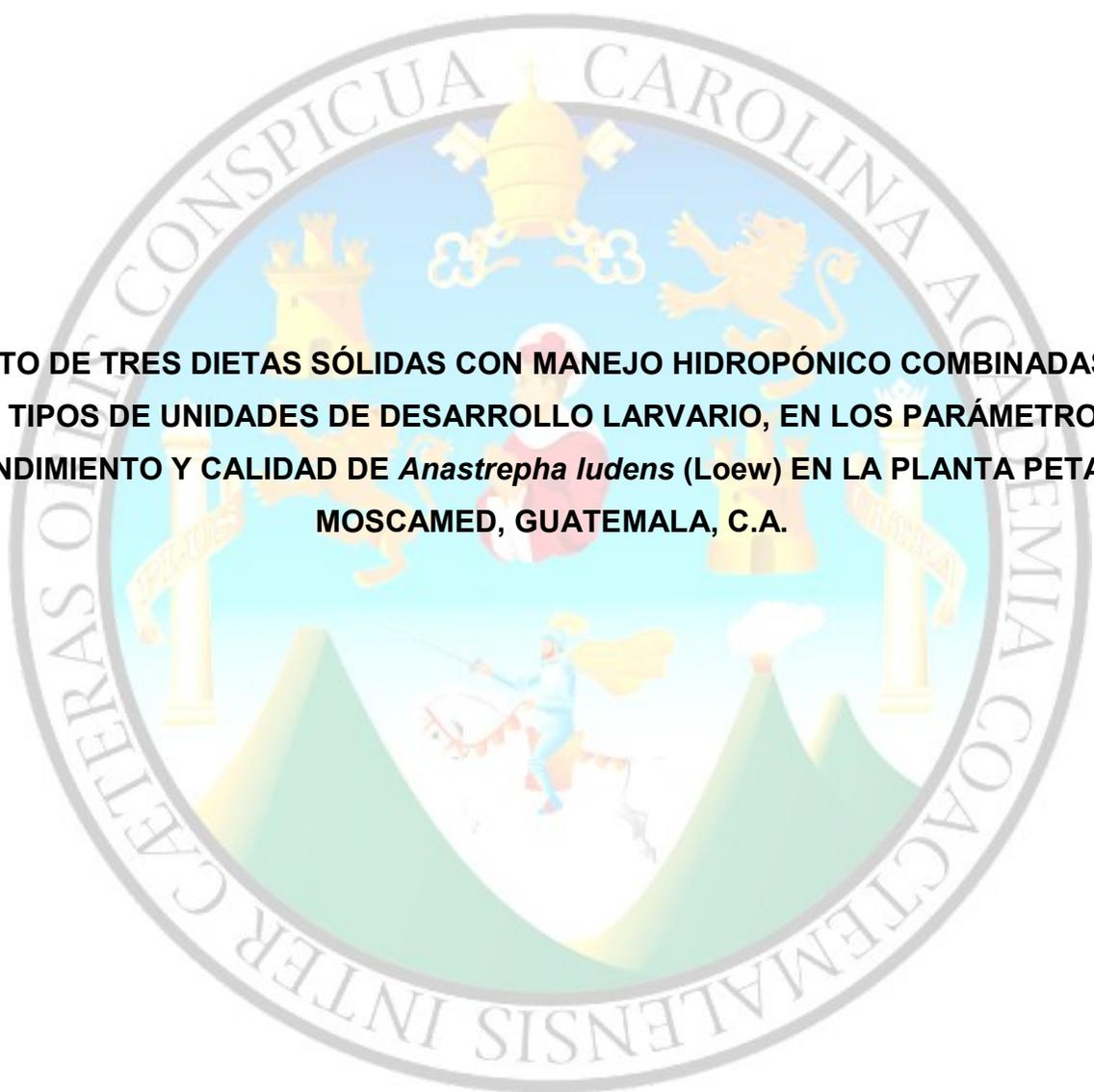


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a blue background. At the top of the shield is a golden crown. Below the crown, there are two golden lions rampant. In the center of the shield, a figure in a red and white robe is seated. Below the figure, a golden chariot is being pulled by a white horse. The shield is set against a light blue background. The entire seal is surrounded by a grey border containing the Latin text "ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CAETERAS OBIIT CONSPICUA CAROLINA" in a serif font.

EFFECTO DE TRES DIETAS SÓLIDAS CON MANEJO HIDROPÓNICO COMBINADAS CON DOS TIPOS DE UNIDADES DE DESARROLLO LARVARIO, EN LOS PARÁMETROS DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE *Anastrepha ludens* (Loew) EN LA PLANTA PETAPA, MOSCAMED, GUATEMALA, C.A.

ERMES ESTUARDO LANCERIO ORELLANA

GUATEMALA, ABRIL DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES

**EFFECTO DE TRES DIETAS SÓLIDAS CON MANEJO HIDROPÓNICO COMBINADAS CON
DOS TIPOS DE UNIDADES DE DESARROLLO LARVARIO, EN LOS PARÁMETROS DE
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE *Anastrepha ludens* (Loew) EN LA PLANTA PETAPA,
MOSCAMED, GUATEMALA, C.A.**

TESIS

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR

ERMES ESTUARDO LANCERIO ORELLANA

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, ABRIL DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

M.A WALTER RAMIRO MAZARIEGOS BIOLIS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL SEGUNDO	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL CUARTO	Bach. Sahara Yarith Méndez Anckermann
VOCAL QUINTO	P.A.E. Yonshual Nehemías Xinico Ajú
SECRETARIO	Ing. Agr. Víctor Arturo Valenzuela Morales

GUATEMALA, ABRIL DE 2024

Guatemala, abril de 2024

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguidos Miembros:

De acuerdo con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, el documento de graduación titulado:
“EFECTO DE TRES DIETAS SÓLIDAS CON MANEJO HIDROPÓNICO COMBINADAS CON DOS TIPOS DE UNIDADES DE DESARROLLO LARVARIO, EN LOS PARÁMETROS DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE *Anastrepha ludens* (Loew) EN LA PLANTA PETAPA, MOSCAMED, GUATEMALA, C.A.”

Presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el presente documento llene los requisitos necesarios para su aprobación agradeciendo la atención prestada a la presente.

Atentamente

“Id y ensañad a todos”

Ermes Estuardo Lancerio Orellana

ACTO QUE DEDICO**A:****MIS PADRES**

Ermes Lancerio e Irma Orellana, por ser un ejemplo de lucha y sacrificio en todo momento.

MIS HERMANAS

Karen Lancerio y Fabiola Lancerio, por los momentos que hemos compartido

MIS ABUELOS

Por ser ejemplo de esmero y perseverancia.

MIS TIOS Y PRIMOS

Por su cariño especial.

MIS AMIGOS

Por el apoyo y los momentos especiales que vivimos

AGRADECIMIENTOS

A:

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS	Por la oportunidad de formarme como profesional.
FACULTAD DE AGRONOMÍA	Por enseñarme a ver la agronomía de forma integral.
MI ASESOR	Dr. Ezequiel López, por compartir sus conocimientos, orientarme y apoyarme en este proceso.
MIS EVALUADORES:	Por las observaciones que ayudaron a enriquecer este documento.
PROGRAMA MOSCAMED:	Por brindar el espacio, tiempo y recursos para desarrollar la investigación de este documento; y el apoyo durante mi formación profesional.

CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
3 MARCO TEÓRICO	4
3.1 Marco Conceptual	4
3.1.1 Moscas de la fruta.....	4
3.2 Marco Referencial	7
3.2.1 Ubicación geográfica.....	7
3.2.2 Clima	8
3.2.3 Antecedentes	9
4 OBJETIVOS	13
4.1 General.....	13
4.2 Específicos	13
5 HIPÓTESIS	14
6 METODOLOGÍA.....	15
6.1 Tratamientos.....	15
6.1.1 Factor dieta sólida.....	15
6.1.2 Factor unidad de desarrollo larvario.....	15
6.2 Unidad experimental.....	17
6.3 Diseño experimental.....	17
6.4 Repeticiones.....	17
6.5 Aleatorización	17
6.6 Manejo del experimento	18
6.6.1 Elaboración de dieta	18

CONTENIDO	PÁGINA
6.6.2 Proceso de siembra.....	19
6.6.3 Siembra	21
6.6.4 Proceso en maduración larval	22
6.6.5 Maduración de pupa.....	27
6.6.6 Irradiación.....	30
6.7 Variables respuesta	30
6.7.1 Individuos por kilogramo de dieta	30
6.7.2 Peso de pupa	31
6.7.3 Porcentaje de emergencia y voladoras	32
6.7.4 Porcentaje de mortalidad.....	33
6.8 Análisis estadístico	36
6.9 Análisis económico	37
7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
7.1 Temperatura y pH durante la maduración larval	38
7.2 Individuos por kilogramo de dieta	39
7.3 Peso de pupa.....	43
7.4 Porcentaje de muertos a las 72 horas	44
7.5 Adultos con habilidad de vuelo	47
7.6 Análisis económico	49
7.6.1 Costo de dieta	49
8 CONCLUSIONES	52
9 RECOMENDACIONES	53
10 BIBLIOGRAFÍA	54
11 ANEXO	56

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1 Mapa de ubicación de la planta de producción de <i>Anastrepha</i> y parasitoides de <i>Moscamed</i>	8
Figura 2 Temperaturas promedio registradas en la planta Petapa de <i>Moscamed</i>	9
Figura 3 Bandeja celeste para el desarrollo larvario de <i>A. ludens</i>	11
Figura 4 Bandeja Petapa para el desarrollo larvario de <i>A. ludens</i>	11
Figura 5 Bandeja y torre celeste	16
Figura 6 Bandeja y torre Petapa.	16
Figura 7 Peso de insumos para la elaboración de las dietas para la alimentación durante el desarrollo larvario.	18
Figura 8 Elaboración de dietas para la alimentación durante el desarrollo larvario.	18
Figura 9 Dilución de Benzoato de Sodio y Formalina.	19
Figura 10 Centrifugación de huevo utilizado en el proceso de siembra.	20
Figura 11 Medición de huevo utilizado en el proceso de siembra.	20
Figura 12 Siembra de huevo en dieta, previo al proceso de maduración larval.	21
Figura 13 Enfundado de torres previo al ingreso a las salas de maduración larval.	22
Figura 14 Homogenización de solución nutritiva para la aplicación durante la maduración larval.	23
Figura 15 Aplicación de solución nutritiva en el manejo hidropónico durante la maduración larval.	24
Figura 16 Tómbolas de acero inoxidable para el separado larval.	25
Figura 17 Zaranda de acero inoxidable utilizada para el separado larval.	25
Figura 18 Montado de larva en arneros para la separación de dieta y larva.	26
Figura 19 Homogenización de larva separada con bagazo de caña para la disminución de la humedad.	26
Figura 20 Pesado de larva separada, previo al ingreso a la sala de prepupación.	27
Figura 21 Volteo de bandejas para la separación de dieta y pupa.	27
Figura 22 Pesado de pupa luego del volteo de arneros.	28
Figura 23 Color de ojos durante la maduración de pupa de <i>A. ludens</i>	29
Figura 24 Homogenización de muestra previo al montaje de pruebas de calidad.	32

FIGURA	PÁGINA
Figura 25 Cilindros para la prueba de porcentaje de voladoras.	32
Figura 26 Colocación de pupa en la caja plexiglás, prueba de mortalidad.....	33
Figura 27 Aspirado de adultos en la prueba de porcentaje de mortalidad.....	34
Figura 28 Selección de adultos para la prueba de porcentaje de mortalidad.	34
Figura 29 Anaquel de prueba de mortalidad ubicado en la sala de control de calidad.....	35
Figura 30 Conteo de adultos muertos.	35
Figura 31 Curva de temperatura en maduración larval por unidad de desarrollo larvario.	38
Figura 32 Curva de pH en maduración larval por unidad de desarrollo larvario.....	39
Figura 33 Larvas/Kg de dieta por dieta.....	40
Figura 34 Individuos/kg de dieta por unidad de desarrollo larvario.	41
Figura 35 Individuos/kg de dieta por tratamiento.....	42
Figura 36 Peso de pupa por tratamiento.	44
Figura 37 Mortalidad a las 72 horas de emergencia por dieta.....	45
Figura 38 Mortalidad a las 72 horas de emergencia por unidad de desarrollo larvario.	45
Figura 39 Balance de agua para dieta control en bandeja celeste.....	46
Figura 40 Mortalidad a las 72 horas de emergencia por tratamiento.	47
Figura 41 Adultos con habilidad de vuelo por dieta.....	48
Figura 42 Adultos con habilidad de vuelo por unidad de desarrollo larvario.....	48
Figura 43 Adultos con habilidad de vuelo por tratamiento.....	49
Figura 44 Larvas por dólar por tratamiento.	51
Figura 45A Curva de ganancia de peso de larva <i>A. ludens</i>	56
Figura 46A Ciclo biológico de <i>Anastrepha ludens</i> (Loew).....	56
Figura 47A Gráfico de dispersión, Predichos y Residuos Estudentizados, larvas/kg.....	62
Figura 48A Gráfico de interacciones, larvas/kg.....	64
Figura 49A Gráfico de dispersión, Predichos y Residuos Estudentizados, Peso/pupa (mg).....	64
Figura 50A Gráfico de interacciones, peso de pupa (mg)	65
Figura 51A Gráfico de dispersión, Predichos y Residuos Estudentizados, %Muertos a las 72 horas de emergencia.	66
Figura 52A Gráfico de interacción, % muertos a las 72 horas de emergencia.....	68

FIGURA	PÁGINA
Figura 53A Gráfico de dispersión, Predichos y Residuos Estudentizados, porcentaje de adultos con habilidad de vuelo.....	68
Figura 54A Gráfico de interacción, % adultos con habilidad de vuelo.	69

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1 Insumos y cantidades para la elaboración de dietas.....	15
Cuadro 2 Tratamientos	16
Cuadro 3 Aleatorización de las combinaciones de unidad de desarrollo larvario y dieta.....	17
Cuadro 4 Insumos para la elaboración de solución nutritiva.....	23
Cuadro 5 Días de pupación y días a diferentes temperaturas durante la maduración de la pupa.	28
Cuadro 6 Color de ojos y días a la emergencia de adulto.....	29
Cuadro 7 Balance de agua para cada tratamiento.....	46
Cuadro 8 Costo por kilogramo de dieta.....	49
Cuadro 9 Costo ponderado por kilogramo.	50
Cuadro 10 Larvas por dólar por tratamiento.	50
Cuadro 11A Prueba de T apareada, variable Larvas/kg, ensayo 2.8 mL y 3 mL por bandeja, manejo hidropónico.	57
Cuadro 12A Prueba de T apareada, variable mg/larva, ensayo 2.8 mL y 3 mL por bandeja, manejo hidropónico.	57
Cuadro 13A ANDEVA y prueba múltiple de medias, variable larvas/kg, ensayo manejo hidropónico.	58
Cuadro 14A ANDEVA y prueba múltiple de medias, variable mg/larva, ensayo manejo hidropónico.	59
Cuadro 15A ANDEVA y prueba múltiple de medias, variable porcentaje de adultos con habilidad de vuelo, ensayo manejo hidropónico.	60
Cuadro 16A ANDEVA y prueba múltiple de medias, variable porcentaje de adultos muertos a las 72 horas, ensayo manejo hidropónico.	61
Cuadro 17A Prueba de T para muestras apareadas, temperatura día 3 de maduración larval.	61

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 18A Prueba de Shapiro-Wilks, individuos/kg.....	62
Cuadro 19A ANDEVA y prueba múltiple de medias, larvas/kg	63
Cuadro 20A Prueba Shapiro-Wilks, Peso de pupa (mg)	64
Cuadro 21A ANDEVA, peso de pupa.....	65
Cuadro 22A Prueba de Shapiro-Wilks, % Muertos a las 72 horas de emergencia.	65
Cuadro 23A ANDEVA y prueba multiple de medias, porcentaje de muertos a las 72 horas de emergencia.	67
Cuadro 24A Prueba de Shapiro-Wilks, porcentaje de adultos con habilidad de vuelo.....	68
Cuadro 25A ANDEVA, porcentaje de adultos con habilidad de vuelo.....	69

EFFECTO DE TRES DIETAS SÓLIDAS CON MANEJO HIDROPÓNICO COMBINADAS CON DOS TIPOS DE UNIDADES DE DESARROLLO LARVARIO, EN LOS PARÁMETROS DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE *Anastrepha ludens* (Loew) EN LA PLANTA PETAPA, MOSCAMED, GUATEMALA, C.A.

EFFECT OF THREE SOLID DIETS WITH HYDROPONIC MANAGEMENT COMBINED WITH TWO TYPES OF LARVAL DEVELOPMENT UNITS, ON THE PERFORMANCE AND QUALITY PARAMETERS OF *Anastrepha ludens* (Loew) IN PETAPA FACILITY, MOSCAMED, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

Este estudio está centrado en la producción de *Anastrepha ludens* (Loew) cepa BPS-Familia 10 en la planta Petapa del Programa Moscamed, se abordó la necesidad de optimizar la producción de larvas de esta especie. Se destacó la importancia de la alimentación durante el estado larvario y se propuso la técnica del manejo hidropónico como una alternativa para mejorar en términos de rendimiento y costos la producción de larvas de *A. ludens*.

En el planteamiento del problema, se señaló la oportunidad de optimizar el aprovechamiento de nutrientes durante la maduración larval. Se realizó un ensayo a mediana escala diseñado en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, se evaluaron seis combinaciones, utilizando dos tipos de bandeja (bandeja celeste y bandeja Petapa) y tres tipos de dieta (Control, 0HM y 3565); los tipos de bandeja diferían principalmente en sus materiales y dimensiones; mientras que las dietas evaluadas variaban en la cantidad de harina de maíz y en la proporción de proteína aportada con harina de levadura y harina de soya.

Se consideró la cantidad de larvas/kg de dieta, el peso de pupa en miligramos, el porcentaje de adultos con habilidad de vuelo y el porcentaje de adultos muertos a las 72 horas de emergencia como variables respuesta para evaluar las combinaciones entre tipos de bandeja y dietas.

Los resultados de la investigación mostraron diferencia significativa en la producción de larvas/kg de dieta, con un aumento del 12% al utilizar bandejas Petapa; en los parámetros de calidad únicamente se presentó diferencia significativa en el porcentaje de adultos muertos a las 72 horas de emergencia, siendo las bandejas Petapa y la dieta Control los niveles que presentaron menor mortalidad.

En las conclusiones, se destacó la superioridad de la combinación 3565-Petapa considerando el rendimiento, calidad y beneficio-costo. La interacción entre dieta y unidad de desarrollo larvario fue independiente para todas las variables evaluadas.

Las recomendaciones sugieren la comparación del porcentaje de humedad de la dieta entre bandejas celeste y bandejas Petapa durante el proceso de maduración larval, la evaluación de una nueva dieta combinando los tratamientos 0HM y 3565, la evaluación a escala masiva de las dietas propuestas en este ensayo, y la comparación de costos entre el uso de bandejas Petapa y bandejas celestes, considerando el espacio a utilizar y la mano de obra necesaria.

1 INTRODUCCIÓN

El género *Anastrepha* es nativo de América, *Anastrepha ludens* (Loew), la mosca mexicana de la fruta fue detectada por primera vez en la zona central de México en 1863 y a inicios de la década de 1950 fue detectada en la frontera entre California y México (Departamento de Agricultura de Estados Unidos [USDA], 2022). *A. ludens* pone en riesgo la exportación de cítricos y mangos de la producción de la frontera entre México y Estados Unidos, la cual representó en 2008 121.8 millones de dólares (Gutierrez, 2008).

La técnica del insecto estéril (TIE) es utilizada para suprimir y erradicar la mosca mexicana de la fruta, actualmente existen proyectos de TIE en los 5 continentes (Organismo Internacional de Energía Atómica [IAEA], 2022). La planta de Moscamed ubicada en San Miguel Petapa tiene como objetivo la producción de *Anastrepha ludens* (Programa Moscamed, 2022a), en esta planta se producen machos estériles de *A. ludens* para su liberación en campo y así controlar las poblaciones de esta plaga.

El éxito en la producción de *Anastrepha ludens* (Loew) depende en gran medida de la alimentación del insecto durante el estado larvario, por ello, es necesaria la evaluación constante de dietas y técnicas de producción alternativas que permitan aumentar la producción de *A. ludens*, optimizar recursos y mantener o mejorar la calidad del insecto.

Los insumos de la dieta larval representan el 35% de los costos, es por ello que se han realizado investigaciones en la implementación de técnicas de manejo y dietas que permitan el cumplimiento de los estándares de calidad, y que sean viables económicamente. De acuerdo con lo expresado por M. López (entrevista personal, 22 de septiembre de 2022), la técnica del manejo hidropónico surgió en la planta ubicada en el municipio de San Miguel Petapa como una alternativa que permite una mayor producción a un menor costo, es por ello que las dietas y unidades de desarrollo larvario de esta investigación, fueron evaluadas utilizando la técnica de manejo hidropónico durante la maduración larval.

La evaluación de tres tipos de dieta combinadas con dos tipos de bandeja en la planta Petapa, comparó la cantidad de larvas producidas por kilogramo de dieta, el peso de pupa en miligramos, el porcentaje de adultos con habilidad de vuelo y el porcentaje de adultos muertos a las 72 horas de emergencia; además se evaluó la relación beneficio-costo expresada en cantidad de larvas/US\$

para establecer la o las combinaciones que representan la mejor alternativa en términos de rendimiento, calidad y beneficio-costo.

La mejor combinación en términos de rendimiento, calidad y beneficio costo fue la constituida por la dieta 3565 sembrada en bandejas Petapa, representando un aumento en términos de larvas/dólar del 13.3% en comparación a la combinación de la dieta control sembrada en bandeja celeste.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de maduración larval de *Anastrepha ludens* (Loew) en la planta Petapa del Programa Moscamed tiene una duración de 10 días, al final de este proceso se espera que la larva alcance 27 mg de peso. La curva de crecimiento indica que en los primeros 4 días la larva únicamente ha alcanzado el 11% del peso final.

La técnica de manejo hidropónico ha sido desarrollada en planta Petapa desde el año 2020 (M. López, entrevista personal, 22 de septiembre de 2022), en conjunto con una unidad de desarrollo larvario llamada “bandeja Petapa”, la unidad de desarrollo larvario es la estructura donde crece y se desarrolla la larva alimentándose de la dieta.

En el manejo hidropónico los primeros cuatro días la larva se alimenta de la fase sólida de la dieta, durante esta primera etapa es cuando se agregan más del 50% de los nutrientes que se aportan a la dieta, y pese a ello la tasa de ganancia de peso es únicamente de 3.6 mg, el 11% del peso final (Figura 45A); por lo que podría tomarse como premisa que el aprovechamiento de los nutrientes durante esta primera fase puede ser optimizada y que los nutrientes restantes que son aportados en una fase líquida son suficientes para que finalice el crecimiento y desarrollo de la larva.

Actualmente en el manejo hidropónico la fase sólida representa más del 60% del costo de la dieta, sin embargo, es durante la aplicación de solución nutritiva que la larva tiene una ganancia de peso de alrededor del 75% del peso total (Figura 45A), según lo mencionado por M. López (entrevista personal, 22 de septiembre de 2022) los insumos de la dieta representan el rubro más alto en los costos de operación de la planta, por lo cual un aprovechamiento deficiente de la fase sólida representa una oportunidad para la optimización de recursos.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Marco Conceptual

3.1.1 Moscas de la fruta

Las moscas de la fruta de la familia Tephritidae son consideradas una de las plagas más destructivas, debido a la alta capacidad reproductora, son capaces de acabar con cosechas enteras al reproducirse en los frutos de plantaciones en gran escala (Programa Moscamed, 2022b).

A Mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* (Loew)

La mosca mexicana de la fruta fue detectada por primera vez en la zona central de México en 1863, a inicios de la década de 1950 fue detectada en la frontera entre California y México, desde entonces se ha detectado en Arizona, California y Texas (USDA, 2022), también ha sido detectada en Centroamérica y Colombia.

Se considera una plaga polífaga, debido a que sus hospedantes forman parte de varias familias de plantas, entre los cuales están los cítricos (*Citrus* spp.), mango (*Mangifera indica* L.), durazno (*Prunus persica* L.), entre otros (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA], 2022).

La hembra adulta causa perforaciones en los frutos para depositar sus huevos, posteriormente la fruta muestra síntomas externos como pudriciones debido a las galerías que forma la larva mientras se alimenta de la pulpa del fruto (SENASICA, 2022).

B Ciclo biológico

El ciclo biológico inicia cuando las hembras depositan sus huevos dentro de los frutos de la planta hospedante (Figura 46A), tarda entre 2 y 4 días para que la larva salga del huevo y comience a alimentarse de la pulpa del fruto, el estado de larva dura alrededor de 15 y 18 días, luego la larva sale del fruto y se convierte en pupa en la superficie del suelo, el estado de pupa dura alrededor de 25 días según la temperatura, posteriormente emerge el adulto (Comité Estatal de Sanidad Vegetal, 2015).

C Control de las moscas de la fruta

El control de esta plaga se realiza por medio de un sistema de Manejo Integrado de Plagas (MIP), que incluye el monitoreo por trapeo y muestreo de frutas, control por aspersiones, estaciones cebo, control autocida o Técnica del Insecto Estéril (TIE), control legal (cuarentenas internas) y Control mecánico (Programa Moscamed, 2022b).

D Técnica del Insecto Estéril (TIE)

La TIE es una de las técnicas más respetuosas con el medio ambiente, la irradiación con rayos gamma y rayos X esteriliza los insectos criados en masa para su liberación estratégica en zonas definidas, con el objetivo de que se apareen los insectos de laboratorio con los insectos silvestres sin que haya descendencia, para reducir la población de la plaga (IAEA, 2022).

La eficacia de la TIE se ha demostrado en el control de la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*, *Anastrepha ludens*, *Bactrocera cucurbitae*), la mosca tsetse (*Glossina* spp.), el gusano barrenador del ganado (*Cochliomyia hominivorax*), polilla (*Cydia pomonella*) y mosquitos (*Aedes aegypti*) (IAEA, 2022).

E Dieta

La dieta es la comida con la que se alimenta un animal en el sentido más genérico, la dieta de insectos debe proveer los requerimientos nutricionales de forma estable, dentro de un marco económico viable; varía de acuerdo a los propósitos, alcances y especie de insecto (Carson, 2015).

Algunos autores sugieren la necesidad de categorizar la dieta como dieta natural y dieta artificial, siendo la dieta natural la que los insectos consumen en forma silvestre y dieta artificial a la mezcla de ingredientes que los insectos no consumen habitualmente en condiciones naturales (Carson, 2015).

F Dieta líquida

La dieta artificial utilizada en moscas de la fruta se divide en dos grandes categorías, dieta granular y dieta líquida; ambas están constituidas por ingredientes similares pero varía en el soporte mecánico que ofrecen a la larva, las dietas granulares son frecuentemente utilizadas para la producción de moscas de la fruta, esta dieta es texturizada con ingredientes como germen de trigo, zanahoria seca, alfalfa seca o bagazo de caña. La dieta líquida carece de un agente texturizante, generalmente se aporta en un medio artificial (algodón, esponja) para que esté disponible para la larva; la dieta líquida tiene la ventaja de ser mejor aprovechada por la larva (Carlke, 2019).

Chang, Cáceres y Jang en 2004 evaluaron una dieta líquida hecha a base de levadura, azúcar, agentes preservantes, ácido cítrico y agua destilada; para el desarrollo larval de *Bactrocera cucurbitae*, concluyeron un 20% menos de producción de pupa y 10% menos en el peso de la pupa con respecto a la dieta granular, sin embargo, los parámetros de calidad como el porcentaje de emergencia de adulto y porcentaje de adultos voladores no reflejaron diferencias significativas; entre

los beneficios del uso de esta dieta se menciona la eliminación del agente texturizante que puede contener residuos de pesticidas y la disminución de desechos de dieta. En este caso se utilizó esponja como medio de soporte para el desarrollo de la larva.

Según Chang, Vargas, Cáceres, Jang y Cho (2006) la dieta líquida compuesta por azúcar, levadura, agentes preservantes, aceite de trigo, ácido cítrico y agua; presenta en *Bactrocera dorsalis* idénticamente los mismos resultados en recuperación de pupa, peso de pupa, porcentaje de emergencia de adultos y porcentaje de adultos voladores, en comparación con la dieta sólida convencional; además sugieren que esta tecnología puede ser utilizada a escalas de producción masiva.

En 2014 Ekesi, Mohamed y Chang evaluaron una dieta líquida para la producción de *Bactrocera invadens* en África, los parámetros de recuperación de pupa, peso de pupa, y porcentaje de emergencia de adultos; fueron mayores en dieta líquida en comparación a la dieta sólida.

G Peso de pupa

El peso de la pupa es el indicador de la estabilidad y consistencia del sistema de cría, refleja la viabilidad de la pupa y correlaciona con el peso del adulto. Para la medición del peso de pupa se necesita el siguiente equipo.

- Balanza con precisión de ± 1 mg o mejor.
- Pinzas para remover los restos de dieta de la muestra.

El peso promedio de pupa se obtiene tomando muestras de 7 mL para *Anastrepha ludens*, el error estándar en el peso debe ser aproximadamente de 0.05 mg; el peso aceptable para *A. ludens* es de 17.71 mg y un mínimo de 17.08 mg (IAEA, 2019).

H Emergencia y adultos voladores

La habilidad de vuelo es fundamental para que la TIE sea efectiva, de esta forma el adulto se alimenta, busca agua y lo más importante, copula; para la medición de estos parámetros se necesita el siguiente equipo:

- Tubos plexiglás.
- Cajas Petri.
- Tira de papel poroso.
- Talco.

- Pinzas.
- Circulo de papel poroso.

Dos días antes de la emergencia se colocan 100 pupas dentro de un anillo hecho de papel construcción, luego se coloca el anillo dentro de los tubos de plexiglás, los tubos son recubiertos con talco en la parte interna, se retira el talco desde la parte baja hasta una altura de 3 cm, se realiza el mismo procedimiento con 5 tubos para evaluar cada lote (IAEA, 2019).

I Sobrevivencia bajo estrés

La prueba de sobrevivencia bajo estrés, también conocida como porcentaje de mortalidad a las 72 horas de emergencia, consiste en la limitación de agua y comida a los adultos, los adultos deben sobrevivir lo suficiente para madurar sexualmente y copular en campo; el equipo a utilizar es:

- Cajas Petri de 150 mm de diámetro, con una abertura de 100 mm al centro, la cual es cubierta con malla de 36 Cuadros/cm².
- Aspirador.
- Cajas de plexiglass.

Se coloca una muestra de miles de pupas en una caja de emergencia sin agua ni comida, utilizando un aspirador se seleccionan 50 machos y 50 hembras, los cuales son transferidos a cajas Petri sin agua ni comida. Las cajas Petri son colocadas en la oscuridad. Los adultos muertos son retirados de las cajas Petri cada 24 horas, la prueba finaliza cuando muere más del 50% de adultos (IAEA, 2019).

3.2 Marco Referencial

3.2.1 Ubicación geográfica

La planta de producción de *Anastrepha* y parasitoides de Moscamed se encuentra ubicada en la zona 9 de San Miguel Petapa en las coordenadas geográficas 14°30'51.65"N y 90°33'51.65"O, colinda al este con la empresa Monolit, al oeste y norte con la colonia San Antonio y al Sur con la Calle Real y la gasolinera Shell Belarsa.

La única vía de acceso a la planta es a través de la Calle Real, a esta calle se puede acceder a través de la CA-9 en Villa Nueva, RD-GUA-14 en Ciudad de Guatemala (Figura 1).

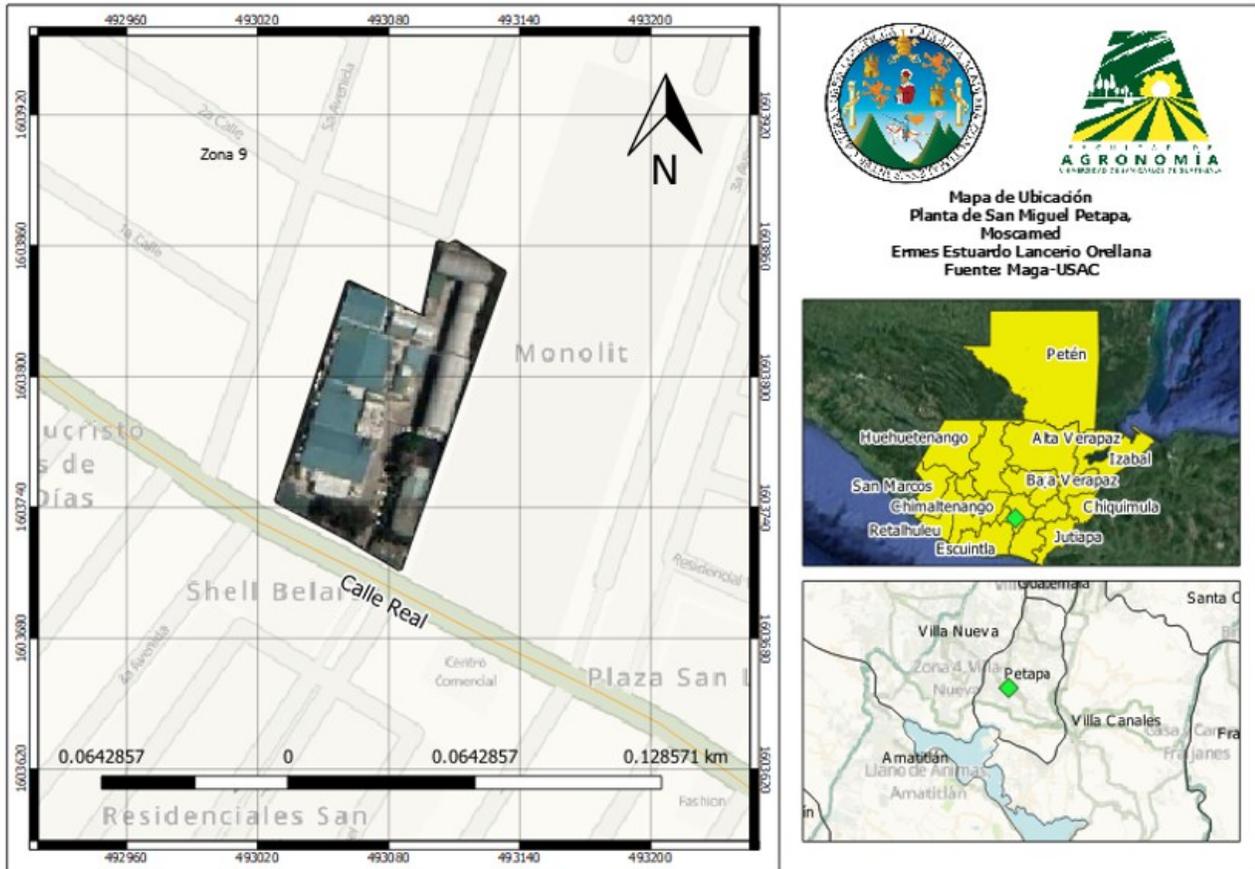


Figura 1 Mapa de ubicación de la planta de producción de *Anastrepha* y parasitoides de Moscamed

3.2.2 Clima

A Temperatura

La planta posee una estación meteorológica, los datos citados en esta investigación comprenden el período del 2016 al 2021. La temperatura promedio anual fue de 22°C, siendo el mes de mayo el que presentó mayor valor de temperatura, 24.5°C, y los meses de diciembre y enero con la menor temperatura (Figura 2).

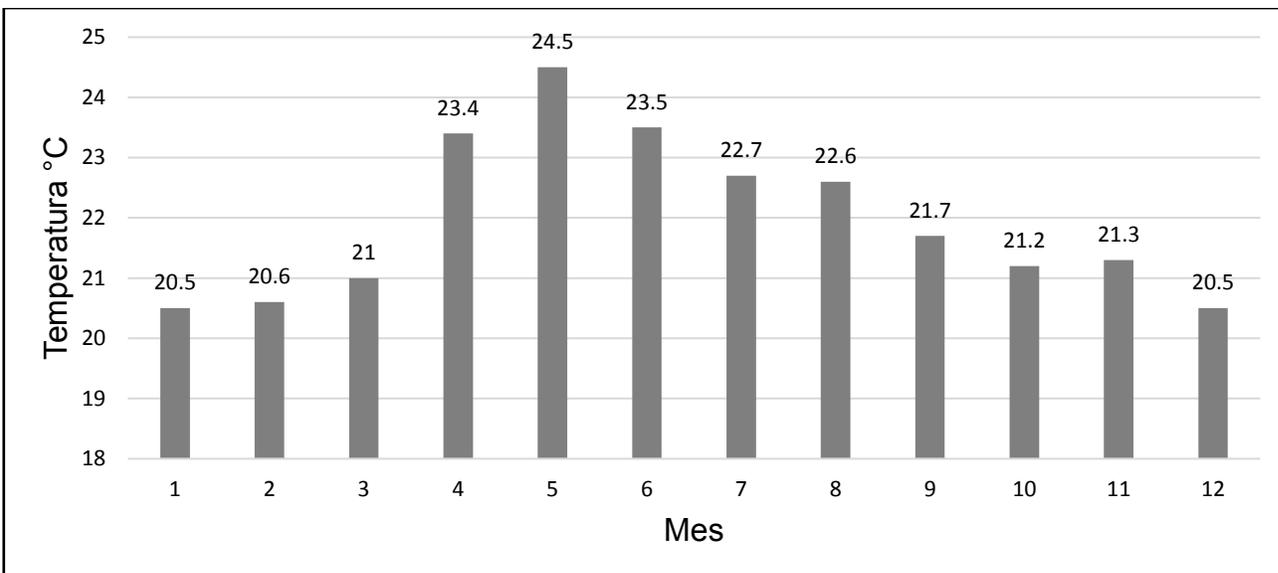


Figura 2 Temperaturas promedio registradas en la planta Petapa de Moscamed.

3.2.3 Antecedentes

A Dieta 0HM

La dieta 0HM es una variante en la que se eliminó la harina de maíz de la formulación, esta dieta fue evaluada durante el 2021 y 2022 utilizando las técnicas de manejo estándar, se compararon diferentes porcentajes de reducción de harina de maíz, dando como resultado que el tratamiento 0HM alcanza los parámetros de producción y calidad esperados a un menor costo debido a la eliminación de la harina de maíz (Canú, 2022).

B Dieta 3565

La dieta 3565 cuenta con un 35% de proteína aportada por levadura y 65% por harina de soya, esta dieta fue evaluada durante el 2022 utilizando las técnicas de manejo estándar, esta dieta alcanzó los parámetros de producción y calidad esperados, disminuyendo el costo al aumentar la proporción de harina de soya (D. López., entrevista personal, 3 de octubre de 2022).

C Manejo hidropónico

El manejo hidropónico ha sido desarrollado en planta Petapa, Moscamed, desde el año 2020, inició con el objetivo de aumentar la producción de larvas por bandeja, se colocaron hasta 5 mL de huevo en una bandeja celeste (aproximadamente 125000 huevos), cuando en el manejo estándar se manejaba una densidad de 1.8 mL (aproximadamente 45000 huevos), se observó que la población

por bandeja alcanzaba hasta 46000 larvas por bandeja (un incremento del 168%), sin embargo, el peso de larva era de 18 mg y se esperaba como mínimo 27 mg de peso de larva .

El bajo peso de la larva en densidades altas mostró como oportunidad el aporte de alimento a través de una solución nutritiva para poder aumentar el peso de la larva y así mantener poblaciones altas con un peso de larva de al menos 27 mg. Para ello se realizaron ensayos que demostraron que, aportando una solución nutritiva con levadura y azúcar, era posible alcanzar una producción de 40000 larvas por bandeja celeste, con un peso de larva de 26 mg.

Los resultados alcanzados fueron positivos en términos de producción, por lo cual se iniciaron ensayos para encontrar un punto en el cual se aportará la cantidad de dieta necesaria para aumentar la producción, cumplir con los parámetros de calidad y disminuir los costos de producción; esto llevó a iniciar una serie de ensayos en busca de las cantidades de solución nutritiva y dieta sólida que aumentaran el rendimiento y disminuyeran los costos de producción por cada millón de pupa.

Se realizaron ensayos con distintas cantidades de fase sólida, en donde se determinó que con 3.8 kg de fase sólida, sembrados a una densidad de 2.8 ml de huevo por bandeja y realizando un aporte diario de 700 g de solución nutritiva en los días 4, 5 y 6 de maduración larval, se alcanzaban los mejores resultados en términos de producción, calidad y costo. Durante estas evaluaciones se demostró que al utilizar 3.8 kg de fase sólida se puede alcanzar producciones de 37000 larvas por bandeja, y que, al incrementar la densidad a 3 ml por bandeja, no se obtiene un aumento de producción significativamente mayor (Cuadro 11A y 12A), por lo cual es más conveniente utilizar 3.8 kg de fase sólida con una densidad de 2.8 mL.

D Unidad de desarrollo larvario

La unidad de desarrollo larvario es el contenedor en el cual la larva se alimenta de la dieta para crecer y desarrollarse, convencionalmente se han utilizado bandejas de fibra de vidrio marca MFG®, conocidas como bandejas celestes (Figura 3).



Figura 3 Bandeja celeste para el desarrollo larvario de *A. ludens*.

La bandeja celeste posee una alta rigidez, lo cual permite apilar una sobre otra hasta formar torres de 22 bandejas que son transportadas sobre un dollie¹.

En la planta Petapa, Moscamed, se ha desarrollado una nueva unidad de desarrolla larvario, consiste en una bandeja de acero inoxidable (Figura 4), la cual ocupa la mitad del área de las bandejas celestes.



Figura 4 Bandeja Petapa para el desarrollo larvario de *A. ludens*.

En 2021 y 2022 se realizó un ensayo en el que se evaluó el efecto del manejo hidropónico, el manejo estándar, las bandejas celestes y las bandejas Petapa; los resultados de este ensayo demostraron que con el manejo hidropónico se alcanza un mayor rendimiento en larvas/kg de dieta, en comparación al manejo estándar (Cuadro 12A), las bandejas Petapa superan en la misma variable a las bandejas celestes (Cuadro 12A); el manejo estándar alcanza un mayor peso de larva (Cuadro 13A), no se detectaron diferencias significativas para la variable porcentaje de adultos con habilidad

¹ Dollie: Estructura de aluminio con cuatro ruedas para transporte de carga.

de vuelo (Cuadro 14A) y en el porcentaje de muertos a las 72 horas de emergencia se alcanzaron mejores resultados con el manejo hidropónico (Cuadro 15A).

El manejo hidropónico en bandejas celestes actualmente consiste en colocar 3.8 kg de dieta sólida (fase sólida) sembrada con 2.8 mL de huevo (aproximadamente 70000 huevos), los días 4, 5 y 6 después de la siembra se agregan 700 g de solución nutritiva (agua, levadura, azúcar, benzoato de sodio), dando un total de 2.1 kg de solución nutritiva.

El manejo hidropónico en bandejas Petapa actualmente consiste en colocar 1.9 kg de dieta sólida (fase sólida) sembrada con 1.7 mL de huevo (aproximadamente 42500 huevos), los días 4 y 5 después de la siembra se agregan 350 g de solución nutritiva (agua, levadura, azúcar, benzoato de sodio), el día 6 se agregan 700 g, dando un total de 1.4 kg de solución nutritiva.

El manejo hidropónico ha incrementado la producción por kilogramo de dieta (fase sólida más fase líquida) alrededor de un 30% con bandejas celestes y un 40 % con bandejas Petapa.

4 OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar el efecto de tres dietas sólidas con manejo hidropónico combinadas con dos tipos de unidades de desarrollo larvario, en los parámetros de rendimiento y calidad de *Anastrepha ludens* (Loew) en la planta Petapa, Moscamed, Guatemala.

4.2 Específicos

- Identificar el tratamiento que presente los mejores parámetros de rendimiento y calidad, medido en número de individuos por kg de dieta, peso de pupa en miligramos, porcentaje de adultos con habilidad de vuelo y mortalidad de los adultos de *Anastrepha ludens* (Loew) bajo diferentes condiciones de dieta y unidades de desarrollo larvario.
- Evaluar la relación beneficio-costo de las tres dietas sólidas con manejo hidropónico combinadas con los dos tipos de unidades de desarrollo larvario, considerando los costos de insumos y la producción de larvas obtenida en cada tratamiento.
- Identificar la combinación de dieta y unidad de desarrollo larvario más viable en términos de rendimiento medido en larvas/kg; calidad, medido en peso de pupa en miligramos, porcentaje de adultos con habilidad de vuelo y porcentaje de mortalidad a las 72 horas; y la relación beneficio-costo, medida en larvas por dólar USD.
- Analizar la interacción entre las dietas sólidas con manejo hidropónico y los tipos de unidades de desarrollo larvario con relación al rendimiento y calidad de *Anastrepha ludens* (Loew).

5 HIPÓTESIS

La unidad de desarrollo larvario con mayor rendimiento en larvas/kg será la bandeja Petapa, ya que durante la maduración larval alcanza una mayor cantidad de individuos por kilogramo de dieta, no se presentará diferencia significativa en ninguna de las variables de calidad.

La dieta con mayor rendimiento en larvas/kg será la dieta OHM, no se presentará diferencia significativa en las variables de calidad.

La mejor combinación tomando en cuenta el rendimiento, calidad y beneficio-costo, será la dieta OHM sembrada en la bandeja Petapa, la cual permitirá altos rendimientos a un bajo costo y sin disminuir los parámetros de calidad.

6 METODOLOGÍA

6.1 Tratamientos

6.1.1 Factor dieta sólida

El factor dieta sólida consistió de 3 niveles, los cuales fueron:

- Control: dieta con 50% de levadura, 50% de harina de soya y 100% harina de maíz.
- 3565: dieta con 35% de levadura, 65% de harina de soya y 100% harina de maíz.
- 0HM: dieta con 50% de levadura, 50% de harina de soya y 0% harina de maíz.

Los insumos y las cantidades para la elaboración de las dietas se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1 Insumos y cantidades para la elaboración de dietas.

Dieta solida		Control	3565	0HM
Total, de dieta	kg	752	752	752
Agua purificada	l	488	488	515
Azúcar	kg	71	71	75
Harina de maíz	kg	41	41	0
Levadura lake states	kg	27	19	28 ²
Harina de Soya	kg	27	35	28
Olote ³ C	kg	95	95	100
Benzoato de sodio	kg	3.41	3.41	3.41
Formalina	l	1.13	1.13	1.13

6.1.2 Factor unidad de desarrollo larvario

El factor unidad de desarrollo larvario tuvo 2 niveles:

- Bandejas celestes: construidas a base de fibra de vidrio con dimensiones, 38 cm de ancho, 75.6 cm de largo y profundidad de 4 cm (Figura 5).

² Existe una diferencia en la cantidad de levadura y harina de soya para este tratamiento, debido a que la eliminación de harina de maíz provocó el aumento de los insumos restantes para poder producir la misma cantidad de dieta.

³ Raquis grueso y firme que constituye el eje o corazón de la espiga que conforma la mazorca de maíz.



Figura 5 Bandeja y torre celeste

- Bandejas Petapa: fabricadas a base de acero inoxidable, con dimensiones, 20 cm de ancho, 76 cm de largo y 4.3 cm de profundidad (Figura 6).



Figura 6 Bandeja y torre Petapa.

Se obtienen 6 combinaciones de los 2 factores (Cuadro 2).

Cuadro 2 Tratamientos

Factor primario	Factor secundario	Tratamiento
Control	Bandeja celeste	Control-bandeja celeste
	Bandeja Petapa	Control-bandeja Petapa
3565	Bandeja celeste	3565-bandeja celeste
	Bandeja Petapa	3565-bandeja Petapa
0HM	Bandeja celeste	0HM-bandeja celeste
	Bandeja Petapa	0HM-bandeja Petapa

- T1: Control-bandeja celeste
- T2: Control-bandeja Petapa
- T3: 3565-bandeja celeste

- T4: 3565-bandeja Petapa
- T5: 0HM-bandeja celeste
- T6: 0HM-bandeja Petapa

6.2 Unidad experimental

La unidad experimental estuvo constituida por 132 unidades de desarrollo larvario, sembradas con huevos de la cepa BPS-Familia 10.

6.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, en la parcela grande fueron ubicadas las dietas sólidas y en las parcelas pequeñas las unidades de desarrollo larvario. Cada bloque estuvo representado por el día en el cual se realizó la siembra en las dietas evaluadas, ya que existen gradientes de variabilidad como la calidad de huevo, la temperatura y humedad relativa de las salas de maduración larval; la temperatura y humedad relativa de las salas de maduración de pupa, que varían con respecto a los días.

6.4 Repeticiones

El número de repeticiones empleado fue de 10 repeticiones.

6.5 Aleatorización

El bloque corresponde a una fecha de siembra, la parcela grande corresponde a la dieta y la parcela pequeña a las unidades de desarrollo larvario, para el caso del bloque I, primero se elaboró la dieta 3565, y se sembró en bandejas celeste y luego en bandejas Petapa; posteriormente se elaboró la dieta 0HM y se sembró en bandejas Petapa y luego en bandejas celestes; por último, se elaboró la dieta control y se sembró en bandejas Petapa y luego en bandejas celeste (Cuadro 3).

Cuadro 3 Aleatorización de las combinaciones de unidad de desarrollo larvario y dieta.

	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Bloque V	Bloque VI	Bloque VII	Bloque VIII	Bloque IX	Bloque X
Control	Celeste	Petapa	Celeste	Petapa	Celeste	Celeste	Petapa	Petapa	Petapa	Celeste
3565	Petapa	Celeste	Petapa	Celeste	Petapa	Petapa	Celeste	Celeste	Celeste	Petapa
0HM	Petapa	Celeste	Petapa	Celeste	Celeste	Petapa	Petapa	Celeste	Celeste	Petapa
	Celeste	Petapa	Celeste	Petapa	Petapa	Celeste	Celeste	Petapa	Petapa	Celeste
	Petapa	Petapa	Petapa	Petapa	Petapa	Celeste	Celeste	Petapa	Celeste	Petapa
	Celeste	Celeste	Celeste	Celeste	Celeste	Petapa	Petapa	Celeste	Petapa	Celeste

6.6 Manejo del experimento

6.6.1 Elaboración de dieta

Para la elaboración de la dieta primero se realizó el pesado de los ingredientes en una báscula que mide el peso en kilogramos, se colocó una tarima ya tarada, luego se apilaron los sacos de cada ingrediente hasta llegar al peso indicado en la formulación de cada tipo de dieta, descontando el peso del empaque de cada ingrediente (Figura 7). Luego se identificó el pesado de insumos con el tipo de dieta y el número de lote del olote pesado.



Figura 7 Peso de insumos para la elaboración de las dietas para la alimentación durante el desarrollo larvario.

Los insumos fueron transportados al área de mezcladora para elaborar la dieta (Figura 8), primero se agregó el olote a la mezcladora, mientras se agregó una solución de ácido hipocloroso a 140 ppm, esta solución representa en la dieta la tercera parte en volumen de todos los líquidos y se midió por medio de un contador de agua digital.



Figura 8 Elaboración de dietas para la alimentación durante el desarrollo larvario.

La mezcla de olote y la solución de ácido hipocloroso se dejó en reposo durante 15 minutos. Luego se agregó la harina de soya, levadura, harina de maíz y azúcar; mientras se agregó agua purificada con 26°C de temperatura y cloro a 10 ppm.

El benzoato de sodio fue diluido en 40 L de agua y la formalina en 20L, 5 minutos después de mezclar todas las harinas y el olote, se agregó la solución de benzoato de sodio y 5 minutos después la solución de formalina, la dilución se realiza en recipientes plásticos (Figura 9).



Figura 9 Dilución de Benzoato de Sodio y Formalina.

Luego de 5 minutos de mezclado de todos los ingredientes, se tomó una muestra de aproximadamente 40 g de dieta para la medición del pH, este pH fue identificado como pH inicial, luego se agregó una solución de ácido clorhídrico al 7.4% p/v hasta que el pH alcanzara un valor entre 3.90 y 3.99.

6.6.2 Proceso de siembra

En el proceso de siembra se colocó el huevo maduro⁴ sobre la dieta, para este proceso la dieta fue transportada por medio de tuberías desde la mezcladora hasta el área de siembra, la dieta cae sobre las bandejas en movimiento sobre una banda transportadora.

⁴ Huevo maduro: Posee por lo menos un 80% de aparato bucal.

La solución de siembra está compuesta por agua y huevo maduro, la cantidad de huevo y agua dependerá de la densidad de siembra⁵ que se desea utilizar, para ello se realizó una centrifugación del huevo para retirar la mayor cantidad de agua (Figura 10).

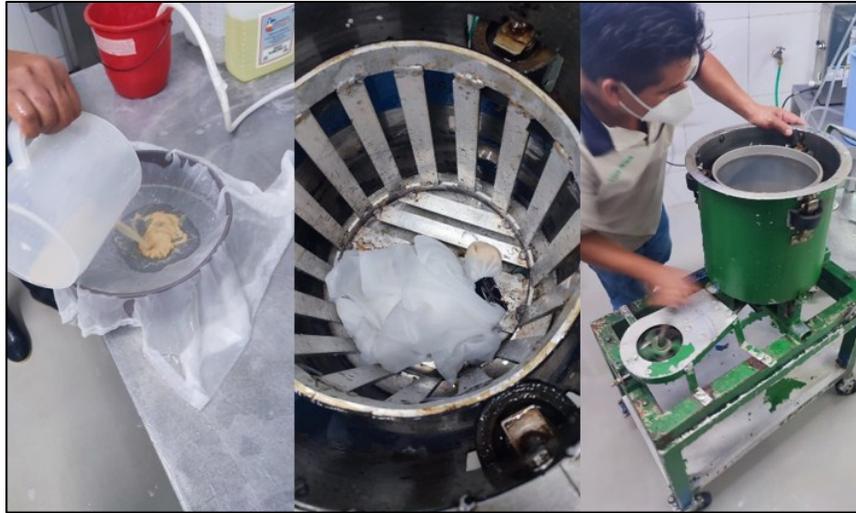


Figura 10 Centrifugación de huevo utilizado en el proceso de siembra.

Luego se midió 500 mL de agua en una probeta plástica de 1L y se agregó huevo hasta llegar a 1L, de esta manera se miden 500 mL de huevo; se realizó el mismo procedimiento para medir 1150 mL para una solución de densidad 2.8 mL y se midieron 698 mL para una solución de densidad 1.7 mL (Figura 11).



Figura 11 Medición de huevo utilizado en el proceso de siembra.

⁵ Densidad de siembra: mililitros de huevo por bandeja.

Luego de la medición de huevo este se agregó a una cubeta plástica de 20 L, para realizar la solución de siembra para bandejas celestes se utilizaron 1151 mL de huevo, para bandejas Petapa se utilizaron 698 mL de huevo.

Huevo a sembrar = unidades de desarrollo larvario*densidad de siembra

Huevo a sembrar en bandejas petapa = 411 bandejas*1.7 mL = 699 mL

Huevo a sembrar en bandejas celestes=411 bandejas*2.8 mL=1151 mL

Las bandejas fueron sembradas con 45 mL de solución de huevo, por lo cual la solución para bandejas Petapa tendrá un total de 18495 mL al igual que para las bandejas celeste.

Total de solución de siembra = bandejas*45 mL

Total de solución de siembra bandeja petapa = 411*45 mL = 18495 mL

Total de solución de siembra bandeja celeste = 411*45 mL = 18495 mL

Para la solución de siembra de bandejas Petapa se agregaron 17796 mL de agua con pH 4.5 a los 699 mL de huevo para llegar a un total de 18495 mL de solución, en el caso de la solución para bandejas celestes se agregaron 17344 mL de agua con pH 4.5 a los 1151 mL de huevo para llegar a un total de 18495 mL de solución.

6.6.3 Siembra

La solución de siembra fue agregada a la dieta utilizando un dosificador marca Filamatic®, el cual agregó 45 mL de la solución a cada bandeja (Figura 12).



Figura 12 Siembra de huevo en dieta, previo al proceso de maduración larval.

Las bandejas celestes tuvieron un peso de 3.8 kg de dieta, las bandejas Petapa de 1.6 kg.

Luego de la siembra las bandejas celestes fueron apiladas e identificadas con la fecha de siembra, el número de mezcla y el tratamiento, las bandejas Petapa fueron colocadas en un anaquel y este fue identificado con la información correspondiente, tanto las torres de bandejas celestes como el anaquel de bandejas Petapa fueron cubiertos con una funda hecha de tela anti-insectos y una bolsa de plástico (Figura 13).



Figura 13 Enfundado de torres previo al ingreso a las salas de maduración larval.

6.6.4 Proceso en maduración larval

A Día 1

Las bandejas sembradas permanecieron en una sala a 34°C, se espera que en este punto la dieta tenga una temperatura entre 28 y 31°C.

B Día 2

Permanecieron en la sala de 34°C, se espera una temperatura de 30 a 32°C, se retiró la bolsa plástica y se trasladaron las bandejas a una sala de 32°C.

C Día 3

Las bandejas permanecieron en la sala de 32°C.

D Día 4

Se aplicaron 700 g de solución nutritiva a las bandejas celestes y 350 g a las bandejas petapa, la formulación cuenta con agua, levadura, azúcar y Benzoato de Sodio en diferentes proporciones (Cuadro 4).

Cuadro 4 Insumos para la elaboración de solución nutritiva.

Ingrediente	%
Agua	78.1
Levadura	7.0
Azúcar	14.1
Benzoato de sodio	0.8
Total	100

El pH del agua utilizada fue ajustado a 4.5 utilizando ácido clorhídrico, la elaboración de solución nutritiva se llevó a cabo en contenedores donde se agregan los ingredientes y luego con un agitador se realizó la mezcla (Figura 14).



Figura 14 Homogenización de solución nutritiva para la aplicación durante la maduración larval.

La solución fue aplicada a la dieta utilizando un equipo de bombeo conectado a una tubería con 6 agujeros dirigidos a las bandejas en movimiento por una banda transportadora (Figura 15).



Figura 15 Aplicación de solución nutritiva en el manejo hidropónico durante la maduración larval.

Las bandejas fueron trasladadas a una sala de 25°C.

E Día 5

Se aplicaron 700 g de solución nutritiva a las bandejas celestes y 350 g a las bandejas Petapa utilizando la misma formulación y el mismo método, se trasladaron las bandejas a una sala de 22°C.

F Día 6

Se aplicaron 700 g de solución nutritiva a las bandejas celestes y 700 g a las bandejas Petapa utilizando la misma formulación y el mismo método, se trasladó a una sala de 20°C.

G Día 7

Se mantuvo el material en una sala a 20°C.

H Día 8

Se retiró la funda de tela anti-insectos.

I Día 9

Las bandejas fueron trasladadas a una sala con 22°C de temperatura.

J Día 10

Las bandejas fueron trasladadas al área de Separado larval.

K Separado larval

El separado se llevó a cabo el día 10 de maduración larval, para ello la dieta de la bandeja fue mezclada con bagazo de caña en una tómbola de homogenización (Figura 16) esto para disminuir la humedad de la dieta y facilitar el separado.



Figura 16 Tómbolas de acero inoxidable para el separado larval.

La mezcla de dieta, larva y bagazo de caña fue trasladada a una zaranda (Figura 17), la cual separa la mezcla por el tamaño de las partículas, logrando separar la mayor cantidad de larva de la mezcla.



Figura 17 Zaranda de acero inoxidable utilizada para el separado larval.

La larva separada se colocó en arneros a razón de 2 litros de larva/arnero (Figura 18), los arneros permiten que la larva atraviese la tela perforada, dejando los restos de dieta sobre el arnero.



Figura 18 Montado de larva en arneros para la separación de dieta y larva.

Luego de 15 minutos se colectó la larva sin restos de dieta, se agregaron 20 litros de larva y 2 litros de bagazo de caña a un contenedor (Figura 19), esto para disminuir la humedad de la larva y propiciar la pupación.



Figura 19 Homogenización de larva separada con bagazo de caña para la disminución de la humedad.

Se colocaron 1.08 kg de larva en una bandeja celeste, se apilaron torres de 25 bandejas que fueron transportadas al área de prepupación (Figura 20).



Figura 20 Pesado de larva separada, previo al ingreso a la sala de prepupación.

6.6.5 Maduración de pupa

A los 4 días del separado de larva se llevó a cabo la actividad de volteo de bandejas, que consiste en dejar caer la pupa en una estructura inclinada con tela perforada, para separar el bagazo de caña de la pupa (Figura 21).



Figura 21 Volteo de bandejas para la separación de dieta y pupa.

Se midieron 1.53 kg de pupa por cada arnero, los arneros fueron colocados en un anaquel (Figura 22).



Figura 22 Pesado de pupa luego del volteo de arneros.

A Días de pupación

Los días de pupación están relacionados con la temperatura, a menor temperatura será mayor el tiempo de maduración de pupa, en este caso, se trabajó con un intervalo entre 20 y 25 días de pupación, según la programación del envío de pupa al extranjero; la cantidad de días en los que la pupa estuvo en sala de 20 o 25°C varió dependiendo la cantidad de días de pupación (Cuadro 5).

Cuadro 5 Días de pupación y días a diferentes temperaturas durante la maduración de la pupa.

Días de pupación	Días a 20°C	Días a 25°C
20	15	5
21	17	4
22	18	4
23	22	1
24	23	1
25	25	0

La madurez de la pupa se comenzó a monitorear 9 días antes de la emergencia del adulto, en el caso de los materiales con 25 días de pupación el monitoreo inició en el día 16, mientras que con los materiales de 20 días de pupación el monitoreo inició en el día 11. La madurez de la pupa se monitorea realizando una disección para visualizar el color de los ojos del adulto en formación (Figura 23).

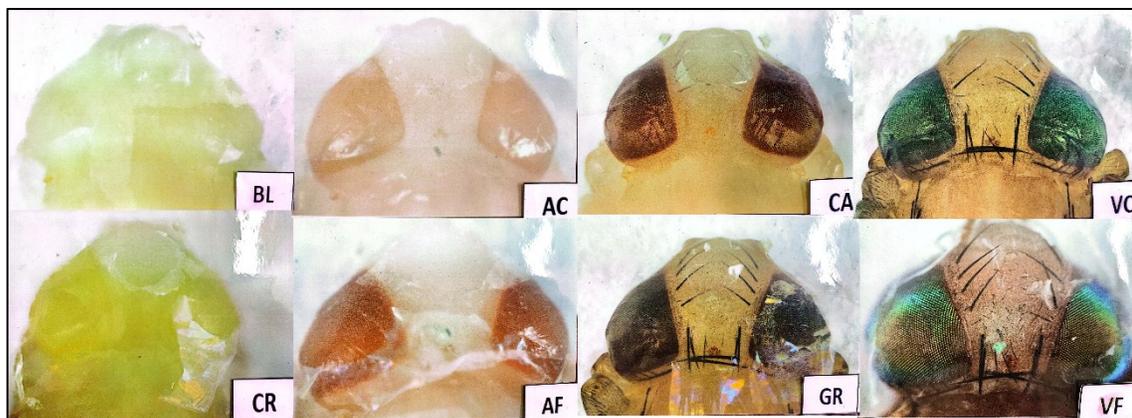


Figura 23 Color de ojos durante la maduración de pupa de *A. ludens*.

(Fotografía tomada por Rocío Yanes, 2019)

La coloración de los ojos cambia con respecto a la maduración de la pupa, cuando faltan 9 días para la emergencia del adulto la coloración de los ojos es blanca, cuando la madurez llega a punto de emergencia la coloración de los ojos es verde fuerte (Cuadro 6).

Cuadro 6 Color de ojos y días a la emergencia de adulto.

Días a la emergencia	Color de ojos
9	Blanco
8	Blanco
7	Blanco
6	Crema
5	Anaranjado claro
4	Anaranjado fuerte
3	Café
2	Gris
1	Verde Claro
0	Verde Fuerte

B Separado de pupa

El separado de pupa consiste en la separación por color de pupa, la pupa café es donde se encuentra el macho y en la pupa negra se encuentra la hembra, la separación de la pupa se realizó utilizando una clasificadora óptica. Primero se realizó una limpieza de la pupa, utilizando un arnero inclinado para eliminar restos de dieta, luego la pupa fue depositada en la clasificadora óptica Sortex®, se realizó un primer separado en el que la clasificadora rechaza la pupa negra y las coloraciones gris y café pálido mientras que la pupa café es aceptada, luego se realizó un segundo

separado donde se rechazaron las coloraciones grises y se aceptaron las coloraciones cafés del material rechazado en el primer separado.

La actividad de separado de pupa se realizó cuando el adulto en formación presentó una coloración de ojos anaranjado fuerte.

6.6.6 Irradiación

El proceso de irradiación se llevó a cabo colocando 4.5 L de pupa pintada con colorante Arc yellow en una bolsa husman, la cual se irradió en un irradiador Husman auto blindado, se expuso el material a una dosis de 80 Grey (Gy).

La bolsa irradiada fue empacada dentro de una caja para simular el proceso de envío, se retiró la bolsa a las 24 horas después de la irradiación.

6.7 Variables respuesta

6.7.1 Individuos por kilogramo de dieta

La estimación de individuos por kilogramo de dieta se obtuvo midiendo 10 mL de larva de cada tratamiento, se contó la cantidad de larva contenida en esos 10 mL; luego se midió la cantidad total de kilogramos de larva, los kilogramos fueron transformados a litros, sabiendo que 1.08 kg de larva son equivalentes a 1.5 L de larva. La cantidad de larva en 10 mL y el total de litros de larva son utilizados para estimar la cantidad de larva producida, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Individuos totales} = \frac{x \text{ kg de larva}}{1.08 \text{ kg de larva}} * \frac{1.5 \text{ L de larva}}{1 \text{ L de larva}} * \frac{1000 \text{ mL de larva}}{10 \text{ mL de larva}} * \frac{\text{larvas}}{\text{larvas}}$$

Donde:

x = cantidad de kg de larva.

y = cantidad de larvas en 10 mL.

Los individuos totales se dividen en la cantidad total de bandejas y luego en la cantidad de dieta utilizada, considerando tanto la dieta sólida como la solución nutritiva. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Individuos}}{\text{Kg de dieta}} = \frac{\frac{\text{Individuos totales}}{\text{Bandejas totales}}}{\text{Kg de dieta sólida} + \text{Kg de solución nutritiva}}$$

Donde:

Individuos totales: la cantidad de individuos obtenidos en la formula anterior.

Bandejas totales: el total de bandejas de cada tratamiento.

Kg de dieta sólida: 3.8 kg en el caso de bandejas celestes y 1.9 en bandejas Petapa.

Kg de solución nutritiva: 2.1 kg para bandejas celestes y 1.4 kg en bandejas Petapa.

6.7.2 Peso de pupa

El peso de pupa fue estimado faltando 1 día para la emergencia del adulto, para ello se realizó una muestra compuesta el día del separado de pupa, la clasificadora de pupa deposita la pupa café en un contenedor de 20L, se tomaron 2 litros de pupa café de cada contenedor clasificado y se colocaron en otro contenedor de igual volumen, al finalizar el separado de la pupa se homogenizó la muestra compuesta y se colocó sobre cribas a razón de 2 litros por criba y un total de 3 cribas por tratamiento.

La muestra compuesta fue utilizada para extraer 4 muestras de 10 mL de pupa café, de cada muestra se obtuvo el peso y el número de pupas, luego se calculó el peso de pupa promedio utilizando la siguiente formula:

$$\frac{\text{Peso pupa}}{\text{pupa}} = \frac{\text{g de pupa}}{\text{número de pupas}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

Donde:

g de pupa = la suma de los gramos de las 4 muestras.

número de pupas = la suma de la cantidad de pupas de las 4 muestras.

6.7.3 Porcentaje de emergencia y voladoras

El porcentaje de voladoras fue estimado a partir de la pupa café pintada e irradiada, para ello la muestra irradiada fue depositada en un contenedor plástico de 7 litros para homogenizar la muestra (Figura 24).



Figura 24 Homogenización de muestra previo al montaje de pruebas de calidad.

Luego se colocaron 100 pupas dentro de un cilindro que previamente fue cubierto con talco en la parte interna, se utilizaron 3 cilindros cada uno con 100 pupas, los cilindros fueron colocados dentro de una caja de plexiglás con una abertura al centro en la parte alta donde se encuentra una trampa con 50 mL de vinagre como atrayente para los adultos que emerjan de las pupas (Figura 25).



Figura 25 Cilindros para la prueba de porcentaje de voladoras.

Los cilindros fueron retirados de la caja de plexiglás 5 días después del montaje o bien hasta que los adultos emergidos dentro del cilindro estuvieran muertos. Se retiraron las pupas y adultos del

cilindro y se realizó un conteo de pupas no emergidas y de adultos (los cuales por estar dentro del cilindro se asume que no poseen habilidad de vuelo), se utilizó la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de emergencia:

$$\% \text{ de emergencia} = \frac{300 - \text{pupas no emergidas}}{300} * 100$$

Donde:

Pupas no emergidas = la suma de la cantidad de pupas sin emerger en los 3 cilindros.

El porcentaje de adultos voladores se determinó utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ de emergencia} = \frac{300 - \text{pupas no emergidas} - \text{adultos no voladores}}{300} * 100$$

Donde:

Pupas no emergidas = la suma de la cantidad de pupas sin emerger en los 3 cilindros.

Adultos no voladores = la suma de la cantidad de adultos dentro de los 3 cilindros.

6.7.4 Porcentaje de mortalidad

Se tomaron 300 mL de pupa de la muestra irradiada y pintada, estos fueron distribuidos en las tapaderas de 3 cajas Petri y colocadas dentro de una caja de plexiglás (Figura 26).



Figura 26 Colocación de pupa en la caja plexiglás, prueba de mortalidad.

El siguiente día a las 7:00 am se eliminaron todos los adultos emergidos utilizando una aspiradora de aire (Figura 27).



Figura 27 Aspirado de adultos en la prueba de porcentaje de mortalidad.

A las 9:00 am se utilizó una manguera para succionar 500 adultos y colocarlos dentro de cajas Petri perforadas (Figura 28) a razón de 100 adultos por caja Petri, dando un total de 5 cajas Petri.



Figura 28 Selección de adultos para la prueba de porcentaje de mortalidad.

Las cajas Petri fueron colocadas dentro de un anaquel cubierto (Figura 29), de esta forma los adultos se mantuvieron privados de luz, agua y alimento durante la prueba de mortalidad.



Figura 29 Anaquel de prueba de mortalidad ubicado en la sala de control de calidad.

Los siguientes 3 días a las 9:00 am se realizó el conteo de los adultos muertos por cada Petri (Figura 30).

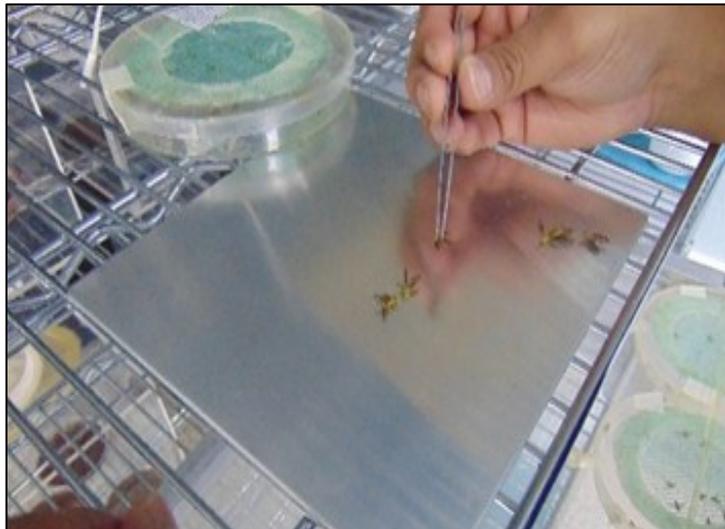


Figura 30 Conteo de adultos muertos.

Para determinar el porcentaje de mortalidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Mortalidad} = \frac{500 - \text{adultos muertos acumulados a las 72 horas}}{500} * 100$$

Donde:

Adultos muertos acumulados a las 72 horas = la suma de los adultos muertos acumulados a las 72 horas de cada caja Petri.

6.8 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software Infostat® v. 2020, los datos fueron organizados en archivo de Excel®, se realizó un análisis de varianza para cada variable respuesta, considerando un 5% de significancia.

Se evaluaron los siguientes supuestos para realizar el análisis de varianza:

- Prueba de normalidad: utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, con un 5% de significancia.
- Prueba de homocedasticidad: utilizando la prueba de Levene con un 5% de significancia.

En los análisis de varianza se presentaron diferencias significativas (valor de $p < 0.05$), se realizó una prueba de Scott Knott como prueba de comparación de medias para separar los tratamientos.

El modelo estadístico matemático asociado al diseño experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + (\alpha\rho)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} representa a las variables de respuesta medidas: individuos por kilogramo de dieta, el porcentaje de emergencia, el porcentaje de voladoras y el porcentaje de mortalidad; la media general μ , el efecto de la i -ésima dieta α , del efecto del j -ésimo bloque β , del efecto del ij -ésimo error asociado a la parcela grande, del efecto de la k -ésima unidad de desarrollo larvario ρ , del efecto de la ik -ésima interacción de ambos factores y del error experimental asociado a la ijk -ésima unidad experimental.

Se llevaron a cabo análisis de los datos de temperatura y pH de la dieta durante la fase de maduración larval. Para ello, se organizaron los datos según el día y el tipo de bandeja. Se aplicó una prueba de t de Student utilizando los promedios de temperatura de las bandejas celestes y las bandejas Petapa. Se generaron 10 datos para cada tipo de bandeja y para cada día de la fase de maduración larval, lo que equivale a las 10 repeticiones realizadas. La prueba de t de Student se realizó con el software Infostat® v. 2020, y se empleó un nivel de significancia del 5%.

6.9 Análisis económico

Se realizó un análisis económico basado en la relación beneficio-costo, en este caso el beneficio fue medido en términos de rendimiento utilizando la variable larvas/kg, los costos considerados fueron los costos por kilogramo de dieta, este costo se calculó tomando en cuenta tanto la fase sólida como la solución nutritiva, de esta forma se calculó un costo/kg ponderado.

La relación beneficio costo para este estudio se obtuvo de la división de larvas/kg entre \$/kg, de esta forma se obtiene un beneficio costo en términos de larvas/\$, lo cual indica la cantidad de larvas producidas por cada dólar gastado en insumos de dieta, el tratamiento con mayor relación beneficio costo será el tratamiento más viable en términos económicos. Los costos considerados son representativos para abril 2023.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos representan el efecto de las tres dietas sólidas y las unidades de desarrollo larvario en las variables respuesta, las cuales son: individuos por kilogramo de dieta, peso de pupa, porcentaje de adultos con habilidad de vuelo y porcentaje de adultos muertos 72 horas después de la emergencia.

7.1 Temperatura y pH durante la maduración larval

Las unidades de desarrollo larvario Petapa al estar elaboradas de acero inoxidable, poseen una mayor conductividad térmica en comparación a la fibra de vidrio de las bandejas celeste, por ello la transferencia térmica es más eficiente en bandejas Petapa, este contraste provoca leves diferencias en las curvas de temperatura de las dietas durante la maduración larval (Figura 31).

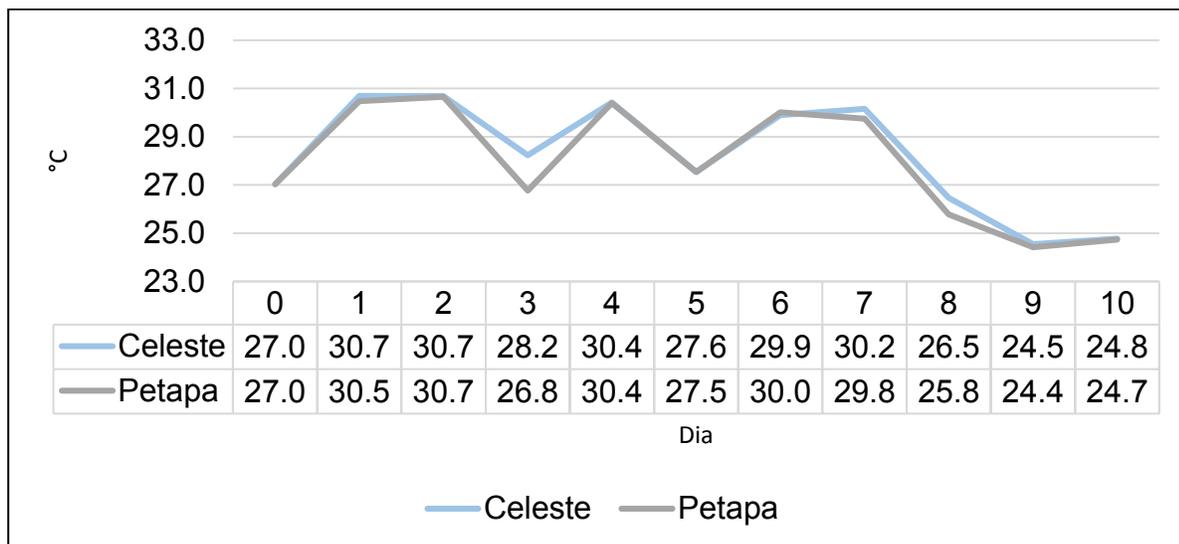


Figura 31 Curva de temperatura en maduración larval por unidad de desarrollo larvario.

La mayor diferencia se observa el día 3 de maduración larval, al realizar una prueba de t para muestras apareadas (Cuadro 17A) se detectó una diferencia significativa de temperatura en el día 3 (valor de $p < 0.01$).

La curva de pH en los dos tipos de bandeja es muy similar (Figura 32), por lo cual no se considera un factor que provoque diferencias en los parámetros de calidad y producción de larva.

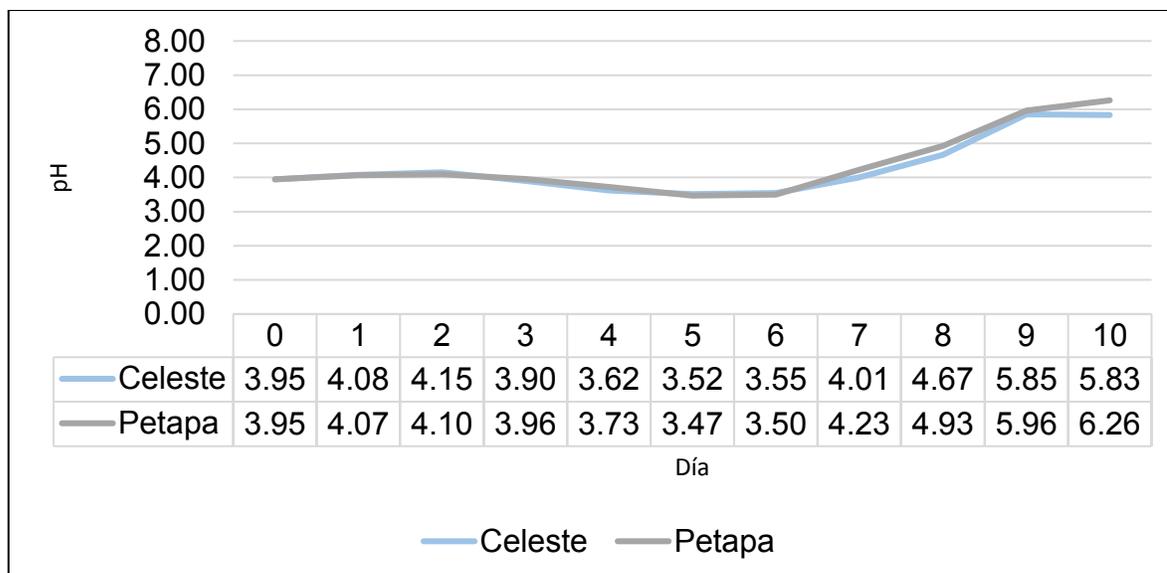


Figura 32 Curva de pH en maduración larval por unidad de desarrollo larvario.

7.2 Individuos por kilogramo de dieta

El éxito de las dietas artificiales para insectos está relacionado con la palatabilidad, el aprovechamiento biológico, el valor nutricional y la estabilidad de la dieta (Carson, 2015), la cantidad de individuos por kilogramo de dieta refleja la adaptación de las larvas a las condiciones de la dieta y su medio.

Se evaluó el supuesto de normalidad por medio de la prueba de Shapiro-Wilk (Cuadro 18A), donde se obtuvo un valor de $p = 0.97$, lo cual indica que se cumple el supuesto de normalidad; la homocedasticidad e independencia de datos se evaluó con un gráfico de dispersión entre los predichos y los residuos estudentizados (Figura 47A), los residuos no presentaron una estructura definida respecto de los valores predichos, lo cual indica que se cumple este supuesto. En este caso el factor de la dieta no presentó diferencias significativas para esta variable (valor de $p = 0.49$), lo cual indica que las dietas evaluadas no implican una diferencia significativa en la producción de larvas por kilogramo de dieta (Cuadro 19A), los valores promedio se encuentran entre 6049 y 6260 larvas por kilogramo de dieta (Figura 33).

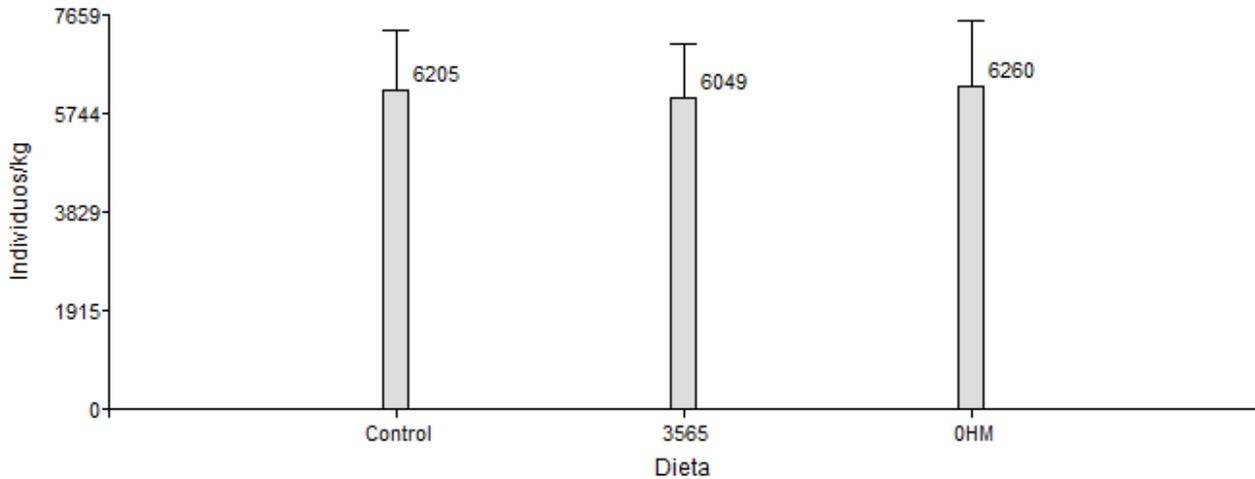


Figura 33 Larvas/Kg de dieta por dieta.

Al no detectar diferencia significativa entre los tipos de dieta, se puede inferir que la eliminación de la harina de maíz no afecta la producción de larvas por kilogramo de dieta, esto al comparar la dieta control con la dieta 0HM; por otro lado, la comparación entre las dietas 3565 y control, refleja que una dieta con 35% de harina de levadura y 65% de harina de soya alcanza la misma producción de larvas por kilogramo de dieta que una dieta con 50% de harina de levadura y 50% de harina de soya. Esto es positivo considerando que el costo de la harina de soya es menor al costo de la levadura.

El análisis estadístico indica que existe diferencia significativa en el factor de unidades de desarrollo larvario (valor de $p < 0.01$), obteniendo en promedio (Figura 34) una mayor cantidad de individuos por kilogramo de dieta en las bandejas Petapa (Cuadro 19A).

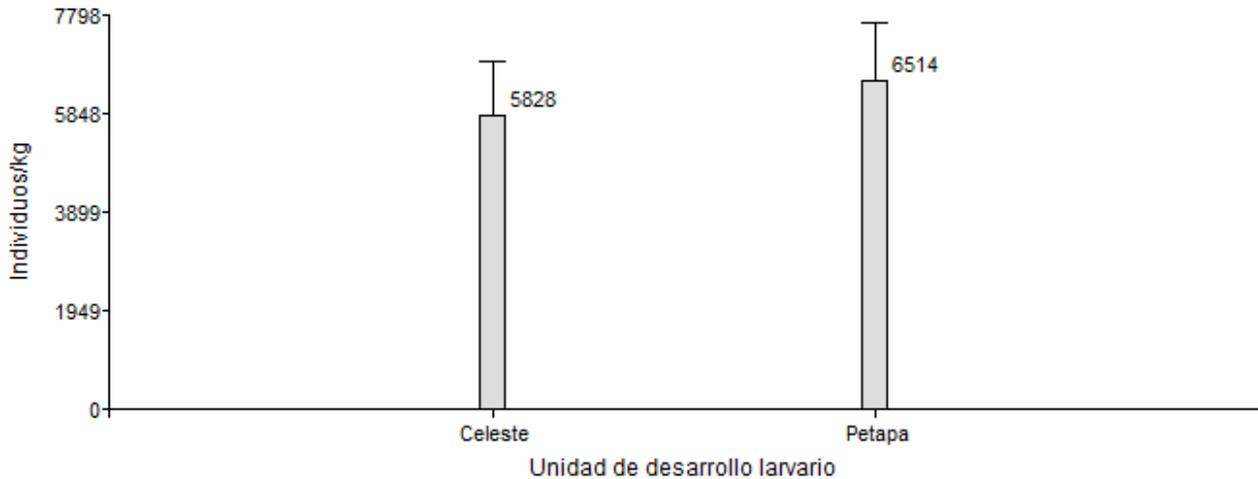


Figura 34 Individuos/kg de dieta por unidad de desarrollo larvario.

Las unidades de desarrollo larvario celestes fueron sembradas con 2.8 mL de huevo por bandeja, lo cual se traduce a 70,000 huevos aproximadamente y a 11,864 huevos por kilogramo de dieta (considerando la fase sólida y fase líquida); mientras que en las unidades de desarrollo larvario Petapa este valor es equivalente a 12,878 huevos por kilogramo de dieta. El cálculo se realiza de la siguiente forma:

Unidad de desarrollo larvario celeste:

$$\frac{\text{huevos}}{\text{kg de dieta}} = \frac{25000 \frac{\text{huevos}}{\text{mL}} * 2.8 \text{ mL}}{3.8 \text{ kg fase sólida} + 2.1 \text{ kg fase líquida}} = 11864$$

Unidad de desarrollo larvario Petapa:

$$\frac{\text{huevos}}{\text{kg de dieta}} = \frac{25000 \frac{\text{huevos}}{\text{mL}} * 1.7 \text{ mL}}{1.9 \text{ kg fase sólida} + 1.4 \text{ kg fase líquida}} = 12878$$

Considerando la cantidad de larvas recuperadas por kilo, el porcentaje de sobrevivencia es el siguiente:

Unidad de desarrollo larvario Petapa:

$$\% \text{ sobrevivencia} = \frac{12878 \text{ huevos/kg}}{6514 \text{ larvas/kg}} * 100 = 50.6\%$$

Unidad de desarrollo larvario celeste:

$$\% \text{sobrevivencia} = \frac{11864 \text{ huevos/kg}}{5828 \text{ larvas/kg}} * 100 = 49.1\%$$

La sobrevivencia de la larva no refleja una diferencia entre ambas unidades de desarrollo larvario, lo cual indica que la diferencia de producción en larvas por kilogramo de dieta se debe a la densidad de siembra; para que la densidad de huevos por kilogramo de dieta sea equivalente en ambas unidades de desarrollo larvario, sería necesario aumentar la densidad en bandejas celestes a 3 mL por bandeja, los antecedentes en manejo hidropónico demuestran que aumentando la densidad de siembra en bandejas celestes a 3 mL por bandeja no se alcanza un aumento significativo en la producción de larvas por kilogramo de dieta, lo cual indica que las bandejas celestes poseen una limitante que no permite incrementar la producción al aumentar la densidad de 2.8 mL a 3.0 mL por bandeja.

Los resultados del análisis de varianza muestran que la interacción entre los factores es muy cercana a ser significativa (valor de $p = 0.054$), la prueba de Scott-Knott para esta variable refleja diferencia significativa, siendo los tratamientos sembrados en unidades de desarrollo larvario Petapa los que poseen una mayor producción de larvas por kilogramo de dieta (Figura 35).

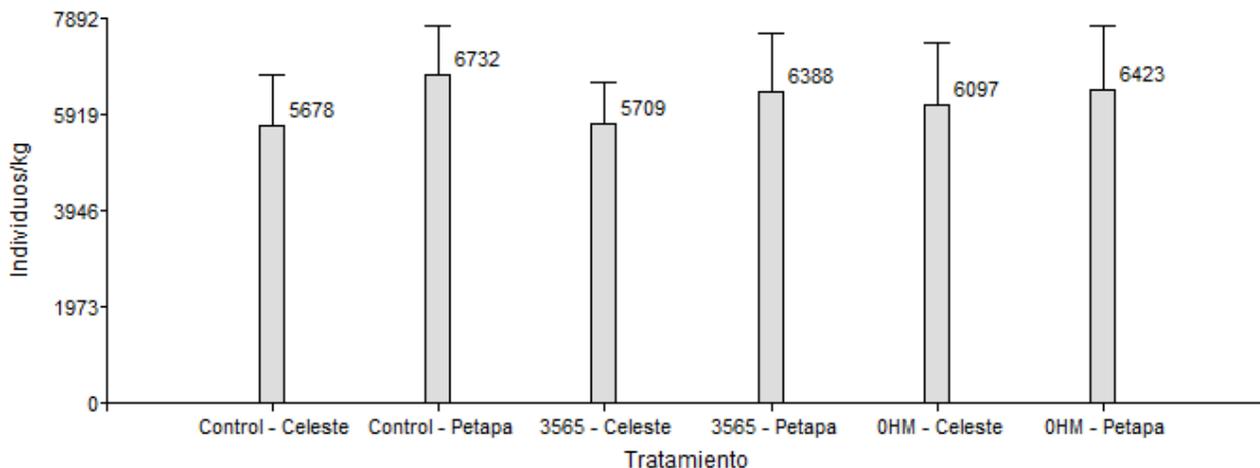


Figura 35 Individuos/kg de dieta por tratamiento.

El factor más importante para esta variable fue la unidad de desarrollo larvario, en cuanto a las diferencias entre ambos tipos de bandeja destaca las dimensiones y el material del cual están

elaboradas. El gráfico de interacción para esta variable (Figura 48A) no refleja una interacción entre los factores, por lo cual se considera que existe una interacción débil, tomando en cuenta los resultados del ANDEVA y la prueba de Scott & Knott.

7.3 Peso de pupa

Se evaluó el supuesto de normalidad por medio de la prueba de Shapiro-Wilk (Cuadro 20A), donde se obtuvo un valor de $p = 0.97$, lo cual indica que se cumple el supuesto de normalidad; la homocedasticidad e independencia de datos se evaluó con un gráfico de dispersión entre los predichos y los residuos estudentizados (Figura 49A), la dispersión homogénea de los puntos refleja que se cumplen estos supuestos.

El peso de pupa café no presentó diferencias significativas (Cuadro 21A) entre las diferentes dietas (valor de $p = 0.54$) o en los tipos de unidades de desarrollo larvario (valor de $p = 0.16$), tampoco se detectó una interacción (Cuadro 21A) entre ambos factores (valor de $p = 0.26$), el gráfico de interacción (Figura 50A) presenta una intersección de líneas, sin embargo, considerando los resultados del ANDEVA, no se considera que exista interacción. esto es positivo ya que las dietas evaluadas representan un menor costo en insumos en comparación al control, por otro lado, considerando que en bandejas Petapa existe una mayor producción de individuos por kilogramo de dieta, es importante que esa mayor producción no repercuta en el peso de pupa, lo cual indica una mayor producción de biomasa.

Todos los tratamientos evaluados superan el promedio aceptable, según el IAEA (2019) este valor corresponde a 17.71 mg, además, se alcanzan los valores promedio por planta Petapa, el cual corresponde alrededor de 18 mg según lo mencionado por M. López (entrevista personal, 22 de septiembre de 2022); en términos de calidad, cualquier tratamiento cumple con el peso de pupa café establecido tomando en cuenta los valores promedio (Figura 36).

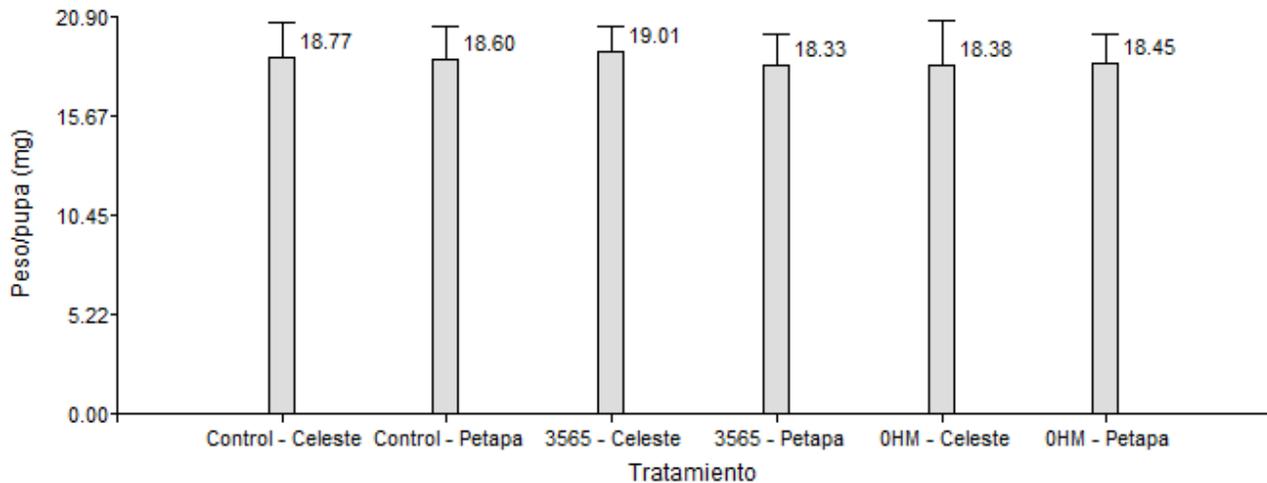


Figura 36 Peso de pupa por tratamiento.

La eliminación de la harina de maíz no provocó una disminución en el peso de pupa café, esto indica que al eliminar este insumo en la elaboración de la dieta, no se limita el crecimiento de la larva, obteniendo el mismo peso de pupa café en comparación a la dieta control, la cual sí cuenta con harina de maíz; la comparación entre la dieta 3565 y control refleja que una dieta con 35% de harina de levadura y 65% de harina de soya permite alcanzar el peso de pupa café que alcanza una dieta con 50% de harina de levadura y 50% de harina de soya.

7.4 Porcentaje de muertos a las 72 horas

El supuesto de normalidad para esta variable fue evaluado a través de la prueba de Shapiro-Wilk (Cuadro 22A), obteniendo un valor de $p = 0.90$, se concluye que se cumple con este supuesto. Respecto a los supuestos de homocedasticidad e independencia se utilizó un gráfico de dispersión con los valores predichos y los residuos estudentizados (Figura 51A), al no observar una estructura definida en la relación entre ambos, se concluye que se cumplen con estos supuestos.

La mortalidad a las 72 horas presentó diferencia significativa (Cuadro 23A) para el factor de dieta (valor de $p = 0.04$), siendo la dieta control la que presenta una menor mortalidad, mientras que las dietas 3565 y 0HM son similares entre sí. A pesar de haber una diferencia significativa, ningún tipo de dieta supera la mortalidad máxima establecida por el IAEA (2019), la cual corresponde al 45%. Por esta razón, en términos de mortalidad, todas las dietas evaluadas pueden ser consideradas viables para su producción en masa, los valores promedio se encuentran entre 32.79% y 38.84% (Figura 37).

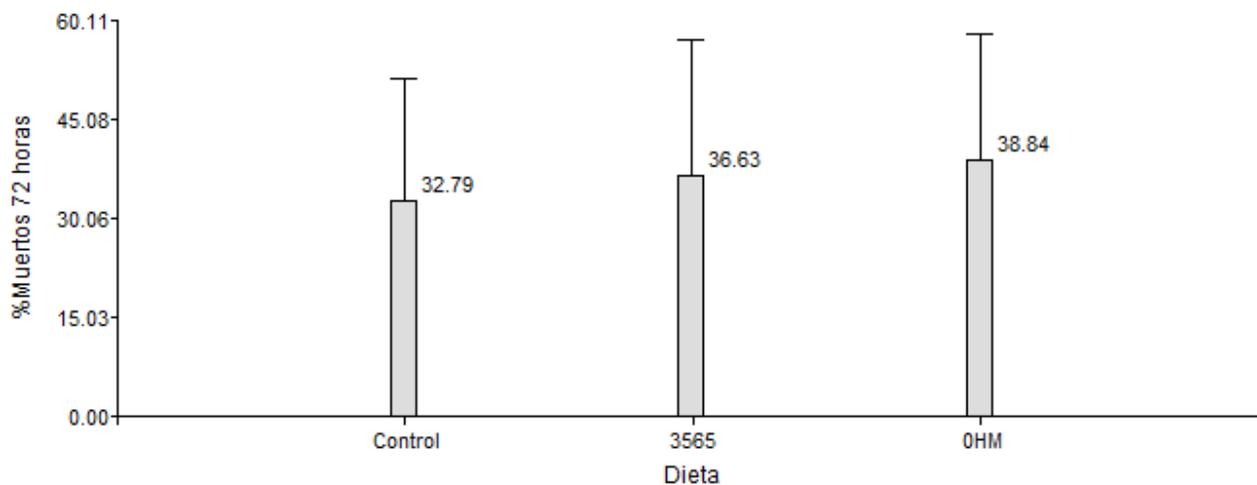


Figura 37 Mortalidad a las 72 horas de emergencia por dieta.

El factor de unidad de desarrollo larvario presentó una diferencia significativa para esta variable (valor de $p = 0.049$), obteniéndose menor mortalidad cuando se utiliza la bandeja Petapa como unidad de desarrollo larvario (Figura 38). La mortalidad a las 72 horas de emergencia se considera como una medición relativa de las reservas de alimento y agua en los adultos, por lo cual las bandejas Petapa pueden estar favoreciendo las condiciones de cría que permiten una mejor alimentación durante la maduración larval.

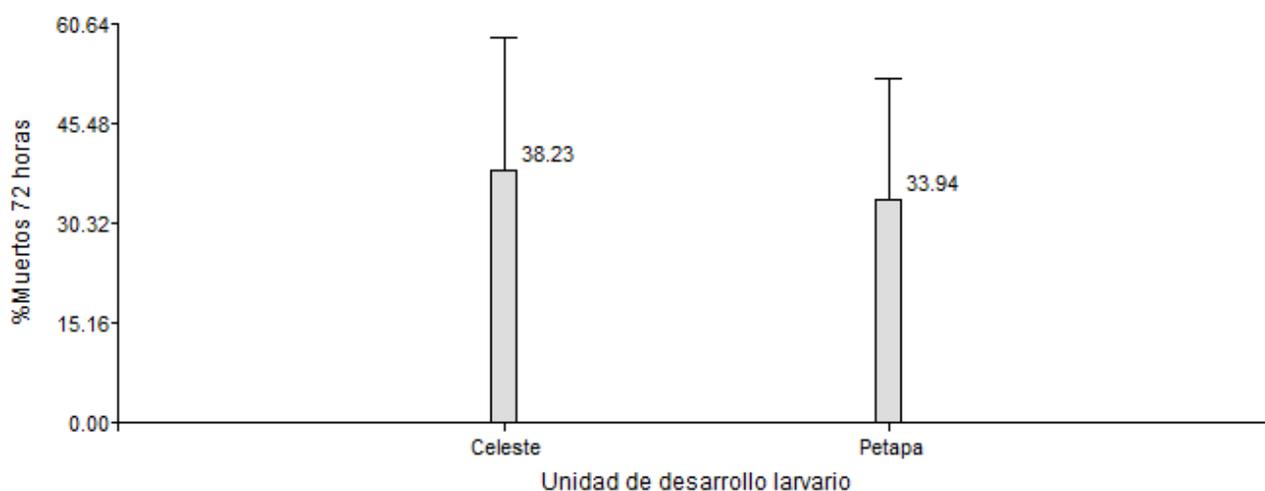


Figura 38 Mortalidad a las 72 horas de emergencia por unidad de desarrollo larvario.

Comparando las curvas de temperatura y pH de ambos tipos de bandeja durante la maduración larval, no resalta un cambio significativo que pueda estar relacionado con los resultados en esta variable; realizando un balance de agua se obtienen resultados muy similares (Figura 39).

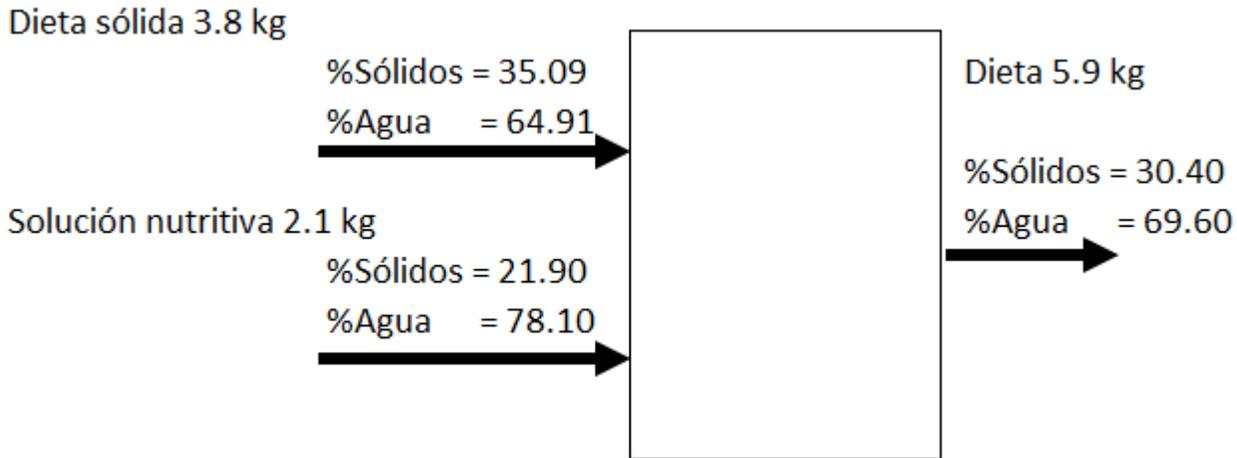


Figura 39 Balance de agua para dieta control en bandeja celeste.

Realizando el mismo proceso para todos los tratamientos se obtienen los resultados de porcentaje de agua total (Cuadro 7).

Cuadro 7 Balance de agua para cada tratamiento.

Tratamiento	kg dieta sólida	kg solución nutritiva	%Agua dieta sólida	%Agua solución nutritiva	% Agua total
Control-Celeste	3.8	2.1	64.91	78.10	69.61
Control-Petapa	1.9	1.4	64.91	78.10	70.51
3565-Celeste	3.8	2.1	64.91	78.10	69.61
3565-Petapa	1.9	1.4	64.91	78.10	70.51
0HM-Celeste	3.8	2.1	68.77	78.10	72.09
0HM-Petapa	1.9	1.4	68.77	78.10	72.73

Los resultados del Cuadro 7 indican que en términos de agua total aportada a cada tratamiento existe una diferencia menor al 1% entre las bandejas Petapa y las bandejas celestes, por lo cual la cantidad de agua aportada en la dieta no puede estar relacionado con la diferencia obtenida en el porcentaje de muertos a las 72 horas; sin embargo, la pérdida de humedad durante la maduración larval puede ser diferente en ambos tipos de bandeja, es importante realizar una curva de humedad

de dieta durante la maduración larval para ambos tipos de bandeja y así verificar si existen diferencias.

El análisis estadístico indica que para esta variable no existe una interacción entre los factores estudiados (valor de $p = 0.87$), el gráfico de interacción (Figura 52A) tampoco refleja una intersección, por lo cual refuerza el resultado del ANDEVA, que indica que no existen interacción entre ambos factores; el tratamiento 0HM-Celeste es el que presentó el mayor porcentaje en promedio, mientras que el tratamiento Control-Petapa presentó el menor valor en promedio (Figura 40).

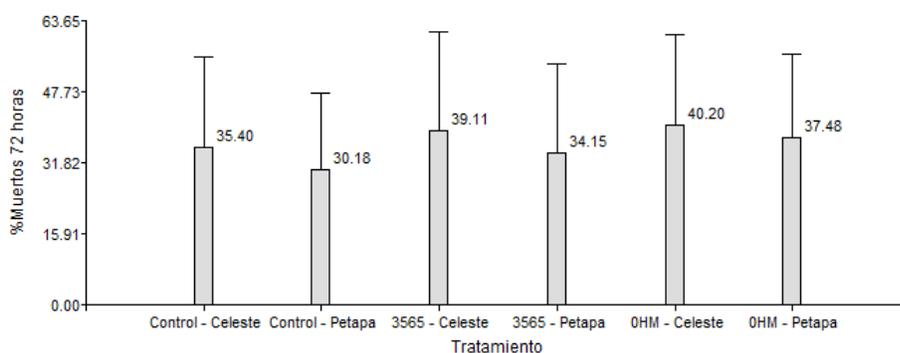


Figura 40 Mortalidad a las 72 horas de emergencia por tratamiento.

7.5 Adultos con habilidad de vuelo

Se evaluó el supuesto de normalidad por medio de la prueba de Shapiro-Wilk (Cuadro 24A), donde se obtuvo un valor de $p = 0.73$, lo cual indica que se cumple el supuesto de normalidad; la homocedasticidad e independencia de datos se evaluó con un gráfico de dispersión entre los valores predichos y los residuos estudentizados (Figura 53A), los residuos no presentaron una estructura definida respecto de los valores predichos, lo cual indica que se cumplen estos supuestos.

El factor dieta no presentó diferencias significativas (Cuadro 25A) para esta variable (valor de $p = 0.11$), en el caso del factor unidad de desarrollo larvario no se presentó diferencia significativa (valor de $p = 0.25$), así mismo, tampoco se detectó una interacción entre los factores que afectara significativamente esta variable (valor de $p = 0.87$). Todos los tratamientos alcanzaron el valor promedio aceptable establecido por el IAEA (2019), el cual corresponde a 79%. Según el IAEA (2019), la habilidad de vuelo está relacionada con el manejo, los materiales y los métodos utilizados para el empaque y envío de la pupa.

El tipo de dieta no afectó significativamente esta variable, se considera que la sustitución de harina de levadura por harina de soya (dieta 3565) y la eliminación de harina de maíz en la dieta (dieta 0HM) no generan un efecto en la proporción de adultos con habilidad de vuelo. Este resultado es positivo considerando que las dietas 0HM y 3565 tienen un menor costo que la dieta control, los valores promedio son cercanos entre las distintas dietas (Figura 41).

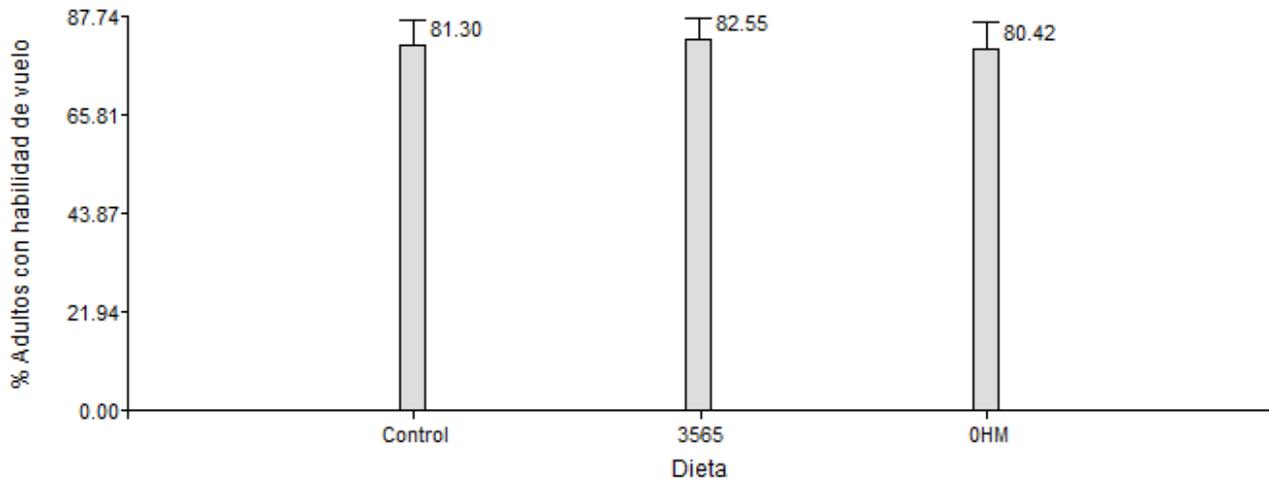


Figura 41 Adultos con habilidad de vuelo por dieta.

Las unidades de desarrollo larvario no mostraron un efecto significativo en esta variable (Cuadro 25A). Durante el proceso de maduración larval la unidad de desarrollo larvario no provocó diferencias que repercutan en esta variable, los valores promedio son cercanos entre los tipos de bandeja (Figura 42).

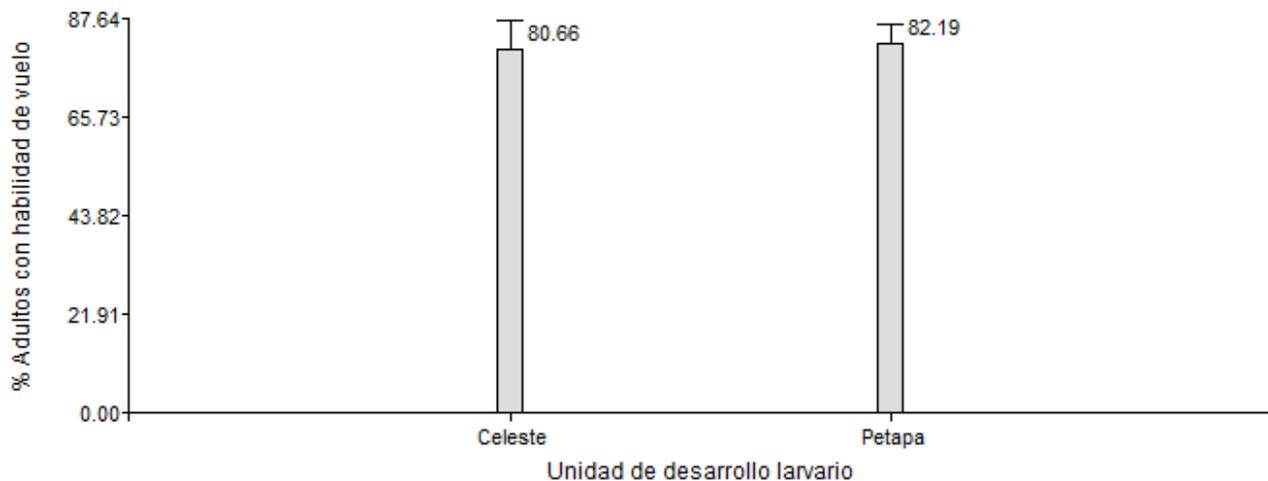


Figura 42 Adultos con habilidad de vuelo por unidad de desarrollo larvario.

Todos los tratamientos alcanzan en términos estadísticos valores similares para esta variable, por lo cual se infiere que no existe una interacción entre el tipo de dieta y la unidad de desarrollo larvario, este mismo resultado es reforzado por el gráfico de interacciones, donde no se observa un intersección (Figura 54A), los valores promedio son cercanos entre los tratamientos (Figura 43).

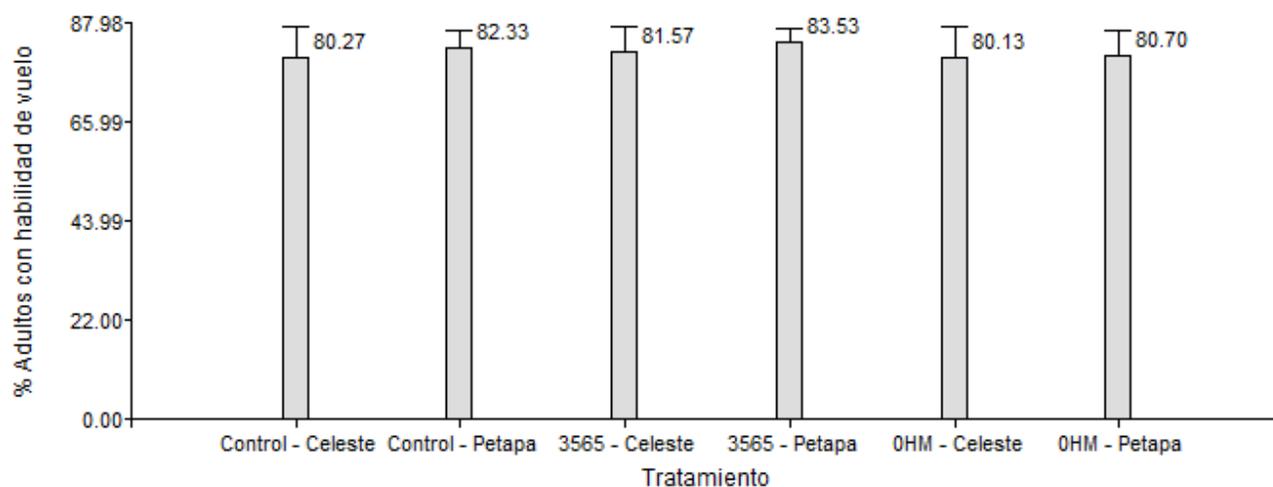


Figura 43 Adultos con habilidad de vuelo por tratamiento.

7.6 Análisis económico

7.6.1 Costo de dieta

El costo de la dieta sólida está compuesto por los insumos utilizados: azúcar, harina de maíz, harina de levadura, harina de soya, benzoato de sodio, formalina y ácido clorhídrico; el costo por kilogramo para cada dieta evaluada se muestra en el Cuadro 8, los valores son representativos para el mes de abril 2023.

Cuadro 8 Costo por kilogramo de dieta.

Dieta	\$ USD
Control	0.7250
3565	0.6814
OHM	0.7023

La solución nutritiva utilizada fue la misma en todos los tratamientos. El costo por kilogramo es de \$0.7577. Para calcular el costo ponderado, se toma en cuenta el costo por kilogramo de la dieta y las cantidades correspondientes. El cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$\text{Costo ponderado} = \frac{\$0.7250 * 3.8 \text{ kg} + \$0.7577 * 2.1 \text{ kg}}{3.8 \text{ kg} + 2.1 \text{ kg}}$$

El Cuadro 9 muestra el costo ponderado para cada tratamiento

Cuadro 9 Costo ponderado por kilogramo.

Tratamiento	kg dieta sólida	kg solución nutritiva	Costo/kg dieta sólida	Costo/kg solución nutritiva	Costo ponderado/kg
Control-Celeste	3.8	2.1	0.7250	0.7577	0.7366
Control-Petapa	1.9	1.4	0.7250	0.7577	0.7389
3565-Celeste	3.8	2.1	0.6814	0.7577	0.7086
3565-Petapa	1.9	1.4	0.6814	0.7577	0.7138
0HM-Celeste	3.8	2.1	0.7023	0.7577	0.7220
0HM-Petapa	1.9	1.4	0.7023	0.7577	0.7258

Tomando en cuenta los resultados del análisis estadístico de la variable larvas/kg de dieta, se observan dos grupos significativamente diferentes, los tratamientos sembrados en bandejas Petapa y los tratamientos sembrados en bandejas celeste, al dividir las larvas producidas por kilogramo de dieta entre el costo ponderado, se obtiene la cantidad de larvas producidas por dólar gastado en insumos de dieta (dieta sólida y solución nutritiva), la cantidad de larvas por dólar para cada tratamiento se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10 Larvas por dólar por tratamiento.

Tratamiento	Costo ponderado/kg	Larvas/kg	Larvas/\$
Control-Celeste	0.7366	5828	7912
Control-Petapa	0.7389	6514	8816
3565-Celeste	0.7086	5828	8225
3565-Petapa	0.7138	6514	9126
0HM-Celeste	0.7220	5828	8072
0HM-Petapa	0.7258	6514	8975

La cantidad de larvas/kg utilizada en el Cuadro 10 son los valores promedios presentados en la Figura 34, los cuales corresponden al promedio de larvas/kg producidos en las bandejas Petapa y bandejas celeste; esto debido a que son los dos grupos significativamente diferentes.

Los tratamientos sembrados en bandejas Petapa obtienen la mayor producción de larvas por cada dólar gastado en insumos de dieta, siendo el tratamiento 3565-Petapa el que alcanza la mayor cantidad de larvas por dólar, seguido de 0HM-Petapa (Figura 44); el tratamiento más costoso es control-celeste, con el cual se produce un 13% menos de larvas por cada dólar gastado en comparación con el tratamiento 3565-Petapa.

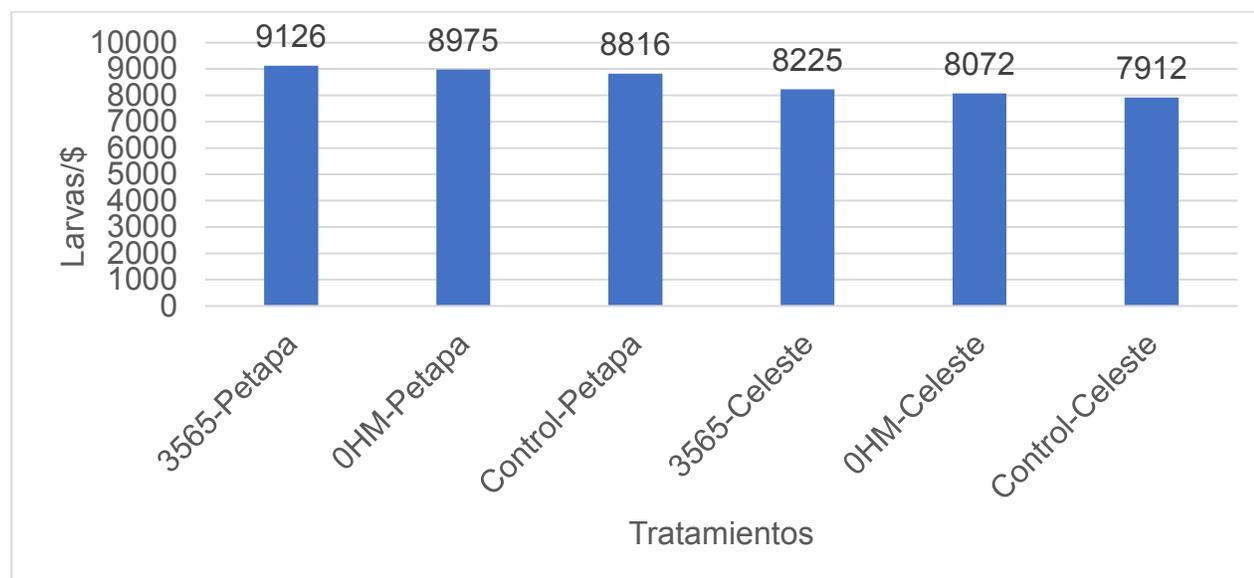


Figura 44 Larvas por dólar por tratamiento.

Tomando en cuenta la calidad, rendimiento y costo de los tratamientos evaluados, el tratamiento 3565-Petapa es el tratamiento que cumple con el peso de pupa café y la mortalidad a las 72 horas; no cumple con el porcentaje de adultos con habilidad de vuelo, sin embargo, el tratamiento control-celeste tampoco cumplió con este parámetro; además es uno de los tratamientos con mayor producción de larvas/kg de dieta y a su vez es el tratamiento con menor costo por kilogramo de dieta, lo cual lo convierte en el tratamiento más viable en términos de calidad, producción y costos.

8 CONCLUSIONES

Las dietas y unidades de desarrollo larvario evaluadas presentaron una diferencia en la variable de larvas/kg de dieta, siendo las combinaciones sembradas en bandejas Petapa las que lograron una diferencia de 686 larvas, representando un 12% más de producción; en los parámetros de calidad no se identificaron diferencias significativas para las variables de peso de pupa y porcentaje de adultos con habilidad de vuelo; sin embargo, para la variable de porcentaje de muertos a las 72 horas de emergencia sí se identificaron diferencias significativas en ambos factores, siendo la dieta control y la bandeja Petapa los niveles con menor mortalidad a las 72 horas de emergencia.

La combinación con mayor relación beneficio-costo es 3565-Petapa, alcanzando una producción de 9126 larvas por dólar, una diferencia del 13.3% en comparación al tratamiento control-celeste, el cual tiene la relación beneficio-costo más baja; las dietas sembradas en bandejas Petapa alcanzan entre un 13.3% y 10.3% de mayor producción de larvas por dólar, mientras que los tratamientos sembrados en bandejas celestes solo alcanzan hasta un 3.6% de mayor producción, esto en comparación al tratamiento control-celeste.

La combinación más viable en términos de rendimiento medido en larvas/kg; calidad, medido en peso de pupa en miligramos, porcentaje de adultos con habilidad de vuelo y porcentaje de mortalidad a las 72 horas; y la relación beneficio-costo, medida en larvas por dólar USD es la combinación dieta 3565 sembrada en bandejas Petapa.

Los factores: dieta y unidad de desarrollo larvario, no presentaron una interacción para ninguna de las variables evaluadas, lo que significa que el efecto de las dietas es independiente al efecto de las unidades de desarrollo larvario.

9 RECOMENDACIONES

Comparar el porcentaje de humedad de la dieta durante la maduración larval en bandejas Petapa y bandejas celestes, para correlacionar las diferencias con el porcentaje de adultos muertos a las 72 horas de emergencia.

Evaluar una nueva dieta uniendo las alternativas 3565 y 0HM, elaborando una dieta sin harina de maíz, con 35% de levadura y 65% de harina de soya, sembrada en bandeja Petapa.

Evaluar a escala masiva las dietas Control, 3565 y 0HM utilizando bandejas Petapa.

Comparar los costos que implica la utilización de bandejas Petapa y bandejas celestes en términos de mano de obra, depreciación y almacenamiento.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Canú, E. (2022). *Efecto de la reducción de la cantidad de harina de maíz, en la dieta artificial de las fases inmaduras de la Mosca Mexicana de la Fruta (Anastrepha ludens Loew)* [Tesis de Licenciatura, Universidad Rafael Landívar]. Repositorio de Universidad Rafael Landívar.
- Carlke, A. (2019). *Biology and Management of Bactrocera and Related Fruit Flies*. CSIRO. <https://www.publish.csiro.au/book/7918/>
- Carson, A. (2015). *Insect Diets science and Technology*. Prensa CRC.
- Chang, C. Cáceres, C. y Jang, E. (2004). A Novel Liquid Larval Diet and Its Rearing System for Melon Fly, *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 97(3), 524-528. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2004\)097\[0524:ANLLDA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2004)097[0524:ANLLDA]2.0.CO;2)
- Chang, C. Vargas, R. Cáceres, C. Jang, E. y Cho, K. (2006). Development and Assessment of a Liquid Larval Diet for *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) *Annals of the Entomological Society of America*, 99(6), 1191-1198. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2006\)99\[1191:DAAOAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2006)99[1191:DAAOAL]2.0.CO;2)
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal [CESAVEM]. (2015). *Manejo integrado de mosca de la fruta guía del productor* [Archivo PDF]. <https://cesavem.mx/img/MoscasdeLaFruta/moscasdeLaFruta.pdf>
- Ekesi, S., Mohamed, S., y Chang, C. (2014). A liquid larval diet for rearing *Bactrocera invadens* and *Ceratitis fasciventris* (Diptera: Tephritidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 34(S1), 90-98. doi:10.1017/S1742758414000113

Gutierrez, J. (2008). El programa moscas de la fruta en México. *Revista Moscas de la fruta fundamentos y procedimientos para su manejo*, 3-9.
https://www.academia.edu/37832712/Montoya_et_al_2010_Mosca_de_la_fruta_fundamentos_y_procedimientos_para_su_manejo

Organismo Internacional de Energía Atómica [IAEA]. (2019). *Product Quality Control for Sterile Mass-Reared and Released Tephritid Fruit* [Archivo PDF].
<https://www.iaea.org/sites/default/files/qcv7.pdf>

Organismo Internacional de Energía Atómica. (2022). *Técnica del insecto estéril*.
<https://www.iaea.org/es/temas/tecnica-del-insecto-esteril>

Programa Moscamed. (2022a). *Memoria de labores* [Archivo PDF]. Guatemala.
<https://moscamed-guatemala.org.gt/pdfs/MemoriaLaboresMoscamed.pdf>

Programa Moscamed. (2022b). Programa Moscamed Guatemala. *Preguntas frecuentes*.
<https://moscamed-guatemala.org.gt/#/faqs>

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agrolimentaria, México. (2025). *Manejo Integrado de Mosca de la Fruta Guía del Productor* [Archivo PDF].
<https://cesavem.mx/img/MoscadelaFruta/moscadelafruta.pdf>

United States Department of Agriculture [USDA]. (2022). *Animal and Plant Health Inspection Service*.
<https://www.aphis.usda.gov/aphis/resources/pests-diseases/hungry-pests/espanol/mxff-sp>

11 ANEXO

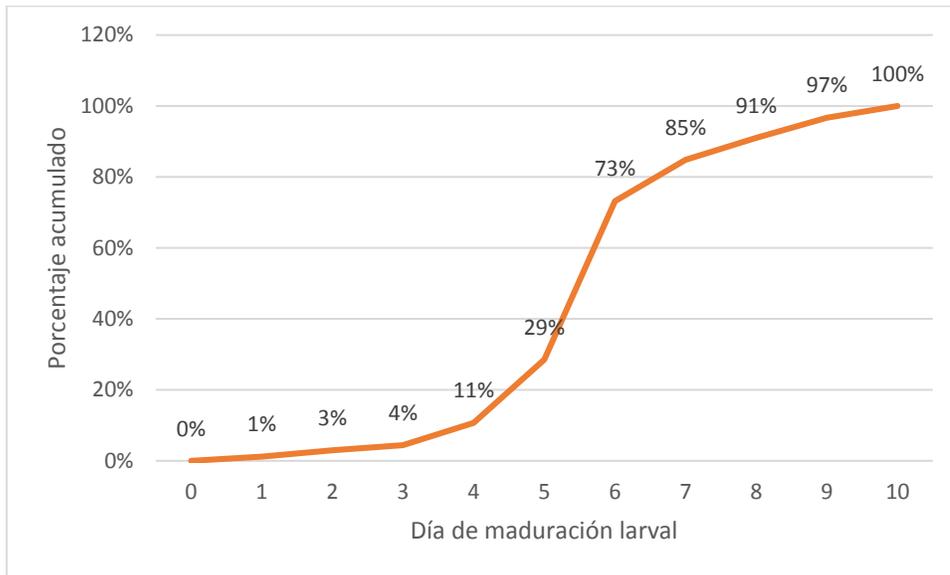


Figura 45A Curva de ganancia de peso de larva *A. ludens*

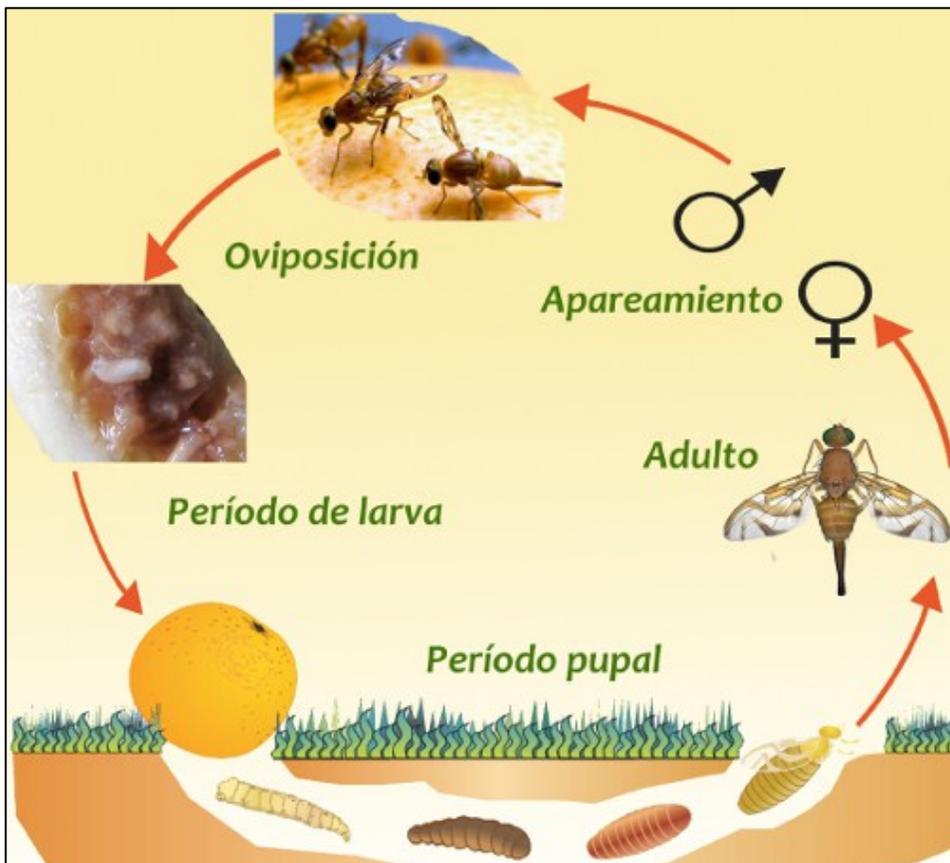


Figura 46A Ciclo biológico de *Anastrepha ludens* (Loew)

Fuente: Cesavem, 2015.

Cuadro 11A Prueba de T apareada, variable Larvas/kg, ensayo 2.8 mL y 3 mL por bandeja, manejo hidropónico.

	3	2,8
Media	6925	6791
Varianza	1214440	1070437
Observaciones	11,00000	11,00000
Coefficiente de correlación de Pearson	0,91912	
Diferencia hipotética de las medias	0,00000	
Grados de libertad	10,00000	
Estadístico t	1,02354	
P(T<=t) una cola	0,16509	
Valor crítico de t (una cola)	1,81246	
P(T<=t) dos colas	0,33018	
Valor crítico de t (dos colas)	2,22814	

Cuadro 12A Prueba de T apareada, variable mg/larva, ensayo 2.8 mL y 3 mL por bandeja, manejo hidropónico.

	3	2,8
Media	29,46	29,76
Varianza	1,623885724	3,096877324
Observaciones	11	11
Coefficiente de correlación de Pearson	0,851981076	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
Estadístico t	1,075059216	
P(T<=t) una cola	0,153801168	
Valor crítico de t (una cola)	1,812461123	
P(T<=t) dos colas	0,307602336	
Valor crítico de t (dos colas)	2,228138852	

Cuadro 13A ANDEVA y prueba múltiple de medias, variable larvas/kg, ensayo manejo hidropónico.**Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Individuos/kilo	52	0.78	0.69	8.84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	33462863.95	15	2230857.60	8.46	<0.0001
Manejo	7869454.46	1	7869454.46	29.84	<0.0001
Bandeja	10466645.58	1	10466645.58	39.69	<0.0001
Bloque	15102354.83	12	1258529.57	4.77	0.0001
Manejo*Bandeja	24409.09	1	24409.09	0.09	0.7627
Error	9493688.36	36	263713.57		
Total	42956552.31	51			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=288.89921

Error: 263790.9594 gl: 36

Manejo Medias n E.E.

HID 6201.04 26 100.73 A

MN 5422.88 26 100.73 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=288.89921

Error: 263790.9594 gl: 36

Bandeja Medias n E.E.

PETAPA 6260.62 26 100.73 A

CELES 5363.31 26 100.73 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=542.55811

Error: 263790.9594 gl: 36

Manejo Bandeja Medias n E.E.

HID PETAPA 6628.00 13 142.45 A

MN PETAPA 5893.23 13 142.45 B

HID CELES 5774.08 13 142.45 B

MN CELES 4952.54 13 142.45 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 14A ANDEVA y prueba múltiple de medias, variable mg/larva, ensayo manejo hidropónico.**Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO	56	0.75	0.65	5.68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	291.40	16	18.21	7.32	<0.0001
Manejo	48.60	1	48.60	19.52	0.0001
Bandeja	3.67	1	3.67	1.47	0.2322
Bloque	209.45	13	16.11	6.47	<0.0001
Manejo*Bandeja	29.68	1	29.68	11.92	0.0013
Error	97.09	39	2.49		
Total	388.49	55			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.85296

Error: 2.4896 gl: 39

Manejo Medias n E.E.

MN 28.71 28 0.30 A

HID 26.85 28 0.30 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.85296

Error: 2.4896 gl: 39

Bandeja Medias n E.E.

CELES 28.04 28 0.30 A

PETAPA 27.53 28 0.30 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.60028

Error: 2.4896 gl: 39

Manejo Bandeja Medias n E.E.

MN PETAPA 29.19 14 0.42 A

MN CELES 28.24 14 0.42 A

HID CELES 27.84 14 0.42 A

HID PETAPA 25.87 14 0.42 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Cuadro 15A ANDEVA y prueba múltiple de medias, variable porcentaje de adultos con habilidad de vuelo, ensayo manejo hidropónico.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Voladoras	28	0.47	0.21	4.97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	270.03	9	30.00	1.80	0.1376
Manejo	17.59	1	17.59	1.06	0.3178
Bandeja	12.24	1	12.24	0.73	0.4026
Bloque	218.65	6	36.44	2.19	0.0925
Manejo*Bandeja	21.56	1	21.56	1.29	0.2701
Error	299.78	18	16.65		
Total	569.82	27			

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Muertos	28	0.78	0.67	25.41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5759.04	9	639.89	7.16	0.0002
Manejo	1760.14	1	1760.14	19.68	0.0003
Bandeja	308.89	1	308.89	3.45	0.0795
Bloque	3353.96	6	558.99	6.25	0.0011
Manejo*Bandeja	336.04	1	336.04	3.76	0.0684
Error	1609.68	18	89.43		
Total	7368.71	27			

Cuadro 16A ANDEVA y prueba múltiple de medias, variable porcentaje de adultos muertos a las 72 horas, ensayo manejo hidropónico.

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.50921

Error: 89.4266 gl: 18

Manejo Medias n E.E.

HID 29.29 14 2.53 A

MN 45.14 14 2.53 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.50921

Error: 89.4266 gl: 18

Bandeja Medias n E.E.

CELES 33.89 14 2.53 A

PETAPA 40.54 14 2.53 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=14.28618

Error: 89.4266 gl: 18

Manejo Bandeja Medias n E.E.

HID CELES 22.50 7 3.57 A

HID PETAPA 36.07 7 3.57 A B

MN PETAPA 45.00 7 3.57 B

MN CELES 45.29 7 3.57 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Cuadro 17A Prueba de T para muestras apareadas, temperatura día 3 de maduración larval.

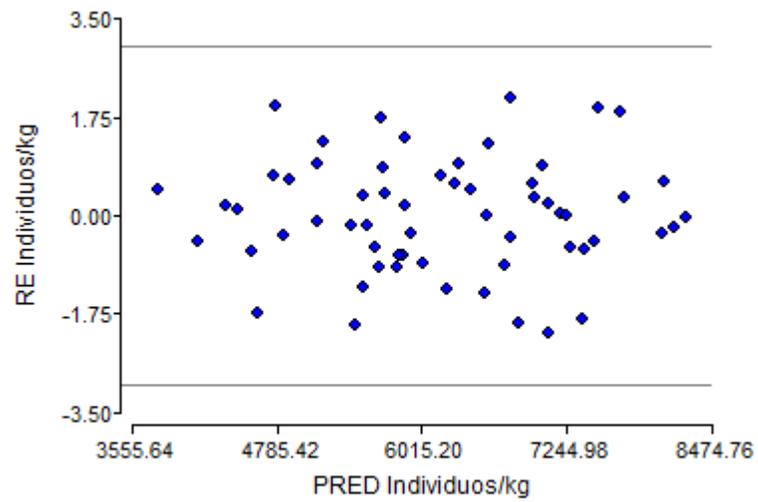
Prueba T (muestras apareadas)

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	DE(dif)	T	Bilateral
Celeste	Petapa	10	1.46	1.39	3.33	0.0087

Cuadro 18A Prueba de Shapiro-Wilks, individuos/kg.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Individuos/kg	60	0.00	304.37	0.96	0.3286

**Figura 47A** Gráfico de dispersión, Predichos y Residuos Estudentizados, larvas/kg.

Cuadro 19A ANDEVA y prueba múltiple de medias, larvas/kg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Individuos/kg	60	0.93	0.85	7.29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	71787332.42	32	2243354.14	11.08	<0.0001	
Dieta	478677.38	2	239338.69	0.74	0.4906	(Dieta*Bloques)
Dieta*Bloques	5814068.10	18	323003.78	1.60	0.1325	
Tipo de bandeja	7066949.61	1	7066949.61	34.91	<0.0001	
Tipo de bandeja*Dieta	1322118.17	2	661059.09	3.27	0.0537	
Bloques	57105519.16	9	6345057.68	31.34	<0.0001	
Error	5465720.69	27	202434.10			
Total	77253053.10	59				

Test:Scott & Knott Alfa=0.05

Error: 323003.7835 gl: 18

Dieta	Medias	n	E.E.
OHM	6259.75	20	127.08 A
Control	6204.78	20	127.08 A
3565	6048.87	20	127.08 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Scott & Knott Alfa=0.05**

Error: 202434.0996 gl: 27

Tipo de bandeja	Medias	n	E.E.
Petapa	6514.33	30	82.15 A
Celeste	5827.94	30	82.15 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)**Test:Scott & Knott Alfa=0.05**

Error: 202434.0996 gl: 27

Tipo de bandeja	Dieta	Medias	n	E.E.
Petapa	Control	6731.60	10	142.28 A
Petapa	OHM	6423.02	10	142.28 A
Petapa	3565	6388.36	10	142.28 A
Celeste	OHM	6096.48	10	142.28 B
Celeste	3565	5709.37	10	142.28 B
Celeste	Control	5677.96	10	142.28 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

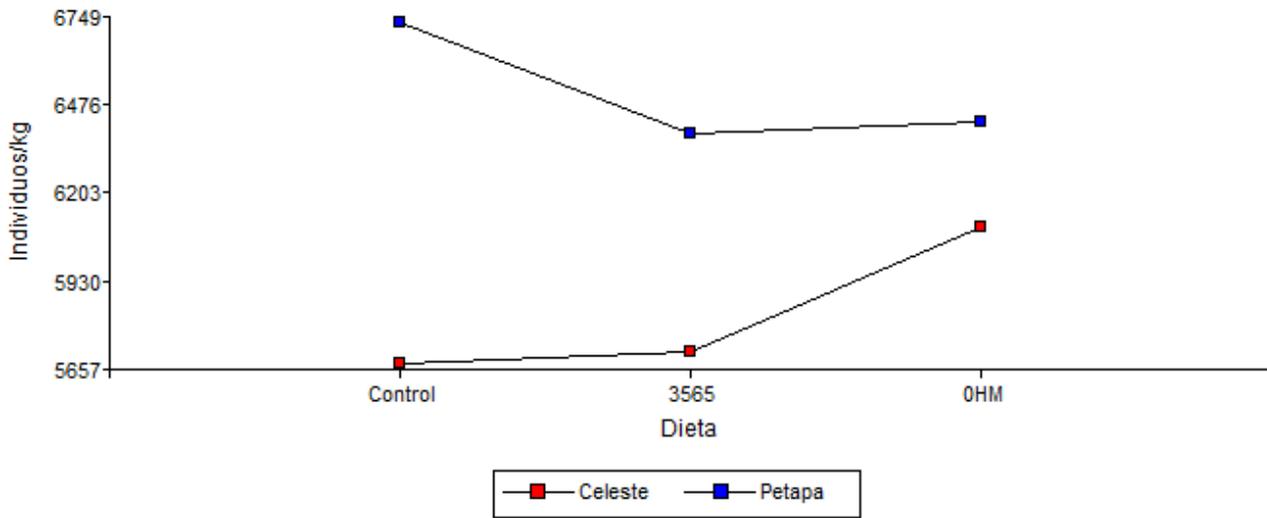


Figura 48A Gráfico de interacciones, larvas/kg

Cuadro 20A Prueba Shapiro-Wilks, Peso de pupa (mg)

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso/pupa pre	60	0.00	0.49	0.99	0.9730

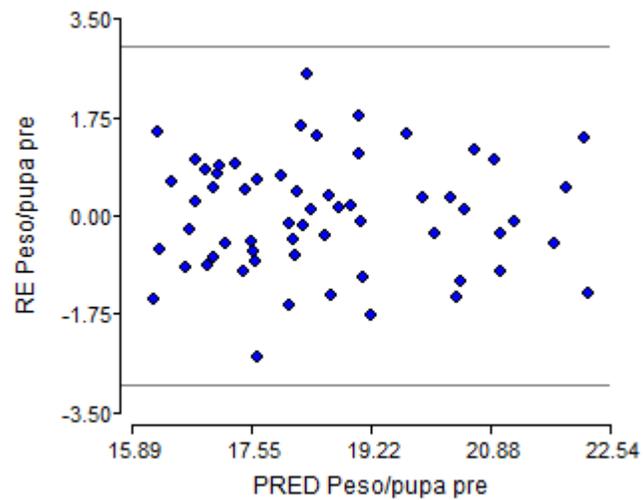


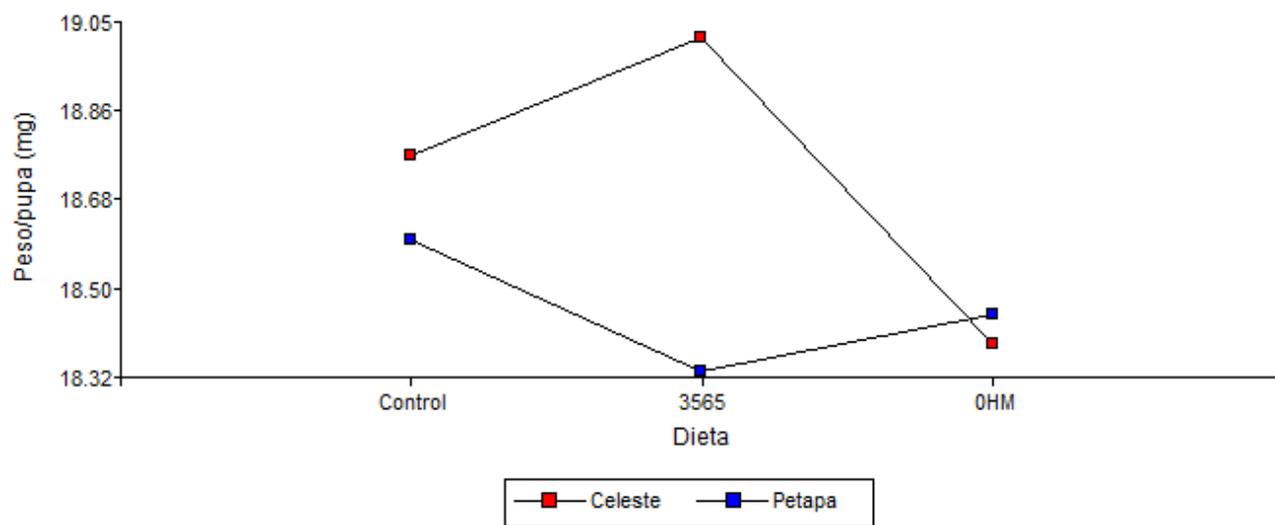
Figura 49A Gráfico de dispersión, Predichos y Residuos Estudentizados, Peso/pupa (mg).

Cuadro 21A ANDEVA, peso de pupa**Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso/pupa pre 60	60	0.92	0.82	3.88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	158.97	32	4.97	9.56	<0.0001	
Bloques	142.43	9	15.83	30.45	<0.0001	
Dieta	0.93	2	0.47	0.64	0.5384	(Dieta*Bloques)
Dieta*Bloques	13.09	18	0.73	1.40	0.2095	
Tipo de bandeja	1.06	1	1.06	2.04	0.1649	
Dieta*Tipo de bandeja	1.46	2	0.73	1.40	0.2635	
Error	14.03	27	0.52			
Total	173.01	59				

**Figura 50A** Gráfico de interacciones, peso de pupa (mg)**Cuadro 22A** Prueba de Shapiro-Wilks, % Muertos a las 72 horas de emergencia.**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO %Muertos 72 horas	60	0.00	5.45	0.98	0.8994

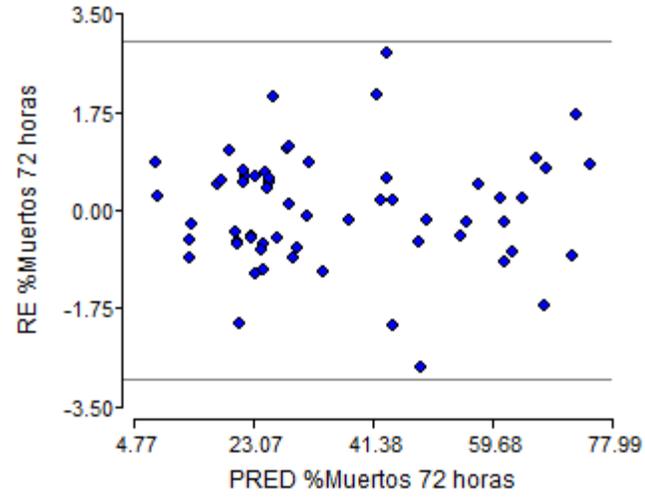


Figura 51A Gráfico de dispersión, Predichos y Residuos Estudentizados, %Muertos a las 72 horas de emergencia.

Cuadro 23A ANDEVA y prueba múltiple de medias, porcentaje de muertos a las 72 horas de emergencia.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
muertos	60	0.92	0.82	22.65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	20223.43	32	631.98	9.47	<0.0001	
Dieta	356.63	2	178.32	3.70	0.0451	(Dieta*Bloques)
Dieta*Bloques	867.70	18	48.21	0.72	0.7610	
Bloques	18701.40	9	2077.93	31.13	<0.0001	
Bandeja	281.67	1	281.67	4.22	0.0498	
Dieta*Bandeja	16.03	2	8.02	0.12	0.8873	
Error	1802.30	27	66.75			
Total	22025.73	59				

Test:Scott & Knott Alfa=0.10

Error: 48.2056 gl: 18

Dieta	Medias	n	E.E.	
Control	32.85	20	1.55	A
3565	36.60	20	1.55	B
OHM	38.75	20	1.55	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.10$)

Test:Scott & Knott Alfa=0.10

Error: 66.7519 gl: 27

Bandeja	Medias	n	E.E.	
Petapa	33.90	30	1.49	A
Celeste	38.23	30	1.49	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.10$)

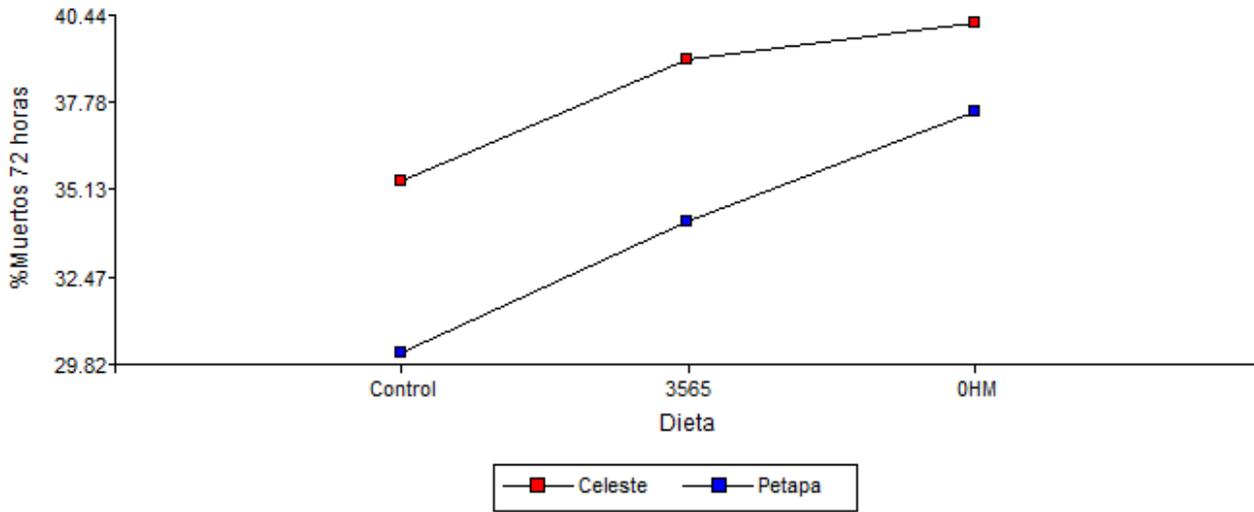


Figura 52A Gráfico de interacción, % muertos a las 72 horas de emergencia.

Cuadro 24A Prueba de Shapiro-Wilks, porcentaje de adultos con habilidad de vuelo.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO %Voladoras	60	0.00	3.36	0.98	0.7268

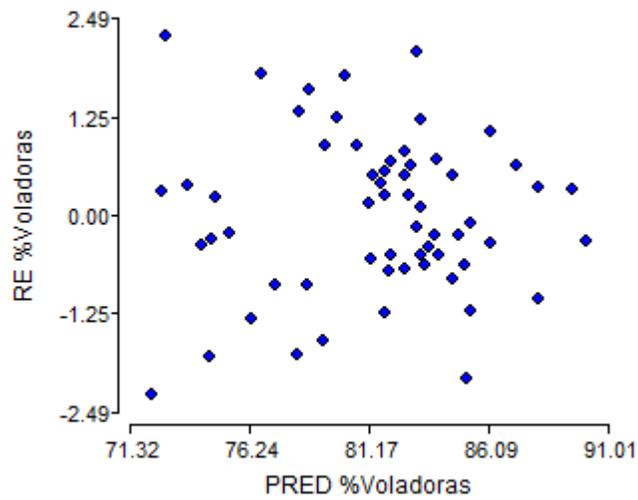


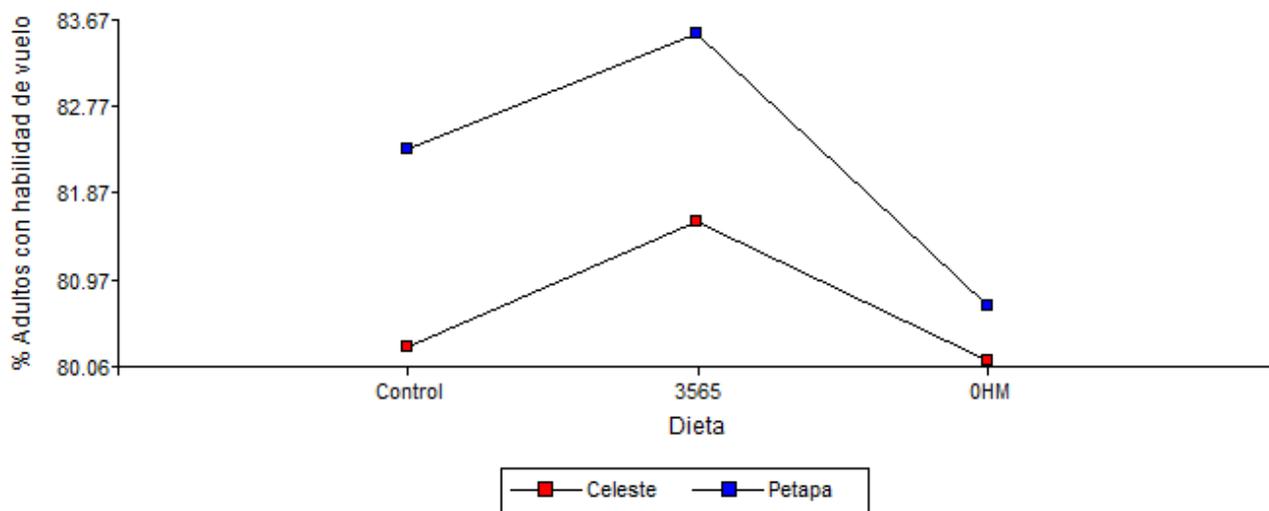
Figura 53A Gráfico de dispersión, Predichos y Residuos Estudentizados, porcentaje de adultos con habilidad de vuelo.

Cuadro 25A ANDEVA, porcentaje de adultos con habilidad de vuelo**Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Voladoras	60	0.62	0.17	6.10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	1088.16	32	34.00	1.38	0.1980	
Bloques	833.23	9	92.58	3.76	0.0036	
Dieta	45.96	2	22.98	2.48	0.1117	(Dieta*Bloques)
Dieta*Bloques	166.67	18	9.26	0.38	0.9827	
Tipo de bandeja	35.27	1	35.27	1.43	0.2419	
Dieta*Tipo de bandeja	7.03	2	3.52	0.14	0.8676	
Error	665.14	27	24.63			
Total	1753.30	59				

**Figura 54A** Gráfico de interacción, % adultos con habilidad de vuelo.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA -FAUSAC-
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES -IIA-



REF. Sem. 04/2024

EL INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN TITULADO: "EFECTO DE TRES DIETAS SÓLIDAS CON MANEJO HIDROPÓNICO COMBINADAS CON DOS TIPOS DE UNIDADES DE DESARROLLO LARVARIO, EN LOS PARÁMETROS DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE *Anastrepha ludens* (LOEW) EN LA PLANTA PETAPA, MOSCAMED, GUATEMALA, C.A."

DESARROLLADO POR EL ESTUDIANTE: ERMES ESTUARDO LANCERIO ORELLANA

CARNÉ: 201703331

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Filadelfo Guevara Chávez
Dr. Ezequiel López
Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.


Dr. Ezequiel López Bautista
A S E S O R


Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales
A S E S O R


Dr. José Vicente Martínez Arévalo
DIRECTOR DEL IIA



I M P R I M A S E


Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
D E C A N O



JVMA/nm
c.c. Archivo