, verduras, frutas, hojas y algunos insectos.

Fuente: Cruz-Fagua & Arévalo-Arévalo, 2021.

2.3 Factores de Crecimiento

2.3.1 Temperatura

La temperatura es uno de los factores que tienen más relevancia en el

crecimiento y reproducción de grillos (*A. domesticus*). Diversas investigaciones reportan que afecta significativamente en factores como el crecimiento, aumento de biomasa, eclosión de huevos o en la tasa de supervivencia. Se ha informado que las hembras son atraídas por los machos gracias a su canto, principalmente por la noche; como resultado de esta atracción, el macho cede un espermátforo a la hembra, el cual se adhiere a su genitalia (Booth & Kiddell, 2007; Morales et al., 2018; Milian et al., 2020; Ssepuuya et al., 2021; Takacs et al., 2023).

La oviposición ocurre un día después de la cópula y los huevos eclosionan a los 14-15 días a una temperatura de 29-30 °C. por el efecto de la temperatura. La transición de huevo a adulto demora de 2 a 3 meses aproximadamente. Se observa que tanto los grillos criados en condiciones controladas como los grillos silvestres se adaptan a temperaturas muy similares. En México la población de grillos se distribuye en casi todo el país, de norte a sur, pasando por costas y zonas altas que varían en altitud desde 0 – 2,000 metros sobre el nivel del mar teniendo preferencia por climas templados a cálidos (26 a 30 °C). Suelen encontrarse en bosques, vegetación secundaria y áreas aledañas a casas de zonas rurales (Lachenicht et al., 2010; Arévalo-Arévalo et al., 2022).

Diversos autores han estudiado el efecto de la temperatura en el crecimiento del grillo. Booth & Kiddell, (2007) investigaron la influencia de la temperatura de crianza sobre la energía del desarrollo en grillos domésticos. Los grillos criados a 25 °C crecieron lentamente y tardaron en desarrollarse, pero obtuvieron una mayor masa corporal adulta en comparación con los grillos criados a 28 °C. La energía metabólica total consumida durante el desarrollo a 25 °C fue el doble para la crianza a 28 °C, principalmente debido al período de desarrollo más prolongado; como consecuencia, el costo neto específico del crecimiento fue mucho mayor para los grillos criados a 25 °C. Se ha informado que la temperatura óptima de crecimiento es de 25-29 °C. Lachenicht et al. (2010) evaluaron la tasa de mortalidad de *A. domesticus* adultos a diferentes temperaturas, mostrando más decesos a temperaturas mayores a 30 °C que a

temperaturas menores a 30 °C, registrándose una tasa de mortalidad de 60-70% a 33°C y 20-30% a 25 y 29 °C, siendo 29 °C la temperatura óptima.

Por otra parte, Morales et al. (2018) analizaron grupos de grillos para calcular la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos a temperaturas de 27 y 29 °C. Los grillos incubados a 27 °C produjeron más biomasa y los adultos fueron significativamente más grandes que los que se desarrollaron a 29 °C. Un análisis económico resultó en ganancias ligeramente mayores por g de cría/año a 27 °C. Asimismo, Takacs et al. (2023) evaluaron el efecto que tiene la temperatura (25, 30, 35 °C) en la producción de biomasa de grillos domésticos, demostrando que a mayor temperatura la biomasa de los grillos aumenta significativamente y observando mayor aumento de biomasa con aproximadamente 10 g a los 35 °C, seguido de 30 °C de temperatura (5 g) y 25 °C (3 g).

2.3.2 Luminosidad

Se ha informado que los grillos domésticos pasan la mayor parte del tiempo lejos de iluminaciones muy brillantes. En un estudio realizado se sometieron a 32 grillos a dos intensidades de luz diferentes en contenedores con dimensiones de 33 × 21 × 29.5 cm, la fuente de iluminación provenía de la propia iluminación del laboratorio, la cual se ajustó a 169 lux como iluminación baja y 508 lux como iluminación alta. Se observó que los grillos se quedaban cerca de las paredes y cruzaban la zona central a gran velocidad. Una iluminación más brillante se asocia con una mayor velocidad, en particular en la zona central lo que sugiere que los grillos tratan de evitar la iluminación brillante, por lo que se recomienda no utilizarlas (Vossen et al., 2022).

An & Navia (2021) mencionaron que las hembras responden más al llamado de los machos en horas del día determinadas, con mayor frecuencia al amanecer y a la media noche. Asimismo, que hembras analizadas al medio día con luz brillante atendieron en menor medida al llamado de los machos que las hembras analizadas al medio día con luz roja. Por otra parte, Ferenz (2023) evaluó la viabilidad embrionaria de *A. domesticus* con los embriones expuestos a luz visible roja, amarilla, verde, azul, blanca y con ausencia de luz. Triplicaron la

prueba en cada condición y observaron que los huevos expuestos a luz roja son significativamente más viables en el conteo de las ninfas eclosionadas, obteniendo 46 -72% con luz roja, 20-34 % con luz amarilla, 17-27 sin luz, 0-14% con luz verde, 0-10 con luz azul y 0% con luz blanca.

2.3.3 Humedad

Diversos autores indican que la humedad relativa en la que se desarrollan los grillos varía entre 40 y 70%. Rodríguez-Chacón (2020) menciona que el rango ideal de humedad para grillos domésticos oscila entre 50 a 60%, debido a que humedades demasiado altas pueden facilitar el crecimiento de hongos y moho. En México la población de grillos está ampliamente distribuida, se pueden encontrar en casi cualquier entorno como: bosques, pastizales, humedales, cuevas y playas. Generalmente tienen una preferencia por temperaturas templadas a cálidas (25 a 31 °C) y humedades entre 45 y 60%. Suelen encontrarse en bosques, vegetación secundaria y áreas aledañas a casas de zonas rurales (Arévalo-Arévalo et al., 2022).

Por otra parte, los insectos respiran mediante la inhalación de oxígeno y la expulsión de dióxido de carbono. Sin embargo, los insectos no poseen pulmones para respirar, en su lugar disponen de tráquea, esta es una red de tubos cilíndricos que permiten el paso de aire mediante la apertura y cierre de sus extremos; estos tubos llamados estigmas llegan a todos los órganos del cuerpo y se ramifican en tubos con paredes más finas que son permeables, lo que permite el intercambio de gases a través de dicha pared. Esta red de tubos constituye el aparato respiratorio de los insectos, incluidos los grillos (Vijandi, 2015).

2.3.4 Alimentación

Los grillos tienen una alimentación omnívora, aunque también son carroñeros y se alimentan de los recursos que tienen disponibles, si el alimento es escaso, es muy común que se presente el canibalismo y los grillos más grandes se alimenten de los más pequeños. En la reproducción de grillos para consumo

humano, se pueden alimentar con frutas, frutas secas o mezclas de algunas semillas, calabaza, nueces o almendras, además se pueden alimentar con pasto, trigo, brócoli, hojas de lechuga y zanahoria. Los alimentos favoritos de los grillos son las frutas como manzanas, naranjas, frutos rojos, mango, papaya y banano, así como papa, hojas de bore y yuca (Cruz-Fagua & Arévalo-Arévalo, 2021; Aguilar, 2024).

Sorjonen et al. (2019) evaluaron 14 dietas experimentales que contenían subproductos (proteína de patata, puré de cebada, pienso de cebada, nabo y mezcla de habas y guisantes). La mejor dieta general de subproductos para *A. domesticus* fue el puré de cebada con contenido medio en proteínas, con una composición de 7.4% de grasas, 22.5% de proteínas y 58.2% de carbohidratos. Asimismo, Lundy & Parrella (2021) alimentaron grillos con cinco dietas compuestas diferentes, cuatro dietas que contenían desechos de alimentos y residuos de cultivos y un control de alimento para aves, de las cuales la dieta de desechos con 7.2% de ceniza, 19.3% de grasas y 28.8% de proteína fue con la que se propició mayor crecimiento de grillos. Por otra parte, Van Peer et al. (2021) utilizaron 4 dietas para evaluar la alimentación en grillos, usaron una dieta para vacas lecheras, una dieta para vacas lecheras suplementada con levadura, una dieta arbórea aromática y una dieta a partir de desechos orgánicos que contenía frutas, verduras, arroz, pasta, carne de cerdo, ternera, pan, pieles de queso y yema. La alimentación con desechos orgánicos mostró mayor generación de biomasa con un peso de 0.45 g en promedio para los grillos después de 8 a 9 semanas de alimentación.

2.3.5 Espacio

La producción de grillos depende en gran parte del espacio en el que se desarrollan. Por ejemplo: un recipiente de plástico de 0.6 x 0.4 x 0.3 m podría generar entre 1 y 2 kg de grillos por ciclo o lote; un contenedor de madera de 240 x 120 x 50 cm podría generar entre 20 y 30 kg por lote; y un contenedor de cemento de 245 x 140 x 70 cm podría generar de 25 a 30 kg. La selección del diseño permitirá optimizar el espacio disponible y facilitará el control y manejo

de los insectos (Cruz-Fagua & Arévalo-Arévalo, 2021). Takacs et al. (2023) evaluaron el efecto de la densidad de población del grillo doméstico en el aumento de la biomasa, utilizaron grupos de grillos con diferente densidad de población, 10, 20 y 40 individuos por grupo. Los resultados obtenidos muestran que mayores densidades de población favorecen al incremento de biomasa, siendo los grupos de 40 grillos los de mayor aumento.

2.4 Generalidades biológicas de *Acheta domestica*

Los grillos (*A. domestica*) pasan por tres etapas durante su crecimiento: huevecillo, ninfa y adulto. Durante su periodo como ninfa, que dura alrededor de 6 semanas, pasan por varias mudas de exoesqueleto, alrededor de 7-10 mudas (Cruz-Fagua & Arévalo-Arévalo, 2021).

2.4.1 Reproducción

Los grillos alcanzan la madurez reproductiva al cabo de 8 semanas desde la puesta. Después de la última muda, los machos desenvuelven sus alas y las hembras desarrollan el ovipositor, y al cabo de 3 o 4 días son capaces de reproducirse. El cortejo inicia cuando los machos friccionan sus alas y generan el sonido característico, es debido al sonido que las hembras son atraídas y son las hembras las que se dirigen hacia donde está el macho (Bent et al., 2018). (Erregger & Schmidt, 2018) Y (Bent et al., 2018) mencionan que las señales acústicas de los invertebrados pueden proporcionar información sobre los atributos fenotípicos de los machos y que las hembras pueden utilizar esta información acústica en la elección de pareja para seleccionar una pareja fenotípicamente superior. Algunas especies como los grillos topo (*Gryllotalpa gryllotalpa*) elaboran refugios bajo tierra, los cuales tienen formas que les permiten aumentar el sonido que generan, con el fin de atraer más parejas sexuales.

Cuando la hembra está cerca, el macho intensifica su sonido y comienza a dar pequeños toques con sus antenas para reforzar su interés. Después del cortejo, la hembra sube a la espalda del macho para recibir un espermatóforo del macho,

colocándolo en sus genitales externos; posteriormente este espermatóforo pasa al receptáculo seminal de la hembra y los huevos maduros son fecundados; finalmente, los huevos fecundados pasan al ovipositor y son depositados en el suelo, aproximadamente a 1 cm de la superficie. La hembra puede almacenar el espermatozoides del macho en su espermateca durante dos semanas por lo que debe aparearse de nuevo para seguir poniendo huevos (Salemi et al., 2020). Después de 6-8 semanas de nacidos, los grillos de *A. domesticus* alcanzan la adultez. En la última muda, las hembras desarrollan por completo su ovipositor, mientras que los machos desenvuelven sus alas con las que producen su canto característico (Cruz-Fagua & Arévalo-Arévalo, 2021).

2.4.2 Puesta de huevos

Las hembras depositan los huevos bajo tierra, llegan a poner entre 25 y 30 huevos en cada puesta, estos huevos tienen una forma ovalada de aproximadamente 2 mm de largo x 0.5 mm de diámetro. Dependiendo de la temperatura, los huevos eclosionan al cabo de 10-15 días. Pasado el periodo de incubación, de los huevecillos nacen pequeños grillos que tienen un aspecto similar a los adultos y se denominan ninfas, estas son de color claro y tienen el cuerpo blando, pero con el tiempo se endurecen y adquieren un color marrón oscuro. En la última muda, las hembras desarrollan por completo su ovipositor, mientras que los machos desenvuelven sus alas con las que producen su canto característico para atraer a las hembras. La esperanza de vida como adulto del grillo *A. domesticus* puede ir de 3 a 4 meses (Cruz-Fagua & Arévalo-Arévalo, 2021).

2.4.3 Crecimiento

La rapidez con la que crecen los grillos se relaciona directamente con su alimentación, la disponibilidad de agua y la temperatura ambiental. Se ha registrado que grillos en criaderos a 29 °C, tardan entre cuatro y seis semanas para llegar a la adultez; asimismo, el tiempo de vida de un adulto variará de acuerdo con sus condiciones de vida, pudiendo vivir en promedio entre 10 y 12 semanas (Cruz-Fagua & Arévalo-Arévalo, 2021). La temperatura influye mucho

en la velocidad de crecimiento del grillo, en incubación con temperatura controlada (Tabla 2). Takacs et al. (2023) observaron que a mayor temperatura los grillos tienden a desarrollar mayor masa corporal.

Tabla 2. Condiciones óptimas de crecimiento de *A. domesticus*.

Parámetro	Rango óptimo
Temperatura (°C)	25-32
Humedad relativa (%)	45-60
Tiempo de maduración (días)	30-40
Tiempo de eclosión de huevos (días)	11-16

Fuente: Cruz-Fagua & Arévalo-Arévalo, 2021.

2.4.4 Canibalismo

La especie es relativamente resistente a las condiciones ambientales y es productiva en cultivo masivo, sin embargo, bajo alta densidad de población muestra una tendencia al canibalismo, al igual que en ambientes con escasez de alimento (Proteinsecta, 2021).

2.4.5 Características de machos y hembras

Una característica que resalta entre los grillos *A. domesticus* es que las hembras suelen tener un color más oscuro que los machos y sus alas tienen la forma completamente lisa, lo que caracteriza a su sexo. Además, el ovipositor que tienen las hembras es la característica más notable ya que sobresale de la parte anterior de las hembras y tiene una forma tubular, es un apéndice que solamente tienen las hembras y con el depositan los huevos cuando realizan una puesta, se localiza en el abdomen y les permite ocultar los huevecillos bajo tierra. Otra característica que diferencia los grillos macho y hembra es que los grillos machos son los únicos que realizan el canto, y suele ser con el fin de atraer a las

hembras para reproducirse (Cruz-Fagua & Arévalo-Arévalo, 2021; Salazar & Venegas, 2023).

2.5 Aporte Nutricional

El contenido nutricional del grillo doméstico es de gran importancia por el aporte proteico que varía entre 55% y 71% y se caracteriza por tener la mayoría de los aminoácidos esenciales (metionina, lisina, valina, leucina y treonina) y otros componentes tales como grasas (14% a 23%), vitaminas del grupo B y micronutrientes como cobre, hierro, magnesio, calcio, fósforo y zinc (Arévalo-Arévalo et al., 2022; Cavalheiro et al., 2023). En la Tabla 3 se muestra la composición nutricional de *A. domesticus*.

Tabla 3. Composición nutricional de *A. domesticus*.

Nutriente	Contenido (100 g de materia seca)
Proteína (g)	65.52
Grasa (g)	21.80
Fibra (g)	8.60
Hierro (mg)	2.78
Calcio (mg)	45.30

Fuente: Elourdy, 2006.

2.6 Producción de Grillo a Nivel Industrial

En 2021 la Red de Seguridad Alimentaria elaboró un reporte cuyo propósito fue valorar los riesgos que conlleva la cría de insectos a nivel industrial. En dicho informe se describen los pasos involucrados en la producción primaria y procesamiento industrial de grillos para consumo humano, los cuales se enumeran en 5 etapas: reproducción, alimento, crecimiento de población, cosecha y faena (Arp et al., 2021).

2.6.1 Reproducción

Para el cultivo inicial es recomendado usar lotes de grillos de origen conocido, que se deben colocar en contenedores con recipientes que contengan algún sustrato que permita que las hembras realicen la oviposición de los huevos, por ejemplo: turba de musgo del género *Sphagnum* o vermiculita húmeda; después de la puesta, estos recipientes son retirados del sitio de la puesta, se tapan y se colocan en lugares para incubar con ambientes de 25 – 35 °C entre una y dos semanas hasta que las ninfas eclosionan de los huevos. Después de la eclosión, las ninfas se deben trasladar a un contenedor acondicionado para su posterior crecimiento. Para obtener un engorde más homogéneo de los grillos, en un contenedor deben estar las ninfas que nacieron el mismo día, de esta manera, se logra obtener el engorde de insectos por lotes de la misma edad (Huis et al., 2013).

2.6.2 Alimento

Dependiendo del lugar donde se reproduzcan los grillos, las dimensiones de la planta y el destino de los productos, los grillos se pueden alimentar con alimentos procesados de cereales, alimento para aves, conejos, entre otros. Estos se pueden usar individualmente o en conjunto con levaduras residuales, frutas y hortalizas, con el fin de mejorar el aporte nutricional y aumentar la supervivencia de los insectos y su peso final (Cavalheiro et al., 2023).

2.6.3 Crecimiento de la población

La biología y comportamiento de la especie son factores que se deben tener en cuenta para que haya una correcta reproducción y crecimiento de los grillos, incluyendo parámetros como la temperatura, humedad, espacio, tipo de contenedor, o la ventilación. La velocidad de crecimiento de los grillos depende significativamente de la temperatura. Un rango entre 26 y 30 °C es el ideal para la reproducción de la mayoría de las especies de insectos; la humedad del

ambiente también influye, por lo que se debe mantener en un rango de 45 a 65% en grillos adultos, y alrededor de 65% para la incubación de huevos. La crianza se debe realizar en espacios cerrados para evitar la contaminación con otros insectos, fugas de población y facilitar el manejo de los estos. Se suelen utilizar espacios aislados, cada uno con una población propia, fuente de alimentación y agua. Dichos espacios deben ser sanitizados después de cada lote de insectos que se crían, con el fin de disminuir riesgos de contaminación con plagas y enfermedades que los insectos anteriores pudieran haber tenido. También, los espacios de cría deben ser herméticos y evitar el contacto con los otros espacios para disminuir las mermas en caso de que se contamine alguno de los espacios. Los espacios deben contar con un suministro de aire, alimento y agua y pueden ser fabricados de concreto, madera, plástico, acrílico o vidrio (Pérez et al., 2018; RSA-CONICET 2021).

2.6.4 Cosecha

Antes de la cosecha, es importante llevar un tiempo de ayuno para los grillos, esto para que haya tiempo de evacuar el intestino y se disminuya el riesgo de contaminación por heces, debiendo realizarse varias horas antes de la cosecha con el fin de retirarles todo el alimento. En la cosecha se deben retirar a los grillos del sustrato, retirar los contenedores y limpiarlos, quitando todo lo que se les pudo haber quedado adherido. Una porción de los grillos reproducidos se destina a la reproducción, para asegurar la continuación de la cría, el resto se destina a la cosecha. En el caso de los grillos, la cosecha se realiza entre el quinto y el séptimo instar (estadía ninfal o adulto), cuando los grillos se encuentran entre un 50 y 100% de su peso máximo. En este proceso es común que se produzca mucho polvo, por lo que, el lugar debe estar adecuadamente ventilado, se han reportado en alergias propias del contacto con el polvo generado por los insectos, probablemente causadas por su contenido de ácaros (RSA-CONICET 2021).

2.6.5 Faena

Existen muchas técnicas para la faena de los insectos. Los métodos de faena más comunes son: Por frío y por calor, el método por frío se basa en aplicar temperaturas de congelamiento por debajo de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que las proteínas no se desnaturalizan demasiado y las vitaminas se conservan de mejor manera, pero la carga microbiana no se elimina. Los insectos congelados se pueden almacenar a la misma temperatura en empaques herméticos para su posteriormente ser procesados. El método por calor se basa en el empleo de temperaturas que van desde $60\text{-}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 3 a 5 min. Comúnmente, los insectos se cocinan en agua caliente o al vapor, por lo que la carga microbiana se reduce bastante. La temperatura es suficiente para reducir el microbiota intestinal y los parásitos, pero no esporas bacterianas. Algunos nutrientes y elementos sensoriales se pueden degradar con el calor, por lo que no suele ser una práctica muy frecuente cuando el producto se vende para consumo directo (RSA-CONICET 2021).

Capítulo III

Desarrollo y metodología

3.1 Diseño CAD/CAM del Prototipo

En la Figura 2 se muestra el CAD/CAM del prototipo diseñado en "Block Crazy Robo Word", el cual consiste en una estructura rectangular de 0.40 m de largo x 0.45 m de ancho x 1 m de alto y cuenta con 3 divisiones horizontales de 0.15 m de altura (tercer nivel), 0.3 m (segundo nivel) y 0.45 m (primer nivel). En estas divisiones encajan 3 cajones de 0.145 x 0.400 x 0.395 m, 0.295 x 0.400 x 0.395 m y 0.445 x 0.400 x 0.395 m, respectivamente. El tercer nivel se diseñó para la incubación de los huevecillos, el segundo nivel para incubar los grillos en etapa de desarrollo y el primer nivel para incubar grillos adultos. En el último nivel se colocaron cajas rectangulares con vermiculita, ya que este sustrato permite a las hembras la puesta de huevos. Una vez que se realizan las puestas, las cajas se pueden trasladar al tercer nivel para esperar la eclosión de los huevos. Los niveles están dispuestos de esa forma para facilitar la separación de los grillos de acuerdo con su tamaño y evitar las tendencias caníbales de los grillos adultos hacia los más pequeños.

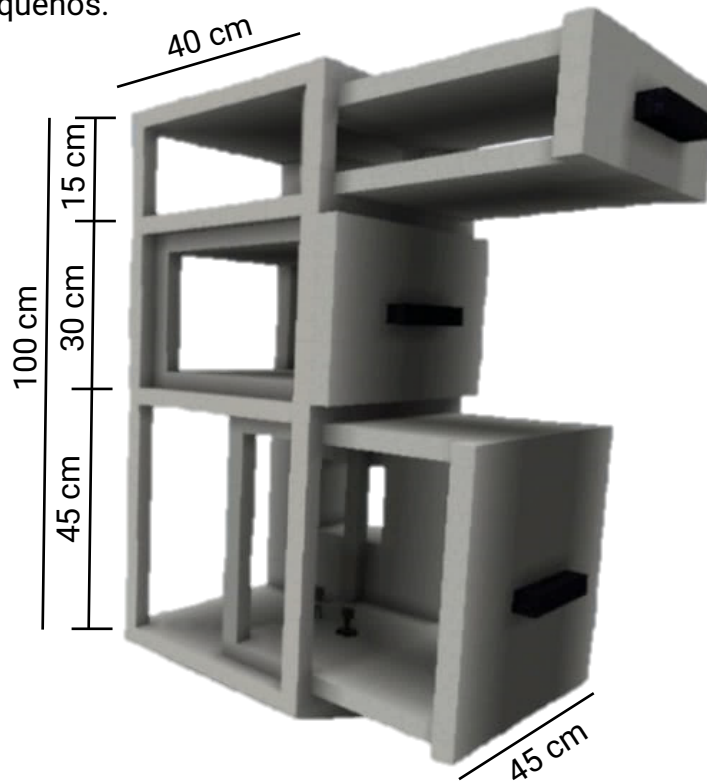


Figura 2. Diseño CAD/CAM del prototipo de incubadora.

3.2 Elaboración e instalación de los componentes en la Incubadora

Los componentes se seleccionaron con base en las necesidades del proyecto, principalmente en las necesidades biológicas de *A. domesticus*, ya que requieren condiciones específicas de temperatura y humedad para un correcto desarrollo. La estructura de la incubadora se elaboró de aluminio, con perfiles cuadrados de 1", lámina de aluminio de 1 mm de espesor y madera de ½". El tubular y la lámina se unieron con ángulos de aluminio y remaches para fijarlos entre sí. En la Tabla 4 se muestran las características de los componentes empleados en la incubadora. Para el control de temperatura y humedad se utilizó el controlador (Modelo STC 3028), y se colocó en la parte superior de la incubadora, con una inclinación de 45°. Los humidificadores (Modelo Egg220) se colocaron en la parte trasera de la incubadora, asimismo, los ventiladores (Modelo LS-904) se colocaron sobre los humidificadores para conducir el vapor dentro de la incubadora, los focos incandescentes (Modelo AD-2921) se colocaron dentro de cada nivel, lo que permite aumentar la temperatura en el interior.

Tabla 4. Generalidades técnicas de los componentes empleado en la incubadora.

Componente	Modelo	Voltaje (V)	Potencia (W)	Características
Controles	STC-3028	110-220 AC	---	Precisión
				☒ 0.1 %HR
				☒ 0.1 °C
				Rango de operación
				☒ 0 – 100% HR
				☒ -20 – 80 °C
Ventiladores	LS-904	5-9 DC	---	Capacidad
				☒ 10 A a 220 V
Humidificadores	Egg220	5 DC	---	Velocidad
				☒ 4 m/s a 5 V
				☒ 5 m/s a 7 V
				☒ 6 m/s a 9 V
				Capacidad máxima
Focos	AD-2921	110 AC	7	☒ 9 V
				Frecuencia
				☒ 113 Hz
Focos	AD-2921	110 AC	7	Capacidad
				☒ 200 mL
				Tecnología
Focos	AD-2921	110 AC	7	☒ Incandescente
				Vida útil
Focos	AD-2921	110 AC	7	☒ 1000 h

HR: Humedad relativa

Para su elaboración, se cortó el aluminio en las medidas correspondientes con ayuda de una caladora y esmeril. Los cortes se unieron entre sí utilizando ángulos y se fijaron con remaches. Una vez armada la estructura, la lámina se colocó sobre el tubo de aluminio para posteriormente fijarla con remaches. En la parte superior se colocó un cajón de madera que se unió al aluminio con pijas de 2". Se realizaron las conexiones eléctricas correspondientes a los controladores STC-3028. Los controladores se colocaron dentro del cajón de madera. Se instaló el circuito eléctrico como se muestra en la Figura 3 y se colocaron los vidrios con silicón en la parte frontal. Como fuente alimentación se utilizó el suministro de la red eléctrica local de aproximadamente 125 V en corriente alterna, el cable de fase (línea negra) se conectó a la alimentación del controlador STC-3028 (rectángulo azul) y también a las entradas de control de humedad y temperatura. Las salidas de control de humedad y temperatura (línea gris) se conectaron a un transformador-rectificador (clavija de cargador), obteniendo 5 V en corriente continua para alimentar al ventilador y al humidificador, ya que requieren de 5 V DC, los focos se conectaron directamente de la salida de control de temperatura (línea gris) y del neutro (línea verde). Adicionalmente se colocó un interruptor en la fase AC (cable negro) para interrumpir el suministro eléctrico y así facilitar operaciones de mantenimiento y evitar accidentes. Todas las conexiones se realizaron de igual manera para cada controlador.

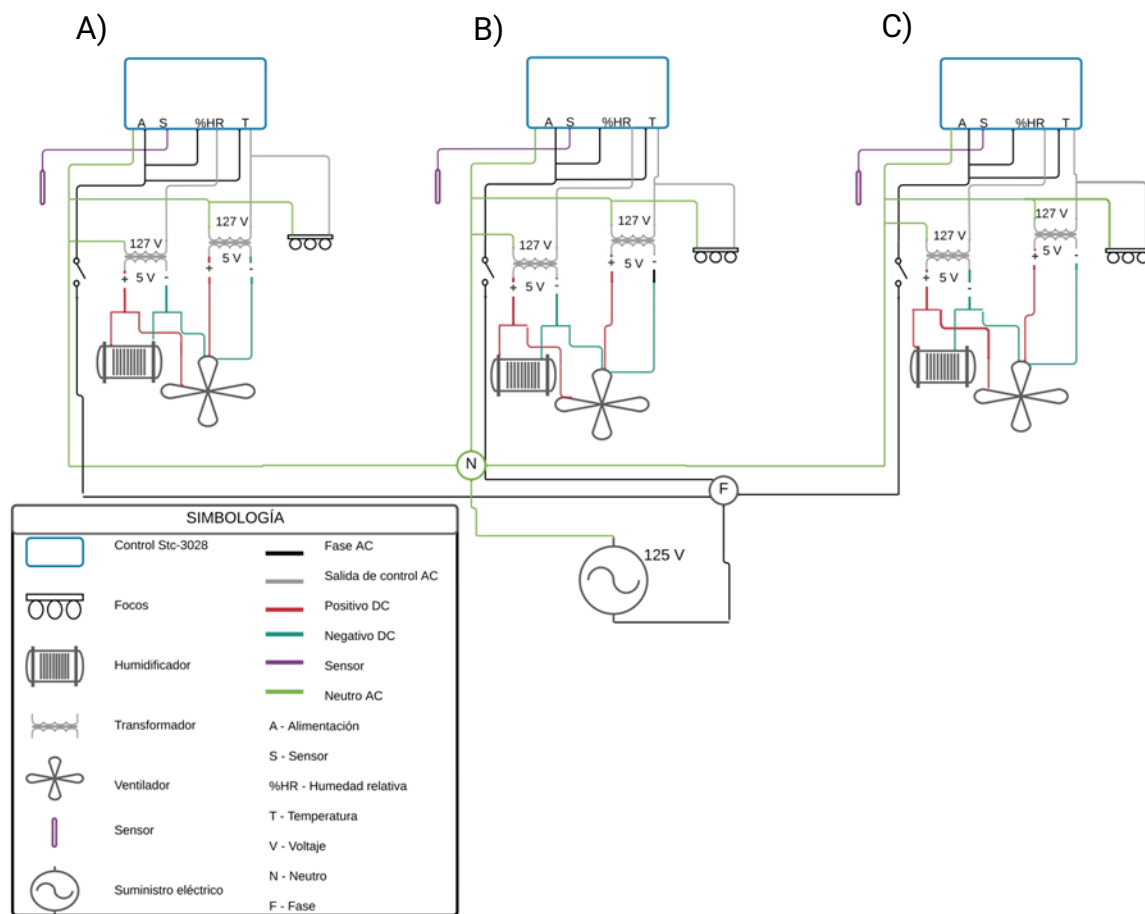


Figura 3. Diagrama del circuito eléctrico del sistema. A) Nivel 1; B) Nivel 2; C) Nivel 3.

Cada uno de los niveles cuenta con controladores de humedad relativa, temperatura, el sistema de ventilación y el sistema de iluminación. El sistema de iluminación y calefacción consiste en 3 focos en el tercer nivel, 5 en el segundo y 10 en el primero (Figura 3), los cuales se colocaron en la parte superior de los cajones. El sistema de ventilación consiste en ventiladores dispuestos en la parte trasera de cada cajón y bajo cada ventilador se colocó un humidificador, ambos alimentados con una fuente de 5V DC. Los sensores de temperatura y humedad (Tabla 4) se colocaron en la parte superior de cada nivel, registrando datos con 0.1 °C y 0.1% de precisión en la temperatura y humedad relativa, respectivamente.

3.3 Determinación de los rangos ideales de temperatura y humedad

Las pruebas de efectividad del sistema de la incubadora indicaron que el prototipo era capaz de controlar la temperatura, humedad y ventilación de manera correcta, por lo que se evaluó con un grupo de grillos para observar su desempeño. La selección de la muestra se realizó de manera no probabilística, ya que el diseño, los componentes y los materiales de construcción del prototipo se seleccionaron de acuerdo con las necesidades del proyecto, específicamente a las necesidades biológicas y a la naturaleza del grillo doméstico (*A. domesticus*). La muestra de grillos seleccionados se obtuvo de “mercado libre” una tienda en línea de la cual se adquirieron un aproximado de 200 grillos adultos.

Las pruebas se realizaron en los niveles 1 y 2, debido a que la mayoría de los grillos eran adultos, los niveles se acondicionaron con sustrato de vermiculita en el fondo, un bebedero de plástico con algodón húmedo, alimento comercial para animales, alimento fresco como zanahoria o manzana, y conos de cartón como refugio. La prueba inicio al introducir los grillos dentro de los cajones, en los cuales se colocaba alimento y agua periódicamente, además se daba mantenimiento cada que los cajones se encontraban en malas condiciones (*Créditos a: Ana Karen Hernández Martínez, Dra. Mayra Nicolás García y Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa*).

3.4 Análisis de datos

Para el análisis de datos se elaboraron graficas de dispersión para visualizar el comportamiento de los datos en el programa Excel de la paquetería de Office (Versión 2016). Se realizó el análisis de regresión lineal y análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en ingles). La regresión lineal permitió visualizar la relación que existe entre la temperatura y la humedad dentro de la incubadora, el ANOVA permitió determinar que no existe una diferencia significativa entre los datos censados por los sensores de la incubadora y los censados por los termómetros analógicos externos.

Capítulo IV

Resultados

4.1 Elaboración del prototipo de la Incubadora de Grillo

En la Figura 4 se muestra en el prototipo de la incubadora de grillo, el cual se divide en 3 secciones dispuestas una sobre otra: tercer nivel, segundo nivel y primer nivel, teniendo medidas de 0.145 x 0.400 x 0.395 m, 0.295 x 0.400 x 0.395 m y 0.445 x 0.400 x 0.395 m, respectivamente. En la parte superior se encuentran los controladores de humedad relativa y temperatura.

El sistema funciona de la siguiente manera, se debe introducir un valor de encendido y uno de apagado, cuando el sensor indique una temperatura o humedad menor al valor de encendido el control activará los focos y el ventilador o el humidificador y el ventilador, según sea el caso. Cuando el sensor indique una temperatura o humedad que supere el valor de apagado el control apagará los focos y el ventilador o el humidificador y el ventilador, según sea el caso. De ese modo la temperatura y humedad se mantienen en un rango determinado en 25 – 30 °C y 50 – 80% respectivamente, teniendo la posibilidad de modificarlo entre -120 – 80 °C en la temperatura y 0 – 100% en la humedad relativa. Los focos actúan como fuente de calor para elevar la temperatura, los humidificadores como fuente hídrica para elevar la humedad y el ventilador como oxigenación y homogeneizador de la temperatura y humedad.

Cabe mencionar que los 3 niveles están aislados entre sí, por lo que son sistemas autónomos y pueden funcionar, aunque alguno de los otros dos sistemas este apagado. En la Figura 4 A) se muestra la incubadora con los cajones puestos y en la 4 B) sin los cajones. En esta se pueden apreciar las separaciones que aíslan los cajones entre sí, dando como resultado sistemas independientes, esto con el objetivo de separar los grillos por tamaño e incubarlos a diferente temperatura, ya que dependiendo de la etapa en la que se encuentra, requiere diferentes condiciones de crecimiento.

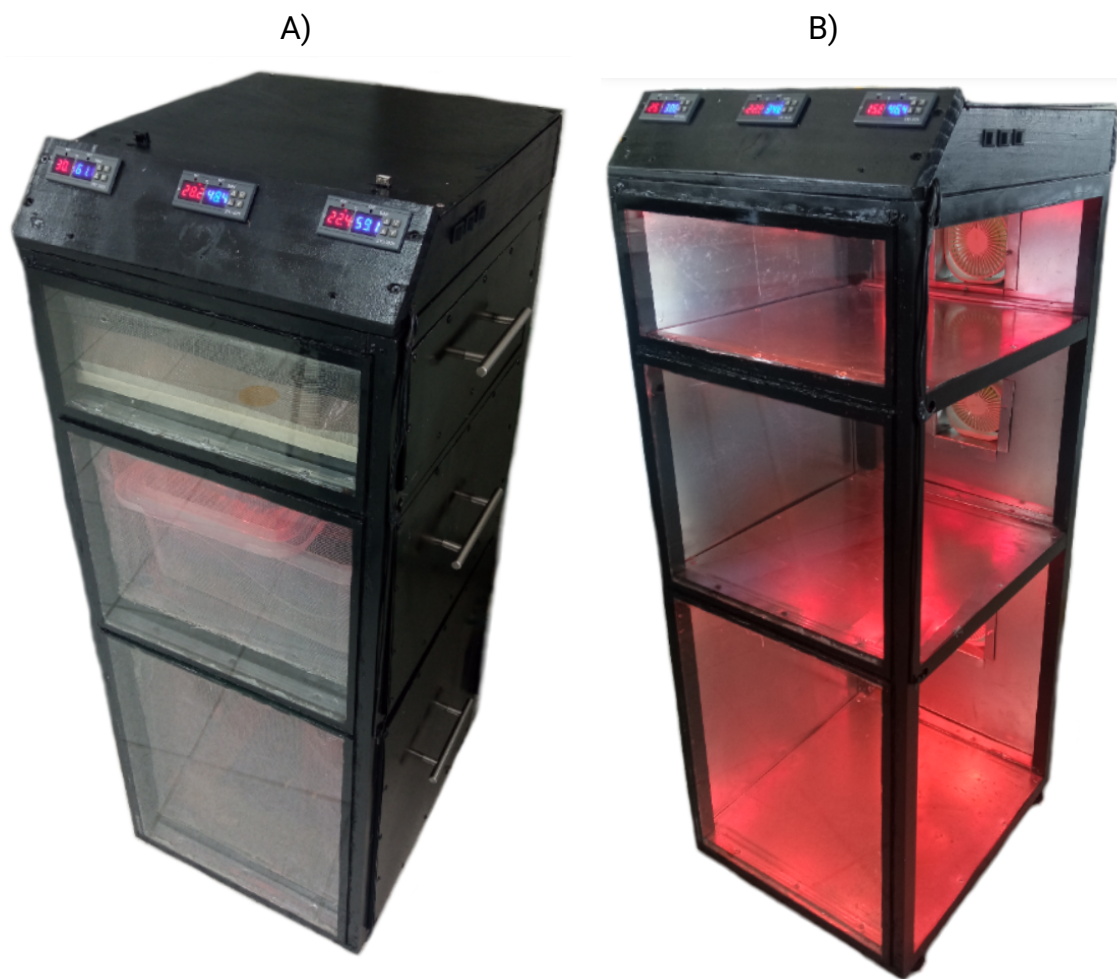


Figura 4. Prototipo de incubadora de grillo. A) con cajones B) sin cajones

En la Figura 5A se muestra el ventilador correspondiente al tercer nivel, debajo de él se encuentra el humidificador que permite elevar la humedad dentro de la incubadora (cilindro negro). Cuando el sistema está activado, el humidificador comienza a vibrar a una frecuencia de 113 Hz aproximadamente; a esta frecuencia el agua con la que tiene contacto se evapora y sale del humidificador, posteriormente es dirigida dentro de la incubadora con ayuda del ventilador, de esta forma es como se consigue elevar la humedad.

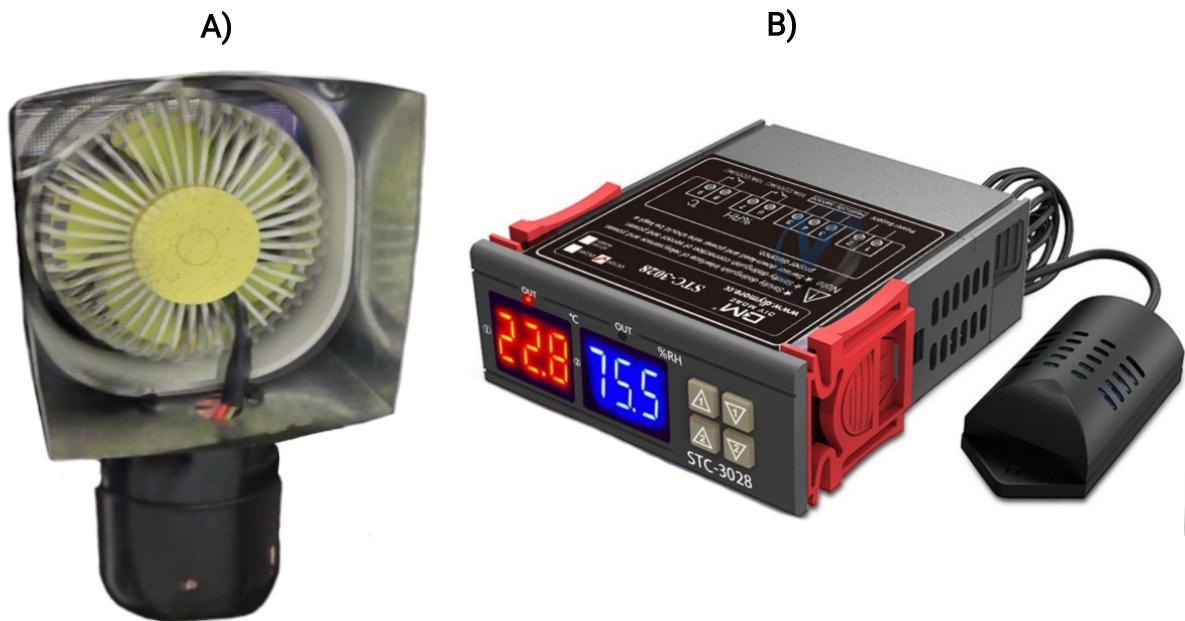


Figura 5. Sistema de componentes de control. A) Ventilación y humidificación; B) Control STC-3028.

En la Figura 5B se muestran los controladores de temperatura y humedad; en estos, los valores en color rojo indican la temperatura y los valores en azul indican la humedad. Para establecer el valor de encendido se presiona durante 3 s el botón de la izquierda, el superior para la temperatura y el inferior para la humedad, cuando el *display* parpadea se puede introducir el valor, el botón de la izquierda para aumentar el valor y el de la derecha para disminuirlo. Para establecer el valor de apagado se deben presionar durante 3 s los botones de la derecha, el superior para la temperatura y el inferior para la humedad; cuando el *display* parpadea se puede introducir el valor, presionando el botón de la izquierda para aumentar el valor y el de la derecha para disminuirlo. Para calibrar la temperatura y humedad, se presionan los dos botones al mismo tiempo por 3 s, los superiores para la temperatura y los inferiores para la humedad.

El prototipo de incubadora demostró tener un impacto positivo en la cría de *A. domesticus*, ya que se observó un incremento considerable de grillos con

respecto a la población inicial, la cual aumentó un 152%, esto indica que la incubadora favorece la reproducción de *A. domesticus*. Los resultados observados coinciden con lo observado en la incubadora de Romo (2024), en ella se logró la eclosión del 85% de los huevos en incubación, lo cual contrasta mucho con el 10% registrado de manera natural, si bien, en este proyecto no se contabilizaron los huevos puestos en incubación y no se cuenta con un porcentaje de eclosión de los huevos, el aumento de población de los grillos es un indicador que sugiere la viabilidad del prototipo.

4.2 Pruebas de Funcionalidad

La funcionalidad del prototipo se evaluó durante 6 meses consecutivos para evaluar su desempeño; las observaciones se presentan en la Tabla 5. Durante el período de prueba, en general los componentes presentaron correcto desempeño, a excepción del comienzo del segundo mes, en el que algunos focos se fundieron, por lo que se colocaron sockets y así se solucionó el problema. Además, en el sexto mes el controlador del segundo nivel presentó problemas, por lo que se cambió por otro para resolver el problema.

Tabla 5. Comportamiento del funcionamiento de la incubadora.

Componentes	Periodo (Meses)					
	1	2	3	4	5	6
Controles STC-3028	✓	✓	✓	✓	✓	X
Humidificadores	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ventiladores	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Focos	✓	✓	X	✓	✓	✓
Estructura	✓	✓	✓	✓	✓	✓
No presenta fallas	✓	Presenta fallas				X

4.3 Pruebas de Efectividad

Se realizaron mediciones de la temperatura y la humedad dentro de la incubadora con higrómetros digitales y termómetros analógicos para comparar los datos con los de la incubadora, las observaciones se presentan en la sección de anexos Tabla 9. En la Figura 6 se muestran graficas del comportamiento de ambas lecturas de temperatura (incubadora y externo) en los niveles 3, 2 y 1 para visualizar el comportamiento de los datos de ambos sensores en cada nivel. El eje X corresponde al número de medición de la temperatura y el eje Y al valor de la temperatura registrado por los sensores.

En la Figura 6A se puede observar que los datos de ambos sensores en el tercer nivel tienen una tendencia bastante similar, con una diferencia máxima de 3.1 unidades; en la Figura 6B se observa que existe una desviación más alta en el segundo nivel, con 5.8 unidades, aunque, en general siguen la misma tendencia, asimismo, en la Figura 6C se observa que hay una desviación mucho más alta, con hasta 9.7 unidades de diferencia; sin embargo, la tendencia de los datos es muy similar, lo que podría indicar que la temperatura no se distribuyó de forma eficiente y había zonas más frías o más calientes que otras.

En conclusión, se puede notar que el primer nivel es el que presentó más variaciones, posiblemente debido a las dimensiones del cajón, ya que es el más amplio de los tres y hay una mayor probabilidad de que la temperatura no sea uniforme en la totalidad del cajón.

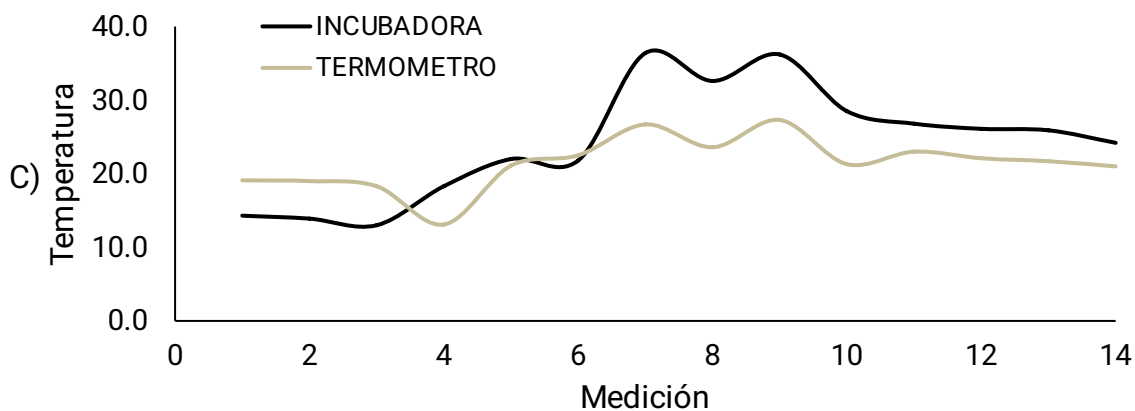
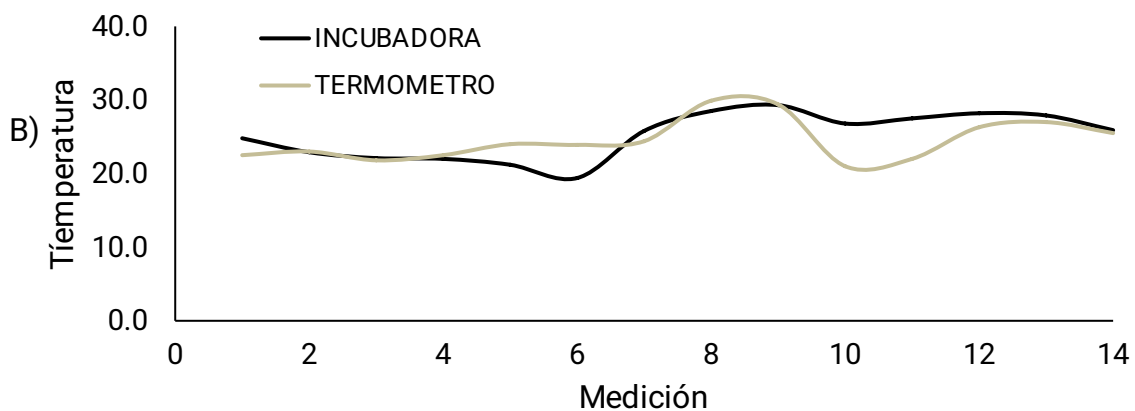
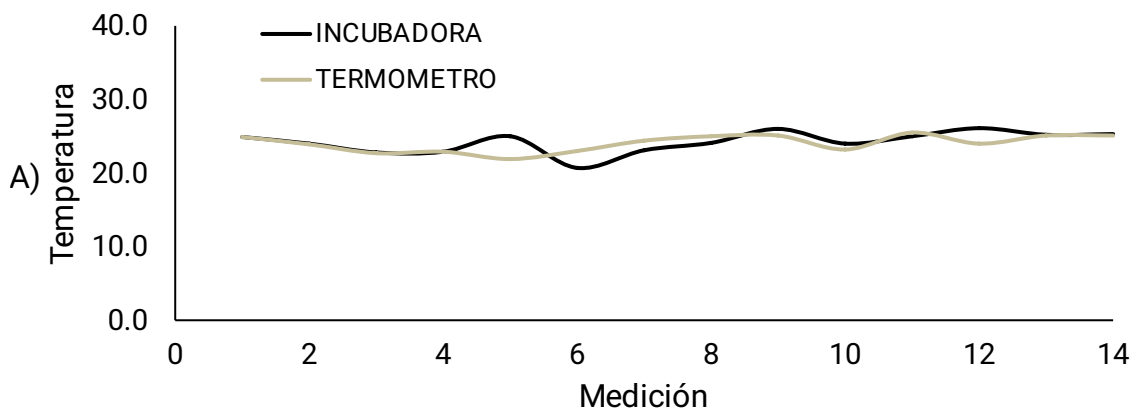


Figura 6. Comportamiento del control de temperatura. A) tercer nivel; B) segundo nivel; C) primer nivel.

Se realizó un análisis de varianza de dos factores con 14 muestras por grupo, con un error del 5% para saber si existen diferencias significativas entre las lecturas de ambos sensores (el de la incubadora y el termómetro analógico externo), cabe mencionar que este análisis solo se realizó para la temperatura, ya que no se contaba con higrómetros que brindaran datos confiables para una comparación de la humedad. Los resultados que se obtuvieron se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Análisis de varianza de las temperaturas en la incubadora.

Origen de las variaciones	F	Probabilidad	F crítico
Lecturas de temperatura	2.1974	0.1422	3.9634
Niveles	1.8237	0.1682	3.1137
Interacción	1.0381	0.3589	3.1137

Los datos obtenidos en el ANOVA muestran que no hay una diferencia estadística significativa entre los datos censados por los sensores de la incubadora y los termómetros analógicos, ya que el valor de F calculado no supera el valor F crítico, lo que indica que los datos no se desvían tanto de los valores observados en los termómetros analógicos, sin embargo, aunque el valor F se encuentra por debajo del límite crítico, tiene un valor que se encuentra bastante cerca, por lo que se realizaron análisis de varianza de un factor en cada nivel para evaluar las diferencias por separado y así determinar en cuál de los niveles existe mayor diferencia.

En la Tabla 7 se puede observar que el valor F en el tercer y segundo nivel es bastante bajo con relación al valor crítico; sin embargo, en el primer nivel este valor es 5 veces más grande, lo que indica que la mayor desviación de los datos se encuentra en el primer nivel, posiblemente debido a que es el nivel de mayor volumen y es más difícil elevar la temperatura y distribuirla de manera uniforme.

Tabla 7. Análisis de varianza de las temperaturas, A) Tercer nivel; B) segundo nivel; C) Primer nivel

A) Tercer nivel			
Origen de las variaciones	F	Probabilidad	F crítico
Lecturas de temperatura	0.1193	0.7324	4.2252
B) segundo nivel			
Origen de las variaciones	F	Probabilidad	F crítico
Lecturas de temperatura	0.3373	0.5663	4.2252
C) Primer nivel			
Origen de las variaciones	F	Probabilidad	F crítico
Lecturas de temperatura	1.7483	0.1975	4.2252

En las pruebas de funcionalidad se observó que en los niveles 2 y 3, la temperatura se distribuye de manera correcta, ya que las lecturas de los sensores de la incubadora y los termómetros analógicos no se desvían mucho de la media, sin embargo, en el primer nivel hay más variaciones, lo cual se puede deber a las dimensiones de los cajones, debido a que el primer nivel es de mayor tamaño, la temperatura tarda más tiempo en aumentar y por lo tanto en distribuirse, esto se podría explicar con la ley de enfriamiento de newton, la cual establece que la razón de cambio de temperatura de un objeto es proporcional a la diferencia de su temperatura y la del ambiente, esto implica que mientras más pequeña sea la diferencia de temperatura entre los focos y el ambiente del cajón, menor será la velocidad de transferencia de calor, asimismo, la primera ley de Fick indica que la tasa de difusión en un medio es proporcional al coeficiente de difusión y al gradiente de concentración, pero es inversamente proporcional a la distancia, esto podría explicar por qué el cajón 1 tiene más dificultades para regular la temperatura y la humedad debido a que la distancia es mayor (Fombuena et al., 2021; Gómez et al., 2023).

4.4 Relación Temperatura–Humedad Relativa

Dado que la humedad relativa depende de la temperatura y tienen una relación inversa, se realizaron gráficas de regresión lineal en cada nivel para visualizar el comportamiento de ambos parámetros y así determinar que dicha relación está presente. En la Figura 7A se observa que existe una relación inversa entre la temperatura y la humedad relativa dentro de la incubadora en el tercer nivel, con coeficiente de correlación de 0.9268, se corrobora lo antes mencionado. Este comportamiento coincide con la realidad, ya que a medida que el aire de un espacio aumenta su temperatura es capaz de contener más humedad y viceversa. En la Figura 7B se observa que el segundo nivel tiene el mismo comportamiento que el tercero, pero tiene un coeficiente de correlación un poco más bajo. En la Figura 7C se observa que al igual que en los niveles anteriores, en el primer nivel la temperatura y humedad tienen la misma relación inversa, es decir, a medida que aumenta la temperatura, la humedad relativa disminuye, debido a que cuanto más energía de cinética tiene el aire, es capaz de contener más humedad.

El comportamiento de la temperatura y la humedad dentro de la incubadora mostro una proporcionalidad inversa en los tres niveles, ya que a medida que la temperatura aumentaba, la humedad tendía a disminuir, lo cual tiene que ver con la humedad relativa, como su nombre lo dice, la humedad relativa es relativa a la temperatura, esto se puede corroborar en el trabajo realizado por Cuarez (2023), en él se buscaba optimizar un sistema de captación de agua por medio de la condensación de humedad la atmosfera, durante el estudio se determinó que mediante el punto de rocío el vapor de agua se condensa, y esto se favorece al aumentar la presión o disminuir la temperatura.

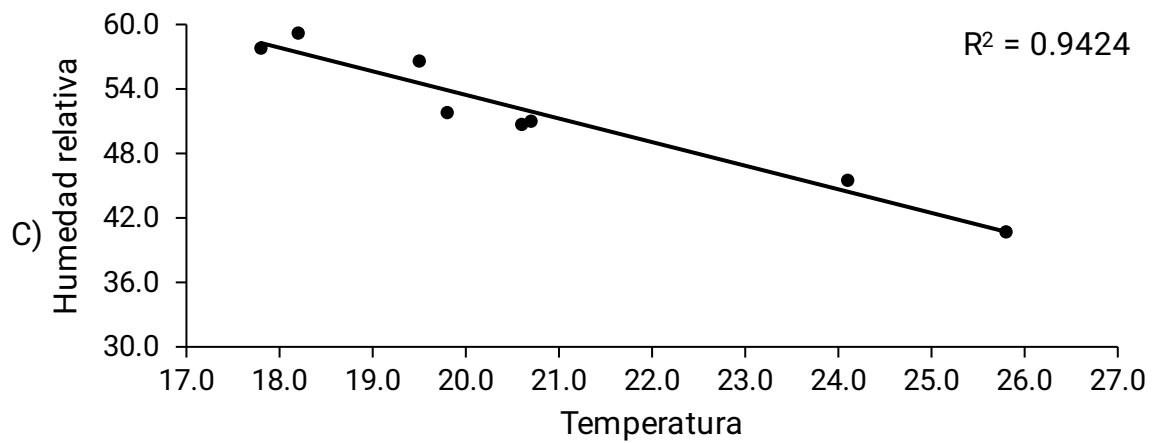
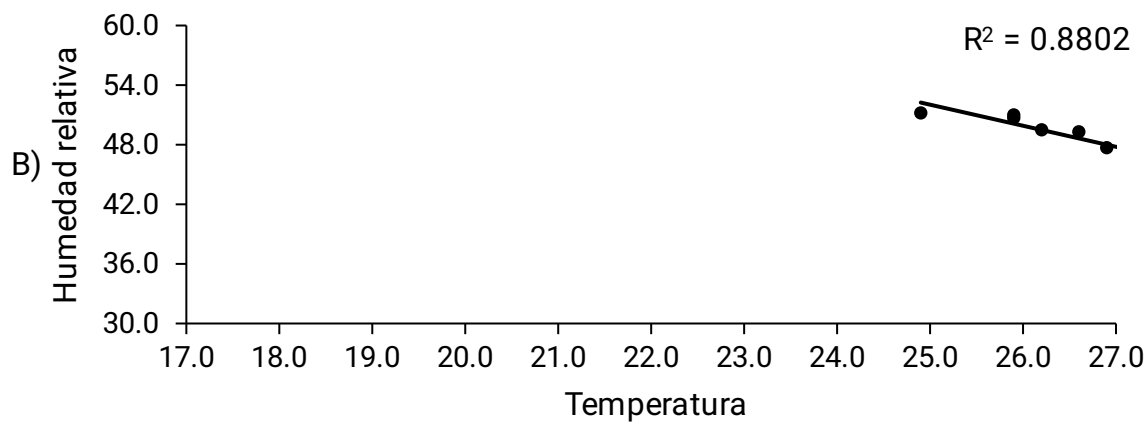
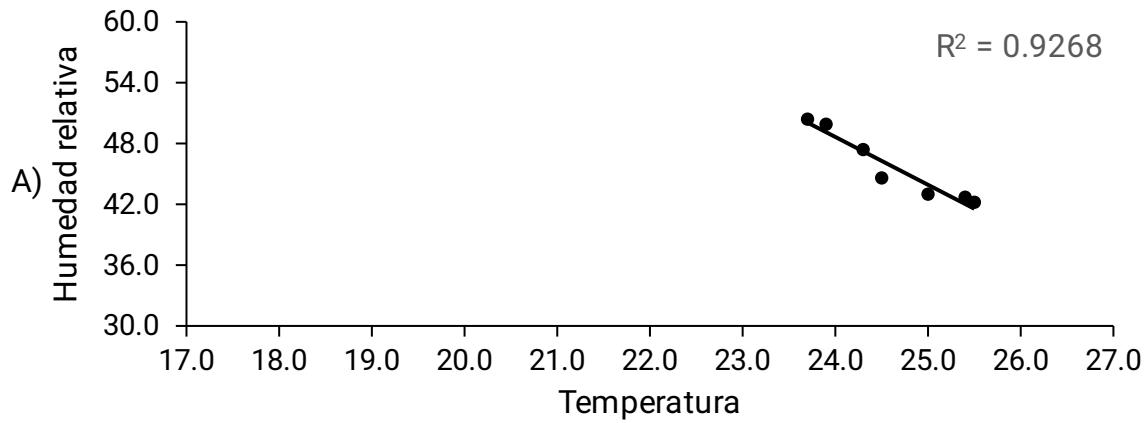


Figura 7. Correlación entre Temperatura y humedad relativa, A) tercer nivel; B) segundo nivel; C) primer nivel.

4.5 Consumo Eléctrico

Se realizaron mediciones del amperaje y voltaje en la incubadora en conjunto y de los niveles por separado, para estimar el consumo energético máximo que tiene la incubadora. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Amperaje, voltaje y potencia de la incubadora

Nivel	Amperaje (A)	Voltaje (V)	Potencia aparente (W)
Tercero	0.17	126	21.42
Segundo	0.27	126	34.02
Primero	0.81	126	102.06
TOTAL	1.25	126	157.5

En la Tabla 8 se muestran los valores obtenidos en las mediciones de amperaje y voltaje, así como la potencia aparente en watts. Se observa que el primer nivel es el que genera más consumo, debido a que se le colocó una fuente de calor mucho mayor a los niveles 2 y 3, ya que por las dimensiones requiere más energía para elevar la temperatura.

La iluminación que se utilizó en el prototipo se basa en focos incandescentes de luz roja, sin embargo no se realizaron pruebas con diferentes tipos de luz, por lo que se sabe si es un factor que determina la viabilidad de la eclosión de los huevos, no obstante, en la bibliografía existen investigaciones que corroboran el efecto que tiene el tipo de luz en la eclosión de los huevos y el comportamiento de las hembras, por ejemplo; An & Navia (2021) indican que las hembras de *A. domesticus* en la búsqueda de parejas sexuales, responden en menor medida al llamado de los machos en ambientes con iluminaciones más intensas y en mayor medida con luz roja. Por otra parte, Ferenz (2023) evaluó la viabilidad de la eclosión de los huevos con diferentes tipos de luz, determinando que con luz roja hay una mayor viabilidad.

4.6 Determinación de los rangos ideales de temperatura y humedad

La temperatura de prueba osciló entre 25 y 33 °C, registrándose una mayor tasa de supervivencia entre 25 y 30 °C, ya que a 33 °C se observó un mayor número de muertes, lo cual coincide con lo reportado en la literatura, por lo que, el rango de temperatura ideal para *A. domesticus* se estableció en 25 – 30 °C.

La humedad observada mantuvo un rango bastante amplio, el cual se estableció en 50 – 80%, en este rango no se presentaron problemas derivados de exceso o falta de humedad en los grillos, pero en ocasiones si hubo problemas de secado en el alimento fresco. En la Figura 8A se muestra el cajón del primer nivel, en él se observa el primer grupo de grillos que se introdujo en la incubadora para cría, los cuales se adaptaron al cambio de ambiente de la incubadora ya que comenzaron a reproducirse, esto debido a que la mayoría de los grillos ya se encontraban en la etapa adulta.

En cuanto a la temperatura ideal para la incubación de los huevos, se obtuvieron buenos resultados a temperaturas más elevadas, registrándose una correcta eclosión a 33 °C, a esta temperatura lograron nacer aproximadamente 500 grillos. En la Figura 8B se muestran las ninfas de grillos que lograron eclosionar. (Créditos a: Ana Karen Hernández Martínez, Dra. Mayra Nicolás García y Dra. Julieta del Carmen Villalobos Espinosa).

El rango ideal de temperatura se determinó en 25 y 30 °C, lo cual coincide con lo reportado en la literatura. Kiddell (2007) determinó que la temperatura varía en 25 y 28 °C, observando que a mayor temperatura la velocidad de crecimiento de los grillos es más rápida, Lachenicht et al. (2010) determinaron que las temperaturas mayores a 30 °C se relacionan con una mayor tasa de mortalidad de grillos, Morales et al. (2018) determinaron que a menor temperatura el metabolismo de los grillos es más lento, por lo que tardan más tiempo en crecer, sin embargo, la tasa de conversión de alimentos en biomasa es mayor y alcanzan un mayor tamaño. El rango de humedad se determinó en 50 y 80%, un

rango bastante amplio, pero que coincide con lo reportado en la literatura, ya que también es muy amplio, por ejemplo: Rodríguez-Chacón (2020) menciona que el rango ideal de humedad para grillos domésticos oscila entre 50 a 60%. Arévalo-Arévalo et al. (2022) mencionan que generalmente los grillos tienen una preferencia por temperaturas templadas a cálidas (25 a 31 °C) y humedades entre 45 y 60%.

A)



B)



Figura 8. Cría de grillo en prototipo de incubadora. A) Cajón del primer nivel, B) Cajón del primer nivel vista superior, C) crías del primer grupo de grillos

Capítulo V

Conclusiones

5.1 Conclusiones relativas a los objetivos específicos

El diseño CAD/CAM resulto muy útil, debido a que facilito la visualización del prototipo, toma de medidas, corte y ensamble del material en el momento de elaboración, además permitió optimizar el espacio en el eje horizontal, ya que se aprovecha el espacio en el eje vertical.

Los materiales de construcción y los componentes empleados en el prototipo fueron viables para el diseño del prototipo, ya que el aluminio como material de construcción del prototipo no tuvo inconvenientes al momento de realizar las pruebas, no se observaron rastros de oxidación ni corrosión debido al uso de los humidificadores, tampoco se observaron daños ni deformaciones debido al contacto con el calor de los focos, además no se asociaron muertes de grillos al uso del aluminio, sin embargo, se registraron muertes debido al uso de la maya de plástico en las paredes descubiertas, esto porque algunos grillos quedaban atorados, por lo que se concluye que el aluminio es viable para la elaboración de incubadoras para grillos, no obstante, se debe cambiar la maya de plástico por otra alternativa. Por ello se concluye que los componentes empleados en el sistema de humidificación y ventilación funcionaron correctamente. Sin embargo, el sistema de iluminación y temperatura tuvo un 83% de efectividad.

Los resultados observados durante los seis meses de prueba sugieren que la incubadora puede ser utilizada para su propósito. Asimismo, las comparaciones realizadas con sensores externos demuestran que los datos proporcionados por la incubadora están muy próximos a los valores reales, lo cual se corrobora con los análisis de varianza, ya que no se determinaron diferencias significativas con respecto a los termómetros analógicos. Sin embargo, todavía existen variaciones que se deben corregir, principalmente en el primer nivel, ya que es el nivel que tiene más variaciones; en este sentido, el análisis de varianza sugiere que no hay diferencias significativas entre las lecturas de ambos sensores, sin embargo, en el primer nivel sí que las hay, por lo que debe corregirse.

Con base en la tasa de supervivencia de los grillos observada con el cambio de

temperatura, se concluye que el rango de temperatura ideal para la crianza de grillos esta entre 25 y 30 °C, y que la temperatura idónea para la incubación de los huevos es 33 °C, de igual manera, el rango ideal de humedad relativa varia esta entre 50 y 80%.

5.2 Conclusiones relativas al objetivo general

El objetivo general se logró alcanzar; sin embargo, los resultados observados demuestran que hay detalles en la efectividad del sistema para distribuir correctamente la temperatura y humedad dentro de la incubadora, principalmente en el primer nivel. No obstante, aun con esos detalles desde el día 22/04/2024 se logró mantener en incubación a un grupo de grillos por aproximadamente un mes, además de que se pudieron reproducir y alrededor de 500 huevecillos lograron eclosionar, lo que demuestra que la incubadora es funcional y es viable para la cría y reproducción de (*A. domesticus*).

5.3 Aportaciones originales

El diseño del prototipo permitió la incubación de los grillos adultos, además de que el control de la temperatura, humedad y ventilación mantuvo un ambiente que permitió no solo la reproducción de los grillos, sino también la eclosión de los huevos.

5.4 Limitaciones del modelo planteado

El prototipo presenta varias limitaciones, debido a que aún se encuentra en fase experimental, una de ellas es la capacidad, ya que las dimensiones limitan la cantidad de grillos que puede albergar, la efectividad del sistema también limita el uso de la incubadora, ya que si se encuentra en ambientes que superan los 30 °C es incapaz de disminuir la temperatura, por lo que es muy probable que los grillo mueran a temperaturas mayores a 30 °C, de igual manera el aluminio al ser un buen conductor del calor, si se encuentra en ambientes muy cálidos, facilita la transferencia de calor al interior de la incubadora, y al no contar con un sistema de refrigeración nada impide que supere el rango de temperatura deseado,

asimismo, si está en ambientes muy fríos genera un mayor gasto energético debido a que el calor del interior se transfiere muy fácil al exterior, y en ocasiones pudiendo no llegar a la temperatura deseada, esto se pudo observar en el mes de diciembre, por lo que se tuvo que aumentar el número de focos, específicamente en el primer nivel.

5.5 Recomendaciones

Con base en las limitaciones observadas, se recomienda incluir un sistema de refrigeración, debido a que el aumento descontrolado de la temperatura puede causar la muerte de los grillos.

Este sistema se podría implementar con la instalación de un termostato que tenga el sensor de temperatura fuera de la incubadora y la salida de control conectada a los ventiladores ya instalados, de esa manera, cuando el sensor registre una temperatura mayor a la temperatura deseada en la incubadora, el termostato accionara los ventiladores, lo que servirá como ventilación y la temperatura comenzara a disminuir.

Capítulo VI

Competencias desarrolladas

Durante el desarrollo de este proyecto se abordaron diversos puntos, como la relación de intensidad de corriente eléctrica, resistencia y voltaje, la cual se explica con la ley de Ohm. La relación de potencia, intensidad y voltaje, la cual se explica con la ley de watt. La relación que existe entre la intensidad de corriente y el voltaje, además de cómo aumentar o disminuir la velocidad de giro de un motor o aumentar el torque del motor variando únicamente el voltaje y la intensidad de corriente. Los tipos de corriente eléctrica, (alterna, continua), diferencias y cuál es la aplicación para cada una.

Diseñar productos en base a una necesidad, utilizar diversas herramientas para la fabricación de componentes, y relacionar diferentes disciplinas con el área de ingeniería en industrias alimentarias, resulta muy interesante, ya que conocer el fundamento y funcionamiento de la maquinaria y equipos que se utilizan para elaborar todo tipo de alimentos puede dar un amplio repertorio de oportunidades, tanto en lo académico como en lo laboral.

Capítulo VII

Fuentes de información

- ☒ Abril, S., Pinzón, M., Hernández-Carrión, M., & Sanchez-Camargo, A. D. P. (2022). Edible insects in Latin America: a sustainable alternative for our food security. *Frontiers in Nutrition*, 9, 904812.
- ☒ Aguilar-Acosta, E., García-Barragán, A. A., Martínez-Gómez, C. G., Rivera-Aguirre, L., & Ramos-López, J. (2024). Evaluación de la crianza y reproducción del grillo (*Acheta domestica*) con tres dietas, para su uso como harina y alternativa de proteína para el consumo humano o animal. *Rinderesu*, 8 (1-2), 40-49.
- ☒ Aguilera, Y., Pastrana, I., Rebollo-Hernanz, M., Benitez, V., Álvarez-Rivera, G., Viejo, J. L., & Martín-Cabrejas, M. A. (2021). Investigating edible insects as a sustainable food source: Nutritional value and techno-functional and physiological properties. *Food & Function*, 12 (14), 6309-6322.
- ☒ An, J., & Navia, B. (2021). Evaluation of Phonotactic Behavior in Male-Exposed Female *Acheta domestica*. *Michigan Academician*, 48 (1), 122-122.
- ☒ Apolo Arévalo, L., & Lannacone, J. (2015). Crianza del grillo (*Acheta domestica*) como fuente alternativa de proteínas para el consumo humano. *Scientia*, 17(17).
- ☒ Arévalo Arévalo, H., Vernot, D., & Barragán-Fonseca, K. (2022). Perspectivas de uso sostenible del grillo doméstico tropical (*Gryllodes sigillatus*) para la alimentación humana en Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69 (3), 310-324.
- ☒ Arp, C. G., Lenz, D., Brusa, V., Oteiza, J. M., Ambrosi, V., Daniel, C., ... & Polenta, G. (2021). Producción de insectos para consumo humano. Red de Seguridad Alimentaria (RSA) 2618-2785.
- ☒ Avendaño, C., Sánchez, M., & Valenzuela, C. (2020). Insectos: son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos.

Revista Chilena de Nutrición, 47 (6), 1029-1037.

- ☒ Bent, A. M., Ings, T. C., & Mowles, S. L. (2018). Anthropogenic noise disrupts mate searching in *Gryllus bimaculatus*. *Behavioral Ecology*, 29 (6), 1271-1277.
- ☒ Booth, D. T., & Kiddell, K. (2007). Temperature and the energetics of development in the house cricket (*Acheta domestica*). *Journal of Insect Physiology*, 53 (9), 950-953.
- ☒ Cabrera Becerra, G. (2021). Los indígenas de la Amazonia y los insectos. Una visión comparada entre pueblos sedentarios y nómadas del Alto Río Negro-Vaupés. *Chungará (Arica)*, 53 (3), 506-524.
- ☒ Cavalheiro, C. P., Ruiz-Capillas, C., Herrero, A. M., Pintado, T., Cruz, T. D. M. P., & da Silva, M. C. A. (2023). Cricket (*Acheta domestica*) flour as meat replacer in frankfurters: Nutritional, technological, structural, and sensory characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 83, 103245.
- ☒ Chaves Villasana A. (2021). *Comer bien para vivir mejor*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- ☒ Cruz Fagua, D., & Arévalo Arévalo, H (2021). Artrópodos. Producción de grillos de forma sustentable.
- ☒ Cuarez Arotoma, A. (2023). Optimización del rendimiento de un sistema de captación de humedad atmosférica por punto de rocío ubicado en el distrito de Mollendo-Arequipa.
- ☒ De Ganaderos, F. C. (2018). Cifras de referencia del sector ganadero colombiano. Fedegán.
- ☒ Erregger, B., & Schmidt, A. K. (2018). Anthropogenic calling sites boost the sound amplitude of advertisement calls produced by a tropical cricket.

Animal Behaviour, 142, 31-38.

- ☒ Ferenz, M. J. (2023). Visible Light and Its Influence on the Embryonic Viability of the Cricket *Acheta domesticus*. *Advances in Entomology*, 11 (4), 309-324.
- ☒ Fernandez-Cassi, X., Supeanu, A., Vaga, M., Jansson, A., Boqvist, S., & Vagsholm, I. (2019). The house cricket (*Acheta domesticus*) as a novel food: a risk profile. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(2), 137-157.
- ☒ Fombuena Borrás, V., Cardona Navarrete, S. C., & Domínguez Candela, I. (2021). Fenómenos de transporte. Resolución de un caso práctico mediante la primera ley de Fick.
- ☒ Gallego-Abenza, M., Mathevon, N., & Wheatcroft, D. (2020). Experience modulates an insect's response to anthropogenic noise. *Behavioral Ecology*, 31(1), 90-96.
- ☒ Gallegos F.X.T, & Cortéz A.C.C, (2019). Contribución de los insectos comestibles a la seguridad alimentaria. *Editora Adjunta*, 1, 6.
- ☒ García Montero, P. (2023). El cambio climático: posibles impactos en la agricultura en el contexto de América Latina y Venezuela. *Agroalimentaria Journal-Revista Agroalimentaria*, 28 (55), 167-189.
- ☒ Gómez, F. J. C., Maceas, F. Á., & Suárez, C. A. H. (2023). Resignificación del modelado de la Ley de enfriamiento de Newton: La interacción social como herramienta educativa en Ingeniería. *Revista Perspectivas*, 8 (S1), 223-234.
- ☒ Guzmán Valiente, R. E., Espinoza Yovera, J. D., García Rijalba, K., Díaz Quiroz, W. P., & Carrasco Talledo, W. S. (2022). Diseño de una planta de producción de harina y barras energéticas a base de grillo en la ciudad de Piura. Universidad de Piura, Perú.

- ☒ Huis, A. V., Itterbeeck, J. V., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- ☒ Knežić, T., Avramov, M., Tatić, V., Petrović, M., Gadjanski, I., & Popović, Ž. D. (2024). Insects as a Prospective Source of Biologically Active Molecules and Pharmaceuticals—Biochemical Properties and Cell Toxicity of *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* Cell-Free Larval Hemolymph. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 7491.
- ☒ Lachenicht, M. W., Clusella-Trullas, S., Boardman, L., Le Roux, C., & Terblanche, J. S. (2010). Effects of acclimation temperature on thermal tolerance, locomotion performance and respiratory metabolism in *Acheta domesticus* L.(Orthoptera: Gryllidae). *Journal of Insect Physiology*, 56(7), 822-830.
- ☒ Lagos A. (2023). La primera empresa mexicana que apuesta por granjas de insectos comestibles. escamoles, chicatanas y chapulines: las mejores razones para comer más insectos. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. México.
- ☒ Lähteenmäki-Uutela, A., Hénault-Ethier, L., Marimuthu, S. B., Talibov, S., Allen, R. N., Nemane, V., ... & Józefiak, D. (2018). The impact of the insect regulatory system on the insect marketing system. *Journal of Insects as Food and Feed*, 4(3), 187-198.
- ☒ López Andrades, D. L. (2019). Factibilidad técnica y económica para la comercialización y producción de un snack en base a harina de insectos. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- ☒ Lundy, M. E., & Parrella, M. P. (2015). Crickets are not a free lunch: protein capture from scalable organic side-streams via high-density populations of *Acheta domesticus*. *PloS One*, 10(4), e0118785.

- ☒ Meyer-Rochow, V. B., & Jung, C. (2020). Insects used as food and feed: isn't that what we all need?. *Foods*, 9 (8), 1003.
- ☒ Milian, R. M., & Rivas-Flores, A. W. (2020). Prototipo agroindustrial de harina de *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) para consumo humano. *Revista Agrociencia*, 3 (16), 81-90.
- ☒ Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., & Dossey, A. T. (2018). Age-dependent food utilisation of *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) in small groups at two temperatures. *Journal of Insects as Food and Feed*, 4 (1), 51-60.
- ☒ ONU (2022a). La población mundial llegará a 8000 millones en 2022. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales.
- ☒ ONU (2022b). Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. Organización de las Naciones Unidas
- ☒ Orzechowski K. (2022). Estadísticas y gráficos del sacrificio mundial de animales: actualización de 2022. Faunalytics.
- ☒ Parra Rebate, A. (2023). Aplicaciones de *Acheta domesticus* (grillo doméstico) en la industria alimentaria. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid, España.
- ☒ Parra Rodríguez, A. (2022). Viabilidad de creación de una granja de grillos (*Anchus Domesticus*) en Villaveza del Agua.
- ☒ Pérez Vázquez, A., Leyva Trinidad, D. A., & Gómez Merino, F. C. (2018). Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9 (1), 175-189.
- ☒ Portillo, R., & Edwin, O. (2017). Estimación piloto de los costos en la producción y proceso de harina de grillo (*Acheta domesticus*), como fuente de proteína para dieta humana, en la finca Santa Marta, Morazán, El

Salvador. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.

- ☒ Prósper Ortega, L. (2020). *Seguridad alimentaria y calidad nutricional del uso de insectos en la dieta* (Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València).
- ☒ Ramos-Elorduy, J., Medeiros Costa Neto, E., Ferreira dos Santos, J., Pino Moreno, J. M., Landero-Torres, I., Ángeles Campos, S. C., & García Pérez, Á. (2006). Estudio comparativo del valor nutritivo de varios *Coleoptera* comestibles de México y *Pachymerus nucleorum* (Fabricius, 1792) (Bruchidae) de Brasil. *Interciencia*, 31(7), 512-516.
- ☒ Rodríguez Chacón, A. M. (2020). Propuesta de alternativas de producción de proteína para alimentación animal a partir de insectos en Colombia.
- ☒ Romo Peralta, T. S. (2024). Diseño de una incubadora para el control de temperatura y humedad en la fase de eclosión de huevos del grillo *Acheta domesticus* en el Bioparque Amaru.
- ☒ Salazar Chaves, Y. R., & Venegas González, C. P. (2023). Comercialización de harina de grillo (*Acheta domesticus*), como suplemento alimenticio en personas que realizan acondicionamiento físico en el distrito de Liberia, Guanacaste para el año 2023. Universidad de Costa Rica. Repositorio centroamericano SIIDCA-CSUCA.
- ☒ Sánchez Rivera, D. F. (2022). Dispositivo de incubación y reproducción de crisopas para generar controles biológicos de plagas en cultivos de lechuga de forma sostenible. Facultad de Artes y Diseño. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Incubavida.
- ☒ Sorjonen, J. M., Valtonen, A., Hirvisalo, E., Karhapää, M., Lehtovaara, V. J., Lindgren, J., ... & Roininen, H. (2019). The plant-based by-product diets for the mass-rearing of *Acheta domesticus* and *Gryllus bimaculatus*. *PLoS One*, 14 (6), e0218830.

- ☒ Ssepuuya, G., Sengendo, F., Ndagire, C., Karungi, J., Fiaboe, K. K. M., Efitre, J., & Nakimbugwe, D. (2021). Effect of alternative rearing substrates and temperature on growth and development of the cricket *Modicogryllus conspersus* (Schaum). *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(2), 163-172.
- ☒ Stull, V., & Patz, J. (2020). Research and policy priorities for edible insects. *Sustainability Science*, 15, 633-645.
- ☒ Takacs, J., Bryon, A., Jensen, A. B., van Loon, J. J., & Ros, V. I. (2023). Effects of temperature and density on house cricket survival and growth and on the prevalence of *Acheta domesticus densovirus*. *Insects*, 14 (7), 588.
- ☒ Tomasinelli, F., & Salemi, M. (2020). La *mantis religiosa* y los *insectos palo*. Parkstone International. Editorial De Vecchi, S. A.
- ☒ Van Peer, M., Frooninckx, L., Coudron, C., Berrens, S., Álvarez, C., Deruytter, D., ... & Van Miert, S. (2021). Valorisation potential of using organic side streams as feed for *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus* and *Locusta migratoria*. *Insects*, 12 (9), 796.
- ☒ Vera, W. M. C. (2022). La entomofagia y la industrialización de los insectos: una revisión sistemática. *Revista Estudiantil Agro-Vet*, 6 (2), 108-118.
- ☒ Vijandi, M. (2015). Morfogénesis y evolución del sistema traqueal de los insectos. Tesis doctoral, España.
- ☒ Vossen, L. E., Nilsson, E., Jansson, A., & Roman, E. (2022). Open field behavior in the house cricket (*Acheta domesticus*): effect of illumination, sex differences and individual consistency. *Journal of Insects as Food and Feed*, 9 (3), 317-324.
- ☒ Zielińska, E., Zieliński, D., Jakubczyk, A., Karaś, M., Pankiewicz, U., Flasz, B., ... & Lewicki, S. (2021). The impact of polystyrene consumption by edible

insects *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* on their nutritional value, cytotoxicity, and oxidative stress parameters. *Food Chemistry*, 345, 128846.

Capítulo 8

Anexos

Tabla 9. Registro de temperaturas de incubadora y termómetros

Sensor	Lectura	Temperatura (°C)		
		Tercer nivel	Segundo nivel	Primer nivel
Incubadora	1	24.9	24.8	14.3
	2	24.0	22.9	13.9
	3	22.8	22.1	13.0
	4	22.9	22.0	18.3
	5	25.0	21.2	22.0
	6	20.7	19.4	21.8
	7	23.1	25.8	36.4
	8	24.1	28.5	32.6
	9	26.0	29.3	37.2
	10	24.0	26.8	28.5
	11	25.0	27.5	26.8
	12	26.1	28.2	26.1
	13	25.2	27.9	25.9
	14	25.3	25.9	24.2
Termómetro	1	24.9	22.5	19.1
	2	23.9	23.0	19.0
	3	22.7	21.8	18.3
	4	22.9	22.5	13.1
	5	21.9	24.0	21.1
	6	23.0	23.9	22.5
	7	24.4	24.4	26.7
	8	25.0	29.9	23.6
	9	25.1	29.4	26.3
	10	23.2	21.0	21.3
	11	25.5	22.0	23.0
	12	24.0	26.3	22.1
	13	25.1	27.0	21.7
	14	25.1	25.5	21.0

Tabla 10. Materiales y equipos de elaboración

Cantidad	Materiales	Equipos
30 m	Perfil cuadrado de aluminio de 1"	Taladro
3 m ²	Lámina de aluminio	
0.5 m ²	Madera	Remachadora
100 pz	Pija de 1x8	
200 pz	Remache	Caladora
10 m	Cable de cobre 14 AWG	
3 pz	Control modelo "Stc 3028"	Multímetro
3 pz	Humidificador modelo "Egg220"	
3 pz	Ventilador modelo "LS-904"	Esmeril
0.4 m ²	Vidrio de 4 mm	Rotomartillo

LICENCIA DE USO OTORGADA POR Diego Espíndola Cabrera, de nacionalidad mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en la calle L Venustiano Carranza #40, Las Lomas Zacapoaxtla, Puebla, en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor(a) de la tesis denominada "Diseño de prototipo de incubadora para la crianza de grillo doméstico (*Acheta domestica*)" en adelante "LA OBRA" quien para todos los fines del presente documento se denominará "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR", a favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, la cual se regirá por las cláusulas siguientes:

PRIMERA -OBJETO: "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR", mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de "LA OBRA", para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorio nacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

SEGUNDA - TERRITORIO: La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

TERCERA -ALCANCE: La presente licencia contempla la autorización para formato uso de "LA OBRA" en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (en red), mensaje de datos o similar, conocido o por conocerse.

CUARTA - EXCLUSIVIDAD: La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán; por lo tanto, "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" conserva los derechos patrimoniales y morales de "LA OBRA", objeto del presente documento.

QUINTA - CRÉDITOS: El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" es el(la) único(a), primigenio(a) y perpetuo(a) titular de los derechos morales sobre "LA OBRA"; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

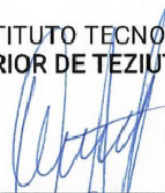
SEXTA - AUTORÍA: "EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR" manifiesta ser el(la) único(a) titular de los derechos de autor que derivan de "LA OBRA" y declara que el material objeto del presente fue realizado por él(ella), sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el(la) único(a) responsable. Dado en la Ciudad de Teziutlán, Puebla, a los veintisiete días del mes de junio de dos mil veinticuatro.

"EL(LA) AUTOR(A) Y/O
EL(LA) TITULAR",



Diego Espíndola Cabrera
Nombre y Firma

"EL INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN"



Jessica Leticia Domínguez Andrade
Directora General
Nombre, Firma y Sello



INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN
DIRECCIÓN GENERAL

CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL(LA) AUTOR(A) PARA LA CONSULTA Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe:

DIEGO

ESPÍNDOLA

CABRERA

Con Número de
Control

19TE0423

Perteneciente al
Programa Educativo

INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Por este conducto me permito informar que he dado mi autorización para la consulta y publicación electrónica del trabajo de investigación en los repositorios académicos.

Registrado con el
producto:

TESIS

Cuyo Tema es:

**"DISEÑO DE PROTOTIPO DE INCUBADORA PARA LA CRIANZA DE GRILLO DOMÉSTICO
(ACHETA DOMESTICUS)"**

Correspondiente al periodo:

ENERO-JUNIO 2024

Y cuyo(a) director(a) de tesis es:

DRA. MAYRA NICOLÁS GARCÍA

ATENTAMENTE



DIEGO ESPÍNDOLA CABRERA

Nombre y firma

Fecha de emisión: **27 DE JUNIO DE 2024**
c.c.p. Subdirección Académica

"2024, año del Libro y la Lectura".

Asunto: Asignación de Asesor(a), Comisión Revisora, Entrega de Trabajo Profesional y Dictamen

Teziutlán, Puebla, **14/junio/2024**

Asesor(a): **MAYRA NICOLAS GARCIA**
Integrante de Comisión Revisora: **JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS ESPINOSA**
Integrante de Comisión Revisora: **LUIS OMAR COLOMBO MENDOZA**
Presentes

Por este medio me permito informar que ha sido asignado como asesor(a) y comisión revisora del trabajo profesional que se convertirá en Tesis de:

Alumno (a): **ESPINDOLA CABRERA DIEGO**
Apellido paterno/materno/nombre (s)
Número de Control: **19TE0423** Licenciatura o Posgrado: **INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**
Plan: **2010** Correo Electrónico: **L19TE0423@TEZIUTLAN.TECNM.MX**

Cuyo tema es:

DISEÑO DE PROTOTIPO DE INCUBADORA PARA LA CRIANZA DE GRILLO DOMESTICO (ACHETA DOMESTICUS).

25 palabras (máximo)

Se ha enviado a su correo institucional el trabajo profesional o de grado, por lo cual la comisión revisora tendrá 5 día hábiles para realizar las observaciones al alumnado, el(la) interesado(a) tendrá igualmente **5 días** para corregir y las enviará al correo electrónico institucional de la comisión revisora, agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de licenciatura o de posgrado de nuestro alumnado egresado.

Dictamen de Comisión Revisora, Aprobación de Impresión o Grabación y Autorización para subirla al Repositorio del TecNM

Siendo el día: **29 de agosto de 2024** se reunieron los miembros de la comisión para revisar el trabajo asignado y una vez analizado se decidió liberarlo y aprobarlo para su grabación y programación de examen profesional.

MAYRA NICOLAS GARCIA
Nombre y Firma del(la) Asesor(a)

LUIS OMAR COLOMBO MENDOZA
Nombre y Firma de Integrante de la Comisión Revisora



JULIETA DEL CARMEN VILLALOBOS ESPINOSA
Nombre y Firma de Integrante de la Comisión Revisora

MYRIAM SANCHEZ PEREZ
Subdirección Académica

R08/06/2023

**INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN
SUBDIRECCION
ACADÉMICA**

F-SAC-18



Fracción I y II s/n Aire Libre, Teziutlán, Puebla, C.P. 73960 Tels. 231 311 4000 / 4001 / 4002 / 4003
e-mail: itsteziutlan@hotmail.com | www.teziutlan.tecnm.mx

