



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**EFICACIA DE DIFERENTES DIETAS PARA CRIAR HORMIGAS
DE FUEGO TROPICAL, *Solenopsis geminata* (Himenoptera:
Formicidae) EN CAUTIVERIO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORA:

SARA GABRIELA PAZMIÑO VÁSQUEZ

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**EFICACIA DE DIFERENTES DIETAS PARA CRIAR HORMIGAS
DE FUEGO TROPICAL, *Solenopsis geminata* (HIMENOPTERA:
FORMICIDAE) EN CAUTIVERIO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORA: SARA GABRIELA PAZMIÑO VÁSQUEZ

DIRECTOR: ING. HENRI WILLIAM HERRERA MORENO PhD.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Sara Gabriela Pazmiño Vásquez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Sara Gabriela Pazmiño Vásquez, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de enero de 2024



Sara Gabriela Pazmiño Vásquez

0604928002

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **EFICACIA DE DIFERENTES DIETAS PARA CRIAR HORMIGAS DE FUEGO TROPICAL, *Solenopsis geminata* (Himenoptera: Formicidae) EN CAUTIVERIO**, realizado por la señorita: **SARA GABRIELA PAZMIÑO VÁSQUEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Rosa del Pilar Castro Gómez PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-01-15
Ing. Henri William Herrera Moreno PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-15
Ing. Juan Carlos Carrasco Baquero. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-15

DEDICATORIA

Dedico el resultado de este trabajo a mis padres Dhiniro y María Isabel por ser mi fortaleza, apoyo incondicional y guiarme en cada proceso con amor. A mi hermano menor Mateo que siempre me apoyó a su manera. También a la Madre Tierra, que por medio de este estudio se aportará a un manejo sustentable de los recursos naturales y a la preservación de especies endémicas en las Galápagos.

Sara

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por acompañarme y guiarme a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad. Le doy gracias a mis padres Dhiniro y María Isabel por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. A mi hermano Mateo por ser parte importante de mi vida y de igual forma a toda mi familia y amistades por siempre desearme los mejores éxitos. Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo al Dr. Henri Herrera y a la Dra. Jenny Gavilanez-Slone al compartir sus conocimientos y ser ejemplos de desarrollo profesional a seguir. Agradezco a las instituciones ESPOCH y ESPOL por ser la sede de mi aprendizaje de pregrado y colaborar en conjunto para el desarrollo del presente trabajo. Un agradecimiento especial al Técnico de laboratorio Juan Luis Guerra por colaborar en los experimentos y dedicar su tiempo al avance del trabajo. De igual manera agradezco a todo el equipo del Laboratorio de Investigación Bi Institucional (ESPOCH - ESPOL) de Control Biológico de Especies Invasoras anexo al Laboratorio de Botánica y Entomología, por su apoyo para finalizar con mi trabajo de integración curricular y a la Dra. Lisbeth Espinoza, por abrirnos las puertas y permitir que mi proyecto se haga realidad.

Sara

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	4
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Hipótesis.....	5
1.4.1 <i>Nula</i>	5
1.4.2 <i>Alternativa</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Hormiga de fuego tropical (<i>Solenopsis geminata</i>).....	6
2.1.1 <i>Generalidades</i>	6
2.1.2 <i>Taxonomía</i>	7
2.1.3 <i>Distribución geográfica</i>	8
2.1.4 <i>Hábitat</i>	9

2.1.5	<i>Alimentación</i>	10
2.1.6	<i>Morfología</i>	10
2.1.7	<i>Biología</i>	11
2.1.7.1	<i>Patrón social y comportamiento</i>	11
2.1.7.2	<i>Reproducción</i>	12
2.1.8	Estadios de desarrollo	13
2.1.9	<i>Impactos</i>	15
2.1.10	<i>Enemigos naturales</i>	16
2.2	Cría de insectos en laboratorio	16
2.3	Dietas para la cría de insectos	17
2.3.1	<i>Dietas naturales</i>	17
2.3.2	<i>Dietas artificiales</i>	17

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	18
3.1	Área de estudio	18
3.2	Enfoque de investigación	18
3.3	Alcance de investigación	19
3.4	Diseño de investigación	19
3.5	Tipo de investigación	20
3.5.1	<i>Según el tipo de datos</i>	20
3.5.2	<i>Según su objetivo</i>	20
3.5.3	<i>Según su profundidad</i>	20
3.5.4	<i>Según la manipulación de variables</i>	20
3.5.5	<i>Según su temporalidad</i>	20
3.5.6	<i>Según su área de estudio</i>	21
3.6	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	21
3.6.1	<i>Métodos</i>	21

3.6.2	<i>Técnicas</i>	21
3.6.3	<i>Instrumentos</i>	22
3.7	Materiales, equipos e insumos	22
3.7.1	<i>Materiales del laboratorio</i>	22
3.7.2	<i>Equipos de laboratorio</i>	22
3.7.3	<i>Insumos</i>	23
3.7.3.1	<i>Insumos de laboratorio</i>	23
3.7.3.2	<i>Insumos para elaboración de dietas</i>	23
3.8	Metodología	23
3.8.1	<i>Colecta de nidos en campo</i>	23
3.8.2	<i>Extracción de colonias</i>	24
3.8.3	<i>Estandarización de colonias</i>	26
3.8.4	<i>Dietas</i>	28
3.8.4.1	<i>Selección de los componentes proteínicos</i>	29
3.8.4.2	<i>Preparación de componentes proteínicos</i>	30
3.8.4.3	<i>Descripción de los tratamientos o dietas</i>	31
3.8.5	<i>Manejo y montaje del experimento</i>	32
3.8.5.1	<i>Distribución de las torres, bloques, y unidades experimentales</i>	32
3.8.5.2	<i>Distribución del alimento</i>	33
3.8.6	<i>Mediciones y evaluaciones</i>	34
3.8.6.1	Peso de las colonias al inicio y al final del experimento	34
3.8.6.2	Componentes proteínicos con y sin hormigas	34
3.8.6.3	Índice de salud de las colonias	35

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	36
4.1	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	36
4.1.1	<i>Componentes proteínicos sin hormigas</i>	36

4.1.2	<i>Componentes proteínicos con hormigas</i>	38
4.1.3	<i>Dietas</i>	40
4.1.4	<i>Índice de Salud de las Colonias</i>	41
4.2	Discusión (argumentación, sistematización y cuestionamiento de la información obtenida)	43
4.3	Comprobación de la hipótesis	51

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1	Conclusiones	52
5.2	Recomendaciones	53

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Clasificación taxonómica <i>Solenopsis geminata</i>	8
Tabla 3-1: Índice de salud de la colonia (relación cría y obreras)	27
Tabla 3-2: Descripción de los nueve Componentes Proteínicos (CP).....	30
Tabla 3-3: Descripción de los nueve tratamientos o dietas.....	32

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Distribución mundial de <i>Solenopsis geminata</i>	9
Ilustración 2-2: Estadios de desarrollo <i>Solenopsis geminata</i> . (A) huevos; (B) larva; (C) pupa; (D) obrera mayor y (E) obrera menor.....	14
Ilustración 3-1: Laboratorio Bi Institucional ESPOCH – ESPOL (símbolo rojo).....	18
Ilustración 3-2: Colecta de nidos de <i>S. geminata</i> en campo (Parque Samanes de Guayaquil). .	24
Ilustración 3-3: Balsas formadas por <i>S. geminata</i> para proteger a la cría y reinas.	25
Ilustración 3-4: Pasos para extracción de colonias en laboratorio.....	25
Ilustración 3-5: Colonias de <i>Solenopsis geminata</i> en laboratorio.	26
Ilustración 3-6: Manipulación de colonias para estandarización	27
Ilustración 3-7: (A) Grupo de cría, (B) obreras y (C) reinas	28
Ilustración 3-8: Distribución de los siete bloques y 63 unidades experimentales en las torres de panadero.....	32
Ilustración 3-9: Alimentación a colonias de <i>S. geminata</i> en laboratorio.	33
Ilustración 3-10: (A) Controles (0.5 g, 1 g y 2 g respectivamente) y (B) CP sin hormigas.....	35
Ilustración 4-1: Cambio de peso de los componentes proteínicos usados en las diferentes dietas, sin hormigas (controles).	37
Ilustración 4-2: Porcentaje de los cambios de pesos corregidos de los componentes proteínicos (CP) con hormigas.....	39
Ilustración 4-3: Cambio del peso de las colonias por la influencia de los tratamientos.	41
Ilustración 4-4: Índice de salud de las colonias según la dieta usada.	42

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: SELECCIÓN DE DIETAS

ANEXO B: PREPARACIÓN DE AGUA AZUCARADA

ANEXO C: PREPARACIÓN DIETAS LARVAS MOSCA SOLDADO

ANEXO D: ENTREGA DE TORRES DE PANADERO Y BANDEJAS

ANEXO E: COLONIAS DE *Solenopsis geminata*, BLOQUES Y UE

ANEXO F: EQUIPO DE TRABAJO ESPOL – ESPOCH

ANEXO G: DISTRIBUCIÓN DE LAS 63 UE EN LAS TORRES DE PANADERO

ANEXO H: REUNIONES SOBRE AVANCE DEL EXPERIMENTO

ANEXO I: TRATAMIENTOS DE LARVA DE MOSCA SOLDADO

RESUMEN

Se evaluaron nueve dietas para determinar cuál aumentaría la cría y el peso total de colonias cautivas de la hormiga de fuego tropical (*Solenopsis geminata*). Tener colonias de hormigas saludables es primordial para criar agentes de control biológico como las moscas decapitadoras. Una dieta inicial usando moscas soldados (*Hermetia illucens*) como fuente proteínica principal, no estaba produciendo abundante cría, necesiéndose una dieta alternativa. Se estandarizaron 63 colonias de *S. geminata*, colectadas en el Parque Samanes de Guayaquil, a una proporción 1:1 de cría:obreras por peso, y se asignó aleatoriamente a cada colonia una de las nueve dietas: Dieta base (DB, Tortilla de Huevo + Leche en Polvo), DB + Hígado de Res en Agar, DB + Carne Molida de Res, DB + Grillos Adultos (*Gryllus assimilis*), Tortilla de Huevo (DB – Leche en Polvo), DB + Mosca Soldado Larvas Grandes, DB + Mosca Soldado Larvas Pequeñas, DB + Mantequilla de Maní, y BD + Comida Enlatada para Gatos. Después de ocho semanas de alimentar las dietas ad-libitum a las colonias, se determinó que la dieta base no mantuvo el peso de las colonias, ni el índice de salud. Los tratamientos de DB + Hígado de Res en Agar, DB + Carne Molida de Res y DB + Moscas Soldados (pequeñas o grandes) mantuvieron el peso de las colonias similar a su peso inicial del experimento, y también un buen índice de salud de 1:1 cría:obreras por peso. Los otros tratamientos no lograron mantener el peso ni la salud de la colonia. Concluyendo que ninguna de las dietas fue óptima para la cría de *S. geminata*, pero algunos de los componentes proteínicos que se agregaron a la dieta base mejoraron el crecimiento y la buena salud de las colonias en comparación con la dieta base de sólo leche en polvo y huevo.

Palabras clave: <HORMIGA DE FUEGO TROPICAL (*Solenopsis geminata*)>, <CRÍA DE INSECTOS>, <DIETAS>, <CAUTIVERIO>, <ECUADOR (PAÍS)>, <ENTOMOLOGÍA>, <UNIDADES EXPERIMENTALES (UE)>, < DISEÑO EXPERIMENTAL EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR REPETIDOS EN EL TIEMPO (DBCART)>.



08-02-2024

0261-DBRA-UPT-2024

ABSTRACT

Nine diets were evaluated to determine which would increase the brood and overall mass of captive colonies of the tropical fire ant (*Solenopsis geminata*). Having healthy ant colonies is paramount for developing biological control organisms, such as decapitating phorid flies. The initial diet using black soldier flies (*Hermetia illucens*) as the main source of protein was not producing abundant brood, so an alternate diet was needed. Sixty-three nests of *S. geminata*, collected in the Samanes Park of Guayaquil, were standardized to a 1:1 ratio of brood to workers by weight, and randomly assigned to one of nine diets: Base Diet, (BD, Milk Powder for Calves + Egg Omelet), BD + Beef Liver in Agar, BD + Ground Beef, BD + Adult Crickets (*Gryllus assimilis*), Egg Omelet (BD – Milk Powder), BD + Soldier Fly Small Larva, BD + Soldier Fly Large Larva, BD + Peanut Butter, and BD + Canned Cat Food. After eight weeks of feeding the diets ad-libitum to the colonies, it was determined that the Base Diet did not maintain the weight of the colonies nor the health index, but treatments of BD + Beef Liver in Agar, BD + Ground Beef, and BD + Soldier Flies (small or large) larvae maintained the weight of the colonies similar to their weight at the beginning of the experiment, and maintained a good health index of 1:1 brood:workers by weight. The other treatments failed to maintain colony weight and good health. From these results, we concluded that none of the diets were optimum for the rearing of the tropical fire ant (*S. geminata*), but some of the proteins that were added to the base diet did improve growth and good health in the colonies compared to the base diet of only milk powder and eggs.

Keywords: <TROPICAL FIRE ANT (*Solenopsis geminata*)>, <INSECT REARING>, <DIETS>, <CAPTIVE>, <ECUADOR (COUNTRY)>, <ENTOMOLOGY>, <EXPERIMENTAL UNITS (EU)>, <COMPLETE RABDOMIZED BLOCKS EXPERIMENTAL DESIGN REPEATED IN TIME>.



Lic. Lorena Hernández A. Mcs.

180373788-9

INTRODUCCIÓN

La presente investigación determinaría la mejor dieta para la cría de la hormiga de fuego tropical (HFT) *Solenopsis geminata* (Fabricius, 1804) (Hymenoptera: Formicidae) en cautiverio. Mediante la comparación de nueve dietas (tratamientos) usando 63 colonias (unidades experimentales) para poder aumentar en términos cuantitativos las poblaciones de cría y obreras de estas colonias en laboratorio; además de mejorar el estado de salud de estas, debido a los problemas nutricionales con la dieta en base a moscas soldados utilizada inicialmente en el laboratorio

Solenopsis geminata es un artrópodo conocido coloquialmente en Ecuador como hormiga brava o negra, es una especie nativa de América, específicamente se encuentra en las zonas tropicales que abarca desde el sur de los Estados Unidos hasta la parte norte de América del sur, pero debido a las actividades antropogénicas, esta especie ha logrado extenderse en casi todo el mundo causando serios efectos negativos en los países a los que ha llegado. Por lo general, invade áreas abiertas, pero puede colonizar fácilmente la infraestructura humana y los sistemas agrícolas. Sus mayores amenazas son su dolorosa picadura y las pérdidas económicas por daños a los cultivos causados por la reducción de las poblaciones de huevos y/o larvas de otras especies nativas de artrópodos benéficos. *Solenopsis geminata* es capaz de alimentarse de: otros insectos, huevos de aves o reptiles, entre otros organismos vivos, convirtiéndola en un enemigo natural muy agresivo (Trager, 1991).

La HFT recolecta grandes cantidades de líquidos azucarados (Tennant y Porter, 1991), que son la principal fuente de energía para las obreras adultas, porque no pueden ingerir alimentos sólidos (Vinson, 1968; Glancey et al., 1981). Una fuente alimenticia de azúcar líquida aumenta significativamente el tamaño y la tasa de crecimiento de estas colonias en laboratorio (Williams et al., 1987; Porter, 1989). Los alimentos sólidos recogidos por las obreras son consumidos casi exclusivamente por las larvas que, a diferencia de las obreras, necesitan grandes cantidades de proteína para su crecimiento y desarrollo (Porter y Tschinkel, 1985).

Se han propuesto varias dietas para la cría de hormigas del género *Solenopsis* en laboratorio, específicamente con las especies *Solenopsis invicta* y *Solenopsis geminata* (Bhatkar y Whitcomb, 1970; Williams et al., 1980; Banks et al., 1981; Porter, 1989), donde la mayoría de las dietas contienen insectos como el componente principal, tales como grillos o gusanos de la harina, porque las hormigas de fuego se alimentan de pequeños invertebrados y, lo que es más importante, los insectos promueven un crecimiento y desarrollo óptimo de estas colonias. Desafortunadamente,

las dietas de insectos son caras, especialmente al tratarse de operaciones de cría masiva y estas no siempre están disponibles (Gavilanez-Slone y Porter, 2013).

Las dietas estandarizadas efectivas son esenciales para muchos proyectos de investigación que involucran artrópodos criados en laboratorio. Las dietas artificiales para criar hormigas de fuego tienen la ventaja de estar libres de enfermedades, ser menos costosas y potencialmente más consistentes desde el punto de vista nutricional que las presas de insectos (Lapointe et al., 2008). Sin embargo, a pesar de estas ventajas potenciales, la eficacia de las dietas artificiales, aún siguen en estudio y debido a la variabilidad entre especies, debido a los factores ambientales, morfológicos y químicos, no se ha confirmado dietas adecuadas para trabajar con colonias de la hormiga de fuego tropical *Solenopsis geminata*.

Este trabajo de integración curricular es un punto clave y crucial para el desarrollo de la investigación del Macroproyecto que se realiza en Galápagos “CARACTERIZACIÓN DE LA FAUNA DE HYMENOPTERA Y OTROS GRUPOS PRIORITARIOS DE INVERTEBRADOS TERRESTRES EN LAS ISLAS GALAPAGOS”, que tiene como objetivo principal determinar el rol de la fauna de Hymenoptera y otros grupos de invertebrados terrestres en los procesos ecosistémicos y explorar la posibilidad de controlar aquellas especies que son invasoras. Y como uno de los cinco objetivos específicos es investigar los efectos de las especies de hormigas invasoras sobre la diversidad de los ecosistemas insulares, con enfoque en el impacto sobre la diversidad filogenética y morfológica de otras especies de hormigas. Donde se enfoca en el control biológico de la HFT para que la fauna nativa y endémica del archipiélago de las Galápagos no se vea afectada por esta especie invasora; contribuyendo así a la conservación de este ícono y patrimonio natural de la humanidad.

En dicho proyecto se espera mantener colonias de *S. geminata* saludables con crecimiento estable en laboratorio para continuar con los estudios de parasitación, especificidad, preferencia y aceptación de su parasitoide, la mosca decapitadora del género *Pseudacteon*, y poder cumplir con los objetivos planteados en el macroproyecto; por tal motivo, se tiene como prioridad encontrar una dieta eficaz para la cría estable y saludable, equivalente a buena calidad de la HFT. El mismo que se desarrolla en el Laboratorio de Investigación Bi Institucional ESPOCH - ESPOL de Control Biológico de Especies Invasoras, anexo al Laboratorio de Botánica y Entomología ubicado en la Facultad de Ciencias de la Vida de la ESPOL.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Se identificaron tres principales problemas a solucionar en el presente trabajo de integración curricular:

1) Las colonias de la hormiga de fuego tropical (HFT) (*Solenopsis geminata*) en cautiverio no producen abundante cría con la dieta inicial de mosca soldado que se le ha estado proveyendo en el laboratorio como fuente principal de proteína. Actualmente se usa una variedad de componentes proteínicos, de los cuales se dispone en el laboratorio, pero sin previo análisis de estos. Una producción alta de cría en las colonias es primordial para el desarrollo del proyecto de investigación, y para el incremento poblacional de las mismas en el laboratorio. Por lo que se debe estudiar y buscar otras fuentes de proteína que suplan los requerimientos nutricionales para un crecimiento sostenible y saludable de las colonias en el laboratorio. Teniendo en cuenta que, al ser especies criadas en cautiverio, sus características tanto fenotípicas como genotípicas cambian adaptándose al entorno del laboratorio, debido a su adaptabilidad y al estrés ejercido en las colonias.

2) Se depende significativamente de colonias de HFT criadas en cautiverio, sobre todo en la época seca, cuando no se puede encontrar fácilmente nidos de interés (ej. de Guayaquil y Galápagos) en el campo. Esto se debe a los factores climáticos y ecológicos de la zona (vegetación, suelo, irrigación, etc.), recordando que la HFT se desarrolla en ambientes cálidos-húmedos. Por lo que, para el proyecto se trabajó con colonias del Parque Samanes de Guayaquil (PSG), ya que generalmente se encuentra un número mayor de nidos en este sitio casi todo el año.

3) Las colonias de *S. geminata*, y de otras especies de hormigas deben ser saludables, lo que equivale a buena calidad; es decir, tener igual o mayor porcentaje de cría que de obreras y aumentar su población continuamente para tener datos consistentes, fehacientes, robustos y reproducibles. Por lo cual, una dieta apropiada es primordial para desarrollar colonias sanas y, por ende, de buena calidad para poder criar sus parasitoides (*Pseudacteon* spp.). Caso contrario no sería posible la implementación de un programa de control biológico.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar la mejor dieta para la cría de la hormiga de fuego tropical (*Solenopsis geminata*) en cautiverio.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Medir el efecto de las dietas en el cambio de peso de las colonias (cantidad de cría, obreras y reinas).
- Evaluar mediante un índice el efecto de las dietas en la salud de las colonias.
- Comparar el efecto de nueve componentes proteínicos en nueve dietas (tratamientos) mediante análisis estadístico.

1.3 Justificación

El presente trabajo pretendió determinar la mejor dieta que supla los requerimientos nutricionales para la especie *Solenopsis geminata* bajo condiciones de cautiverio y así aumentar la cría en las colonias; puesto que se depende significativamente de las mismas, las cuales son criadas en el laboratorio para estudios y análisis que no se pueden realizar en campo. Las colonias de *S. geminata* deben ser saludables para tener datos fehacientes, robustos, consistentes y reproducibles.

Este se realizó usando análisis estadísticos y un índice de salud que permitieron comparar el efecto de nueve dietas y nueve componentes proteínicos en las colonias de las HFT en el laboratorio, y lograr obtener poblaciones saludables y aptas para estudios de especificidad, parasitación, preferencia y aceptación de los parasitoides. Para poder desarrollar un programa de control biológico de esta hormiga en las Galápagos, promoviendo así el manejo sustentable y sostenible de esta especie invasora.

Este experimento formó parte del proyecto de investigación: “CARACTERIZACIÓN DE LA FAUNA DE HYMENOPTERA Y OTROS GRUPOS PRIORITARIOS DE INVERTEBRADOS TERRESTRES EN LAS ISLAS GALAPAGOS”, el cual se enfoca en el control biológico de la hormiga de fuego tropical (*Solenopsis geminata*) y la disminución de su impacto sobre la fauna nativa y endémica del archipiélago de las Galápagos. La comparación de los nueve (9)

componentes proteínicos en nueve (9) dietas diferentes entra como principal actor en el manejo de la salud y calidad de las colonias a fin de mantener colonias sanas y aumentar el número de cría y obreras de manera consistente.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Nula

Ninguno de los componentes proteínicos ni dietas causará cambios de peso y por consiguiente las colonias de hormigas no aumentarán sus poblaciones.

1.4.2 Alterna

Por lo menos uno de los componentes proteínicos o una dieta causará cambios de peso de las colonias de hormigas alimentadas con este componente proteínico o dieta y podría aumentar sus poblaciones.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Hormiga de fuego tropical (*Solenopsis geminata*)

2.1.1 Generalidades

Solenopsis geminata conocida mundialmente como hormiga de fuego tropical, HFT (traducción literal del inglés), en Ecuador se la conoce como hormiga brava, hormiga roja tropical, hormiga negra (Galápagos), hormiga patilla o coloradilla, etc., dependiendo del lugar (obs. pers.). Es una especie holometábola o de metamorfosis completa (huevo, larva, pupa y adulto) y sus colonias pueden tener una sola reina (monoginas), o muchas reinas (poliginas) reproductivamente activas (Williams y Whelan, 1991). La HFT posee especímenes dimórficos, fácilmente distinguibles por las variaciones en el tamaño de la cabeza. Su cuerpo mide de 3 a 6 mm; de tono variado, puede ser marrón rojizo, rojo o negro pardo, esto dependerá del ecosistema donde habite (Cerdá et al., 1997, pág.73).

Su ciclo inicia desde el huevo, estos son cuidados por las obreras hasta convertirse en larvas, las cuales son alimentadas con proteínas líquidas producidas por la reina, también se alimentan de sólidos. Estas larvas pasan a pupas y luego se convierten en adultos jóvenes. En comparación con otras especies invasoras de hormigas de fuego como *Solenopsis invicta*, la HFT, tiene una distribución mundial más amplia a nivel mundial. Donde se ha introducido, a menudo se ha convertido en una de las especies de hormigas plagas dominantes, afectando a la fauna y flora (Hoffmann et al., 1999; Geetha Viswanathan y Ajay Narendra, 2000).

Indirectamente, *S. geminata* puede afectar negativamente la salud de las plantas al cuidar de los insectos chupadores (Hemíptera) o impedir los procesos de polinización (Carroll y Risch, 1983, pág. 54). Debido a que su picadura es muy fuerte y dolorosa, puede afectar a los trabajadores del campo, pudiendo causar reacciones alérgicas. Puede también afectar el funcionamiento de equipos como sistemas de riego por goteo (Ota y Chang, 1981, pág.112) y otros de tipo eléctrico (Prins, 1985). *Solenopsis geminata* puede ser encontrada en áreas de vida silvestre, bosques, áreas urbanas y otros sitios intervenidos antropogénicamente.

En el archipiélago de las Galápagos, la hormiga de fuego tropical (HFT) es una especie introducida que constituye una amenaza potencial comprobada para la fauna terrestre. Se localiza

fácilmente en zonas de anidación de especies de vertebrados endémicas y/o en peligro de extinción, al igual que en áreas perturbadas por humanos. El impacto de la HFT se evalúa periódicamente realizando investigaciones en el ciclo de actividad y la dominancia de estas con respecto a especies nativas, de igual forma estudios de especificidad y toma de muestras en islas e islotes para actualizar la distribución en las islas de dicha especie invasora. Se sugiere que las HFT podrían dominar el comportamiento de otras hormigas (Wauters et al., 2014).

El primer registro de la HFT en las Galápagos se remonta a 1891 en la isla San Cristóbal (Emery, 1893), seguido por dos registros en 1905 en Floreana y San Cristóbal (Wheeler, 1919). En las islas con asentamientos humanos establecidos, el primer registro es de 1981 para la isla Isabela y de 1982 para la isla Santa Cruz (Herrera y Causton, 2008a). Después del establecimiento de la Estación Científica Charles Darwin en 1964 en Puerto Ayora en la Isla Santa Cruz, se llevaron a cabo estudios más extensos sobre la fauna de hormigas, muchos de los cuales mencionan a la HFT como una especie altamente invasora (Clark et al., 1982; Lubin, 1984; Aesch y Cherix, 2005). En 1999, se estableció la Colección de Referencia de Invertebrados Terrestres en la Estación Científica Charles Darwin donde se realizan censos periódicos de hormigas en varias islas e islotes (Herrera y Causton, 2008b).

Debido a su aislamiento geográfico y área reducida, las biotas insulares se consideran ambientes únicos, pero extremadamente sensibles a la introducción de especies exóticas (MacArthur y Wilson, 1967). Entre las especies invasoras en las Galápagos, las más comunes son las cabras, los cerdos, las ratas, los perros y gatos salvajes y varias especies de invertebrados. Las hormigas también son invasoras de gran éxito en las Galápagos y otros archipiélagos oceánicos. Pueden ser devastadoras desde el punto de vista ecológico y económico y, a menudo, superan a las especies de hormigas nativas (Clark et al., 1982; Holway et al., 2002; LeBrun et al., 2013; Porter y Savignano, 1990; Suarez y Tsutsui, 2008). La HFT se considera una de las especies introducidas más dañinas y extendidas (Holway et al., 2002), y también una plaga ambiental y económica que tiene un impacto importante en los equilibrios ecológicos de los ecosistemas (Plentovich et al., 2009).

2.1.2 Taxonomía

De acuerdo con Bolton (2014) la clasificación taxonómica de *Solenopsis geminata*, es la siguiente:

Tabla 2-1: Clasificación taxonómica *Solenopsis geminata*

Dominio	Eukaryota
Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hymenoptera
Suborden	Apocrita
Superfamilia	Vespoidea
Familia	Formicidae
Subfamilia	Myrmicinae
Tribu	Solenopsidini
Género	Solenopsis
Especie	<i>Solenopsis geminata</i> (F.)

Fuente: Bolton, 2014

2.1.3 Distribución geográfica

Taber (2000) y Wetterer (2011) proporciona la distribución mundial de esta especie, la cual se ha extendido ampliamente a través de todo el globo terráqueo, invadiendo desde América hasta África, Australia, Asia y las islas de Oceanía (**Ilustración 2-1**). *Solenopsis geminata* es una especie nativa de América, desde los Estados Unidos hasta el norte de Argentina (Ross et al., 1987, pág. 983). Sin embargo, su área de distribución nativa está en disputa, en parte porque la especie se distribuye continuamente desde el suroeste de los Estados Unidos hasta el norte de Sudamérica; algunos de los asentamientos de estas poblaciones (incluidas las del Caribe) pueden ser por el resultado de actividades antropogénicas (Holway et al., 2002, pág. 190).

Además de esto, en partes del sureste de Estados Unidos, la distribución histórica de *S. geminata* se ha reducido en áreas invadidas por poblaciones de otras hormigas bravas como, *Solenopsis invicta* y *Solenopsis richteri* (Vinson et al., 2003, pág. 45). Por lo tanto, es posible que los registros históricos ya no expresen la distribución actual.

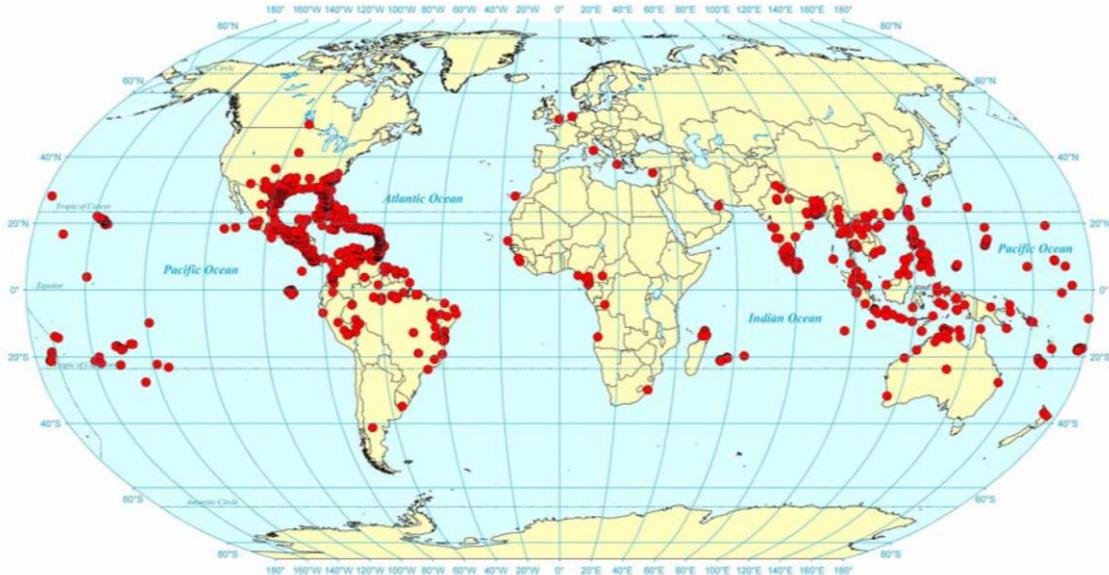


Ilustración 2-1: Distribución mundial de *Solenopsis geminata*.

Fuente: Wetterer, 2011

2.1.4 Hábitat

La HFT es una especie predominantemente tropical, es territorialista y vive en zonas áridas y/o cálidas. Los nidos pueden ser muy grandes, con decenas a cientos de miles de obreras, construidos en el suelo en áreas abiertas y soleadas, aunque también pueden ocurrir en la sombra y dentro de estructuras hechas por el hombre. Generalmente estos nidos se presentan en forma de un gran montículo de tierra expuesto, donde las hormigas buscan temperaturas óptimas para la reproducción. En ciertas épocas del año, los nidos tienen múltiples agujeros de entrada (16 a 20 por nido) en montículos de hasta 2 pies (60.96 cm) de ancho y 12 pulgadas (30.48 cm) de alto, aunque la mayoría de los montículos no son tan altos ni tienen forma de cráter (Van Pelt, 1958, pág. 35).

Las obreras son las encargadas de construir las galerías del nido en el suelo; la tierra o arena que rodea el montículo suele ser de color rojo granate brillante, aunque el color depende de los componentes del suelo o sustrato donde estas hormigas habitan. La mayor parte de la búsqueda de alimento que realizan las obreras, lo hacen en la superficie del suelo, pero se ha visto buscando alimento a varios metros de altura, en troncos o caídas de árboles cuando hay abundantes epífitas (Trager, 1991, pág. 158).

Prefiere temperaturas invernales suaves y de alta humedad (Snelling, 1963, pág. 18). Torres (1984, pág. 289) analizó la influencia de los microhábitats en la distribución. La búsqueda de alimento ocurre

en el rango de temperatura de 77 a 90°F (25 a 32°C) con límites de temperatura extremos que impiden la búsqueda de alimento por debajo de los 36°F (2°C) y por encima de los 122°F (50°C) (George y Narendran, 1987, pág. 77). Por ende, las condiciones ambientales óptimas para un adecuado desarrollo de esta especie son temperaturas que oscilan entre los 25 a 32°C. Durante la época seca las colonias son menos conspicuas y la mayoría de las hormigas están debajo de la tierra para mantener una humedad apropiada en las galerías (Tschinkel, 1988, pág. 78).

Su capacidad de adaptación es tan efectiva que pueden establecerse en la mayoría de los tipos de suelos, medios o sustratos, así como en espacios con clima controlado; también es capaz de colonizar áreas antrópicas como sistemas agrícolas, huertos y viviendas (Holway et al. 2002, pág.200).

2.1.5 Alimentación

Su papel trófico es omnívoro (comen todo material orgánico), pero las hormigas recolectan grandes cantidades de líquidos azucarados (Tennant y Porter 1991, pág. 455), que son la principal fuente de energía para las obreras adultas, porque no pueden ingerir alimentos sólidos (Vinson, 1968, pág. 714); además, la HFT es reconocida por ser granívora (consumidor de semillas) y depredadora (consume otros insectos), usándola como agentes biológicos (Torres, 1984, pág. 289).

2.1.6 Morfología

Hung et al. (1977) proporcionaron una clave para la identificación de hormigas de fuego, donde detallan que tienen dos nódulos entre el tórax y el abdomen, ojos compuestos distintos, diez segmentos en las antenas con dos segmentos formando una maza, sin espinas en el propodeo y miden más de 2 mm de largo. Las obreras mayores tienen un surco profundo en el vértice de la cabeza, mandíbulas sin dientes y son completamente negras, con un escapo antenal corto que llega hasta la mitad del vértice (Vinson et al., 2003, pág. 51).

Las obreras (hormigas adultas) se caracterizan por su polimorfismo y son fáciles de reconocer por su cabeza semicuadrada y fuerte aguijón, que pueden o no provocar pústulas. La cabeza maciza y más grande de las obreras mayores, la diferencia del resto de las obreras [dimorfismo] (Wilson, 1978, pág.616). Algunas de las principales características para su identificación son: cabezas semicuadradas que son más largas que anchas, con lados rectos a ligeramente convexos, sus mandíbulas pueden o no (debido al desgaste) estar dentadas y el diente clipeal mediano está ausente (Trager, 1991, pág. 161).

Las obreras mayores son el mejor espécimen para un proceso de identificación morfológica, caracterizándose por los siguientes rasgos: cabeza casi cuadrada, margen posterodorsal claramente convexo en vista frontal; mandíbulas robustas, cada una con un margen exterior fuertemente convexo y cuatro dientes romos en el margen masticatorio; los dientes mandibulares se oscurecen en algunos individuos; clípeo con un par de carinas longitudinales; ojos bastante pequeños, cada uno con más de 20 facetas; ocelos anteriores a menudo presentes; escapos antenales que llegan casi hasta el borde posterior de la cabeza; maza antenal más larga que los segmentos antenales tercero a noveno combinados; patas, mesosoma y gáster con numerosos pelos erectos (Wilson, 1978, pág. 620).

Las obreras menores se caracterizan por los siguientes rasgos: cabeza casi cuadrada en vista frontal; mandíbulas de cuatro dientes; escapos antenales que alcanzan el margen posterior de la cabeza; clípeo con un par de carinas longitudinales; esquinas posterolaterales del propodeo carinado, las carinas alcanzan la superficie dorsal del propodeo; proceso subpeociolar ausente (Wilson, 1978, pág. 625).

2.1.7 Biología

Los nuevos nidos fundados por hembras fecundadas pueden tener una reina (nidos monogínicos) o varias reinas (nidos poligínicos). Es común en *S. geminata* encontrar nidos con varias reinas, y esto puede ocurrir de dos formas: pleometrosis y poligamia. La pleometrosis ocurre cuando una colonia es fundada por más de una reina. Poligamia ocurre cuando las reinas llegaron después de la fundación del nido y pueden estar o no relacionadas con la reina fundadora. Estas estrategias al momento de establecer un nido disminuyen el costo de la consanguinidad, otorgando mayor diversidad genética a las hormigas y un mejor control del nido a la reina o reinas (McInnes y Tschinkel, 1995). De esta forma aumenta el éxito invasor de *S. geminata* y es capaz de establecerse más fácilmente.

2.1.7.1 Patrón social y comportamiento

Las HFT son insectos sociales, territoriales y muy agresivos; entre las hormigas adultas hay dos castas: obreras menores y obreras mayores, y el trabajo en la colonia se reparte entre ellas. Gracias a este polimorfismo social a las hormigas les permiten asignar y realizar mejor los trabajos dentro del nido. Wilson (1978) describió el comportamiento de las castas; y notó que las cápsulas de la cabeza de las obreras mayores son notablemente más grandes y lobuladas en comparación con las

de las obreras menores (dimorfismo) debido a su comportamiento especializado de búsqueda de alimento y defensa de la colonia.

Todas las hormigas conviven en grandes castas establecidas por una o varias madres denominadas reinas y su generación de hembras estériles llamadas obreras (Babendreier, 2008, pág. 404). La división del trabajo representa un sistema práctico en términos de ahorro de energía y eficiencia laboral. Los trabajos se dividen según su edad (polietismo temporal) y su forma (dimorfismo) (Calabi y Porter, 1989; Cerdá et al., 1997). Las obreras recién emergidas cuidan los huevos, larvas, pupas y a la reina. Luego se encargan de la construcción y mantenimiento del nido, es decir, de las estructuras internas como las cámaras y pasajes, además de crear nuevas cámaras y túneles internos que conectan esas cámaras. Aparte del mantenimiento del nido y el cuidado de la cría y reina(s), la recolección de alimento es fundamental para el crecimiento y salud del nido (Trager, 1991, pág. 167).

Las obreras más experimentadas se unen a las hormigas soldado para la exploración, salen del nido en busca de alimento y nuevas áreas para colonizar. Una vez que se acabe la comida, buscarán nuevos lugares donde puedan prosperar. Las obreras mayores o soldados con más experiencia cumplen el rol de defensa del nido y de exploración, sus características diferentes a las de las obreras menores les permiten realizar estas actividades con mayor eficiencia (Zablotny, 2009, pág. 231).

2.1.7.2 Reproducción

La época de crecimiento y reproducción del nido ocurre generalmente en períodos de lluvias (finales de diciembre hasta principios de mayo, en el Ecuador Continental); época en que el nido comienza a crear hormigas aladas (machos y hembras) reproductoras que abandonan los nidos en vuelos de apareamiento o nupciales, al final del día o al anochecer después de las lluvias durante períodos más cálidos del año (Travis, 1941; Hung et al., 1977; Trager, 1991).

Después del apareamiento, las hormigas reproductoras hembras se convierten en reinas fundadoras, dejan caer sus alas y excavan una madriguera para comenzar una nueva colonia. El macho, después de haberse apareado, habrá completado su única función de reproducción en el nido y muere. La hembra se aparea con uno (monandria) o múltiples machos (poliandria), este último podría aumentar la diversidad genética de las hormigas hijas (Lenancker et al., 2019, pág. 5).

Estas reinas fertilizadas luego descienden a un lugar propicio para fundar sus propias colonias. La fundación de nuevos nidos puede darse de dos formas: independiente o dependiente. Es una fundación independiente cuando la reina fundadora da origen a toda una nueva colonia; y en el proceso la reina fundadora no sale del lugar donde puso sus primeros huevos, así ella misma alimenta a las larvas con sus reservas (claustral) o puede salir a buscar comida para alimentar a sus larvas (no claustral) (Blacher et al., 2021, pág. 165). En cambio, la fundación dependiente es cuando la reina fundadora necesita ayuda de otras obreras para poder iniciar el nido, esto puede darse de dos formas: por fisión colonial, cuando la reina fundadora emigra con algunas obreras de su nido de origen; o por adopción, que es cuando la reina fundadora es adoptada por una colonia compuesta únicamente por obreras (McInnes et al., 1995, pág. 370).

2.1.8 Estadios de desarrollo

El desarrollo desde el huevo hasta el adulto puede tomar de 3 a 4 semanas y hasta 2 meses (Wheeler y Wheeler, 1955; Vargo, 1993), y por ser holometábolo, pasa por las etapas de huevo, larva, pupa y adulto (**Ilustración 2-2**). La eclosión del huevo ocurre en 14 a 17 días (Veeresh, 1990, pág. 267) o entre 12 y 13 días a 24 °C (Global Invasive Species Database (GISD), 2010); Trager, 1991). El desarrollo larval dura entre 24 días a 6 semanas (Veeresh, 1990, pág. 268). Las larvas se describen como blandas, de forma robusta y corta con extremos redondeados y ano ventral; cuerpo de color blanquecino casi transparente. Considerando estos aspectos se les llama cría a los estadios huevo-larva-pupa para identificarlos rápidamente dentro de una colonia, a su vez, este término se utilizó como método de clasificación en este trabajo. La etapa de pupa toma de 9 a 15 días, o hasta 19 días (Veeresh, 1990, pág. 268). Las pupas son atendidas por las obreras.

Existe un mecanismo de transferencia de alimento de un individuo a otro denominado trofalaxis (Meurville y LeBoeuf, 2021, pág. 18). Las hormigas usan trofalaxia para alimentar las larvas con aceite regurgitado por la reina para su crecimiento. Y de igual forma, durante las últimas etapas, cuando las larvas reciben alimentos sólidos, en lugar de recibir sólo nutrientes líquidos. Ya que estas larvas son capaces de digerir varias proteínas, debido a que producen enzimas digestivas específicas, las cuales no son producidas por las obreras. Los productos de dicha digestión son regurgitados por las larvas para pasarlos a la reina, en quien estimulan la producción de huevos (Trager, 1991, pág. 182), y en su efecto estimulan el crecimiento de la colonia.

Las hormigas adultas incluyen obreras menores (larvas de 2,6 mm), obreras mayores (larvas de 5,2 mm) y obreras de tamaño intermedio. La madurez del nido ocurre en 1 a 2 años (Wilson y Taylor,

1967, pág. 90) y podrían contener hasta 100.000 hormigas (Way et al., 1998, pág. 469), pero otras estimaciones son más bajas, generalmente oscilando entre 10.000 y 12.000. La hormiga obrera adulta primero trabaja cuidando la cría (huevos, larvas y pupas) y la reina (Veeresh, 1990, pág. 268).

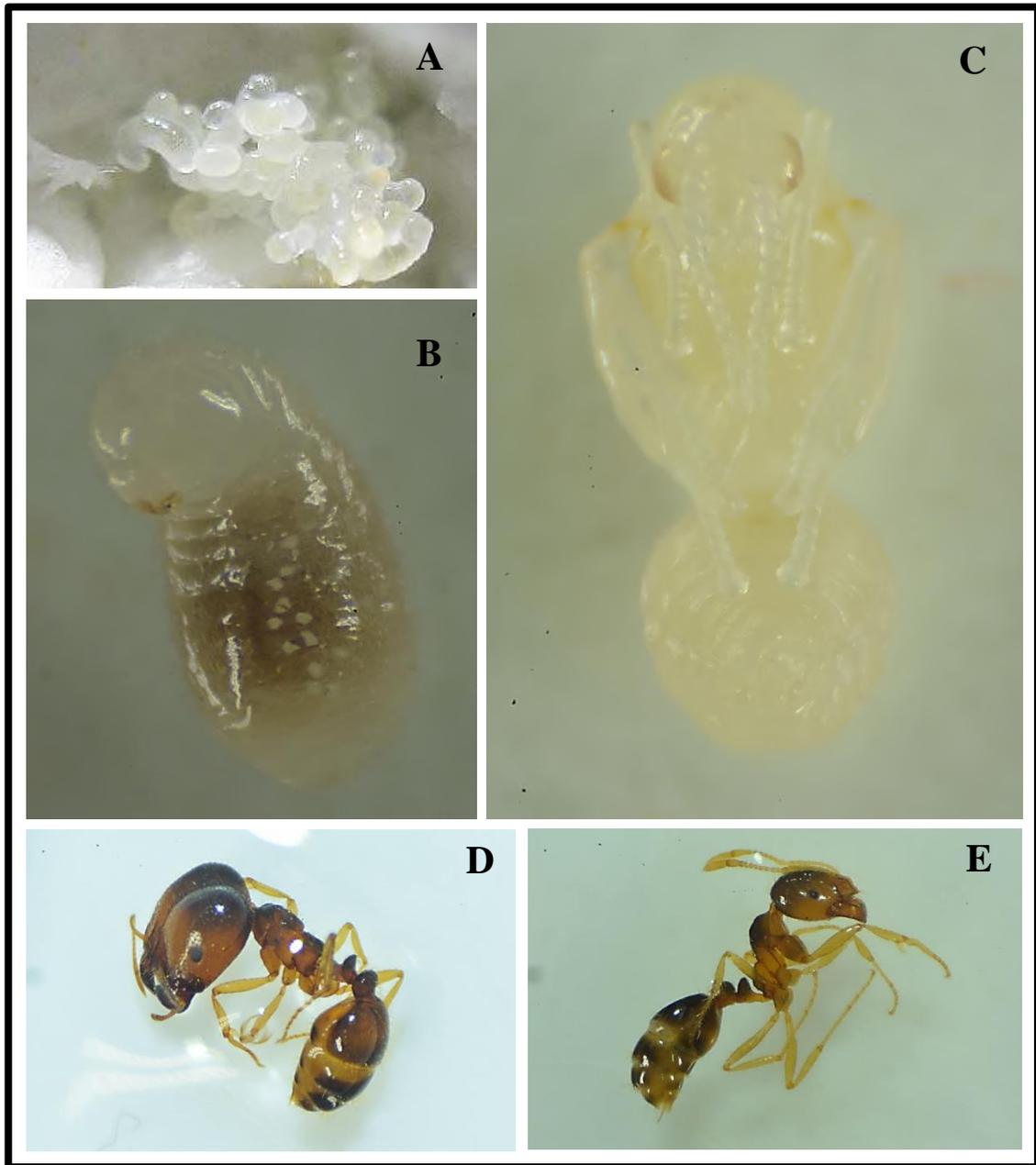


Ilustración 2-2: Estadios de desarrollo de *Solenopsis geminata*. (A) huevos; (B) larva; (C) pupa; (D) obrera mayor y (E) obrera menor.

Realizado por: Pazmiño Sara., 2023

2.1.9 Impactos

Se considera plaga por daños a los cultivos debido al cuidado de pulgones y cochinillas para obtener mielecilla. Por su picadura, por daños al suelo y a la propiedad, y por desplazar la vida silvestre nativa en lugares donde se ha establecido a través de la actividad humana. *Solenopsis geminata* es omnívora, lo que la hace peligrosa para la biodiversidad y por ende para la dinámica ecosistémica. Es capaz de alimentarse de tejidos vegetales, semillas, y de otros insectos e incluso de pequeños animales vertebrados. Por lo general, invade áreas abiertas, pero puede colonizar fácilmente la infraestructura humana y los sistemas agrícolas. Sus mayores amenazas conocidas son por su dolorosa picadura y las pérdidas económicas por daños a los cultivos causados por la reducción de las poblaciones de huevos y/o larvas de otras especies nativas de artrópodos benéficos (Trager, 1991, pág. 188).

Solenopsis geminata es una especie muy agresiva que reacciona violentamente ante las amenazas externas. Están provistas de un aguijón que inyecta un veneno muy doloroso que causa un ardor (de ahí el nombre de “Fire Ants”), y pueden seguir aguijoneado repetidas veces. Las picaduras suelen inflamarse, generando ampollas. En ciertos casos de especial sensibilidad pueden desarrollarse reacciones alérgicas que podrían llegar a desembocar en la muerte (Fabricius, 1804, pág. 56). Debido a la capacidad de *S. geminata* de picar, esta especie es considerada una plaga para los humanos, los animales [y cultivos]. Sin embargo, en comparación con las especies de hormigas de fuego más agresivas como *Solenopsis invicta* y *Solenopsis richteri*, es menos importante desde el punto de vista médico (Vinson et al., 2003, pág. 61).

La HFT afecta la fauna y flora de la mayoría de los ecosistemas en los que se establece (Hoffmann et al., 1999; Geetha Viswanathan y Ajay Narendra, 2000). También se sabe que tiene el potencial de devastar las poblaciones de hormigas nativas (McGlynn, 1999, pág. 540). Cabe señalar que entre los nidos se dan tanto los nidos monogínicos con elevada agresividad intraespecífica, así como los grandes nidos poligínicos con escasa agresividad entre sus miembros (Fabricius, 1804, pág. 89).

En comparación con otras especies invasoras como *Solenopsis invicta*, la HFT tiene una distribución mundial más amplia. Donde se ha introducido, a menudo se ha convertido en una de las especies de hormigas plagas dominantes, afectando a la fauna y flora (Hoffmann et al., 1999; Geetha Viswanathan y Ajay Narendra, 2000). Aunque se informa que *S. geminata* está asociada con una amplia variedad de productos agrícolas y animales en el campo, a menudo no se informa que el impacto de las hormigas sea negativo, ni siempre se causan daños al producto agrícola. También están

asociadas con insectos chupadores como pulgones, saltahojas y otros hemípteros, a los que "tienden" para alimentarse de las secreciones azucaradas producidas por estos (Tennant y Porter, 1991, pág. 460).

A pesar de todo esto, el impacto de la HFT puede ser también positivo para el ecosistema, como es en el caso de las actividades de anidación que mejoran las condiciones del suelo (Carroll y Risch, 1983, pág. 55) y la búsqueda de alimento puede reducir el número de semillas de malezas (Risch y Carroll, 1983, pág. 122) y las poblaciones de artrópodos plagas (garrapatas, orugas y escarabajos), ya que, en muchos casos, la HFT se alimenta de estos.

2.1.10 Enemigos naturales

Existen enemigos naturales de *S. geminata* como las moscas decapitadoras de la familia Phoridae (ej.: *Pseudacteon bifidus* y *Pseudacteon crawfordi*). Estas moscas inyectan sus huevos en el tórax o abdomen de las hormigas obreras. La larva migra a la cápsula de la cabeza donde se desarrolla, decapita la hormiga y luego utiliza la cabeza de la hormiga como un casco de pupa. Su impacto principal, sin embargo, no es la mortalidad directa de las hormigas, sino más bien un efecto indirecto a través de interrumpir el comportamiento de alimentación (FCD, 2023).

2.2 Cría de insectos en laboratorio

La cría de insectos en laboratorio bajo condiciones controladas es llevada a cabo para estudiar las poblaciones de los individuos, pues mediante esta, se obtienen un alto número de ejemplares ya que las condiciones en las que se realiza son consistentes y apropiadas para su óptimo desarrollo. La finalidad es obtener especímenes viables, garantizando así una mortalidad limitada que favorezcan la producción [masiva] de los organismos (Schowalter, 2006, pág. 48).

Un factor importante en una cría es la dieta [y sus componentes] suministrada a los individuos, la cual suele ser natural, artificial, o mixta, y puede influir sobre los parámetros del ciclo de vida del individuo, tales como la duración de sus diferentes estadios, tamaño de larvas, cantidad de cría, número de huevos, etc. (Schowalter, 2006; Cohen, 2004).

2.3 Dietas para la cría de insectos

2.3.1 Dietas naturales

Las dietas naturales, permiten a los individuos ser alimentados con tallos, hojas, y frutos, los cuales son hospederos en su ambiente natural, de esta manera se les proporciona los nutrientes necesarios para el desarrollo del organismo (Schowalter, 2006, pág. 120). Sin embargo, estas dietas tienen un alto costo para crías masivas; por esta razón, el uso de las dietas artificiales, o mixtas fue un auge para la cría masiva de insectos en la década de los cincuenta para investigaciones acerca de la fisiología, ecología y genética de insectos, y de esta manera planificar nuevas técnicas de control de plagas (Singh, 1977, pág. 67).

2.3.2 Dietas artificiales

Las dietas artificiales utilizadas para la cría de artrópodos pueden clasificarse en holídicas, merídicas y oligídicas según sus componentes. Las dietas holídicas o sintéticas están completamente definidas químicamente y son importantes en el estudio de la nutrición. Las dietas merídicas contienen una base holídica con uno o más materiales crudos o no bien definidos (materiales naturales). Las dietas oligídicas no se definen químicamente porque están formadas por materiales naturales, complejos o crudos, como insectos, carnes o materiales vegetales. Se han sugerido varias dietas artificiales para criar hormigas bravas del género *Solenopsis* (Gavilanez-Slone y Porter, 2014).

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Área de estudio

El presente estudio fue realizado en Ecuador, provincia del Guayas en la ciudad de Guayaquil, en el campus politécnico Gustavo Galindo Velasco de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), en la Facultad Ciencias de la Vida (FCV), en el Laboratorio de Investigación Bi Institucional ESPOCH – ESPOL de Control Biológico de Especies Invasoras, anexo al Laboratorio de Botánica y Entomología (-2.150436, -79.957903).

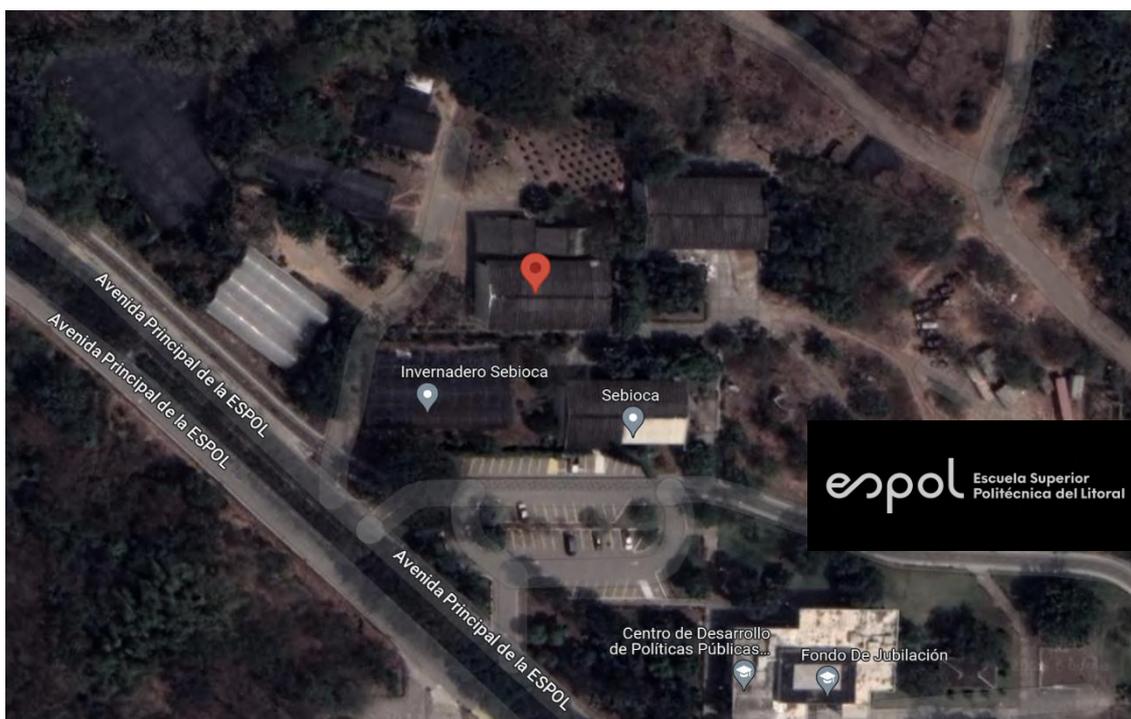


Ilustración 3-1: Laboratorio Bi Institucional ESPOCH – ESPOL (símbolo rojo)

Fuente: ESPOL, 2023

3.2 Enfoque de investigación

El enfoque utilizado fue de carácter mixto: cualitativo y cuantitativo. El enfoque cualitativo se realizó con las evaluaciones semanales en base al Índice de Salud de la colonia propuesto por Porter et al., (2015) con el cual se evaluó 63 unidades experimentales (UE) repartidas en siete bloques o repeticiones. Estas observaciones cualitativas, en base a su respectiva descripción, se

convirtieron en valores cuantitativos por medio de una escala de cinco valores (0 al 4, de pobre a excelente). Mientras que, en la toma de datos, análisis estadísticos y aleatorización se usó un enfoque cuantitativo por medio de la medición de pesos de las colonias al inicio y al final del experimento, y la medición una vez por semana del peso de cada componente proteínico antes y después de alimentar las hormigas y sus respectivos controles (componentes sin hormigas).

3.3 Alcance de investigación

El alcance fue de tres tipos: exploratorio, descriptivo y correlacional; al ser un tema poco estudiado, el cual no se ha logrado abordar suficiente información, se explora mediante análisis y modelos estadísticos; se describe todo el proceso realizado para determinar el efecto de nueve componentes proteínicos de nueve dietas en colonias de *Solenopsis geminata* en cautiverio; de igual forma es correlacional ya que asocia dos variables (peso de componentes proteínicos o dietas y peso de colonias de hormigas) para determinar su relación.

3.4 Diseño de investigación

Para la investigación se realizó un Diseño experimental en Bloques Completos al Azar, repetidos en el tiempo (DBCART). El material biológico (colonias de hormigas) colectado semanalmente, se procesó y dividió en nueve UE por bloque. Las UE consistían en una colonia de hormigas con una o más reinas, el tratamiento o dieta correspondiente, uno o varios nidos artificiales (platos Petri con yeso o tubos de ensayo con agua tapados con algodón) dependiendo del tamaño de las colonias, agua y agua azucarada en tubos de ensayo de diferentes tamaños según el tamaño de las colonias. Todas las UE dentro de cada bloque fueron estandarizadas a una proporción 1:1 de cría:obreras por peso, según la escala 3 del índice de salud. Dentro de cada bloque, cada tratamiento fue asignado a una UE aleatoriamente. Nueve tratamientos y siete bloques, o repeticiones en el tiempo, sumaron un total de 63 UE dentro del experimento. Las UE fueron heterogéneas entre sí (diferentes tamaños y varias reinas); cabe mencionar que cada bloque tiene un número igual de tratamientos (bloques completos), los mismos que están distribuidos al azar dentro de cada bloque.

3.5 Tipo de investigación

3.5.1 Según el tipo de datos

Los datos recolectados fueron de tipo cualitativo, obtenidos por medio del Índice de Salud de las colonias (**Tabla 3-1**); y cuantitativos al medir y comparar los pesos de las colonias en los análisis y modelos estadísticos y de aleatorización.

3.5.2 Según su objetivo

Este trabajo se enmarca en el tipo de investigación aplicada, ya que se busca cumplir el objetivo de determinar la mejor dieta con componentes proteínicos apropiados para la cría de la HFT en cautiverio; y de ser posible mejorar el estado actual de las colonias en el laboratorio, contando con poblaciones saludables y aptas para estudios de especificidad, parasitación, preferencia y aceptación o compatibilidad por parte de los parasitoides del género *Pseudacteon*.

3.5.3 Según su profundidad

Esta investigación cubre detalles que pueden ser útiles para estudios comparativos usando un Índice de Salud y análisis y modelos estadísticos para determinar el efecto de componentes proteínicos y dietas en el crecimiento de colonias de hormigas de *S. geminata*. El alcance fue de tres tipos: exploratorio, descriptivo y correlacional.

3.5.4 Según la manipulación de variables

La investigación fue de tipo experimental, ya que se manipularon componentes proteínicos y dietas (variables independientes), para determinar su efecto en el cambio de peso y la salud de las colonias (variables dependientes), mediante la recopilación sistemática de datos cualitativos y cuantitativos de cada UE durante un período prolongado.

3.5.5 Según su temporalidad

Posee una temporalidad de tipo longitudinal, ya que se evaluaron 63 UE en un periodo de 16 semanas o cuatro meses (20 de mayo al 11 de septiembre del 2023). Cada bloque duró ocho semanas, y los bloques fueron repetidos en el tiempo. Empleando una metodología sistemática en

las mediciones semanales de los pesos de las colonias de hormigas (al inicio y final del experimento), de los pesos de los componentes proteínicos antes y después de alimentar a las hormigas, así como de los Índices de Salud de las colonias. La obtención de todos los datos se hizo por bloque, para de esa forma establecer un manejo uniforme de cada UE dentro del mismo y medir sólo el efecto de los componentes proteínicos y de las dietas que están vinculados a cada bloque a pesar de que los mismos se repitieron en el tiempo.

3.5.6 Según su área de estudio

Este estudio promueve el desarrollo científico y la conservación de los recursos naturales en el área de ciencias de la vida, al generar las bases para el control biológico de una hormiga invasora presente en las Islas Galápagos a través de la utilización de un enemigo natural específico.

3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1 Métodos

La presente investigación se basó en la medición del cambio de peso de las poblaciones de 63 colonias de la HFT, para determinar el efecto (positivo o negativo) de nueve componentes proteínicos repartidos en nueve dietas en el desarrollo de las colonias en cautiverio. Se midió semanalmente la salud de la colonia mediante un Índice de cinco valores (0 al 4, de pobre a excelente). Se compararon los cambios de peso y el Índice de Salud que tuvieron en el tiempo (8 semanas por bloque o repetición), y así poder establecer los mejores componentes proteínicos y la(s) mejor(es) dieta(s) para la cría de colonias de HFT en laboratorio.

3.6.2 Técnicas

Las técnicas que se utilizaron para este proyecto fueron tanto la directa e indirecta. Entre las directas se encuentran las mediciones de peso e Índice de Salud de las 63 colonias de *S. geminata*, y las mediciones de peso de los componentes proteínicos. Mientras que las técnicas indirectas que se utilizaron para la selección de los componentes proteínicos y la formulación y preparación de los nueve tratamientos (dietas), fue mediante el análisis bibliográfico y antecedentes relacionados a la especie *Solenopsis invicta*.

3.6.3 Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron en la presente investigación fueron tres, en base al tipo de enfoque propuesto. El primero fue el programa Microsoft Excel que se utilizó como herramienta de organización y aleatorización de los nueve componentes proteínicos y las nueve dietas administradas a las 63 UE en los siete bloques. El segundo instrumento fue el Índice de Salud, con el cual se asignó un valor cuantitativo y se pudo determinar el estado de salud de cada colonia. Finalmente, se usó el programa de análisis y modelos estadísticos libre R, para las comparaciones y gráficas de los resultados de los efectos de los nueve componentes proteínicos y las nueve dietas. Sin embargo, para el uso de este programa, adicionalmente se usó el interfaz Rstudio, un programa libre que permite acceder de manera sencilla a toda la potencia del programa R.

3.7 Materiales, equipos e insumos

3.7.1 Materiales del laboratorio

- Baldes de plástico (10 y 12 L)
- Talco para bebe
- Palas
- Guantes de nitrilo
- Tubos de ensayo (16 x 150, 16 x 125 mm, 13 x 100 m, 12 x 75 mm, y 10 x 75 mm)
- Placa de Petri (15 cm x 15 mm, y 10 cm x 15 mm)
- Bandejas de plástico
- Envases de plástico

3.7.2 Equipos de laboratorio

- Estereoscopio
- Balanza analítica
- Hidro termómetros
- Humidificadores

3.7.3 *Insumos*

3.7.3.1 *Insumos de laboratorio*

- Yeso dental
- Fluon
- Alcohol (70%)
- Agua potable
- Agua azucarada al 1.5 M (513 g/L);
- Agar
- Algodón

3.7.3.2 *Insumos para elaboración de dietas*

- Hígado de res
- Carne molida de res
- Comida enlatada de gato
- Larvas grandes y pequeñas de mosca soldado
- Grillos
- Huevos
- Mantequilla de maní
- Leche en polvo para ternera

3.8 **Metodología**

3.8.1 *Colecta de nidos en campo*

La colecta de nidos de *Solenopsis geminata* en campo se realizó en las áreas verdes del Parque Samanes de Guayaquil (PSG, -2.105323, -79.903263) (**Ilustración 3 2**). Donde estos nidos se depositaron en el interior de baldes, cuyas paredes internas estaban cubiertas por talco (Banks et al., 1981, pág. 120), para evitar que se escapen las hormigas de estos. Los datos (fecha, No. De nido, lugar de colecta, observaciones, etc.) de los nidos colectados fueron registrados en cintas adhesivas de colores colocadas en los baldes, donde posteriormente fueron trasladados hacia el laboratorio. Se escogió el PSG como punto de colecta, porque generalmente se encuentra una mayor cantidad de nidos de interés, además de reducir la variabilidad entre nidos en el

experimento, al usar colonias del mismo lugar de colecta, provenientes del mismo piso climático e influenciados por los mismos factores bióticos y abióticos.

En el laboratorio, los nidos colectados permanecieron en los baldes un máximo de 24 h previas a su extracción, para que las hormigas tengan tiempo de crear las cámaras donde se movilizan a través de la tierra (Banks et al., 1981, pág. 155), esto con el fin de permitir el paso del agua a través de las cámaras y facilitar el escape de las obreras y rescate de la cría, evitando que se ahoguen. De igual forma, se les proveyó de alimento (carbohidratos, proteínas y agua), y de dos tubos de ensayo taponados con un trozo corto de mecha de algodón (Banks et al., 1981, pág. 158), uno de 16 x 150 mm con agua potable al 0.1% de cloro, y otro de 16 x 125 mm con agua azucarada al 1.5 M (513 g de azúcar/L). Esto debido a que las HFT recolectan grandes cantidades de líquidos azucarados, que son la principal fuente de energía para las obreras adultas.



Ilustración 3-2: Colecta de nidos de *S. geminata* en campo (Parque Samanes de Guayaquil).

Realizado por: Pazmiño S., 2023

3.8.2 Extracción de colonias

Por medio de un sistema de goteo, los baldes se llenaron de agua muy lentamente (1 a 2 gotas por segundo) con el propósito de que las hormigas puedan flotar y gracias a la tensión superficial del

agua se juntan entre sí, creando una especie de balsa (**Ilustración 3-3**), que es una característica típica de las hormigas de fuego, permitiéndoles mantenerse en la superficie (Banks et al., 1981, pág. 161). Considerando que, este mecanismo les ayuda a sobrevivir semanas viajando en estas balsas, donde se aseguran de que la reina y la cría estén secas y seguras, para la supervivencia de la colonia. Mientras viajan, las obreras toman turnos para estar por encima o al fondo de la balsa. Aún estando en la base, estas no se sumergen totalmente, debido a su exoesqueleto ceroso. Aparte de esto, las HFT también pueden acoplarse entre sí y formar puentes para poder cruzar distancias cortas. Estas balsas se extrajeron de los baldes mediante el uso de una cuchareta de metal con huecos (**Ilustración 3-4**).



Ilustración 3-3: Balsas formadas por *S. geminata* para proteger a la cría y reinas.

Realizado por: Pazmiño S., 2023



Ilustración 3-4: Pasos para extracción de colonias en laboratorio.

Realizado por: Pazmiño S., 2023

Con las cucharetas, las hormigas fueron depositadas en bandejas, previamente preparadas con Fluon, el cual es un fluoropolímero que se presenta como una suspensión de aspecto lechoso antiadherente que hace a las paredes internas del envase resbaladizas, impidiendo la salida de las hormigas (**Ilustración 3-5**). También se agregan platos de Petri con yeso como sitio de anidación, con el objeto de reemplazar las cámaras del nido que elaboran en su estado natural y así mantener una alta humedad (Banks et al., 1981, pág. 175). De igual forma, se les proveyó de alimento (proteína, carbohidratos y agua), los mismos tubos de agua azucarada y agua que se les dispuso al inicio. Una vez separadas del sustrato, los nidos se convierten en colonias.



Ilustración 3-5: Colonias de *Solenopsis geminata* en laboratorio.

Realizado por: Pazmiño S., 2023

3.8.3 Estandarización de colonias

Posterior a la extracción, se escogieron las colonias con reinas para determinar las UE que se asignarían a los bloques correspondientes. Para la estandarización o uniformización de las colonias se identificaron tres grupos (cría, obreras y reinas). Para esto, cada colonia se separó en los tres grupos mencionados y se pesaron en una balanza analítica, registrándose los pesos respectivos. Luego se estandarizó la colonia previamente pesada, por medio del uso del Índice de Salud (**Tabla 3-1**), ajustándolo a la escala 3 o saludable, donde la colonia tiene una proporción 1:1 de cría:obreras, o igual porcentaje de cría (50%) como de obreras (50%). Esto con el fin de homogeneizar a las 63 UE repartidas en los siete bloques que sirvieron como punto de referencia para medir la salud de las colonias en el transcurso de las ocho semanas (semana 0 a 7) y ver el efecto de las dietas. Todo este proceso se realizó con guantes de nitrilo cubiertos de talco para

evitar que las hormigas se queden pegadas en las manos (Banks et al., 1981, p.190) y para mayor facilidad de manipulación de estas y evitar sus picaduras (**Ilustración 3-6**).

Tabla 3-1: Índice de salud de la colonia (relación cría y obreras)

ESCALA	DESCRIPCIÓN	PROPORCIÓN	PORCENTAJE
4	excelente	> cría 1: < 1 obreras	> 50%: < 50%
3	saludable	= cría 1: 1 obreras	50%: 50%
2	medio	< cría 1: > 1 obreras	< 50%: > 50%
1	pobre	< cría 0.5: 1.5 obreras	< 25%: > 75%
0	inaceptable	0 cría: 2 obreras	0% (No cría): 100%

Fuente: Porter et al, 2015

A fin de reducir el estrés de las hormigas en cada colonia, las UE se mantuvieron con un peso y un número de reinas similar al colectado en el campo, guardando por lo tanto una diferencia entre UE. Provocando con ello que exista una variabilidad en términos de peso de componente proteínico según el tamaño de cada colonia o UE. Por tanto, la proporción de dieta otorgada a cada UE se determinó en una proporción $\frac{1}{4}$ del peso de la colonia (25% del tamaño de la colonia) en gramos (g), teniendo así una cantidad estándar como punto de partida, que fue más que suficiente de la cantidad que cada colonia consumió.

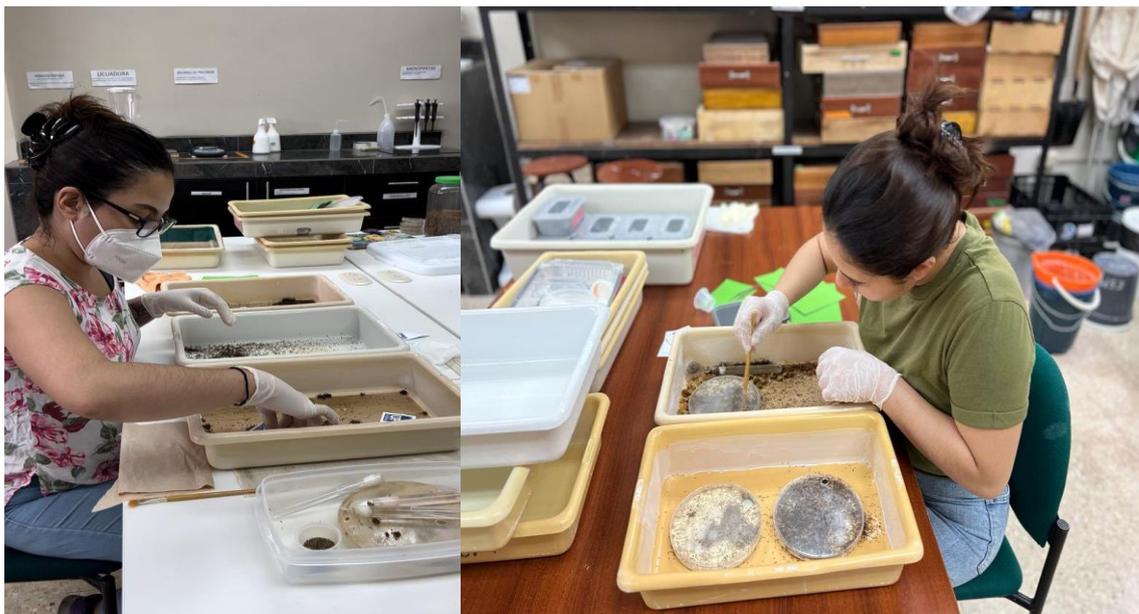


Ilustración 3-6: Manipulación de colonias para estandarización

Realizado por: Pazmiño S., 2023

En ciertos casos se reajustó el peso de las dietas para que sean ad libitum (a voluntad), suministrando así una cantidad suficiente de los componentes proteínicos en las dietas, a fin de que a las hormigas no les faltara alimento ni tuvieran exceso de comida, la cual se pudo dañar o a su vez atraiga moscas, y no desperdiciar recursos. Generalmente a partir de la cuarta o quinta semana se empezó a ver el efecto de las dietas en las colonias, puesto que la cría colocada al inicio del experimento se convirtió ya en obreras y así se pudo observar si la colonia tenía más cría o no. Para poder medir este efecto y reducir otros, las UE fueron estandarizadas de acuerdo con el índice 3 de salud (**Tabla 3-1**), y empezar el experimento con colonias saludables, y aleatorizadas dentro de cada bloque.

En la estandarización de 23 UE, además del proceso antes mencionado, se utilizaron tres hojas cuadrículadas de 0.5 cm cada una, de diferentes colores para mejor apreciación de cada uno de los grupos (cría, obreras y reinas) (**Ilustración 3-7**: (A) Grupo de cría, (B) obreras y (C) reinas

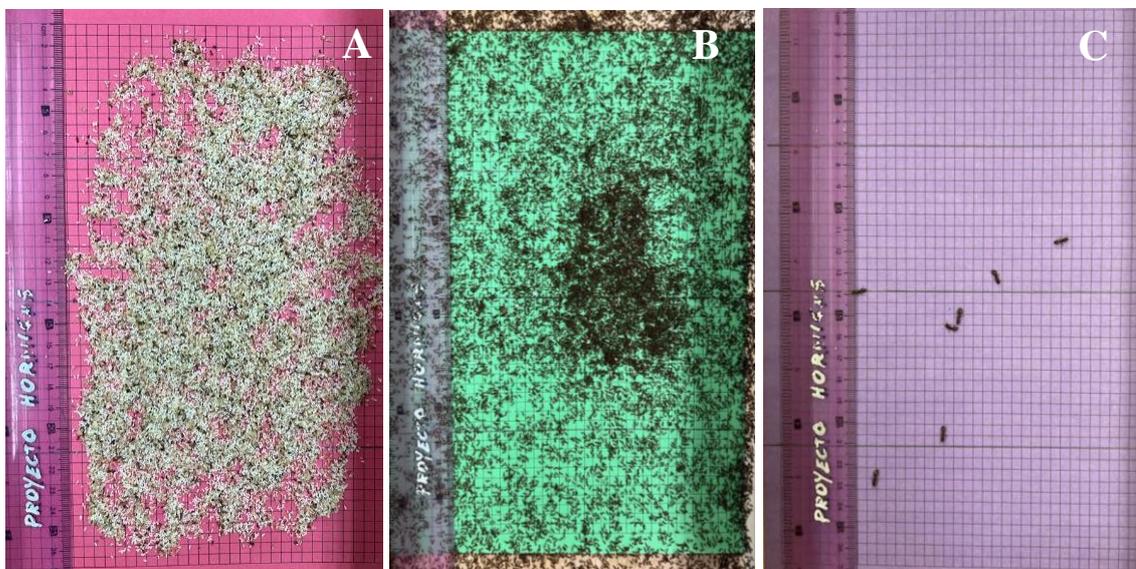


Ilustración 3-7: (A) Grupo de cría, (B) obreras y (C) reinas

Realizado por: Pazmiño S., 2023

3.8.4 Dietas

Se estudiaron las dietas (tratamientos) con sus componentes proteínicos (CP) en base a los siguientes aspectos: **i) Hígado de res en agar.** Según (Gavilanez-Slone y Porter, 2013) una dieta de hígado de res produjo consistentemente colonias de hormigas de fuego de crecimiento saludable (tanto *S. invicta* como *S. geminata*) con proporciones de cría a obrera > 1.5 . **ii) Carne molida de res.** Ha sido usada en estudios previos con hormigas de fuego de la especie *Solenopsis invicta*.

En esos estudios debido a la falta de producción de quitina para el endurecimiento y formación del exoesqueleto, Williams et al., (1987) concluyeron que las hormigas necesitaban proteína de otros insectos. Además, que se deseaba conocer cómo funciona el tipo de carne que se tiene en Ecuador comparada con las que se procesan en EE. UU. **iii) Larvas moscas soldados** (*Hermetia illucens*) **y grillos** (*Gryllus assimilis*). Estas especies están siendo criadas en el laboratorio, por lo que se tiene materia prima de fácil acceso y se cosechan las cantidades necesarias para los experimentos. **iv) Huevo**. Es fácil y rápido de preparar en dietas que contengan más componentes proteínicos. **v) Leche en polvo para terneras**. Es un insumo que se tiene en grandes cantidades en el laboratorio y se consigue en el mercado nacional. **vi) Mantequilla de maní**. Tiene alto contenido proteínico, y grasa que también las hormigas necesitan para desarrollarse y crecer saludablemente; sin embargo, aún se cuestionan la cantidad a suministrar. **vii) Comida enlatada de gato**. Tiene un nivel de proteína más alto que el de la comida de perro en lata.

3.8.4.1 Selección de los componentes proteínicos

Definidos los componentes proteínicos para las nueve dietas (**Tabla 3-2**). Se definieron las fuentes de obtención con el objeto de garantizar su calidad, evitando afectar negativamente el desarrollo de las colonias. Bajo estos criterios se seleccionaron las siguientes marcas y características, de igual manera, considerando lo accesible en el mercado. Así: **i) Leche en polvo para ternera**. El insumo se compró en la ciudad de Riobamba, se encuentra fácilmente en los mercados de dicha ciudad. **ii) Huevo**. Marca Indaves, tamaño grande. **iii) Hígado de res**. Marca CARNES, AGRO.F. HIGADO RES; se encuentra en los Supermaxis del Ecuador. **iv) Agar**. Marca Sigma – Aldrich, número de referencia del producto (SKU) A1296-500G. **v) Carne molida de res**. Marca CARNES, S. MOLIDA TIPO I 14-15% RES; se encuentra en los Supermaxis del Ecuador. **vi) Grillos adultos** (*Gryllus assimilis*) **y larvas de mosca soldado** (*Hermetia illucens*). Proviene del laboratorio Bi Institucional (ESPOCH-ESPOL) de Botánica y Entomología. **vii) Mantequilla de maní**. Marca Schullo, se puede encontrar tanto en los Hipermarket como en los Supermaxis del Ecuador. **viii) Comida enlatada para gato**. Marca PURENATURE de Atún y Pollo, se puede encontrar tanto en los Hipermarket como en los Supermaxis del Ecuador.

Tabla 3-2: Descripción de los nueve Componentes Proteínicos (CP)

Clave	Descripción del Componente proteínico	Código
CP1	Leche en polvo para ternera	LPT
CP2	Tortilla de huevo frito	THF
CP3	Hígado de res en agar	HRA
CP4	Carne molida de res	CMR
CP5	Grillo adulto (<i>Gryllus assimilis</i>)	G
CP6	Mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>) larva pequeña	MSLP
CP7	Mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>) larva grande	MSLG
CP8	Mantequilla de maní	MM
CP9	Comida enlatada para gato	CEG

Realizado por: Pazmiño S., 2023

3.8.4.2 Preparación de componentes proteínicos

Dentro de los nueve CP, cuatro fueron preparados antes de empezar el experimento, se detallan los insumos y procedimientos para su preparación:

Hígado de res en agar

Insumos: 255 g (o ml, o 1/2 libra) de hígado de res, 250 g (o ml) de agua, 10 g (2/3 cucharada) de agar, **Procedimiento:** Se cortó el hígado en pedazos pequeños y se lo licuó por un espacio de 2-3 minutos. La mezcla de agar y agua fue llevada a ebullición, se dejó reposar por 5 min, se mezcló con el hígado licuado y posteriormente depositada en un recipiente rectangular de unos 750 ml o más, dejando que se cuaje por unos 20 minutos. La preparación fue refrigerada de 1-2 días y posteriormente desmoldada y cortada en cuadros pequeños de ~1cm x 1cm x 1cm (~1 cm³). Los cubos fueron sometidos a congelación por 24 horas, siendo finalmente almacenados en fundas o recipientes herméticos hasta su uso (guardar un máximo de 6 meses) (Gavilanez-Slone, 2013).

Tortilla de huevo frito

Insumos: 5 huevos, 5 cucharadas de aceite vegetal (marca Girasol), una pizca de sal. **Procedimiento:** Se precalentó el sartén eléctrico a 250 °F con dos cucharadas de aceite vegetal. En un tazón, o licuadora, poner los huevos, el aceite vegetal, y la pizca de sal. Batir a velocidad media hasta que todo esté bien mezclado. Poner la mezcla en el sartén eléctrico que cubra toda la base, tapar y cocinar por unos 3-5 minutos. Una vez cocinado ese lado, cortar con un cuchillo de plástico en cuatro pedazos y voltearlos uno por uno. Dejar los pedazos por unos 2-3 minutos, luego sacar y poner en un plato hasta que se enfríen. Con la ayuda de una tabla de picar cortar los

pedazos grandes en cubos pequeños de ~1cm x1cm x 1cm (~1 cm³). Guardar los cubos en una funda sellable (ziploc) y congelarlos por 24 horas o hasta usarlos para alimentar a las hormigas (Gavilanez-Stone, 2022). Esta cantidad dura +/- un mes, dependiendo la cantidad que se suministre y el número de colonias a alimentar.

Carne molida

Insumos: 1 kg de carne molida de res. **Procedimiento:** Mezclar la carne y colocar en un molde rectangular. Tomar una pequeña cantidad en la mano y hacer bolitas de 1 cm de diámetro. Colocar cada bolita en otra bandeja con una separación de 1 cm y congelar por 24 horas. Almacenar las bolitas de carne molida congeladas individualmente en fundas o recipientes herméticos.

Larvas de moscas soldado

Insumos: Larvas moscas soldado (pequeñas y grandes), tamices. **Procedimiento:** Se debe tamizar las larvas para tener las del tamaño deseado. Congelarlas hasta ser usadas.

Los cuatro CP preparados fueron guardados en fundas sellables (ziploc) previamente etiquetadas (nombre del CP, fecha de preparación, iniciales de quien lo preparó). A fin de precautelar la calidad de la dieta, únicamente la cantidad requerida para la alimentación de las colonias fue descongelada. Esto con el objeto de que el CP dure por varios meses. Los CP de leche en polvo para ternera, grillos, mantequilla de maní y comida enlatada de gato, no tuvieron preparación previa, y fueron suministrados directamente a las UE respectivas.

3.8.4.3 Descripción de los tratamientos o dietas

Los nueve tratamientos consistieron de uno a tres componentes proteínicos (**Tabla 3-3**). Cada dieta o tratamiento incluyó una dieta base (DB) (tortilla de huevo frito y leche en polvo para ternera) más otro CP, con excepción de una dieta (T5) que consistió solamente de la tortilla de huevo frito.

Tabla 3-3: Descripción de los nueve tratamientos o dietas.

Clave	Descripción del Tratamiento	Código
T1	Dieta base (Leche en polvo para ternera + Tortilla de huevo frito)	DB
T2	DB + Hígado de res en agar	DB+HRA
T3	DB + Carne molida de res	DB+CMR
T4	DB + Grillos adultos (<i>Gryllus assimilis</i>)	DB+G
T5	Tortilla de Huevo frito (DB – Leche en polvo)	THF
T6	DB + Mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>) Larva pequeña	DB+MSLP
T7	DB + Mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>) Larva grande	DB+MSLG
T8	DB + Mantequilla de maní	DB+MM
T9	DB + Comida enlatada de gato	DB+CEG

Realizado por: Pazmiño Sara., 2023

3.8.5 Manejo y montaje del experimento

3.8.5.1 Distribución de las torres, bloques, y unidades experimentales

Los siete bloques con sus nueve UE respectivas fueron distribuidos en grupos en las torres de panaderos (**Ilustración 3-8**), ya que los diferentes niveles de dichas torres no varían en temperatura ni humedad ambiental, una repetición o bloque se mantuvo en una misma torre en tres o dos niveles consecutivos dependiendo del tamaño de las colonias, durante todo el experimento. Por ejemplo, la repetición 1 en la torre 1 en los niveles 1 a 3; para lograr este cometido, se necesitaron tres torres de panaderos.

		Torre 1			Torre 2			Torre 3	
Nivel 1	Bloque 1	1 UE	2 UE	Bloque 4	1 UE	2 UE	Bloque 7	1 UE	2 UE
		3 UE	4 UE		3 UE	4 UE		3 UE	4 UE
5 UE		6 UE	5 UE		6 UE	5 UE		6 UE	
7 UE		8 UE	7 UE		8 UE	7 UE		8 UE	
9 UE		10 UE	9 UE		10 UE	9 UE		Control	
11 UE		12 UE	11 UE		12 UE	Control			
Nivel 4	Bloque 2	1 UE	2 UE	Bloque 5	1 UE	2 UE			
Nivel 5		3 UE	4 UE		3 UE	4 UE			
Nivel 6		5 UE	6 UE		5 UE	6 UE			
		7 UE	8 UE		7 UE	8 UE			
		9 UE	10 UE		9 UE	10 UE			
	11 UE	12 UE	11 UE	12 UE					
Nivel 7	Bloque 3	1 UE	2 UE	Bloque 6	1 UE	2 UE			
Nivel 8		3 UE	4 UE		3 UE	4 UE			
		5 UE	6 UE		5 UE	6 UE			
		7 UE	8 UE		7 UE	8 UE			
		9 UE	10 UE		9 UE	Control			
	11 UE	12 UE	Control						

Ilustración 3-8: Distribución de los siete bloques y 63 unidades experimentales en las torres de panadero.

Fuente: Gavilanez-Slone Jenny, 2023

Esta distribución se realizó con el propósito de facilitar el manejo y alimentación de los diferentes tratamientos por bloque y por torre, y mantener la toma de datos lo más uniforme posible. El número de torres fue disminuyendo en el transcurso del experimento, ya que algunas colonias de los diferentes tratamientos fueron reduciéndose en tamaño y se fueron cambiando a recipientes más pequeños. Al mismo tiempo, dentro de cada bloque se colocaron los controles de los componentes proteínicos, los cuales no tenían hormigas, los que se evaluaron de acuerdo al bloque y día de la semana correspondiente.

3.8.5.2 Distribución del alimento

Las 63 UE fueron alimentadas los lunes, miércoles y viernes desde la fecha que empezó el experimento (**Ilustración 3-9**). Por lo regular se les suministraba los tratamientos a las colonias antes del mediodía para que tengan tiempo suficiente en recolectar los alimentos. Se mantuvo en congelación los componentes: tortilla de huevo frito, hígado-agar, carne molida de res, grillos, larvas de mosca soldado y comida enlatada de gato para conservar sus nutrientes y mantener la calidad de estos. Mientras que la leche en polvo para ternera se mantuvo en un envase hermético guardado en un estante, y la mantequilla de maní se guardó en la refrigeradora.



Ilustración 3-9: Alimentación a colonias de *S. geminata* en laboratorio.

Realizado por: Pazmiño S., 2023

Las dietas se suministraron en orden de tratamiento, es decir, primero se proporcionó la DB a todas las colonias, más el T5 que consistía en un cubo de huevo frito; luego el T2 y el T3 y así sucesivamente hasta terminar con el T9. Esto con el fin de no tener todas las dietas fuera del congelador y evitar que se dañen rápidamente, ya que al trabajar en un clima cálido-húmedo como es la ciudad de Guayaquil, los alimentos se dañan más rápido.

A partir de la cuarta o quinta semana se empezó a ver el efecto de las dietas en las colonias. Considerando que la cría colocada al inicio del experimento se habrá convertido en obreras, y que a su vez en la colonia se habría incrementado la cantidad de cría o no. En este punto se reajustó el peso de las dietas, asegurando suministrar la cantidad suficiente (*ad libitum*) de los componentes proteínicos en las dietas para que las hormigas no pasen hambre o no se desperdicie dieta.

3.8.6 Mediciones y evaluaciones

En el transcurso de las ocho semanas que duró el experimento, desde la semana cero hasta la semana siete, se realizaron las mediciones y evaluaciones cada semana de las colonias para determinar el efecto de las dietas y sus componentes proteínicos que a continuación se detallan:

3.8.6.1 Peso de las colonias al inicio y al final del experimento

Como se describió anteriormente, al inicio del experimento (Semana No. 0) las 63 UE pasaron por un proceso de estandarización en la cual se determinó el peso inicial de la colonia, el peso de los componentes proteínicos a suministrar a dichas colonias y el Índice de salud de las UE. Mientras que, al final del experimento (Semana No. 7) se separaron y pesaron nuevamente la cría, obreras y reinas de cada UE, para poder determinar la proporción final (% cría, % obreras y N° de reinas), con el objetivo de ver el efecto de las dietas y CP suministrados a las colonias. Además, se evaluó la salud de cada UE semanalmente para ver el efecto de las dietas a través del tiempo.

3.8.6.2 Componentes proteínicos con y sin hormigas

Un punto crucial para considerar dentro del experimento de dietas es el de los controles de los CP en presencia y ausencia de hormigas (**Ilustración 3-10**) hechos una vez por semana, durante las ocho semanas. El control de los componentes proteínicos en ausencia de hormigas se realizó con el propósito de establecer la influencia de los factores ambientales (temperatura y humedad) sobre el peso de los CP, generando que dichos componentes ganen o pierdan peso acorde a estos factores. Se tomó en cuenta tres valores para dichos controles: 0.5 g (CTRL 1), 1 g (CTRL 2), y 2 g (CTRL 3) y estos pesos se mantuvieron durante las ocho semanas.

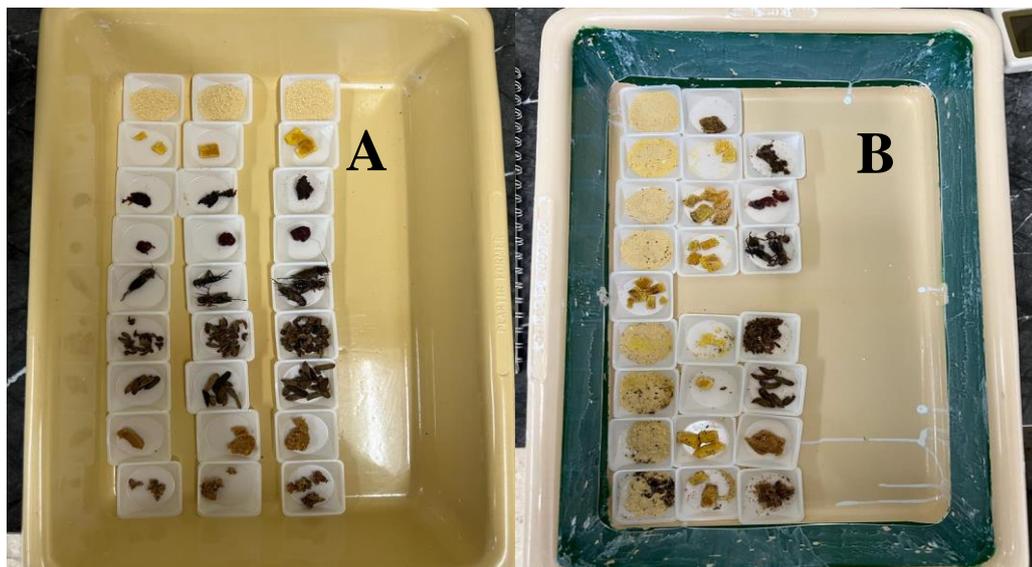


Ilustración 3-10: (A) Controles (0.5 g, 1 g y 2 g respectivamente) y (B) CP sin hormigas.

Realizado por: Pazmiño S., 2023

En cambio, los controles de los componentes proteínicos en presencia de hormigas consistieron en pesar los CP que se suministraron a las hormigas. Los pesos fueron los mismos con los que las hormigas se alimentaron los lunes, miércoles y viernes. Esto con el fin de medir el cambio de la cantidad del CP debido a la presencia de las hormigas.

Todos estos datos sirvieron para realizar una curva de estandarización para calibrar el cambio de peso de los CP, debido probablemente al consumo por parte de las hormigas, y medir el cambio de peso real de los diferentes componentes proteínicos, eliminando el efecto ambiental. Los pesos iniciales de los CP se midieron los lunes, y los pesos finales los miércoles. Al mismo tiempo se registraron los datos como fecha, hora, pesos, observaciones, etc., y se los ingresaron en una hoja de cálculo en Excel correspondiente al experimento.

3.8.6.3 Índice de salud de las colonias

Una herramienta indispensable fue la tabla del Índice de salud de la colonia (**Tabla 3-1**), la cual permitió medir, por medio de una escala del 0 al 4 (pobre a excelente), cómo se encuentra una colonia en base a la descripción y características del estado de salud de estas, y asignar un valor cuantitativo correspondiente; específicamente este índice se basa en la proporción de cría y obreras existente en las colonias al momento de la evaluación. La evaluación se la realizó una vez a la semana (los viernes) durante el transcurso del experimento. Agregando a lo anterior, se podría también usar valores intermedios, por ejemplo: 1.25, 2.5, 3.75, etc.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

Se codificaron, analizaron y graficaron los datos con el programa R-Studio, un interfaz para el programa libre R.

Todos los pesos (iniciales y/o finales), incluyendo los pesos de los controles de los CP y de las colonias, se tuvieron que transformar a raíz cúbica, debido a que es una medida de volumen para poder corregirlos y analizarlos. Después de transformarlos se dividió el peso final para el peso inicial y obtener el cambio de dichos pesos. Todos los cambios de peso se analizaron con la función GLM (Modelo Lineal Generalizado, siglas en inglés) con distribución Gamma y Log Link.

Se usó esta distribución Gamma porque los valores no pueden ser menores de cero ya que una colonia de hormigas o un CP no puede pesar menos de cero; por ende, los pesos con valores de ceros se reemplazaron con 0.01. Mientras que los datos de la gráfica del Índice de Salud no necesitaron ser transformados, y se usaron los promedios.

Las tres ilustraciones que presentaron cambio de peso dentro de los análisis y modelos estadísticos siguen el siguiente patrón: una línea negra horizontal que marca 0% o no existe cambio de peso. Además, hay dos bandas sombreadas. La banda más ancha y de sombreado claro comprende el intervalo de predictibilidad (IP) y abarca la mayor parte de los porcentajes de cambios de peso. La banda más angosta y oscura, dentro de la banda del IP, es el intervalo de confianza (IC) al 95%, el cual muestra la variabilidad de los datos o del modelo lineal (la curva de la relación de los datos de las dos variables), siendo estos los valores posibles que puede tomar, por lo cual se tiene un error del 5% que vienen a ser los valores atípicos que están fuera de este rango de confianza. Ambas bandas ayudan a predecir datos nuevos.

4.1.1 *Componentes proteínicos sin hormigas*

La ilustración a continuación (**Ilustración 4-1**: Cambio de peso de los componentes proteínicos usados en las diferentes dietas, sin hormigas (controles).

muestra el cambio del peso de los componentes proteínicos (CP) sin hormigas. En cada cuadrante se observa un gráfico que posee: el eje de las "x" con el peso inicial de los CP sin hormigas del 0.5 g, 1 g, 2 g, respectivamente, y el eje de las "y" con el cambio del peso de estos CPs (peso final dividido para el peso inicial).

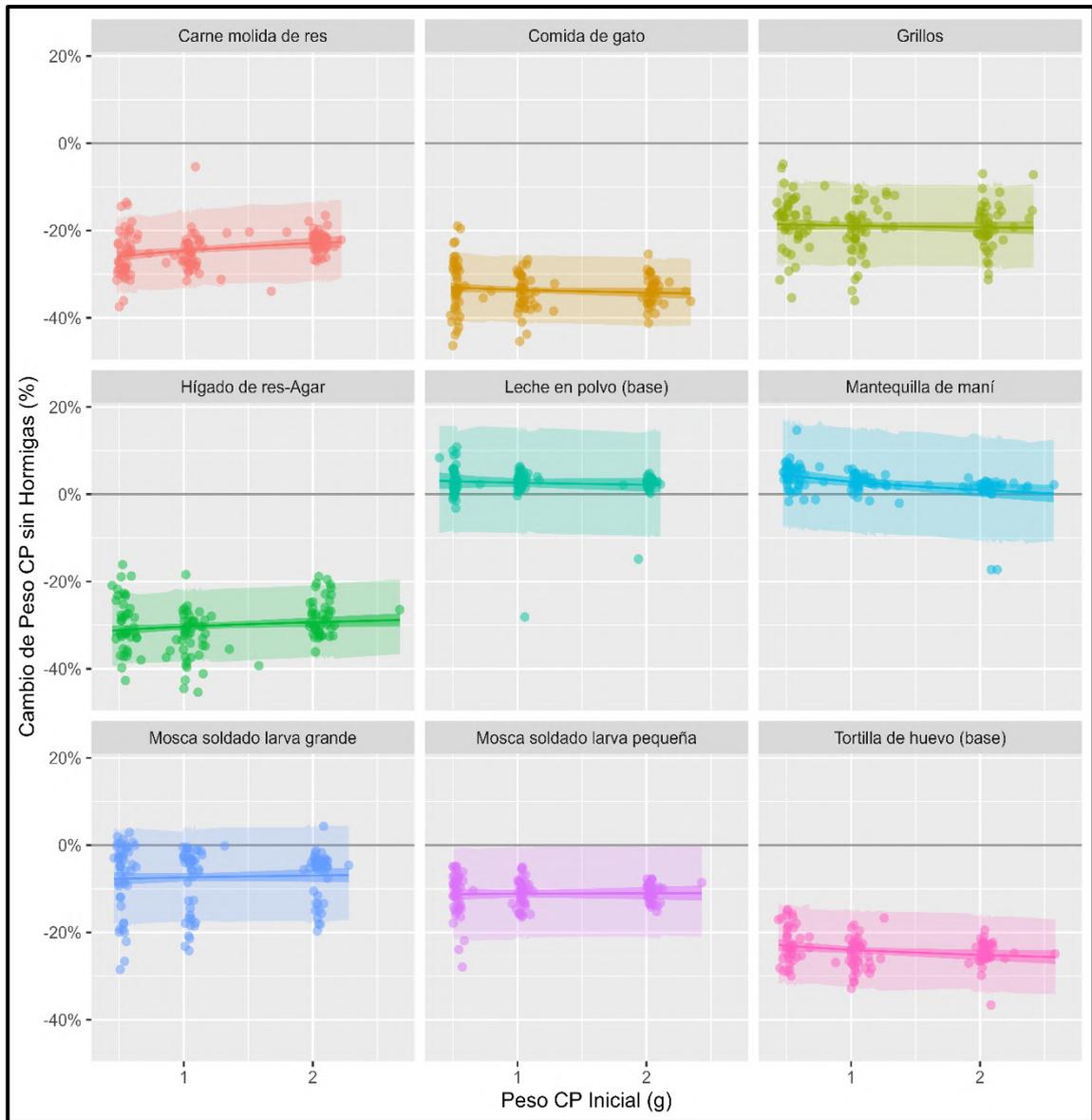


Ilustración 4-1: Cambio de peso de los componentes proteínicos usados en las diferentes dietas, sin hormigas (controles).

Fuente: R-Studio, 2023.

Por consiguiente, 7/9 o 78% de los CP perdieron peso por efectos del ambiente, los que fueron: carne molida de res, comida de gato, grillos, hígado de res en agar, tortilla de huevo, mosca soldado larvas grandes y pequeñas, ya que se los observa por debajo de la línea horizontal. La

carne molida de res, comida de gato, grillos, hígado de res en agar, y tortilla de huevo, equivalente al 5/9 o 56% de los CP, perdieron más peso que las mosca soldado larvas grandes y pequeñas (20-30% vs. 10%, respectivamente). Mientras que 2/9 o 22% de los CP (leche en polvo y mantequilla de maní) mantuvieron e incluso aumentaron su peso, ya que sus modelos lineales están ligeramente por encima de la línea horizontal del 0%.

4.1.2 Componentes proteínicos con hormigas

Los cambios de peso de los CP ofrecidos a las hormigas fueron corregidos usando los cambios de peso de los CP sin hormigas, sacando la influencia de los factores ambientales (temperatura y humedad) (**Ilustración 4-2**). Los porcentajes de los cambios de peso corregidos de los CP con hormigas están en el eje de las “y”, y la línea negra horizontal en el punto del 0%, que marca no cambio de peso, paralela al eje de las “x” (peso CP inicial). De igual forma esta ilustración presenta las características mencionadas en la sección anterior (banda más ancha y de sombreado claro - IP, banda más angosta y oscura - IC al 95%

Esta **Ilustración 4-2** muestra que 4/9 o 44% de los CP mostraron más cambio de peso, los que fueron: carne molida de res, hígado de res en agar, mosca soldado larvas grandes y pequeñas, y se observa en cada cuadrante que la relación es inversa (línea decreciente), lo que significa que los cambios de peso de los CP dependen del tamaño de las colonias; es decir, hubo un mayor cambio de peso en una colonia grande que en una colonia pequeña. Mientras que no hubo cambios significativos en porcentaje de peso en 3/9 o 33% de los CP (comida de gato, leche en polvo para ternera y mantequilla de maní). Su modelo lineal o relación es constante, paralela al eje de las “x” (peso inicial de los CP), lo que quiere decir que la presencia de las hormigas no cambió el peso de estos CP, lo que podría significar que no fueron consumidos por las hormigas.

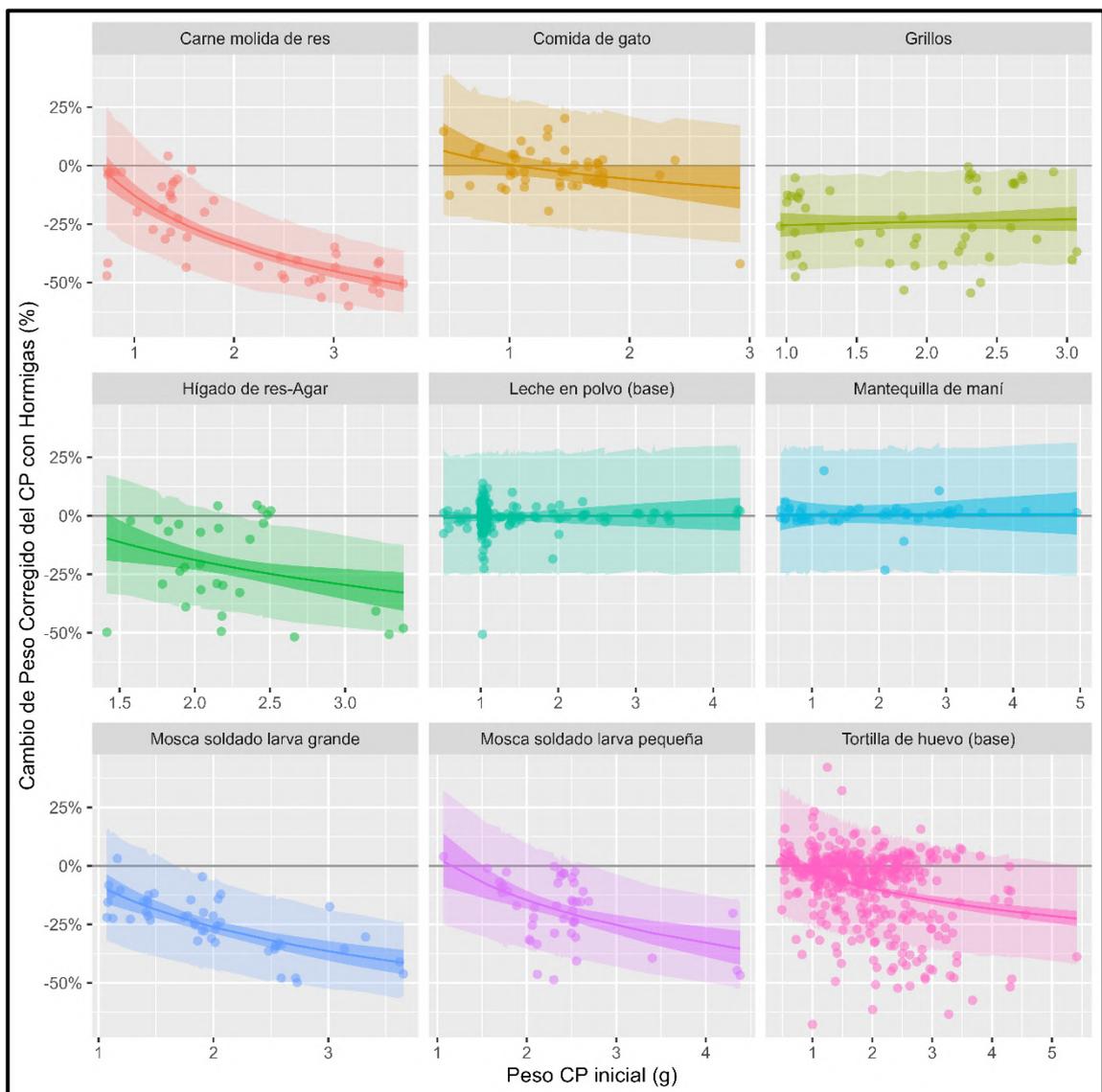


Ilustración 4-2: Porcentaje de los cambios de pesos corregidos de los componentes proteínicos (CP) con hormigas.

Fuente: R-Studio, 2023.

Existen dos casos especiales, uno es el del CP Grillos (*Gryllus assimilis*) que a pesar de existir cambio en su peso, este no mostró variabilidad en términos del tamaño de la colonia (relación constante, en que la línea es paralela al eje “x”, correspondiente al peso inicial de los CP; es decir, que a pesar de ser una colonia grande o pequeñas las hormigas aparentemente consumían la misma cantidad de ~25% de los grillos ofrecidos. Adicionalmente, el CP Tortilla de huevo presentó mucha dispersión de los datos. Las hormigas tenían un comportamiento particular con este CP, trizando el cubo de huevo otorgado y las partes eran dispersadas en toda la colonia, por lo que al realizar el peso final de este CP, la mayoría de las veces, no habían residuos en el plato. Y en otras

ocasiones si se encontraban residuos, y hasta el cubo completo. Hubo casos en que las hormigas agregaban residuos de otros CP al plato de la tortilla de huevo. Dando como resultado esta variabilidad en los datos de este CP, y por ende se observan muchos valores atípicos en este cuadrante.

4.1.3 Dietas

Al comparar las nueve dietas (tratamientos), más de una pudo mantener el peso y un estado saludable de las colonias de las HFT, pero ninguna pudo incrementar el peso ni producir colonias con una salud excelente. Cuatro de nueve o 44% de los tratamientos, los cuales fueron: DB + Hígado de res en agar, DB + Carne molida de res y DB + Moscas soldado larvas pequeñas y grandes (T2, T3, T6 y T7, respectivamente), lograron mantener el peso y la salud de las colonias por las ocho semanas que duró el experimento. Inclusive se podría decir que 2/9 o 22% de los tratamientos (DB + hígado de res en agar y DB + carne de res molida), incrementaron las poblaciones de las colonias más grandes, pero no de las colonias pequeñas. La mayoría (5/9 o 56%) de los tratamientos redujeron el peso de las colonias en ~50 %, a tal punto de tener 0% cría y 0 reinas. Estas fueron: Dieta Base (DB), Huevo Frito, DB + Comida de Gato, DB + Mantequilla de Maní y DB + grillos (T1, T5, T9, T8 y T4, respectivamente) (**Ilustración 4-3**).

En la ilustración se tiene en el eje de las “x” el Peso inicial de las colonias en gramos, el cual se especificó previamente que este peso varió entre las colonias (peso inicial de campo, con relación cría a obrera de 1:1), por lo cual se tiene diferentes valores en este eje. En el eje de las “y” está el Cambio de Peso (Peso final/Peso inicial) de las Colonias en términos porcentuales; y de igual forma se tiene la línea negra horizontal en el punto del 0%, el intervalo de predictibilidad (IP) y el intervalo de confianza (IC) al 95%.

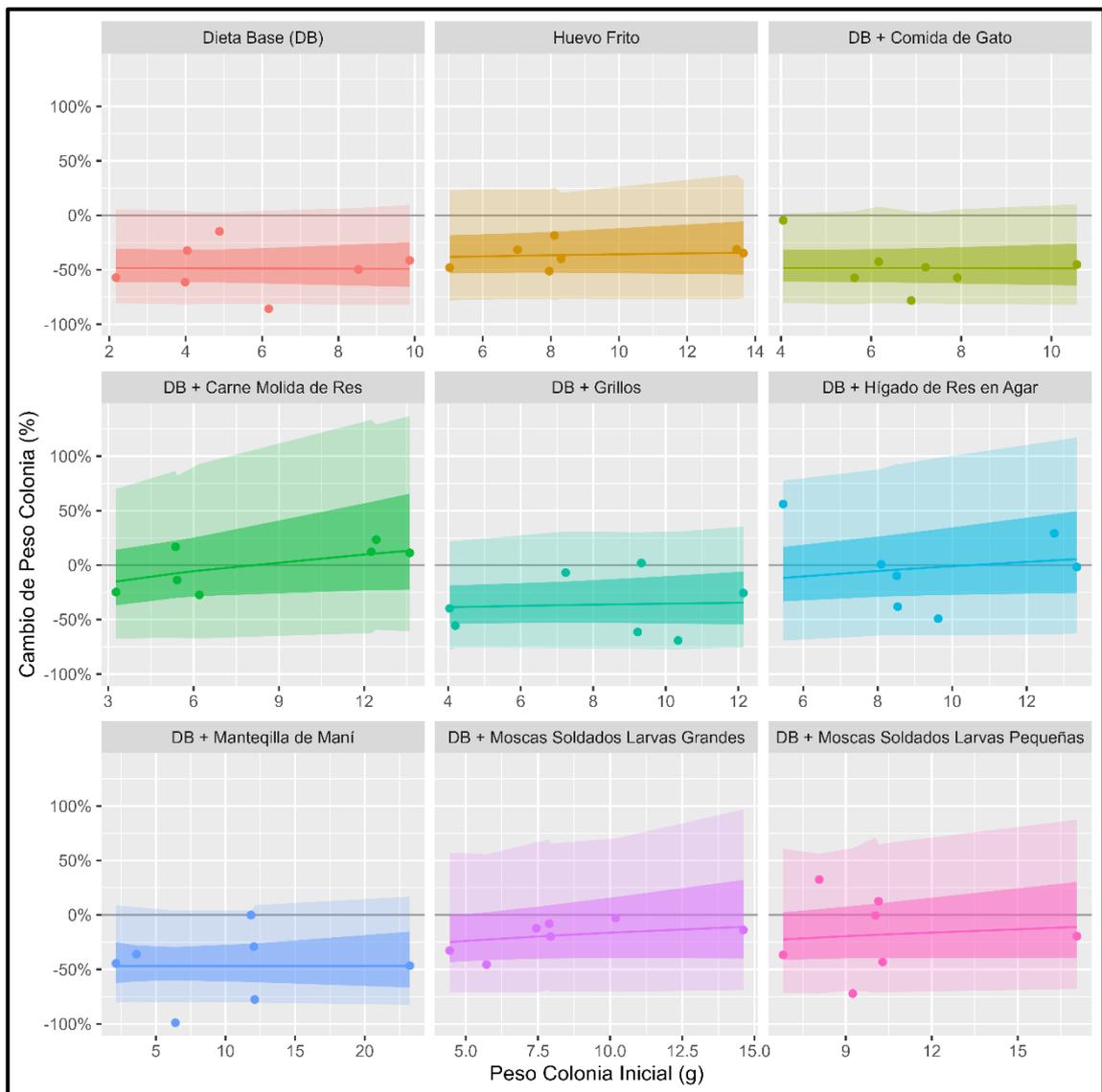


Ilustración 4-3: Cambio del peso de las colonias por la influencia de los tratamientos.

Fuente: R-Studio, 2023.

4.1.4 Índice de Salud de las Colonias

Se midió el Índice de Salud de las colonias una vez cada semana en el transcurso de las ocho semanas que duró el experimento (**Ilustración 4-4**). Permitiendo evaluar la salud de las colonias en función de los tratamientos suministrados. En el eje de las “x” están el número de semanas (semana 0 a semana 8), y en el eje de las “y” están las escalas desde el 1 al 4 (1: pobre, 2: medio, 3: saludable, 4: excelente) del índice de salud. Y del lado derecho del gráfico, las leyendas de los nueve tratamientos utilizados con sus respectivos símbolos.

Se puede observar en la ilustración que existen dos grupos o tendencias más relevantes a destacar. La primera tendencia engloba 3/9 o 33% de los tratamientos: Dieta Base (DB), DB + Comida de gato y DB + Mantequilla de maní (T1, T9 y T8, respectivamente), en que la salud de las colonias va decreciendo a un paso constante desde la escala 3 (saludable) a la 0.75 (pobre). Mientras que la otra tendencia abarca el resto y mayoría (67%) de los tratamientos, los cuales mantuvieron un índice de salud arriba de la escala 2 (salud media). En otras palabras, un grupo de dietas mantuvo saludables las poblaciones de las colonias, mientras que otro grupo de dietas no mejoraron ni mantuvieron el estado de salud de las colonias, más bien llegó a decaer a tal punto de tener colonias con 0% cría y 0 reinas (salud inaceptable, escala 0).

En la segunda tendencia se pueden apreciar dos grupos. En el primer grupo, el índice de salud es más estable (2.75 a 3.5) en las colonias alimentadas con las dietas: DB + Hígado de res en agar, DB + Carne molida de res, DB + Moscas soldado larvas pequeñas (T2, T3, y T6, respectivamente), representando 33% de las dietas. Mientras que, en el segundo grupo, al transcurrir las semanas, el índice de salud tuvo mucha variabilidad (1.75 a 3.75) en las colonias alimentadas con las dietas de Huevo frito, DB + Mosca soldado larva grande y DB + Grillos (T5, T7 y T4, respectivamente), especialmente la dieta con grillos. Este segundo grupo representa otro 33% de las dietas evaluadas.

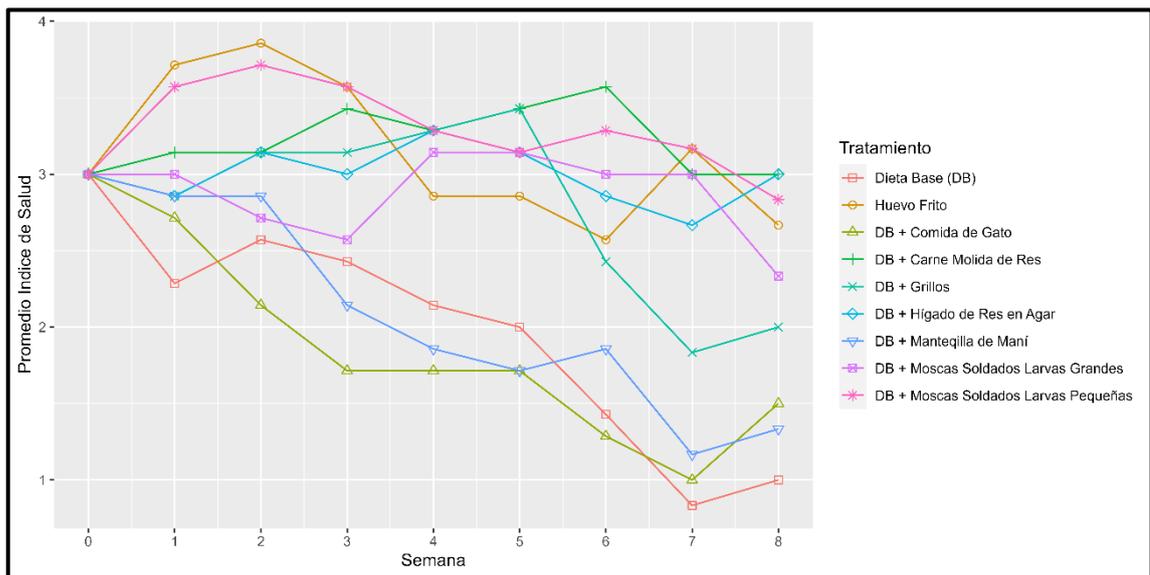


Ilustración 4-4: Índice de salud de las colonias según la dieta usada.

Fuente: R-Studio, 2023.

4.2 Discusión (argumentación, sistematización y cuestionamiento de la información obtenida)

Se debe tener presente que este es el primer estudio de dietas realizado con especies de *Solenopsis geminata* en Ecuador; y se debe reconocer que esta especie en su entorno natural puede encontrar un sin número de invertebrados, frutas, verduras, semillas, incluso pequeños vertebrados, debido a la abundante diversidad del país. Las dietas estandarizadas efectivas son esenciales para muchos proyectos de investigación que involucran artrópodos criados en laboratorio. Las dietas artificiales para criar hormigas de fuego tienen la ventaja de estar libres de enfermedades, ser menos costosas y potencialmente más consistentes desde el punto de vista nutricional que las presas de insectos (Lapointe et al., 2008, pág. 1159).

En base a esto, el experimento presente se basó en estudios previos realizados en *Solenopsis geminata* y *Solenopsis invicta* en EE. UU. donde se probó diferentes dietas para aumentar las poblaciones de estas criadas en cautiverio. El objetivo principal de este fue determinar la eficacia y efectividad de diferentes dietas para criar a la HFT en cautiverio, específicamente enfocadas en componentes proteínicos con alto porcentaje de proteína (~20-30%). Adicionalmente, se tuvo en cuenta su disponibilidad en el laboratorio, costo y facilidad de acceso en el mercado nacional.

En el caso de los dos componentes proteínicos basados en estudios previos, y acorde a los resultados obtenidos en la presente investigación se tiene lo siguiente:

El Hígado de res en agar, Gavilanez-Slone y Porter (2013) y Porter et al. (2015) demostraron recientemente que el hígado de res crudo, o cocido o crudo en agar, y el agua azucarada son dietas que produjeron consistentemente colonias de hormigas (tanto *S. invicta* como *S. geminata*) bastante saludables con proporciones de cría a obrera > 1.5 durante períodos de cuatro a seis meses y en pocos casos hasta nueve meses. Sin embargo, se requieren más pruebas antes de recomendar el hígado de res como dieta única para criar colonias de HFT durante períodos más prolongados, ya que estas colonias al cabo de ocho meses mostraron una producción deficiente de cría, debido al cesamiento de oviposición de un alto porcentaje de reinas.

Las causas de la falla en la producción de cría asociadas con el uso prolongado de dietas de hígado de res crudo en el estudio de (Porter et al., 2015, pág. 993) y en el estudio anterior (Gavilanez Slone y Porter 2013) se desconocen, pero podrían estar relacionadas con la falta de micronutrientes, presencia de patógenos desconocidos, la acumulación de toxinas, o una combinación de estos y otros factores

desconocidos. Cualquiera que sea la causa, los efectos parecen afectar a la reina porque las colonias habían crecido considerablemente en tamaño durante un período que incluyó más de 6 ciclos de cría (huevo a obreras adultas) y al menos 2 ciclos completos de reemplazo de obreras (muerte de obreras nacidas de huevo durante el experimento) (Porter, 1988; Calabí y Porter, 1989). Claramente, los mecanismos que causan la pérdida de cría en colonias de HFT con dieta de hígado de res crudo a largo plazo merecen futuras investigaciones.

Por esto, no se recomienda el uso exclusivo de hígado de res y agua azucarada para la cría de la HFT durante más de 6 meses. Sin embargo, Gavilanez Slone y Porter (2013) lograron criar con éxito otras cinco especies de hormigas de otros cuatro géneros durante al menos 3 a 8 meses con hígado de res crudo, lo que indica que el hígado también puede ser útil para criar hormigas de otros géneros.

La dieta con carne molida de res ha sido usada en estudios previos por Williams et al. (1987, pág. 254) con hormigas de fuego de la especie *Solenopsis invicta*. Estas fueron alimentadas con carne molida cruda o frita produciendo obreras no pigmentadas después de 66 días. Esto se debe a la falta de producción de quitina para el endurecimiento y formación del exoesqueleto. Concluyendo que las hormigas necesitaban proteína de otros insectos.

En el estudio Williams et al., concluyó con lo siguiente:

Las colonias de S. invicta alimentadas con una dieta libre de insectos desarrollaron obreras pequeñas no esclerotizadas que eran incapaces de picar. Estas pesaban menos y tenían promedios del ancho más pequeños que las obreras de las colonias normales; aunque las colonias de hormigas no esclerotizadas parecían funcionar normalmente en el laboratorio. Cuando estas colonias volvieron a una dieta con insectos, se observaron nuevas obreras esclerotizadas en 55 días. El análisis químico de los alcaloides del veneno y los hidrocarburos cuticulares no indicó diferencias cualitativas entre las obreras no esclerotizadas y las esclerotizadas. La tirosina, un precursor de aminoácidos esenciales de la quitina, se encontró en cantidades adecuadas en el grupo de aminoácidos libres de hormigas no esclerotizadas. En la actualidad, no se conoce la causa específica de este fenómeno. Aparentemente, las hormigas aíslan algún componente de las dietas con insectos que es necesario para su crecimiento normal y desarrollo cuticular. Estudios futuros abordarán áreas de los mecanismos de calcificación y esclerotización en un esfuerzo por comprender este fenómeno único y tal vez, en última instancia, utilizar el conocimiento para controlar las hormigas de fuego. (Williams et al., 1987, pág. 258)

Ambos CP, a pesar de los antecedentes previamente descritos, se escogieron también para conocer cómo funciona el tipo de carne que se produce en Ecuador comparada con las que se procesan en EE. UU. Adicional a esto, destaco que para mantener la dieta de hígado de res en agar en buen estado se debe mantener siempre en congelación (a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) para permitir una vida útil más larga y poder mantener su valor nutricional. Sobre todo, si donde se realiza el experimento es clima cálido-húmedo como en mi caso particular, por lo que los alimentos tienden a deteriorarse con facilidad. También, tener presente que se usó hígado y carne molida de res, donde la carne molida tenía entre el 14% a 15% de grasa.

Las UE a las que se les suministró el T3 de DB + Carne molida de res, produjeron obreras no esclerotizadas y con las demás características como lo describen Williams et al. (1987); sin embargo, el T2 de DB + Hígado de res en agar no se observó este efecto en las colonias con esta dieta. Demostrando que las hormigas no necesitaban únicamente proteína de otros insectos para su desarrollo cuticular, en cambio para su crecimiento poblacional si lo necesitan, porque como se demostró en este trabajo, ni el T2 ni el T3 lograron aumentar las poblaciones de HFT al finalizar las ocho semanas del experimento.

El siguiente parámetro que se consideró fue la disponibilidad inmediata de materia prima y recursos (cantidades necesarias para las dietas) en el laboratorio Bi institucional ESPOCH-ESPOL de Control Biológico, anexo al de Botánica y Entomología.

La dieta con grillos de la especie *Gryllus assimilis* no se había usado antes para criar hormigas. Sin embargo, hay dos estudios realizados previamente con grillos, pero con dos especies diferentes que son: *Acheta domesticus* y *Grylloides sigillatus* (grillo doméstico y grillo anillado, sus nombres comunes respectivamente). Donde se exponen tanto su uso en dietas a corto y largo plazo para mantener colonias de HFT.

Gavilanez Slone y Porter (2013) afirman que las dietas de hígado y grillo doméstico produjeron colonias crecientes y sanas al final de 6-8 semanas. Sin embargo, las colonias alimentadas con grillos domésticos crecieron 1,7 a 3 veces más que las alimentadas con el hígado de res. Los grillos domésticos son recomendados para estudios de investigación donde el máximo crecimiento es importante, debido a que el hígado, los gusanos de la harina, y los grillos domésticos tropicales o grillo anillado (*Grylloides sigillatus*) no son tan efectivos.

En un segundo trabajo, donde Porter et al. (2015, pag.993) realizaron estudios de eficacia a largo plazo de dos dietas de grillos con *Acheta domesticus* y *Gryllodes sigillatus*, los resultados mostraron que los grillos anillados (*Gryllodes sigillatus*) no eran adecuados para la cría a largo plazo de hormigas rojas. Al finalizar el experimento, todas las colonias alimentadas con esta especie estaban en condiciones muy pobres de salud (< escala 1), con cantidades mínimas de cría. Sin embargo, después de que seis de las colonias alimentadas con grillos anillados cambiaran a grillos domésticos, la producción de cría mejoró drásticamente en un período de ~1 mes. Si bien los grillos domésticos son una dieta superior en comparación con el hígado, los grillos domésticos también son aproximadamente ocho veces más caros que el hígado de res y no siempre están fácilmente disponibles. (Porter et al., 2015, pág. 991).

El T4 de DB + Grillo (*Gryllus assimilis*) al igual que los dos estudios previamente mencionados, no resultaron en el aumento de la población en las colonias. En el presente estudio, las siete UE al parecer si consumieron el T4 y su índice de salud se elevó hasta la semana cinco, pero de ahí empezaron a decrecer hasta la semana ocho y las poblaciones de las colonias se redujeron en casi un 50%. Tal vez se podría suponer que, si existiera una variedad de CP incluidos en la dieta aparte de sólo DB y grillos, este resultado se podría mejorar, teniendo en cuenta que la HFT en su hábitat natural no consumiría sólo grillos como insecto de alimentación primaria. Hay que recordar que, para mantener a una especie en cautiverio, se debe ser lo más asertivo posible a la hora de alimentar estas hormigas omnívoras para que se asemeje a lo que comen en su ambiente natural.

En el caso particular de las **Larvas de moscas soldados (*Hermetia illucens*)** tampoco existen estudios previos de esta especie en dietas para HFT, sin embargo, se usó por el único hecho de que se tenía disponible en el laboratorio en grandes cantidades.

El uso de las moscas soldados en los tratamientos T6 o DB + Larvas pequeñas y T7 o DB + Larvas grandes, mostró cambios de peso de las colonias en las 14 UE alimentadas con las mismas. Pero sólo al alimentar larvas pequeñas, el índice de salud aumentó en las primeras cuatro semanas a colonias excelentes y luego manteniéndolas en estado saludable (escala 3) el resto del experimento. Es decir, las primeras semanas las poblaciones de cría aumentaron en aproximadamente un 50%, y luego sólo mantuvieron alrededor de la proporción 1:1 de cría:obreras en base al peso. A pesar de que aparentemente ambas dietas con moscas soldados fueron consumidas por las colonias de hormigas, se puede apreciar que las larvas pequeñas fueron más consumidas (>25%) que las larvas grandes. Esto se puede atribuir al hecho de que las larvas pequeñas poseen un exoesqueleto más blando que las larvas grandes. Las larvas grandes están

entrando en fase de prepupa y tienen un exoesqueleto más grueso, robusto y rígido, por esto, las HFT podrían preferir alimentarse de larvas con un exoesqueleto más blando. Por otro lado, al ser más pequeñas las larvas, las hormigas podrían necesitar consumir más cantidad de estas larvas que cuando son grandes, ya que la diferencia es mínima al comparar ambas curvas de cambio de peso de estos dos CP (**Ilustración 4-2**).

Se conoce que esta especie es holometábola o de ciclo completo, poseyendo cinco estadios larvarios previos a entrar a la fase prepupal, donde se alimenta para acumular grasa suficiente y poder transformarse en pupa, luego en adulto (mosca) y reproducirse. Además, que el tipo de dieta que esta especie reciba en su estadio larval es directamente proporcional al porcentaje de proteína y grasa que esta tenga en su organismo (Wang y Shelomi, 2017, pág. 91). Por tal motivo, la mejor dieta sería la que contenga más proteína y menos grasa, siendo la larva pequeña. Pero en este estudio, ambas dietas (DB con larvas pequeñas o grandes) se comportaron de manera similar (**Ilustración 4-3**). Podría ser porque hubo una mezcla de larvas pequeñas con las grandes y viceversa.

En última instancia, los siguientes cuatro componentes proteínicos fueron seleccionados, debido a que son insumos económicos y de fácil acceso en el mercado nacional; teniendo presente que para criar insectos en laboratorio se necesita de materia prima accesible, efectiva y económica.

Se escogió la comida enlatada de gato que tiene atún y pollo como ingredientes principales, debido a que tiene un nivel de proteína más alto que el de la comida de perro en lata, con ingredientes similares, según la información en las etiquetas revisadas en varias comidas enlatadas para perros y gatos en un par de supermercados de Guayaquil, Ecuador. Además, existe un estudio previo de su uso en dietas para criar hormigas de fuego, donde se menciona que, la comida enlatada para gatos que contenía hígado y subproductos cárnicos no es una dieta adecuada, al parecer al contenido de nutrientes y/o conservantes en esta comida podría afectar negativamente a su desarrollo (Gavilanez-Slone y Porter, 2013). Nosotros también quisimos ver si ese era el caso con esta comida enlatada de gato.

Gavilanez-Slone y Porter (2013) trabajaron en pruebas piloto con alimentos para perros y gatos, donde las obreras recolectaron fácilmente tanto la comida enlatada para gatos como la comida seca para perros (humedecida tres veces por semana), pero ninguna de estas dietas produjo colonias saludables (escala < 3) después de 6 a 10 semanas. Las colonias alimentadas con comida enlatada para gatos crecieron sólo entre un 20% y un 45% después de 6 semanas en comparación

con el crecimiento de 10 veces más de las colonias alimentadas con grillos domésticos. Además, las proporciones de cría a obrera y el porcentaje de pupas en la cría de las colonias ofrecidas comida para gatos fueron menos de la mitad de las proporciones encontrados en las colonias alimentadas con grillos domésticos. Las colonias alimentadas con comida para perros pesaron sólo el 5% del peso de las colonias alimentadas con grillos domésticos después de 10 semanas. Al parecer, la comida enlatada para gatos que contenía hígado y subproductos cárnicos y una marca común de comida seca para perros no eran dietas adecuadas para las hormigas de fuego. Los resultados del T9 o DB + Comida enlatada de gato concuerdan con los hallazgos de Gavilanez-Slone y Porter (2013), donde las 7 colonias alimentadas con esta dieta, en que las poblaciones de las colonias se redujeron más del 50% después de ocho semanas (**Ilustración 4-3**). Demostrando que esta dieta no es adecuada para criar a la HFT en laboratorio y aumentar su cría y por ende sus poblaciones. Probablemente se deba a que la HFT en su estado natural no se alimenta de productos conservados o de alimentos para animales domésticos, y esto se debe a que son grandes colonias que se las encuentra, en su mayoría, en áreas abiertas con clima tropical, teniendo acceso a más opciones de alimento. A partir de la segunda semana la HFT dejó de consumir la comida de gato casi en su totalidad, dependiendo únicamente de la DB.

Los componentes **tortilla de huevo** y **leche en polvo para terneras** se determinaron como el T1 o Dieta Base (DB), esto porque la tortilla de huevo es fácil y rápida de preparar y podría añadirse en dietas que contengan más componentes proteínicos, o incluirse en la tortilla otros CP facilitando la alimentación de las HFT. La leche en polvo para terneras es un insumo que se tiene en grandes cantidades en el laboratorio para preparar otras dietas para otros insectos, y se consigue en el mercado nacional. Además, no existen estudios de dietas para hormigas de fuego realizados con estos dos componentes ofrecidos por separado.

Sin embargo, hay un par de estudios realizados con *Solenopsis invicta* donde la dieta suministrada tenía huevo adicional a otros ingredientes; esta es la dieta Bhatkar, planteada en (Bhatkar y Whitcomb, 1970) que consistía en huevos crudos, miel y un suplemento vitamínico mezclados en una matriz de agar.

En el estudio de Gavilanez-Slone y Porter (2014) se utilizaron 14 colonias para evaluar la dieta Bhatkar, donde se modificó la receta original reduciendo el agua a la mitad y sustituyendo una tableta de vitamina. Aquí las obreras se acercaron, recolectaron e ingirieron fácilmente la dieta Bhatkar. Sin embargo, después de 6 semanas, el peso final total de colonias de *S. invicta* en los tratamientos con esta dieta difirió sustancialmente de la dieta con grillos domésticos. El peso final

total, de las colonias alimentadas con la dieta Bhatkar, disminuyó un 23%. Las colonias alimentadas con la dieta Bhatkar no contenían pupas, mostraron una disminución general del 84 % en el peso final total de la cría, y había una pequeña cantidad de larvas en cada colonia, pero aparentemente no podían convertirse en pupas porque no había pupas presentes. Las colonias que recibieron la dieta Bhatkar claramente no estaban saludables (< escala 1) y no estaban creciendo, aunque el peso de las obreras aumentó ligeramente.

Hay que tener presente que en el estudio de Gavilanez-Slone y Porter, (2014, p. 286) se usó la dieta Bhatkar y no únicamente huevo. En este experimento se usó únicamente el huevo preparado en tortilla con un poco del sal y aceite. Considerando que, la tortilla de huevo se usó tanto para DB en el T1 y sólo la tortilla de huevo en el T5, de acuerdo con el cambio de peso de las siete colonias suministradas únicamente el T5, después de ocho semanas, si se redujeron las poblaciones de sus colonias, pero no al 50% (**Ilustración 4-3**); además que, según el Índice de Salud, estas colonias se mantuvieron entre valores de 2,5 y 3.75. Durante las tres primeras semanas el índice fue mayor a 3, y luego bajo a 2.75 por dos semanas hasta subir nuevamente a 3 y finalizó con 2.75 (**Ilustración 4-4**).

Mientras que la leche en polvo para terneras se suministró en presentación de polvo, y esto de acuerdo con las observaciones y los análisis realizados en este trabajo, no fue de agrado para las hormigas, ya que el cambio de peso de este CP indica el posible consumo por parte de las hormigas de aproximadamente 0% a un 25% (**Ilustración 4-2**), lo que quiere decir que tal vez no lo consumían o lo consumían poco, y en la DB el tamaño de las siete colonias al final del experimento disminuyó ~50% de su tamaño (peso) inicial (**Ilustración 4-3**).

El CP de **Mantequilla de maní** se usó de igual forma por ser un insumo medianamente económico y de fácil acceso en el mercado, además que tiene un alto contenido proteínico y graso, que también las hormigas necesitan para desarrollarse y crecer saludablemente, sin embargo, aún se cuestiona la cantidad a suministrar. A pesar de esto, no existen estudios de dietas en *Solenopsis geminata* con este componente, por lo cual en este documento se presentan los primeros resultados del uso de la mantequilla de maní para alimentar a colonias de HFT en laboratorio.

Según los resultados obtenidos, este CP no se ve afectado por la influencia de los factores ambientales (temperatura y humedad) sobre su peso (**Ilustración 4-1**). Además, las colonias alimentadas con este CP se evidencian que no lo consumen, ya que los pesos antes y después de alimentar las hormigas son similares (**Ilustración 4-2**), y el peso final de las colonias con esta

dieta disminuyeron un 50% de su peso inicial (**Ilustración 4-3**), resultado similar al de la leche en polvo para terneras. Demostrando que el uso de mantequilla de maní sola, o con tortilla de huevo ofrecidas separadamente no sería una dieta adecuada para aumentar poblaciones de HFT en cautiverio. Esto puede ser, debido a la alta concentración de grasa en su composición y a la presentación pegajosa que esta posee, pues las hormigas al acercarse a la dieta la mayoría de las veces se quedaban atrapadas y morían, a pesar haber colocado papel toalla en la base para absorber el exceso de aceite de dicho CP; esto podría indicar que debido a su consistencia no permite la colecta y alimentación del sustrato hacia la colonia.

Las colonias de laboratorio de HFT bien alimentadas normalmente no dejan de producir crías mientras las temperaturas se mantengan en o por encima de 25 °C y por debajo de 32 °C (Porter, 1988), a menos que las colonias estén enfermas o gravemente estresadas de alguna manera. Una vez que se detiene la producción de cría en las colonias de laboratorio, rara vez o nunca se reanuda.

En un estudio reciente de proporciones de proteínas y carbohidratos se mostraron disminuciones sustanciales en el consumo de alimentos durante un período de 7 semanas, lo que indica que el tamaño y/o la salud de la colonia de prueba también se redujeron considerablemente (Cook et al., 2010). Otros estudios con una dieta holídica también podrían proporcionar información sobre por qué las dietas artificiales en este documento no lograron producir un crecimiento saludable y cómo se podrían mejorar estas dietas.

Los efectos 3/9 o 33% de las dietas estudiadas (Dieta Base (DB), DB + Comida de gato, y DB + Mantequilla de maní) fueron negativos. Las colonias alimentadas con estas dietas redujeron gradualmente la producción de cría y casi dejaron de crecer. El principal problema con las dietas artificiales probablemente sea nutricional (Mankowski, 2002; Lapointe et al., 2008) en lugar de gustativo, dado que las colonias recolectaron, ingirieron y almacenaron activamente grandes cantidades de estas dietas artificiales.

Los alimentos sólidos ricos en proteínas son completamente procesados y consumidos por las larvas de hormigas (Howard y Tschinkel, 1981; Sorensen y Vinson, 1981; Cassill y Tschinkel, 1999). Las hormigas obreras poseen un filtro de tubo bucal en la cabeza que filtra todos los sólidos hasta el tamaño de las bacterias (Petti, 1998; Oi, 2006). Las obreras adultas, por otro lado, necesitan azúcares para realizar sus actividades, pero necesitan muy poca proteína porque no están creciendo. Mientras que las reinas necesitan proteína para producir huevos. Es de esperarse que las colonias de hormigas de fuego tropical de laboratorio sin larvas ignoren a las presas de insectos, mientras que los líquidos azucarados siguen siendo atractivos (Porter, 1989, pág. 289). Además, los estudios

de campo con HFT indican que las fuentes de alimentos de proteínas y carbohidratos generalmente se recolectan por separado; es decir, las recolectoras regresan con presas artrópodas ricas en proteínas en sus mandíbulas o con líquidos ricos en carbohidratos en sus estómagos (Tennant y Porter, 1991, pág. 463). En resumen, mezclar proteínas sólidas y carbohidratos líquidos en una sola dieta probablemente sea aceptable para las larvas, pero las mezclas pueden dificultar que las obreras de la HFT y las obreras de otras especies de hormigas ingieran los azúcares líquidos que necesitan.

En conclusión, se necesita más trabajo con respecto a cómo los macros y micronutrientes y las proporciones de estos nutrientes influyen en el desarrollo de las larvas de hormigas de fuego tropical y el crecimiento de la cría y de las colonias. Aunque se han propuesto varias dietas artificiales, ninguna ha demostrado ser adecuada para mantener colonias saludables de esta especie sin suplementos de insectos o hígado (Gavilanez-Slone y Porter, 2013, pág. 1487).

4.3 Comprobación de la hipótesis

A partir de los análisis estadísticos y resultados obtenidos la hipótesis es válida, ya que se comprobó que al alimentar con las nueve dietas y sus respectivos CP, hubo cambios en el peso de las poblaciones de las colonias en el transcurso de las ocho semanas, más no se logró aumentar las poblaciones de la HFT en el laboratorio al finalizar el experimento. Tres de las nueve dietas evaluadas (DB + Hígado de res en agar, DB + Carne molida de res, y DB + Moscas soldados larvas pequeñas) mantuvieron el peso y muy buena salud de las colonias de HFT. El resto de las dietas (6/9 o 67%) y sus respectivos componentes, redujeron el peso y la salud de las colonias.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- No se pudo determinar una dieta para la cría de la hormiga de fuego tropical (*Solenopsis geminata*) en cautiverio, que promueva la cría de las colonias, ya que ninguna dieta aumentó las poblaciones de la HFT en el laboratorio.
- En base al cambio de peso, se concluye que cuatro dietas de las nueve (44% de las dietas) mantuvieron el nivel poblacional de las colonias de HFT, las cuales fueron: DB + Hígado de res en agar, DB + Carne molida de res y DB + Moscas soldado larvas pequeñas o grandes. Mientras que tres dietas de las nueve disminuyeron considerablemente las poblaciones de la HFT, a tal punto de tener 0% cría y 0% reinas fueron: Dieta Base (DB), DB + Comida de gato y DB + Mantequilla de maní.
- Según el Índice de Salud, ninguna colonia fue excelente, pero la mayoría de las dietas (6/9 o 67%) lograron mantener en buena salud las colonias, pero empiezan a decaer un poco a la quinta semana. El índice de salud de un grupo de colonias alimentadas con 3/9 o 33% de las dietas evaluadas, estuvo por debajo de la escala 3 y fue decreciendo cada semana hasta llegar por debajo de la escala 1 (salud pobre); siendo estas: Dieta Base (DB), DB + Comida de gato y DB + Mantequilla de maní. El índice de salud del grupo de las colonias alimentadas con otro 33% de las dietas estudiadas se mantuvieron arriba de la escala 2.75 (DB + Hígado de res en agar, DB + Carne molida de res y DB + Moscas soldado larvas pequeñas).
- En contraste, tuvieron mucha variabilidad en su índice de salud, las colonias alimentadas con los tratamientos de Huevo frito, y DB + Mosca soldado larva grande, pero no llegaron a la escala 2; a excepción del tratamiento DB + Grillos, observándose colonias con valores inferiores a la escala dos en las últimas 2 semanas.
- Finalmente, al comparar el efecto de las dietas (tratamientos), se determinó que ninguna de las nueve dietas planteadas en el presente trabajo elevó el peso de la cría y por ende e de las poblaciones de las 63 UE; sin embargo, tres de los tratamientos (DB + Hígado de res en agar, DB + Carne molida de res y DB + Moscas soldado larvas pequeñas), lograron mantener el peso de las colonias, con un índice saludable, por las ocho semanas que duró el experimento.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda que, al realizar estudios de dietas con *Solenopsis geminata* criadas en cautiverio se debe mantener los componentes y la preparación de las dietas igual sin cambio alguno durante todo el tiempo del experimento, para evitar efectos adversos en el desarrollo de las unidades experimentales.
- Se debe mantener la materia prima para la(s) dieta(s) que se va a suministrar a las HFT de buena calidad y en buen estado, ya que de esta depende el desarrollo biológico y fisiológico de la especie. Además, que la palatabilidad de dichos componentes debe ser agradable para que las hormigas lo consuman.
- En un futuro se podrían realizar análisis morfométricos de estos individuos usando el programa libre ImageJ para estimar la densidad (número de hormigas por cm²) de población de las colonias usadas en el experimento, y determinar el tamaño promedio de obreras, cría y reinas del Parque Samanes de Guayaquil. Sin embargo, para mejores resultados, se necesitaría de fotografías de al menos unas 30 a 40 colonias del mismo sitio.
- Se debe considerar que para mejorar los estudios de dietas para la HFT se aconseja realizar el análisis bromatológico de los componentes a utilizar en las respectivas dietas, para determinar su composición química como los porcentajes de ceniza, humedad, proteína, grasas, carbohidratos y aminoácidos. Para saber las cantidades y componentes a suministrar correctamente. Además de posibles metales pesados que puedan estar contaminado dicho componente proteínico como plomo, arsénico y cadmio.

BIBLIOGRAFÍA

1. **BANKS, William Alden, et al.** Techniques for collecting, rearing, and handling imported fire ants. 1981.
2. **BABENDREIER, Dirk.** Pros and cons of biological control. *Biological invasions*, 2007, págs. 403-418. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-36920-2_23
3. **BHATKAR, A.; WHITCOMB, W. H.** Artificial diet for rearing various species of ants. *Florida Entomologist*, 1970, págs. 229-232. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/3493193?typeAccessWorkflow=login#>
4. **BLACHER, Pierre., et al.** Cooperation by ant queens during colony-founding perpetuates alternative forms of social organization. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2021, vol. 75, no 12, pág. 165. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00265-021-03105-1>
5. **BOLTON, B.** An online catalog of the ants of the world. 2014.
6. **CALABI, Prassede & PORTER, Sanford D.** Worker longevity in the fire ant *Solenopsis invicta*: ergonomic considerations of correlations between temperature, size and metabolic rates. *Journal of Insect Physiology*, 1989, vol. 35, no 8, págs. 643-649. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022191089901273>
7. **CASSILL, Deby & TSCHINKEL, Walter R.** Regulation of diet in the fire ant, *Solenopsis invicta*. *Journal of Insect Behavior*, 1999, vol. 12, págs. 307-328.
8. **CARROLL, C. Ronald & RISCH, Stephen J.** Tropical annual cropping systems: ant ecology. *Environmental Management*, 1983, vol. 7, págs. 51-57. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01867041#citeas>
9. **CLARK, David B., et al.** The tramp ant *Wasmannia auropunctata*: autecology and effects on ant diversity and distribution on Santa Cruz Island, Galapagos. *Biotropica*, 1982, p. 196-207. Disponible en: <https://www.umsi.edu/divisions/artscience/biology/files/pdfs/dave-clark/1982%20Clark%20et%20al%20Biotropica%20Wasmannia.pdf>

- 10. CERDA, Xim; RETANA, Javier.** Links between worker polymorphism and thermal biology in a thermophilic ant species. *Oikos*, 1997, págs. 467-474. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/3545608?origin=crossref>
- 11. COOK, Steven C., et al.** Colony-level macronutrient regulation in ants: mechanisms, hoarding and associated costs. *Animal Behaviour*, 2010, vol. 79, no 2, págs. 429-437. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003347209005272>
- 12. EMERY, Carlo.** Notice sur quelques fourmis des îles Galapagos. En *Annales de la Société Entomologique de France*. 1893. p. 89-92.
- 13. FUNDACIÓN CHARLES DARWIN.** *Solenopsis geminata*. [blog]. Galápagos: darwinfoundation., 2023. Disponible en: <https://www.darwinfoundation.org/es/datazone/checklist?species=6941#references>
- 14. FABRICIUS, Johan.** *Systema Piezatorum secundum ordines, genera, species, adjectis synonymis, locis, observationibus, descriptionibus*. Brunsvigae, 1804.
- 15. GAVILANEZ-SLONE, Jenny & PORTER, Sanford D.** Colony growth of two species of *Solenopsis* fire ants (Hymenoptera: Formicidae) reared with crickets and beef liver. *Florida Entomologist*, 2013, vol. 96, no 4, págs. 1482-1488. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/23609186>
- 16. GAVILANEZ-SLONE, Jenny & PORTER, S. D.** Laboratory fire ant colonies (*Solenopsis invicta*) fail to grow with Bhatkar diet and three other artificial diets. *Insectes sociaux*, 2014, vol. 61, págs. 281-287. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00040-014-0353-7>
- 17. GLANCEY, B. Michael, et al.** Filtration of microparticles from liquids ingested by the red imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren. *Insectes Sociaux*, 1981, vol. 28, no 4, págs. 395-401. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02224196#citeas>
- 18. GROUP, IUCN-SSC Invasive Species Specialist.** The Global Invasive Species Database (GISD) and international information exchange: using global expertise to help in the fight against invasive alien species, 2010. Disponible en: <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=169>

- 19. HERRERA, H & CAUSTON C. E.** Nuevos registros de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) para la Isla Española e Islote Gardner, Technical report. *Charles Darwin Foundation*, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador, 2008^a, pág 5.
- 20. HERRERA, H & CAUSTON C. E.** Distribution of fire ants *Solenopsis geminata* and *Wasmannia auropunctata* (Hymenoptera: Formicidae) in the Galápagos Islands. *Galápagos Research*, 2008b, 65:11–14.
- 21. HOWARD, DENNIS F & TSCHINKEL, WALTER R.** The flow of food in colonies of the fire ant, *Solenopsis invicta*: a multifactorial study. *Physiological Entomology*, 1981, vol. 6, no 3, págs. 297-306. Disponible en: <https://www.bio.fsu.edu/~tschink/publications/1981-4.pdf>
- 22. HOLWAY, David A., et al.** The causes and consequences of ant invasions. *Annual review of ecology and systematics*, 2002, vol. 33, no 1, págs. 181-233. Disponible en: https://app.sib.illinois.edu/suarez/local/suarez/uploads/2020/01/Holway_et al2002ARES.pdf
- 23. HOFFMANN, Benjamin D., et al.** Impact of an introduced ant on native rain forest invertebrates: *Pheidole megacephala* in monsoonal Australia. *Oecologia*, 1999, vol. 120, págs. 595-604. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/PL00008824>
- 24. HUNG, Akey CF., et al.** Identification, distribution, and biology of fire ants in Texas. *Bulletin/Texas Agricultural Experiment Station; no. 1185.*, 1977.
- 25. LAPOINTE, Stephen L., et al.** Insect diets as mixtures: optimization for a polyphagous weevil. *Journal of insect physiology*, 2008, vol. 54, no 7, págs. 1157-1167. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022191008000905>
- 26. LEBRUN, Edward G et al.** Imported crazy ant displaces imported fire ant, reduces and homogenizes grassland ant and arthropod assemblages. *Biological Invasions*, 2013, vol. 15, p. 2429-2442. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-013-0463-6>
- 27. LENANCKER, Pauline, et al.** Strategies of the invasive tropical fire ant (*Solenopsis geminata*) to minimize inbreeding costs. *Scientific Reports*, 2019, vol. 9, no 1, pág. 4566. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-41031-5>

- 28. LUBIN, Yael D.** Changes in the native fauna of the Galápagos Islands following invasion by the little red fire ant, *Wasmannia auropunctata*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1984, vol. 21, no 1-2, p. 229-242. Disponible: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1095-8312.1984.tb02064.x>
- 29. MACARTHUR, Robert H.; WILSON, Edward O.** *The theory of island biogeography*. Princeton university press, 1967.
- 30. MANKOWSKI, Mark Edward.** *Biology of the carpenter ants *Camponotus vicinus* (Mayr) and *Camponotus modoc* (Wheeler) in western Oregon*. Oregon State University, 2002.
- 31. MEURVILLE, Marie-Pierre., et al.** the functions and evolution of social fluid exchange in ant colonies (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 2021, vol. 31. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Trophallaxis%3A-the-functions-and-evolution-of-social-Meurville-LeBoeuf/4967c323c784ca32eb5725c7bdb24fd5d3697527>
- 32. MCINNES, Donald A & TSCHINKEL, Walter R.** Queen dimorphism and reproductive strategies in the fire ant *Solenopsis geminata* (Hymenoptera: Formicidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 1995, vol. 36, págs. 367-375. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00177332>
- 33. MCINNES, Donald A & TSCHINKEL, Walter R.** Queen dimorphism and reproductive strategies in the fire ant *Solenopsis geminata* (Hymenoptera: Formicidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 1995, vol. 36, págs. 367-375. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00177332>
- 34. MCGLYNN, Terrence P.** The worldwide transfer of ants: geographical distribution and ecological invasions. *Journal of biogeography*, 1999, vol. 26, no 3, págs. 535-548. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2699.1999.00310.x>
- 35. OTA, A. K.; CHANG, V. C. S.** Progress in reducing ant damage to drip irrigation tubes. En *Reports... Annual conference Hawaiian Sugar Technologists*. 1981, págs. 111-112.

- 36. OI, David H.** Effect of mono-and polygyne social forms on transmission and spread of a microsporidium in fire ant populations. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2006, vol. 92, no 3, págs. 146-151.
- 37. PETTI, John Michael.** *The structure and function of the buccal tube filter in workers of the ant species Solenopsis invicta, Camponotus floridanus, and Monomorium pharaonis*. 1998. Tesis Doctoral. University of Florida.
- 38. PLETOVICH, Sheldon., et al.** Detrimental effects of two widespread invasive ant species on weight and survival of colonial nesting seabirds in the Hawaiian Islands. *Biological Invasions*, 2009, vol. 11, p. 289-298. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-008-9233-2>
- 39. PRINS AJ.** *Insects of southern Africa. Durban, South Africa*. Durban, South Africa: Butterworths, 1985, p 43-51.
- 40. PORTER, Sanford D.** Impact of temperature on colony growth and developmental rates of the ant, *Solenopsis invicta*. *Journal of Insect Physiology*, 1988, vol. 34, no 12, págs. 1127-1133. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022191088902156>
- 41. PORTER, Sanford D.** Effects of diet on the growth of laboratory fire ant colonies (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 1989, págs. 288-291. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/25085088>
- 42. PORTER, Sanford D & TSCHINKEL, Walter R.** Fire ant polymorphism: the ergonomics of brood production. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 1985, vol. 16, págs. 323-336. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00295545>
- 43. PORTER, Sanford D., et al.** Long-term efficacy of two cricket and two liver diets for rearing laboratory fire ant colonies (Hymenoptera: Formicidae: *Solenopsis invicta*). *Florida Entomologist*, 2015, vol. 98, no 3, págs. 991-993. Disponible en: <https://bioone.org/journals/florida-entomologist/volume-98/issue-3/024.098.0334/Long-Term-Efficacy-of-Two-Cricket-and-Two-Liver-Diets/10.1653/024.098.0334.full?tab=ArticleLink>

- 44. PORTER, Sanford D.; SAVIGNANO, Dolores A.** Invasion of polygyne fire ants decimates native ants and disrupts arthropod community. *Ecology*, 1990, vol. 71, no 6, p. 2095-2106. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Sanford-Porter/publication/272570340_Invasion_of_Polygyne_Fire_Ants_Decimates_Native_Ants_and_Disrupts_Arthropod_Community/links/58459aef08aeda69681a5adb/Invasion-of-Polygyne-Fire-Ants-Decimates-Native-Ants-and-Disrupts-Arthropod-Community.pdf
- 45. RISCH, Stephen J. & CARROLL, C. Ronald.** Effects of seed predation by a tropical ant on competition among weeds. *Ecology*, 1986, vol. 67, no 5, págs. 1319-1327. Disponible en: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/1938688>
- 46. ROSS, Kenneth G., et al.** Comparative biochemical genetics of three fire ant species in North America, with special reference to the two social forms of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). *Evolution*, 1987, vol. 41, no 5, págs. 979-990. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2409186>
- 47. SINGH, Pritam, et al.** *Artificial diets for insects, mites, and spiders*. New York: Ifi/plenum, 1977.
- 48. Schowalter Timothy D.** *Insect Ecology*. Australia: Academic Press, 2006, pág. 576
- 49. SORENSEN, A. Ann & VINSON, SB.** Quantitative food distribution studies within laboratory colonies of the imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren. 1981, págs. 129–160.
- 50. SUAREZ, Andrew V & TSUTSUI, Neil D.** The evolutionary consequences of biological invasions. *Molecular ecology*, 2008, vol. 17, no 1, p. 351-360. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-294X.2007.03456.x>
- 51. TABER, Stephen Welton.** *Fire ants*. Texas A&M University Press, 2000.
- 52 TRAVIS, Bernard V.** Notes on the biology of the fire ant *Solenopsis geminata* (F.) in Florida and Georgia. *The Florida Entomologist*, 1941, vol. 24, no 1, págs. 15-22. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/3492286?typeAccessWorkflow=login>

- 53. TRAGER, James C.** A revision of the fire ants, *Solenopsis geminata* group (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae). *Journal of the New York Entomological Society*, 1991, págs. 141-198. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/25009890?typeAccessWorkflow=login>
- 54. TENNANT, LEEANNE E & PORTER, SANFORD D.** Comparison of diets of two fire ant species (Hymenoptera: Formicidae): solid and liquid components. *Journal of Entomological Science*, 1991, vol. 26, no 4, págs. 450-465. Disponible en : <https://meridian.allenpress.com/jes/article/26/4/450/75066/Comparison-of-Diets-of-Two-Fire-Ant-Species>
- 55. TORRES, Juan A.** Niches and coexistence of ant communities in Puerto Rico: repeated patterns. *Biotropica*, 1984, págs. 284-295. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2387937>
- 56. TSCHINKEL, Walter R.** Distribution of the fire ants *Solenopsis invicta* and *S. geminata* (Hymenoptera: Formicidae) in northern Florida in relation to habitat and disturbance. *Annals of the Entomological Society of America*, 1988, vol. 81, no 1, págs. 76-81. Disponible en <https://doi.org/10.1093/aesa/81.1.76>
- 57. VAN PELT JR, Arnold F.** The ecology of the ants of the Welaka reserve, Florida (Hymenoptera: Formicidae). Part II. Annotated list. *American Midland Naturalist*, 1958, págs. 1-57. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2422375>
- 58. VEERESH, G. K.** Pest Ants of India and their Management. En *Social Insects and the Environment*. Brill, 1990. págs. 267-268. Disponible en: https://brill.com/edcollchap/book/9789004630505/B9789004630505_s138.xml
- 59. VINSON, S. Bradleigh, et al.** Common ant genera of Texas. 2003.
- 60. VINSON, Bradleigh S.** The distribution of an oil, carbohydrate, and protein food source to members of the imported fire ant colony. *Journal of Economic Entomology*, 1968, vol. 61, no 3, págs. 712-714. Disponible en: <https://academic.oup.com/jee/article-abstract/61/3/712/2209062>
- 61. VON AESCH, Leila; CHERIX, Daniel.** Introduced ant species and mechanisms of competition on Floreana Island (Galapagos, Ecuador). *Sociobiology*, 2005, vol. 45, no 2, p. 1-19. Disponible en: <https://www.researchgate.net/profile/Daniel->

[Cherix/publication/288530281_Introduced_ant_species_and_mechanisms_of_competition_on_Floreana_Island_Galapagos_Ecuador_Hymenoptera_Formicidae/links/604110d6a6fdcc9c781213e8/Introduced-ant-species-and-mechanisms-of-competition-on-Floreana-Island-Galapagos-Ecuador-Hymenoptera-Formicidae.pdf](https://www.researchgate.net/publication/288530281_Introduced_ant_species_and_mechanisms_of_competition_on_Floreana_Island_Galapagos_Ecuador_Hymenoptera_Formicidae/links/604110d6a6fdcc9c781213e8/Introduced-ant-species-and-mechanisms-of-competition-on-Floreana-Island-Galapagos-Ecuador-Hymenoptera-Formicidae.pdf)

62. Wauters, N., Dekoninck, et al. Distribution, behavioral dominance and potential impacts on endemic fauna of tropical fire ant *Solenopsis geminata* (Fabricius, 1804) (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae) in the Galápagos archipelago. *The pan-pacific entomologist*, 2014, 90(4), pág. 205-220. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/271883621_Distribution_behavioral_dominance_and_potential_impacts_on_endemic_fauna_of_tropical_fire_ant_Solenopsis_geminata_Fabricius_1804_Hymenoptera_Formicidae_Myrmicinae_in_the_Galapagos_archipelago

63. WANG, Yu-Shiang & SHELOMI, Matan. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 2017, vol. 6, no 10, pág. 91. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29057841/>

64. WAY, M. J., et al. Ants in tropical irrigated rice: distribution and abundance, especially of *Solenopsis geminata* (Hymenoptera: Formicidae). *Bulletin of Entomological Research*, 1998, vol. 88, no 4, págs. 467-476. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/journals/bulletin-of-entomological-research/article/abs/ants-in-tropical-irrigated-rice-distribution-and-abundance-especially-of-solenopsis-geminata-hymenoptera-formicidae/8D648368F11B6A2B8EDDE6A084165CE6>

65. WETTERER, James K. Worldwide spread of the tropical fire ant, *Solenopsis geminata* (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological news*, 2011, vol. 14, no 1, págs. 21-35.

66. WHEELER, W. M. Expedition of the California Academy of Sciences to the Galapagos Islands, 1905-1906. Part 15. The ants of Cocos Island. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 1919, vol. 2, no 2, p. 299-308.

67. WHEELER, George C.; WHEELER, Jeanette. The ant larvae of the myrmicine tribe *Solenopsisidini*. *The American Midland Naturalist*, 1955, vol. 54, no 1, págs. 119-141. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2422182>

- 68. WILLIAMS, David F., et al.** Diet-induced nonmelanized cuticle in workers of the imported fire ant *Solenopsis invicta* Buren. *Archives of insect biochemistry and physiology*, 1987, vol. 4, no 4, págs. 251-259. Disponible en: [https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/60360510/publications/Williams_et_al-1987\(M-1688\).pdf](https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/60360510/publications/Williams_et_al-1987(M-1688).pdf)
- 69. WILLIAMS, D. F & WHELAN, P.** Polygynous colonies of *Solenopsis geminata* (hymenoptera: formicidae) in the Galapagos Islands. *The Florida Entomologist*, 1991, vol. 74, no 2, págs. 368-371. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/3495322?typeAccessWorkflow=login>
- 70. WILSON, Edward O.** Division of labor in fire ants based on physical castes (Hymenoptera: Formicidae: *Solenopsis*). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 1978, págs. 615-636. Disponible: <https://www.jstor.org/stable/25083857>
- 71. WILSON, Edward O.** The ants of Polynesia. *Pacific Insects Monograph*, 1967, vol. 14, págs. 1-109.
- 72. ZABLOTNY, James E. Sociality.** En *Encyclopedia of insects*. Academic Press, 2009. págs. 928-935. Disponible: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374144-8.00246-0>

ANEXOS

ANEXO A: SELECCIÓN DE DIETAS



Estudiante de pregrado Sara Pazmiño (izquierda) y director de trabajo de integración curricular Dr. Henri Herrera (derecha) debatiendo sobre elección de especies a utilizar en las dietas.

ANEXO B: PREPARACIÓN DE AGUA AZUCARADA



Preparación de tubos de ensayo (16 x 150 y 16 x 125 mm) con agua azucarada al 1.5 M (513 g/L) para experimento de dietas.

ANEXO C: PREPARACIÓN DIETAS LARVAS MOSCA SOLDADO



Proceso de tamizado para obtener tamaño grande y/o pequeño de larvas de mosca soldado para dietas. (A) se toma las larvas, (B) se coloca en el tamiz, (C) se dejan las que no se necesita, (D) selección de tamaño deseado.

ANEXO D: ENTREGA DE TORRES DE PANADERO Y BANDEJAS



La Universidad de Florida (UF) en colaboración de la ESPOCH – ESPOL trasladaron desde EEUU insumos y materiales de laboratorio para los proyectos en el Laboratorio de Botánica y Entomología.

ANEXO E: COLONIAS DE *Solenopsis geminata*, BLOQUES Y UE



Presentación de cinco bloques con 45 UE donde se suministraron los nueve tratamientos, como parte del experimento de dietas. Cada columna de bandejas cremas representa un bloque, y las bandejas transparentes representas cada colonia.

ANEXO F: EQUIPO DE TRABAJO ESPOL – ESPOCH



Colaboración en el presente proyecto por parte de técnicos de laboratorio, docentes, voluntarios, entre otros. De la ESPOCH y la ESPOL.

ANEXO G: DISTRIBUCIÓN DE LAS 63 UE EN LAS TORRES DE PANADERO



Para el presente experimento se usaron tres torres de panadero para distribuir a los siete bloques con sus nueve unidades experimentales. Donde en total son 63 UE que se dispuso acorde a los niveles de cada torre y por los microclimas presente en cada nivel para homogeneizar los factores de humedad y temperatura entre bloques.

ANEXO H: REUNIONES SOBRE AVANCE DEL EXPERIMENTO



Director de trabajo de integración curricular Dr. Henri Herrera (izquierda) y estudiante de pregrado Sara Pazmiño (derecha) socializando los avances del presente proyecto en el Laboratorio de Botánica y Entomología en la ESPOL.

ANEXO I: TRATAMIENTOS DE LARVA DE MOSCA SOLDADO



Tratamientos: (A) T7 (DB + Mosca soldado Larva grande) y (B) T6 (DB + Mosca soldado Larva pequeña)