



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

**Comparación nutricional de la cucaracha *Periplaneta americana*
alimentada con residuos orgánicos como alternativa sostenible para
alimentación animal**

Tesis presentada por:

Huanca Quispe, Maria de los Angeles

ORCID: 0009-0003-8716-4074

Ruggirello Casani, Oriett Aurora

ORCID: 0009-0009-0411-9272

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesora:

Mg. Benegas Llanos, Rosario Carolina

ORCID: 0000-0002-1728-4949

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 15 de Enero del 2026

Dictamen: 012147-C-EPIA-2026

Visto el borrador del expediente 012147, presentado por:

2019100442 - HUANCA QUISPE MARIA DE LOS ANGELES

2019246542 - RUGGIRELLO CASANI ORIETT AURORA

Titulado:

**COMPARACIÓN NUTRICIONAL DE LA CUCARACHA PERIPLANETA AMERICANA ALIMENTADA
CON RESIDUOS ORGÁNICOS COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AMBIENTAL

**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



**72384055 - MEDINA RAMOS ROBERT JOAQUIN
DICTAMINADOR**



**43606549 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON
DICTAMINADOR**



Comparación nutricional de la cucaracha Periplaneta americana alimentada con residuos orgánicos como alternativa sostenible para alimentación animal

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.jmcs.org.mx Fuente de Internet	1 %
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1 %
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
5	www.scielo.org.pe Fuente de Internet	<1 %
6	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
7	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
8	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %

Dedicatoria

Dedico la presente tesis, a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida , quienes con amor infinito y un esfuerzo que muchas veces fue silencioso, su sacrificio y amor incondicional fue de gran impulso que necesite para no rendirme cuando el camino se tornó difícil. A mis padres les agradezco profundamente por creer en mi incluso en los momentos más difíciles, por sus palabras de aliento cuando todo se veía color negro y por enseñarme que nunca hay que tirar la toalla y que todo esfuerzo tiene su recompensa. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes, porque cada logro que he alcanzado no hubiera sido posible gracias a su apoyo constante.

María de los Ángeles Huanca Quispe

Dedico esta tesis a mi madre, quien fue una raíz firme en los momentos de duda, sosteniendo mis decisiones y fortaleciendo mi determinación; en cada página de este trabajo se refleja no solo conocimientos académicos, sino también los valores que ella me enseñó a vivir. Esta tesis es, en esencia, un reconocimiento a su apoyo constante y a la influencia positiva que ha marcado de manera definitiva mi formación profesional, reafirmando que los logros más importantes se construyen sobre el amor y la perseverancia.

Oriett Aurora Ruggirello Casani

Agradecimientos

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos, en primer lugar, a nuestra asesora, Mag. Rosario Carolina Benegas Llanos, por su orientación constante, dedicación, valiosos aportes académicos y la facilitación con , los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación.

Asimismo, agradecemos a nuestros dictaminadores, Mag. Robert Joaquín Medina Ramos, Mag. Andrea Marieta Chanove Manrique y Mag. Berly Gonzales Ortega, por sus observaciones oportunas y aportes técnicos que contribuyeron a mejorar la calidad del presente trabajo.

De manera especial, expresamos nuestro agradecimiento a la Dra. María Elizabeth Bejarano Meza por el apoyo brindado durante el proceso de investigación, el cual fue determinante para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

Finalmente, nos reconocemos y agradecemos por el esfuerzo continuo, la disciplina y la determinación demostrada a lo largo de este proceso; cada reto afrontado, cada aprendizaje construido y cada logro alcanzado reflejan el compromiso asumido y hacen posible la culminación de esta importante etapa profesional.

RESUMEN

En los últimos años, la búsqueda de alternativas sostenibles para la producción de insumos destinados a la alimentación animal ha impulsado el estudio de especies capaces de transformar residuos orgánicos en biomasa de alto valor nutritivo. En ese contexto, *Periplaneta americana* se presenta como un organismo con potencial para convertir residuos domésticos en proteína y minerales aprovechables. El presente estudio tuvo como finalidad comparar el contenido nutricional de *Periplaneta americana* alimentada con residuos orgánicos, evaluando su potencial como alternativa sostenible para la alimentación animal. Se trabajó con cuatro muestras: M1 (población silvestre), M2 (primer linaje), M3 (segundo linaje) y M4 (suplemento comercial de referencia).

Primero se buscó determinar la configuración experimental adecuada para el crecimiento de *P. americana*, confirmando condiciones sanitarias óptimas mediante un análisis microbiológico que registró <0.18 NMP/g de coliformes fecales, lo que aseguró la inocuidad del procedimiento. Luego, se procedió a analizar la eficiencia de residuos sólidos en biomasa observándose un incremento gradual en la eficiencia alcanzando valores de 0.70 % y 26.70 %. Posteriormente, se analizó la variabilidad nutricional entre linajes, evidenciándose un incremento proteico desde 262.6 g/kg (M1) hasta 290.9 g/kg (M3); junto con aumentos notables en potasio, fósforo, magnesio, cobre, hierro y zinc. Finalmente, la comparación frente al suplemento comercial mostró que las muestras M1–M3 presentaron contenidos proteicos significativamente superiores al del M4 (73.7 g/kg) al igual que en el resto de minerales.

Los resultados indican que *P. americana* alimentada con residuos orgánicos constituye una alternativa viable y nutricionalmente competitiva, capaz de transformar desechos domésticos en una biomasa de alto valor para la alimentación animal.

Palabras clave:

Bioconversión, residuos, proteína.

ABSTRACT

In recent years, the search for sustainable alternatives for the production of inputs intended for animal feed has driven research into species capable of transforming organic waste into biomass of high nutritional value. In this context, *Periplaneta americana* emerges as an organism with the potential to convert household waste into usable protein and minerals. The purpose of the present study was to compare the nutritional content of *Periplaneta americana* fed with organic waste, assessing its potential as a sustainable alternative for animal feed. Four samples were analyzed: M1 (wild population), M2 (first lineage), M3 (second lineage), and M4 (commercial reference supplement).

First, the appropriate experimental configuration for the growth of *P. americana* was determined, confirming optimal sanitary conditions through a microbiological analysis that recorded <0.18 MPN/g of fecal coliforms, ensuring the safety of the procedure. Next, the efficiency of converting solid waste into biomass was evaluated, revealing a gradual increase in efficiency, reaching values of 0.70% and 26.70%. Subsequently, nutritional variability between lineages was analyzed, showing an increase in protein content from 262.6 g/kg (M1) to 290.9 g/kg (M3), along with notable increases in potassium, phosphorus, magnesium, copper, iron, and zinc. Finally, comparison with the commercial supplement showed that samples M1–M3 presented significantly higher protein contents than M4 (73.7 g/kg), as well as higher levels of the remaining minerals.

The results indicate that *P. americana* fed with organic waste represents a viable and nutritionally competitive alternative, capable of transforming household waste into high-value biomass for animal feed.

Keywords:

Bioconversion, waste, protein.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.3.1. Justificación Ambiental.....	6
1.3.2. Justificación Económica.....	7
1.3.3. Justificación Social.....	7
1.3.4. Justificación Tecnológica.....	8
1.4. OBJETIVOS	9
1.4.1. Objetivo general	9
1.4.2. Objetivos específicos.....	9
1.5. HIPÓTESIS.....	9
CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO	10
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
2.2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.2.1. Seguridad alimentaria.....	20
2.2.2. Especie <i>Periplaneta americana</i>	25
2.2.3. Residuos Sólidos	37
2.2.4. Sector Ganadero Arequipa	44
2.2.5. Método de Ensayo Destilación Kjeldahl.....	48
2.3. MARCO LEGAL.....	50
2.3.1. Marco Legal Internacional	50
2.3.2. Marco Legal Nacional.....	52
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	54
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	55
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	55
3.3. CAMPO DE INVESTIGACIÓN	57
3.4. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	57

3.5. MATERIALES Y EQUIPOS	58
3.5.1. Materiales Biológicos.....	58
3.5.2. Instrumentos.....	58
3.5.3. Equipos.....	58
3.5.4. Técnicas.....	59
3.6. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	60
3.6.1. Determinación del crecimiento de <i>Periplaneta americana</i> en un entorno controlado.....	60
3.6.2. Análisis de la tasa de conversión de residuos sólidos orgánicos en biomasa mediante la cría de <i>Periplaneta americana</i>	62
3.6.3. Evaluación del linaje <i>Periplaneta americana</i> en la variabilidad de macro y micronutrientes.....	64
3.6.4. Comparación de la composición nutricional de <i>Periplaneta</i> <i>americana</i> frente a un suplemento alimenticio para ganado.....	66
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
4.1. Determinación del crecimiento de <i>Periplaneta americana</i> en un entorno controlado	69
4.2. Análisis de la tasa de conversión de residuos sólidos orgánicos en biomasa mediante la cría de <i>Periplaneta americana</i>	71
4.3. Evaluación del linaje <i>Periplaneta americana</i> en la variabilidad de macro y micronutrientes.....	79
4.3.1. Resultados de Proteínas.....	79
4.3.2. Resultados de Macronutrientes	81
4.3.3. Resultados de Micronutrientes	83
4.3.1. Resultados de Cenizas.....	86
4.4. Comparación de la composición nutricional de <i>Periplaneta</i> <i>americana</i> frente a un suplemento para alimentación animal.....	88
4.4.1. Resultados de Proteínas M3, M4.....	88
4.4.2. Resultados de Macronutrientes	90
4.4.3. Resultados de Macronutrientes	92
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
6.1. CONCLUSIONES	96
6.2. RECOMENDACIONES.....	98
REFERENCIAS.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Parámetros de uso de recursos e impacto ambiental.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2. Dimorfismo Sexual en Periplaneta americana.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3. Vitaminas de insectos comestibles.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 4. Comparación de Vitamina C.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 5. Composición de residuos domiciliarios</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 6. Requisitos para raciones de terneras de reemplazo.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 7. Extracción total de nutrientes por cultivo (kg/t órgano cosechable)</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 8. Operacionalización de Variables</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 9. Resultados de Coliformes fecales M1.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 10. Prueba de Homogeneidad Levene.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 11. Prueba T de Student</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 12. Resultado de Proteínas M1, M2, M3.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 13. Resultados de Macronutrientes M1, M2, M3</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 14. Resultados de Micronutrientes M1, M2, M3</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 15. Resultados de Cenizas</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 16. Resultado de Proteínas M1, M2, M3 y M4.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 17. Resultados de Macronutrientes M1, M2, M3 y M4.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 18. Resultados de Micronutrientes M1, M2, M3 y M4.....</i>	<i>92</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición nutricional según su taxonomía [% materia seca].....	24
Figura 2. Ciclo de vida <i>Periplaneta americana</i>	28
Figura 3. Crecimiento Exponencial estimado de <i>Periplaneta americana</i>	29
Figura 4. Género de <i>Periplaneta americana</i>	31
Figura 5. Hembra adulta y macho adulto, Orden <i>Blattodea</i>	32
Figura 6. Flujograma	56
Figura 7. Equipos Utilizados.....	59
Figura 8. Trampas artesanales.....	61
Figura 9. Configuración experimental	61
Figura 10. Dieta Alimenticia	63
Figura 11. Pesaje de residuos orgánicos triturados	64
Figura 12. Procesamiento en Horno eléctrico	65
Figura 13. Secado en Horno eléctrico.....	65
Figura 14. Datos de Temperatura (°C) y Humedad (%) en M2.....	70
Figura 15. Datos de Temperatura (°C) y Humedad (%) en M3.....	70
Figura 16. Eficiencia de Reducción de Residuos (%) en M2	71
Figura 17. Eficiencia de Reducción de Residuos (%) en M3	72
Figura 18. Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk – M2.....	73
Figura 19. Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk – M2.....	74
Figura 20. QQ Plot – M2.....	74
Figura 21. QQ Plot – M3.....	75
Figura 22. Comparación de dispersión entre M2 y M3	75
Figura 23. Resultado de Proteínas M1, M2, M3 y M4.....	88
Figura 24. Resultados de Macronutrientes M1, M2, M3 y M4	90
Figura 25. Resultados de Micronutrientes M1, M2, M3 y M4	92

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo A. Tabla de Eficiencia de Reducción de Residuos (ERR) para M2-M3</i>	<i>121</i>
<i>Anexo B. Resultado de Laboratorio M1 – Coliformes Fecales en Sedimentos</i>	<i>123</i>
<i>Anexo C. Resultado de Laboratorio M1 – Proteína, cenizas, macro y micronutrientes</i>	<i>124</i>
<i>Anexo D. Resultado de Laboratorio M2 – Proteína, cenizas, macro y micronutrientes</i>	<i>125</i>
<i>Anexo E. Resultado de Laboratorio M3 – Proteína, cenizas, macro y micronutrientes</i>	<i>126</i>
<i>Anexo F. Resultado de Laboratorio M4 – Proteína, macro y micronutrientes</i>	<i>127</i>
<i>Anexo G. Resultado de Laboratorio – Métodos de Ensayos Utilizados</i>	<i>128</i>
<i>Anexo H. Resultado de Laboratorio – Certificado INACAL</i>	<i>129</i>
<i>Anexo I. Fotografía del Lugar de Captura de Periplaneta americana</i>	<i>130</i>
<i>Anexo J. Fotografía de la Captura de la Especie Periplaneta americana.</i>	<i>131</i>
<i>Anexo K. Fotografía de las Condiciones de Configuración Experimental</i>	<i>132</i>
<i>Anexo L. Fotografía del Pesaje de Periplaneta americana.</i>	<i>133</i>
<i>Anexo M. Fotografía de la Desinfección con alcohol etílico 70%</i>	<i>134</i>
<i>Anexo N. Fotografía de Dispersión de individuos en envases de acero inoxidable.</i>	<i>134</i>
<i>Anexo O. Fotografía del Procesamiento en Horno eléctrico</i>	<i>135</i>
<i>Anexo P. Fotografía del Secado en Horno eléctrico</i>	<i>135</i>
<i>Anexo Q. Fotografía de la Trituración de individuos.</i>	<i>136</i>
<i>Anexo R. Fotografía de los Envases rotulados post-procesamiento</i>	<i>136</i>
<i>Anexo S. Fotografía de Individuo Adulto Periplaneta americana.</i>	<i>137</i>
<i>Anexo T. Fotografía de Medición de Individuo Periplaneta americana.</i>	<i>138</i>

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de fuentes de alimentos sostenibles y de bajo coste económico ha emergido como un reto para los sistemas agroalimentarios frente al crecimiento poblacional y la presión sobre recursos naturales; según el informe de la Organisation for Economic Co-operation and Development – Food and Agriculture Organization of the United Nations (OECD-FAO) señala que el uso de alimento para animales podría crecer en un 11 % en algunas regiones hacia 2032 (OECD-FAO, 2023). Este escenario plantea la necesidad de nuevas opciones sostenibles para la alimentación de ganado, donde la diversificación de las fuentes nutritivas a partir del aprovechamiento de subproductos y residuos orgánicos adquiere relevancia científica, económica y ambiental, ya que este enfoque no solo busca reducir la dependencia de insumos tradicionales de alto costo, sino también promover la gestión responsable de los desechos transformándolos en recursos de valor. (Aidoo et al., 2023).

En este marco, los insectos emergen como una solución que combina eficiencia productiva, valor nutricional y capacidad de bioconversión de residuos orgánicos, características que los posicionan como un puente entre seguridad alimentaria y economía circular, ya que convierten biomasa de bajo valor en biomasa rica en proteína y micronutrientes con una huella ambiental considerablemente menor a las proteínas convencionales (Li M., 2023). Dentro del grupo de insectos explorados para alimentación animal, *Periplaneta americana* (cucaracha americana) se perfila como un candidato potencial por su adaptabilidad a diversas dietas y alto contenido proteico, especialmente al considerar el aprovechamiento de residuos orgánicos como fuente de alimento (Siddiqui et al., 2024 a).

No obstante, el mercado global de proteína de insecto aún es muy incipiente; pues existe un desfase entre la necesidad creciente de proteínas sostenibles y la limitada implantación de los insectos en la alimentación animal dado por un marco regulatorio fragmentado, vacíos

tecnológicos, vacíos de cadena de valor y los factores culturales y de aceptación también afectan (Gwak & Kim, 2025).

El contexto técnico-científico actual evidencia el curso de los insectos como alimentos en especies como *Hermetia illucens* (mosca soldado negra) o *Tenebrio molitor* (gusano de la harina) demostrando que pueden reemplazar parcial o totalmente a fuentes proteicas tradicionales en dietas animales sin detrimento de parámetros productivos en estudios experimentales con aves y peces (Ou et al., 2024; Long et al., 2024); esta evidencia aporta una justificación práctica para comparar nutricionalmente a *Periplaneta americana* alimentada con residuos orgánicos frente a fuentes convencionales. Además, la utilización de residuos orgánicos como sustrato ofrece beneficios como la reducción de volúmenes de desecho, disminución de emisiones asociadas a alternativas de disposición final y potencial reducción de costes de producción de proteína animal, factores que justifican la evaluación integral del perfil nutritivo de *Periplaneta americana* bajo estas condiciones (Mustafa F. et al., 2024).

El propósito de la presente investigación es comparar de manera detallada la composición nutricional de *Periplaneta americana* criada con residuos orgánicos en un contexto local, con el fin de evaluar su viabilidad como alternativa sostenible para la alimentación animal; esta aproximación busca aportar evidencia científica que sustente el potencial de *Periplaneta americana* como recurso alternativo y sostenible dentro del ámbito agropecuario, favoreciendo la economía circular y la valorización de residuos orgánicos locales.

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

La generación de residuos sólidos a nivel global parte principalmente del constante consumo poblacional, actividades industriales, actividades agrícolas u otros; además, es el aspecto social lo que genera que el problema se amplíe con la mala gestión y la poca educación ambiental. En países desarrollados la gestión de residuos sólidos presentan procesos de pretratamiento y tratamiento para el aprovechamiento y disminución de contaminantes antes de llegar a su disposición final generando una disminución significativa en los contaminantes, a diferencia de países subdesarrollados donde el pretratamiento es a veces inexistente y son depositados en las afueras de las urbes donde regularmente los organismos públicos no gestionan y se convierten en focos contaminantes e infecciosos que afectan el entorno ambiental y la salud pública (Surco Reyes, 2024).

El impacto ambiental basado en como los residuos sólidos son manejados en su disposición final es uno de los principales problemas en Latinoamérica, esto es debido a que existe una deficiente gestión en el acopio y procesamiento de residuos que genera una afectación negativa de forma directa la salud de la población y al entorno ambiental (Panta Roa, 2022); las medidas que se han implementado buscan reemplazar rellenos sanitarios y botaderos que son lugares donde se desechan los residuos sólidos muchas veces sin tratamiento o previa segregación, donde a través de procesos físico-químicos se genera una descomposición orgánica convirtiendo el área en un foco o punto infeccioso convirtiéndose en una potencial fuente de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), estudios han afirmado que en si existe una contaminación en los recursos (agua, suelo, aire) a diferente grado sin importar el método de tratamiento aplicado y el lugar de disposición final ya sea en rellenos sanitarios o botaderos (Bernabé R., 2022).

En Perú a través del Ministerio del Ambiente - MINAM, 2017, publicó el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, cuyos objetivos buscan la minimización de

la generación de residuos sólidos provenientes de viviendas, empresas, industrias, comercios, entre otras; asimismo, busca promover la recuperación y valorización a través de distintos programas como el reciclaje, la conversión de residuos orgánicos en compost, buscando una visión a futuro sobre la industria moderna del reciclaje y así alcanzar metas de Zero Waste. Según el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática - INEI, (2020 a), indicaron que el Perú tiene grandes oportunidades de aumentar sus residuos sólidos aprovechables que se generan en todo el país, pues actualmente Perú solo recicla el 11.9% del total de sus residuos sólidos aprovechables.

En Arequipa los principales generadores de residuos sólidos son los mercados y centros de abastos, para su disposición se cuenta con un relleno sanitario “Quebrada Honda” y diversos botaderos los cuales no son suficientes para contener los residuos generados por la población (Gonzales W., 2021). El principal vertedero “El Cebollar” en la ciudad Arequipa presenta un depósito de 40 ton de residuos diarios, acumulando 338 000 ton en total, estos residuos no presentan una gestión adecuada a nivel municipal ni regional, convirtiéndose en uno de los principales depósitos de desechos que genera propagación de contaminantes como gases de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), entre otros; y, genera una afectación negativa en el entorno medioambiental y a la población adyacente (Surco Reyes, 2024). El constante crecimiento demográfico en la ciudad y la mala gestión gubernamental han generado que la disposición de residuos sólidos se dé en locaciones fuera de la ciudad, estas áreas han sido denominadas como “focos de infección” los cuales generan afectaciones a los recursos aire, suelo, vegetación y agua. El impacto y liberación de los contaminantes varía en cada temporada; se ha demostrado que en época de lluvias se genera la lixiviación de contaminantes deteriorando la calidad de suelo y aguas subterráneas; mientras que, en temporadas de calor los contaminantes se volatilizan afectando el recurso aire y dispersando estos contaminantes a las zonas adyacentes.

Asimismo, los puntos en la ciudad donde se colocan los residuos sólidos como contenedores y tachos de basura se ubican como puntos contaminantes y de afectación a la población sobre todo si estos albergan residuos sólidos orgánicos cuya descomposición genera la liberación de malos olores, propagación de vectores, generación de lixiviados u otros que pueden generar enfermedades gastrointestinales, alérgicas, respiratorias, inmunológicas, entre otros; provocando un problema en la salud pública (Surco Reyes, 2024). Las soluciones implementadas regularmente se basan en el desarrollo científico; sin embargo, su aplicación ha sido exclusiva en el sector privado, dejando de lado el sector público, entidades internacionales buscan ideas innovadoras para solucionar el problema sin generar otros problemas (Gómez Olachica M., 2022).

Por lo expuesto, la presente investigación se plantea como un primer acercamiento a la implementación de principios de economía circular en la valorización de residuos orgánicos, proponiendo una solución innovadora viable económica, social y ambientalmente que consiste en utilizar la especie *Periplaneta americana* para transformar los residuos domésticos en un suplemento proteico para ganado, lo cual permitirá convertir desechos orgánicos en una fuente nutritiva de proteínas, reduciendo la cantidad de residuos sólidos orgánicos, además de optimizar la producción de alimento animal de manera sostenible y evidenciando su potencial de proyección hacia sistemas más eficientes de gestión circular de residuos.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación Ambiental

La siguiente tesis busca demostrar que se han desarrollado tecnologías innovadoras que utilizan la *Periplaneta americana* es una especie de “cucaracha” que se ha adaptado exitosamente a diversos entornos urbanos y que muestra una notable capacidad para descomponer materia orgánica. Esta cucaracha tiene una dieta omnívora, lo que significa que puede consumir una amplia gama de materiales, incluyendo residuos, como medio de

degradación de residuos orgánicos domiciliarios es su eficiencia y bajo costo. Estas cucarachas son capaces de descomponer rápidamente los desechos orgánicos. Un adecuado pretratamiento como el uso de microorganismos para el procesamiento de residuos sólidos orgánicos permite que en su disposición final llegue una menor cantidad, permitiéndole maximizar los beneficios ambientales y reducir la degradación de áreas naturales afectadas (Surco Reyes B., 2024). Esta innovadora tecnología puede contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), disminuir la contaminación del suelo y del agua, y mejorar la salud pública.

1.3.2. Justificación Económica

Las tendencias hacia el 2050 presentan un crecimiento poblacional constante que trae consigo problemas de presión sobre los recursos de consumo alimentario, un problema que ha sido abordado por el Objetivo de Desarrollo Sostenible - ODS 2 “Hambre Cero” pues se visualiza en varias ciudades a nivel global la escasez de alimentos que derivan en enfermedades y afectan principalmente a infantes; el consumo de insectos se presenta como una opción de sustituir o diversificar la oferta de alimentos proporcionando una opción más accesible y económica para la población (Cordero-Mendoza D. et al., 2023); sin embargo, existen múltiples restricciones con respecto al consumo directo de insectos debido a tabúes relacionados a los peligros para la salud y la imagen social. Según Xie Y. et al., 2023, la obtención de proteína a partir de la especie *Periplaneta americana* puede ser una solución viable para enfrentar los desafíos de la seguridad alimentaria,

1.3.3. Justificación Social

La problemática de la sobreacumulación de grandes hectáreas de residuos sólidos en el mundo, ha conllevado a que la demanda alimenticia del ganado genere nuevas alternativas de dietas nutricionales; ante ello, la adquisición de suplementos nutricionales se presenta como una alternativa óptima para cubrir las necesidades. Según el Olazabal M. & Benavente M., 2021, para 2021 el costo total promedio de producción por unidad de animal para el año 2018

es de S/. 1218,07 que tiene relación con el promedio nacional (S/. 1 556, 08) y el promedio para la zona costa (S/. 1 129,33) y sierra (S/. 1 636,19) por unidad de animal vacuno; del total de costo de producción lo destinado para alimentos de ganado son S/. 1 037,3 sienta el 85.2% del coste económico empleado solo en alimentación.

Dado que, la situación de alimentación en el sector ganadero representa uno de los mayores gastos se precisa de generar nueva tecnologías que permita reducir estos costos de producción; según Montero-Prado P., 2025; hacen referencia al uso de insectos como un sustituto al pasto natural debido a las condiciones nutritivas que presentan y el bajo coste económico en su producción relacionado a los ciclos de vida cortos, periodos de crecimiento rápido y alta resiliencia a variaciones de condiciones ambientales.

1.3.4. Justificación Tecnológica

La utilización de insectos en el sector ganadero es una tecnología que está en constante crecimiento debido a sus ventajas ambientales y económicas. Las tasas de conversión que presentan son netamente eficientes; Avendaño C. & Valenzuela C., 2020, indican que hay una conversión de 2 a 1 Kg en alimento a masa de insecto y en comparación con el ganado hay una conversión de 8 a 1 Kg de alimento a peso corporal; tales valores pueden variar de acuerdo al tipo de ganado, prácticas ganaderas y el tipo de insecto, pero el promedio resulta una óptima opción. El análisis de los procesos biotecnológicos para obtener el suplemento proteico como el biofertilizante requieren de experimentar nuevos métodos con los diferentes tipos de residuos sólidos orgánicos para obtener mayor cantidad porcentual proteica con altos valores de conversión de biomasa para que la producción no presente residuos en la producción del suplemento (Samper Pérez E., 2020); mientras que, la producción de biofertilizante resulta de generar un análisis a los excrementos de la especie (*Periplaneta americana*) para evidenciar su potencial de suministro de materia orgánica y elementos nutritivos al suelo, generando en su ciclo de vida una cantidad de residuos cero.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Comparar el contenido nutricional de la cucaracha *Periplaneta americana* alimentada con residuos orgánicos como alternativa sostenible para alimentación animal.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la configuración experimental para el crecimiento de *Periplaneta americana*.
- Analizar la tasa de conversión de residuos sólidos orgánicos en biomasa mediante la cría de *Periplaneta americana*
- Evaluar el linaje de *Periplaneta americana* en la variabilidad de macro y micronutrientes.
- Comparar la composición nutricional de *Periplaneta americana* frente a un suplemento alimenticio para ganado.

1.5. HIPÓTESIS

El contenido de componentes nutricionales en insectos permite que puedan ser utilizados en una dieta alimenticia reemplazando los alimentos, piensos alimenticios y forraje en la alimentación animal; es probable que, realizando una comparación nutricional de un suplemento convencional con el producto final de *Periplaneta americana* alimentada con residuos orgánicos se obtenga valores elevados de nutrientes como alternativa sostenible para alimentación animal.



CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según, Ordoñez-Araque & Egas-Montenegro et al., 2021, estima que la población mundial alcanzará el valor de 9,7 millones de personas para el 2050, este aumento intensificará la demanda de alimentos, lo que presionará aún más los recursos naturales, la agricultura tradicional y la cría de ganado que se verá afectada por esta demanda, ya que requiere cantidades de tierra, agua y energía. Utilizar insectos como una alternativa de alimentación nace de problemas mundiales, siendo los más comunes relacionados a la demanda de productos de consumo alimenticio que evidencia los problemas que acarrea la crianza de ganados como la deforestación, cambio climático y presión sobre recursos; las ventajas en la crianza de insectos exclusivamente para consumo ganadero presenta ventajas como un alto índice de digestibilidad en los estudios realizados hasta la actualidad que convierten grillos, moscas, langostas, cucarachas, entre otros, en productos denominados “harinas de insectos” donde su capacidad de alimentación o “engorde” en animales de crianza ha resultado significativa posicionándose como una fuente viable de macronutrientes y micronutrientes necesarios para el correcto desarrollo de ganado de primer consumo (Belhadj Slimen I. et al., 2023).

Uno de los puntos más destacados por Ordoñez-Araque & Egas-Montenegro et al., 2021, es el bajo impacto ambiental de la población de insectos, se menciona que la cría de insectos requiere significativamente menos recursos en comparación con la ganadería tradicional; por ejemplo, se necesita menos recurso de agua, tierra y alimento para producir la misma cantidad de proteína. Además, los insectos tienen una tasa de conversión alimentaria muy alta, lo que significa que pueden crecer exponencialmente rápido debido a su tipo de reproducción y utilizar eficientemente los nutrientes de su dieta; asimismo, la producción de los insectos también genera menos cantidad de residuos y puede llevarse a cabo en instalaciones con menor área de ocupación y en diversidad de áreas, lo que permite su integración en sistemas de agricultura urbana y periurbana.

La utilización de insectos para la conversión de residuos en proteínas ha sido objeto de estudio en este campo, el cual ha ganado atención en los últimos años. Los insectos comestibles son considerados una fuente viable para la obtención de proteínas que aporta no solo nutrientes esenciales, sino también diferentes beneficios, dentro de ellos dietas más saludables y sostenibles, además de presentar un cambio de paradigma en la producción y el consumo de alimentos, lo que es relevante en el contexto actual de crisis ambiental. (Avendaño, C., Sánchez, M., & Valenzuela, C. 2020). La investigación sobre la bioconversión de residuos utilizando insectos está en auge, y se están analizando sus ventajas en comparación con otros suplementos alimenticios ya estandarizados, el enfoque no solo tiene el potencial de mejorar la seguridad alimentaria, sino que también puede ser una solución innovadora para la gestión de residuos sólidos siendo una alternativa en creciente auge. (Long X. et al., 2024)

Actualmente diversidad de artículos ha demostrado el interés en la producción de alimentos a base de insectos centrándose generalmente en la mosca soldado-negra y la cucaracha de alcantarilla, donde resaltan el uso de insectos como una alternativa sostenible y económica en la alimentación avícola y ganadera, se resalta que los insectos son una fuente rica en nutrientes y proteínas los cuales pueden ser criados a partir de residuos orgánicos, no orgánicos, agroindustriales y domésticos, lo cual convierte en una opción viable y accesible para satisfacer la demanda de producción de alimentos procesados. Su inclusión en la dieta de animales puede reducir los costos de producción y crecimiento, sino que también mejora el microbiota intestinal y actúa como inmunomoduladores. En los últimos años, el interés por encontrar alternativas sostenibles para la obtención de suplementos proteicos ha aumentado significativamente en el pasar de los años. Diversas investigaciones se han centrado en el aprovechamiento de los residuos domésticos como fuente de proteínas, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de estas actividades y promover la economía circular. (Prósper Ortega, L. et al., 2020)

Las cucarachas son insectos omnipresentes en entornos urbanos y son conocidas por su resistencia y adaptabilidad, su capacidad de aprender y recordar la ubicación de los alimentos, les permite optimizar su tiempo de búsqueda siendo esto conocido como “radares”, se consideran generalistas en su dieta; es decir, pueden alimentarse de una amplia variedad de alimentos, por ejemplo, la *Blatella Germanica* es una especie que es conocida particularmente por alimentarse en grupos lo cual aumenta la eficiencia de la búsqueda de alimentos los cuales tienen preferencia de alimentos ricos en carbohidratos y azúcares. La *Periplaneta americana* es una cucaracha más grande y tiene un comportamiento más agresivo, según diversos estudios se ha observado que es capaz de consumir una variedad más amplia de alimentos, incluyendo materiales de origen animal y vegetal. (Neupane, A. et al., 2022); sin embargo, hasta el momento no se ha llevado a cabo un análisis comparativo exhaustivo que evalúe la eficiencia de la conversión de residuos domésticos utilizando esta especie; por lo tanto, esta investigación pretende llenar este vacío de conocimiento y proporcionar información relevante para futuros estudios en el área (Montalbán A. et al., 2022).

Además, la especie *Periplaneta americana* está siendo reconocida como un potencial recurso para la producción de proteínas debido a su alta tasa de reproducción y contenido nutricional, siendo que los insectos representan una gran parte de la biodiversidad animal, son una alternativa prometedora a fuentes tradicionales de proteína como la harina de pescado y la soja, ya que son más sostenibles y emiten menos gases de efecto invernadero. Según Samper Pérez E., 2020 la especie *Periplaneta americana* al poseer un tamaño grande y un periodo de vida más largo en comparación de otros individuos de la misma familia pueden degradar una mayor cantidad de residuos sólidos orgánicos en buen estado y en alimentos fermentados, dinámica a la que se le denomina como “bioconversión”; esta primera visión se ha proyectado para el tratamiento de residuos como una posible solución a la gestión de residuos exclusivamente a la fracción orgánica. Noriega, C. H., 2021 reafirma esta posición pues

mediante una revisión bibliográfica encontró que el individuo de esta especie presenta gran apetito por la materia orgánica, el ejemplo más significativo se da en Jinan, China, provincia que realizó una inversión en criaderos de *Periplaneta americana* con la finalidad de venderlas a establecimientos cuyos residuos pudiesen ser reducidos. La visión mencionada anteriormente se ve reflejada en la investigación de Jesus Gimenez, J. , 2020; donde, a partir del uso de 450 individuos de la especie *P. americana* para reducir 5.006 kilogramos de residuos orgánicos provenientes de cocina se obtuvo una degradación mayor al 50%, el autor hace mención a las ventajas como la disminución en su disposición final reduciendo la cantidad de botaderos, disminución en contaminación ambiental y una reducción significativa en los costos asumidos por entidades gubernamentales.

Los insectos como alternativa de degradación de residuos sólidos es solo un primer paso, pues este ciclo aborda también que muchos de estos insectos se conviertan en una fuente de nutrientes para el sector ganadero, según el análisis de Durán-Galdo, R. & Saavedra-Garcia, L., 2022, el contenido en proteínas, aminoácidos y minerales digestibles dependen de la especie y otras variables, se encontró que en saltamontes y langostas adultos el contenido de proteína es elevado; mientras que en larvas la grasa ocupa mayor porcentaje, la calidad de proteína se asemeja a la soya o caseína siendo la principal desventaja la presencia de quitina pues dificulta la digestibilidad; específicamente en individuos de *P. americana* el contenido de vitaminas es superior en comparación que alimentos comunes donde por ejemplo en valores de vitamina A se obtiene un 160,52 UI por cada 100 g, un valor bajo en comparación con otros insectos como los grillos cuya obtención en vitamina D es de 387,18 UI/100 g. Asimismo, la elección del procesamiento de insectos influye en la conservación de nutrientes; tratamientos como horneado o fritura debilitan la cantidad final de nutrientes a obtener; mientras que, la cocción o hervidos de estos individuos mejoran la obtención de mayor cantidad de nutrientes. (Durán-Galdo & Saavedra-Garcia, 2022)

Según el estudio realizado por Ou G. et al., 2024, se buscaba utilizar el subproducto de *Periplaneta americana* procesada por la Industria “Yunnan Tengyao Pharmaceutical Co.” cuya especialidad es el desarrollo farmacéutico, mediante la compra del residuo cuyo contenido son ingredientes activos se procedió al procesamiento para distribuirlo en 300 pollos cuya división aleatoria resultó en 6 grupos donde se reemplazó la harina de soya por dietas a base del subproducto de *P. americana* en fracciones del 20% al 100% durante 42 días, donde los parámetros a evaluar consistieron en la supervivencia, crecimiento, cambios en la morfología y actividad digestiva; los resultados evidenciaron que los grupos que se alimentaron con 40% del subproducto obtuvieron mayor ganancia y la tasa de conversión alimentaria fue mayor en el grupo de 20 y 40%; además, en la morfología y actividad digestiva se presenció un aumento en vellosidades intestinales que permite digerir y absorber nutrientes de forma más efectiva, tales resultados concluyeron que la harina de *P. americana* puede reemplazar la harina de soya sin generar efectos negativos en pollos, siendo la proporción más adecuada entre el 20 a 60%.

El estudio en especies aviares como pollos representan la especie con mayor rendimiento para construir un camino hacia la seguridad alimentaria, la investigación de digestibilidad de nutrientes proveniente de harinas de insectos en estos individuos resulta en un análisis objetivo con resultados viables, confiables y rápidos en comparación con otras especies ganaderas; el estudio realizado por Kovitvadhi, A. et al., 2021, busco comparar las fuentes de proteína de diferentes insectos basándose en cuán eficaz es la digestibilidad in vitro en pollos y codornices; la evaluación consistió de 18 insectos incluyendo ninfas de la especie *P. americana* consumidas por 3 especies (pollos de engorde, pollos de carne negra y codornices); los resultados ubicaron a la especie *P. americana* con una digestibilidad de la materia seca entre 60.6%, 64.1% 68.2%, digestibilidad de la materia orgánica entre el 59.1%, 67.5% y 68.3% y digestibilidad de la proteína bruta 49.1%, 46.5% y 46.8% en las tres especies evaluadas pollo de engorde, carne negra, codornices respectivamente. Los resultados para la

especie *P. americana* demuestran su capacidad como insumo alimentario para pollos y codornices; sin embargo en comparación de otras especies como *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*, *Achroia grisella* se encuentra en un 10% por debajo de la digestibilidad; además, en general las proteínas encontradas eran superior en materia seca, materia orgánica y proteína bruta que en proteínas de origen vegetal, concluyendo que todos los insectos tiene gran potencial para ser utilizados como piensos en alimentos para animales de producción.

Asimismo, Del Castillo F., 2020 buscó determinar el nivel de conversión de residuos sólidos a harina aplicado como suplemento en 20 pollos bebes divididos en dos grupos de 10 donde un grupo fue alimentado con iniciarina (alimentación normal) y el otro con harina de cucaracha más iniciarina, se utilizaron 450 individuos de la especie *P. americana* divididas en 9 criaderos con condiciones ambientales durante 90 días; las principales variables a medir fueron la longitud y el peso comparando el inicial con el final donde se obtuvo un incremento sustancial aunque diferente en las individuos de aproximadamente 0.68 gr inicial a 0.91 gr final. La efectividad del suplemento se observó en los 10 pollos alimentados únicamente con harina de cucaracha más iniciarina pues la diferencia a 10 días fue de 93.5 gr a favor de la mezcla harina de cucaracha más iniciarina; además de observarse un incremento en el tamaño, mayor cantidad de movimiento, patas más gruesas y crestas con rápido desarrollo.

Según Sule S. et al., 2021, aborda el tema de la digestibilidad en la investigación sobre los efectos del uso de la especie *P. americana* en alevines de la especie *Clarias gariepinus* durante un periodo de 56 días con tres dietas experimentales (dieta control, dieta 10% de harina de *Periplaneta americana* y dieta de 10% de harina de pescado), los valores de digestibilidad en la comparación evidenció que la harina de pescado es significativamente mayor a la dieta basal; sienta en proteína 88.5% - 87.0%, materia seca 87.4% - 86.8%, energía 86.9% - 85.5% y grasa 39.7% - 27.8% respectivamente; además, se evidenció una diferencia significativa positiva para la dieta a base de harina de cucaracha en parámetros de crecimiento; ganancia

promedio de peso, tasa de crecimiento, índice de eficiencia proteica, índice de conversión alimenticia, tasa de supervivencia y utilización neta aparente de proteínas, concluyendo que la harina de *Periplaneta americana* puede ser un sustituto de otras harinas destinadas para el consumo de animales; sin embargo, su nivel de inclusión se limita a un 10% por lo que se requiere generar más estudios para obtener niveles más altos de inclusión.

Según Khajui F. et al., 2022 en su estudio buscó determinar la composición química en la especie *Periplaneta americana* comparando propiedades como la degradabilidad y composición de ácidos grasos con otras fuentes alternativas para el consumo ganadero (harina de soja, harina de pescado, harina derivadas de productos avícolas) estudiados para el consumo en rumiantes, el procesamiento de los individuos de la especie *P. americana* consistió en su almacenamiento por un periodo de 2 horas en -20°C para luego ser tratadas con nitrógeno líquido y posteriormente ser trituradas; se formularon 5 dietas (control, 3% de harina de pescado, 3% de polvo de cucaracha y 3% de harina derivada de productos avícolas) que fueron dadas a dos novillos de especie Holstein buscando determinar la degradabilidad de la proteína. En los resultados se evidenciaron que la especie *P. americana* presentó los niveles más altos de materia orgánica junto con la derivada de productos avícolas, se encontró que la harina de pescado presentaba los niveles más altos de proteína cruda con 65.6%, seguido de la harina de *P. americana* con 55.05% y la harina de los subproductos avícolas 54.04%; el contenido de cenizas en la harina de *P. americana* fue el valor más bajo con 3.76% en comparación con las demás dietas que variaba entre 3.86 - 5.62%. Los análisis de degradabilidad de la fracción soluble en la harina de pescado y la harina de soja estaban por encima de otras dietas, en proteína cruda la degradabilidad de la harina de *P. americana* en todas las velocidades de paso por el rumiante era superior a las otras fuentes; se concluyó que la harina proveniente de la especie *P. americana* es una fuente viable de proteínas y ácidos grasos en individuos rumiantes.

La comunidad científica ha despertado interés en determinar cómo los factores en la crianza pueden afectar en la crianza de insectos, según Loiotine Z. et al., 2024, la idea de que los insectos también pueden verse afectados por las condiciones de manipulación presentando reacciones químicas; en vertebrados las actividades de “escape” o “lucha” generan la secreción de catecolaminas (adrenalina y norepinefrina) cuya consecuencia se vierte en aumento de la presión arterial, frecuencia respiratoria, fuerza muscular y lucidez; comparado con insectos la función de la catecolamina se reemplaza por una amina biógena denominada “octopamina” que se acompaña con la serotonina y dopamina; los estudios encontraron que los niveles de octopamina se elevaron sin importar el tipo de estrés mecánico, físico, químico o térmico; sin embargo, la evidencia de la manipulación en insectos aún es paupérrima y se sugiere un efecto negativo en la supervivencia ocasionando un menor número de larvas bio-convertidas, reduciendo su capacidad de reproducirse y afectando los rasgos propios de su ciclo de vida.

Según el estudio Kovitvadhi, A. et al, 2019; presentaba como objetivo reemplazar la dieta proteica de harina de pescado y subproductos de animales para el consumo de la carne de pato, en contexto la harina de insectos emerge como una opción prometedora ya que contiene nutrientes favorables, presenta bajos costos de producción y es una opción zero waste. Los insectos estudiados fueron el gusano de la harina amarilla (*Tenebrio molitor*), el gusano de la harina gigante (*Zophobas morio*), y la mosca doméstica (*Musca domestica*), entre otras, todas las opciones han mostrado un potencial significativo como fuentes alternativas de proteínas para los patos, el estudio se ha centrado en la digestibilidad in vitro de estas harinas, utilizando extractos de enzimas crudas de tractos digestivos de patos tipo carne (Cherry Valley) para comparar la digestibilidad de la materia orgánica (OMd) proteína cruda (CPd). Los resultados han revelado variaciones en los componentes químicos entre diferentes tipos de harina de insectos, así como correlaciones entre la digestibilidad y la composición química; el análisis nutricional de la harina de cucaracha doméstica se presenta como una alternativa viable para

promover una acuicultura sostenible, especialmente en la crianza del camarón blanco y replicable en dietas de otros organismos acuáticos (*Litopenaeus vannamei*).

Según el estudio Aguilar Loayza, F et al., 2023 la harina de cucaracha, rica en nutrientes esenciales, se posiciona como una solución a los desafíos que enfrenta la acuicultura moderna, como la dependencia de ingredientes tradicionales que pueden ser costosos y no siempre sostenibles. El estudio de Aguilar Loayza F. A, et al., 2023 destaca la importancia de evaluar la composición nutricional de la harina de cucaracha y su impacto en el crecimiento y la salud del camarón blanco. Se ha demostrado que incluir este producto final (harina) en la dieta de los camarones ayudar a la mejora de su rendimiento, lo que sugiere que la harina. Cabe resaltar, que el estudio resalta la necesidad de realizar análisis exhaustivos sobre la digestibilidad y el valor nutricional de la harina de cucaracha, lo que permitirá optimizar su uso en la alimentación acuícola. En conclusión, la harina de cucaracha doméstica representa una opción prometedora para la acuicultura sostenible, que contribuye a la diversificación.

La capacidad de los insectos no solo se basa en la generación de proteínas, en el estudio de los concentrados proteicos de hormigas santandereanas (*Atta laevigata*) según Palma Egas, A. et al., 2023 ha cobrado relevancia especialmente por su potencial como fuente de proteínas y sus propiedades bioactivas. El estudio se concentra en la caracterización de concentrados y la capacidad antiinflamatoria tras el proceso de digestión gastrointestinal in vitro. Las hormigas cortadoras de hojas, son reconocidas por su papel ecológico. El análisis de la capacidad antiinflamatoria de los concentrados proteicos de *Atta laevigata* es particularmente significativo, ya que la degradación es un factor común en diversas enfermedades crónicas, se recalca que los compuestos presentes en estas hormigas podrían tener efectos beneficiosos en la modulación de procesos inflamatorios, lo que abre nuevas posibilidades para su uso en la formulación de suplementos alimenticios y en la industria farmacéutica.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Seguridad alimentaria

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 2, enfocado en la “Seguridad alimentaria”, constituye una meta establecida por las Naciones Unidas para plantear soluciones al problema del hambre y la malnutrición en el mundo, teniendo como objetivo garantizar el acceso para todos a una alimentación adecuada y nutritiva de manera sostenible. La seguridad alimentaria, como concepto, se entiende como la disponibilidad, el acceso y aprovechamiento de alimentos seguros, nutritivos y suficientes para satisfacer las necesidades y preferencias alimentarias de las personas (ODS, 2015); en términos simples, es un componente clave para lograr un desarrollo sostenible y reducir los índices de pobreza. En este contexto, el presente estudio se posiciona como un primer acercamiento a la implementación de principios de economía circular, al proponer el aprovechamiento de residuos orgánicos como insumo para la producción de biomasa nutritiva mediante *Periplaneta americana*, contribuyendo así a la generación de alternativas sostenibles para la seguridad alimentaria.

La seguridad alimentaria trasciende la mera disponibilidad de alimentos, ya que implica también asegurar un acceso constante a productos de calidad nutricional y sanitaria, para lograr este objetivo, resulta necesario abordar diversos desafíos, tales como el incremento de la producción agrícola y pecuaria, la promoción de la agricultura sostenible, la mejora de la infraestructura rural y la inversión en investigación y tecnología agrícola; asimismo, un enfoque clave debe ser la reducción del desecho y desperdicio de alimentos a lo largo de su cadena de suministro, así como la disminución de las desigualdades en el acceso a los mismos tanto a nivel nacional como global; estos aspectos implican garantizar que las poblaciones más vulnerables, como pequeños agricultores, mujeres y niños, dispongan de los recursos necesarios para producir y obtener alimentos que satisfagan sus requerimientos nutricionales.

En este sentido, la investigación desarrollada aporta evidencia inicial sobre cómo la valorización de residuos orgánicos puede integrarse a sistemas productivos.

La seguridad alimentaria se encuentra intrínsecamente relacionada con otros objetivos de desarrollo sostenible (ODS), tales como la erradicación de la pobreza extrema, la igualdad de género y la protección del medio ambiente, entre otros aspectos fundamentales; por lo tanto, progresar en la seguridad alimentaria actúa como un catalizador para la construcción de sociedades más resilientes y orientadas hacia el desarrollo sostenible (Prósper Ortega, L., 2020); bajo esta perspectiva, el estudio no solo aborda la producción de proteína alternativa, sino que también proyecta la integración de modelos circulares que permitan reincorporar residuos en nuevos ciclos productivos.

En este marco, resulta importante comprender que la transición hacia sistemas alimentarios sostenibles requiere innovaciones que integren el conocimiento científico con soluciones prácticas adaptadas a contextos locales, la utilización de insectos detritívoros como *Periplaneta americana* representa una alternativa emergente que no solo optimiza el uso de recursos, sino que también reduce la presión sobre sistemas productivos convencionales. Desde una perspectiva teórica, este enfoque se alinea con los principios de sostenibilidad fuerte, donde los residuos dejan de ser considerados desechos y pasan a formar parte de nuevos ciclos de valor; asimismo, permite repensar la relación entre producción y consumo, promoviendo una visión más eficiente y responsable del uso de los recursos naturales. En términos sociales, este tipo de propuestas abre oportunidades para el desarrollo de economías locales, especialmente en comunidades con acceso limitado a tecnologías complejas; además, a nivel ambiental, contribuye a la reducción de emisiones y al manejo adecuado de residuos orgánicos, aspectos clave en el contexto del cambio climático y de igual manera, fortalece el vínculo entre seguridad alimentaria y gestión ambiental, dos ejes fundamentales del desarrollo sostenible.

2.2.1.1. Nuevas Fuentes Alimenticias

La cría de insectos se presenta como una de las alternativas alimentarias sostenibles más viables, debido a sus múltiples beneficios ambientales y económicos. Según la Lim X, 2022 en su publicación con la Sociedad Química Americana se observa la comparación de las partes comestibles y el área de suelo que ocupan el ganado vacuno, porcino, avícola e insectos; tanto los requerimientos del recurso agua y solo se observa que el ganado vacuno quién duplica los valores de la cría de insectos y genera 15 veces más emisiones de CO₂-eq (unidad de medida del calentamiento global) representado en un mayor aporte al calentamiento global. En la **Tabla 1.**, se observa los beneficios de insectos en procesos productivos como el menor consumo de recursos y menor cantidad de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) proporcionando cantidades similares de proteína que varían de acuerdo al proceso (Gahukar R. T., 2016).

Tabla 1.

Parámetros de uso de recursos e impacto ambiental

	Unidades	Insectos*	Avícola	Porcino	Vacuno
Porcentaje de biomasa digestible	%	80% [G]	55%	55%	40%
Índice de conversión alimenticia	Kg	2,1 [G]	4,5	9,1	25
Producción de equivalentes GEI/ kg de ganancia de masa corporal	g	1,57 [G]	-*	1,13	2,85
Producción de contaminación por amoníaco/kg de ganancia de masa corporal	mg	142 [G]	-*	1920	-*
Potencial de calentamiento global	Kg	2,65 [GH]	2,67	3,87	12,51
Uso de energía	MJ	173 [GH]	151	249.0	275
Uso de la tierra	m ²	18 [GH]	51	63	254
Uso de agua	Litros [L]	2 [G]	24	57	112
Insecto: Información basa en Gusano de harina [GH], grillos[G] / - : NO DATA					

Nota. Adaptado de Edible insects farming: efficiency and impact on family livelihood, food security, and environment compared with livestock de Gahukar, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-8028568.00004-1>

2.2.1.2. Subproductos de invertebrados

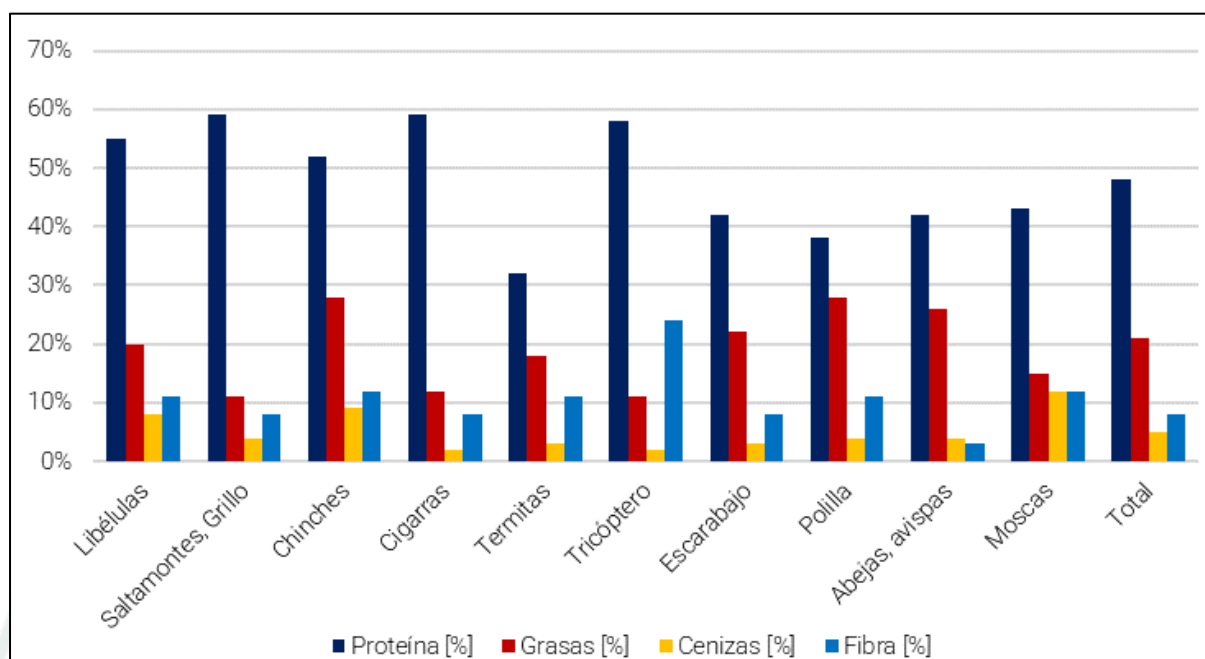
Los productos finales de insectos como el insecto vivo, seco, harina y alimento procesado; en sus presentaciones pueden ser producidos para consumo humano como para su consumo animal (Quirós-Blanco A. et al., 2019); se ha observado que existen insectos comestibles en diferentes formatos para el consumo humano con un contenido de 1 - 25 % de harina proveniente de insectos; los de mayor amplio uso son los grillos, seguido de la mosca soldado negro "*Hermetia illucens*" y gusanos de harina "*Tenebrio molitor*" (Avendaño C. et al., 2020).

En el campo de la alimentación animal relacionado con el uso de insectos, la harina de insectos es el de mayor producción; en segundo lugar, la harina de insecto desgrasada debido a que presentan los valores de proteína seguido de la producción de aceite de insectos con elevadas concentraciones de ácido láurico, palmítico, linoleico y oleico (Melgar-Lalanne G. et al., 2019).

2.2.1.3. Aprovechamiento de Insectos

Según Ojha S. et al. (2020), el creciente interés científico en el uso de insectos como alimento y piensos resalta su potencial como una fuente de recursos, esto se debe a que representan una vía fácil y asequible para la obtención de alimentos con altos valores nutritivos. Asimismo, según el especialista entomólogo Van Huis en el informe FAO - 2013 hace mención a los "enormes beneficios ambientales" en la producción de proteína animal en comparación con otras fuentes alimenticias para ganado; pues en su proceso requieren un menor uso de recursos como suelo y agua, generando menor emisión de gases de efecto invernadero - GEI (Van Huis A. & Rumpold B., 2023), esta afirmación concuerda con datos como los de Mateos A. A., 2019 en la **Figura 1.**, donde los niveles de proteínas en insectos alcanzan valores mayores al 30% .

Figura 1. Composición nutricional según su taxonomía [% materia seca]



Nota. Adaptado de Insectos como Piensos, alimentos y productos básicos: Oportunidades y Retos Entomofagia, por Mateos A. A., 2019. Real Academia de Ciencias Veterinarias.

2.2.1.1. Uso de Insectos en Perú

Los insectos, constituyendo la clase animal más diversa del planeta, poseen una notable versatilidad reproductiva y evolutiva que les ha permitido colonizar y prosperar en una amplia gama de ecosistemas, permitiéndoles desarrollar capacidades de adaptación a entornos climáticos extremos en periodos de tiempo relativamente cortos; es por ello, que la entomofagia, definida como el consumo de insectos y sus derivados con fines nutricionales o terapéuticos, es una práctica cultural ancestral y globalmente extendida (Rivera J. & Carbonell F., 2020).

En Sudamérica, particularmente en la Amazonía peruana, las poblaciones indígenas han integrado históricamente el consumo de insectos y otros artrópodos en su dieta (Gasca-Álvarez & González, 2021); sin embargo, a pesar de esta tradición, la documentación de su distribución geográfica, formas de consumo y perfil nutricional es limitada (Rivera J. & Carbonell F., 2020), esta escasez de información contribuye a un patrón de subutilización de este valioso recurso.

2.2.2. Especie *Periplaneta americana*

El orden *Blattodea* agrupa a los insectos comúnmente denominados como “cucarachas”, “cutia” o “baratas” que constituyen un grupo taxonómico con una antigüedad de millones de años; presentan una distribución cosmopolita y se distinguen morfológicamente por su cuerpo con forma aplanada, sus antenas largas y sus alas bien desarrolladas; insectos de la orden *Blattodea* son especialmente comunes en áreas con condiciones “cálidas y húmedas”.

Dentro de esta orden, la especie *Periplaneta americana* (cucaracha americana) ha adquirido un alto valor biológico y una creciente relevancia en campos como la biotecnología y la formulación de alimentos para animales; esta importancia radica en su composición corporal pues contiene proteínas, lípidos, junto con una rica fuente de macrominerales y microminerales clave, como calcio, hierro y zinc, así como compuestos bioactivos con efectos antioxidantes e inmunomoduladores (Ukoroije R. & Bawo D., 2020).

2.2.2.1. Morfofisiología

La morfofisiología de “*Periplaneta americana*” conocida popularmente como cucaracha americana o cucaracha roja según Zhukovskaya & Novikova, 2023 presenta tres partes principales, la cabeza, el tórax y el abdomen que le confiere la capacidad de adaptación y resistencia a condiciones adversas, entonces:

- **Cabeza:** Esta región alberga los órganos sensoriales y las piezas bucales; en ella se ubican las antenas largas y delgadas que les permiten detectar olores y percibir movimientos en su entorno, tienen dos ojos compuestos que les brindan una visión panorámica.
- **Tórax:** Dividido en tres segmentos; protórax, mesotórax y metatórax, cada segmento está equipado con un par de patas, lo que les permite moverse rápidamente en diferentes superficies; también tienen dos pares de alas, aunque no todas las cucarachas americanas tienen la capacidad de volar.

- **Abdomen:** Tiene una estructura de forma alargada que se compone por 10 segmentos visibles, en los individuos machos se presentan cercos que son estructuras en forma de pinza en la parte posterior del abdomen; mientras que, en las hembras se presenta un ovopositor la cual es una estructura para la deposición y protección de la ooteca que asegura la viabilidad de la progenie.

En cuanto a su fisiología, *Periplaneta americana* es un insecto ectotérmico; es decir, su temperatura corporal varía según la temperatura ambiente, esta dependencia para regular su propia temperatura corporal explica su éxito en una gran diversidad de hábitats, desde ambientes cálidos y húmedos hasta fríos y secos; esta característica también explica su distribución cosmopolita. Además, su dieta omnívora sumada a un eficiente sistema digestivo le otorga la capacidad de extraer y asimilar nutrientes de una vasta variedad de fuentes alimenticios incluyendo restos de alimentos, materia orgánica en descomposición, insectos, etc. (Costa M & Kozubsky L., 2023).

La **Tabla 2.** Se muestra las diferencias de cada sexo las cuales pueden ser explicadas en relación a sus funcionalidades; por ejemplo, el mayor ancho corporal y peso de la hembra ($H > M$) es una adaptación a la reproducción ya que es la hembra quien desarrolla órganos reproductores para almacenar la ooteca; además, un mayor desarrollo alar y mayor longitud de las antenas en el macho ($M > H$) se relacionan con su reproducción y dispersión (Joda A. et al, 2023); las alas facilitan su desplazamiento hacia las hembras, cuya localización se debe las antenas que presentan hipersensibilidad debido a que tienen un Complejo Macrogglomerular más grande que les permite detectar las feromonas sexuales (Nishino H., Yoritsune A. & Mizunami M., 2010).

Tabla 2.*Dimorfismo Sexual en Periplaneta americana*

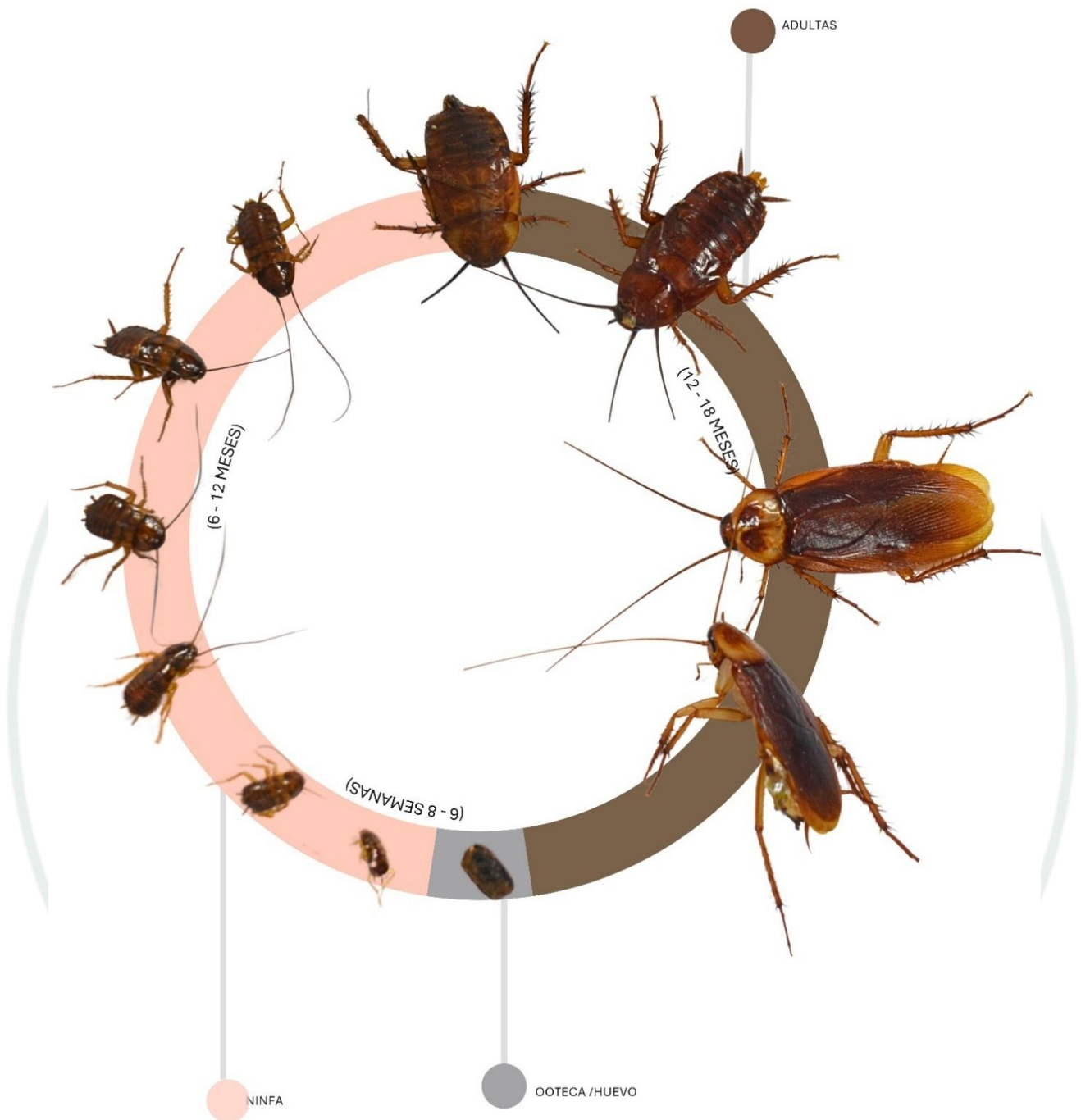
Característica	Hembra [H]	Macho [M]	Dimorfismo
Longitud del cuerpo	Menor longitud	Mayor longitud	$M > H$
Ancho del Abdomen	Significativamente más ancho	Más alargado y estrecho	$H > M$
Ancho del pronoto	Ligeramente mayor o similar	Ligeramente menor o similar	$H \geq M$
Longitud de alas	Cubren el abdomen hasta la punta o levemente antes	Sobrepasan la punta del abdomen	$M > H$
Longitud de Antenas	Menor longitud	Mayor longitud	$M > H$
Peso Corporal	Significativamente mayor	Menor peso	$H > M$
Estructuras Terminales Abdominales	Solo poseen un par de cercos con ausencia de estiletes.	Tienen un par de cercos y un par de estiletes (órganos táctiles).	-
Longitud de los Cercos	Más cortos con 13 o 14 segmentos	Más largos con 18 o 19 segmentos	$H < M$

Nota. Propia basado en Life-history traits from embryonic development to reproduction in the American cockroach. <https://doi.org/10.3390/insects13060551> de Lin L. et al, 2022 & Evaluación en mesocosmos de la descomposición de residuos sólidos domésticos mediante cucarachas americanas *Periplaneta americana* (LINNNAEUS, 1758) en la Amazonía Ecuatoriana de Espinoza F. & Zambrano C., 2020. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/822>

2.2.2.1. Ciclo Reproductivo

La reproducción de la *P. americana* es estrictamente sexual, iniciando con un cortejo donde los machos utilizan feromonas y movimientos para atraer a las hembras; tras la fertilización la hembra forma una cápsula protectora denominada ooteca, dentro de la cual se depositan entre 14 y 16 huevos en lugares oscuros y húmedos, adhiriéndola a una superficie segura hasta su eclosión (Espinoza F. & Zambrano C., 2020). Este proceso de incubación, en el que los individuos permanecen en estado embrionario dentro de la ooteca, se extiende por un lapso de 5 a 7 semanas; estudios como el de Lin L. et al. (2022) han determinado que el periodo embrionario es de aproximadamente 35 días a una temperatura óptima de 29 °C; seguido de una prolongada etapa ninfal que precede la madurez sexual como se puede observar en la **Figura 2**.

Figura 2. Ciclo de vida *Periplaneta americana*.



Nota. El ciclo de vida de *P. americana* con individuos extraídos de los recipientes de 40 L. de la muestra 2, el periodo en el que la ooteca eclosiona demora entre 6 a 8 semanas, la etapa de ninfa se subdivide en ninfas jóvenes caracterizadas por presentar un color marrón grisáceo y las ninfas más maduras mudan de piel a un marrón rojizo, esta toma un periodo adulto que toma un periodo entre 6 a 12 meses; seguidamente en el estadio adulto donde se caracterizan por sus alas completamente formadas y pueden permanecer en esta etapa entre 12 a 18 meses.

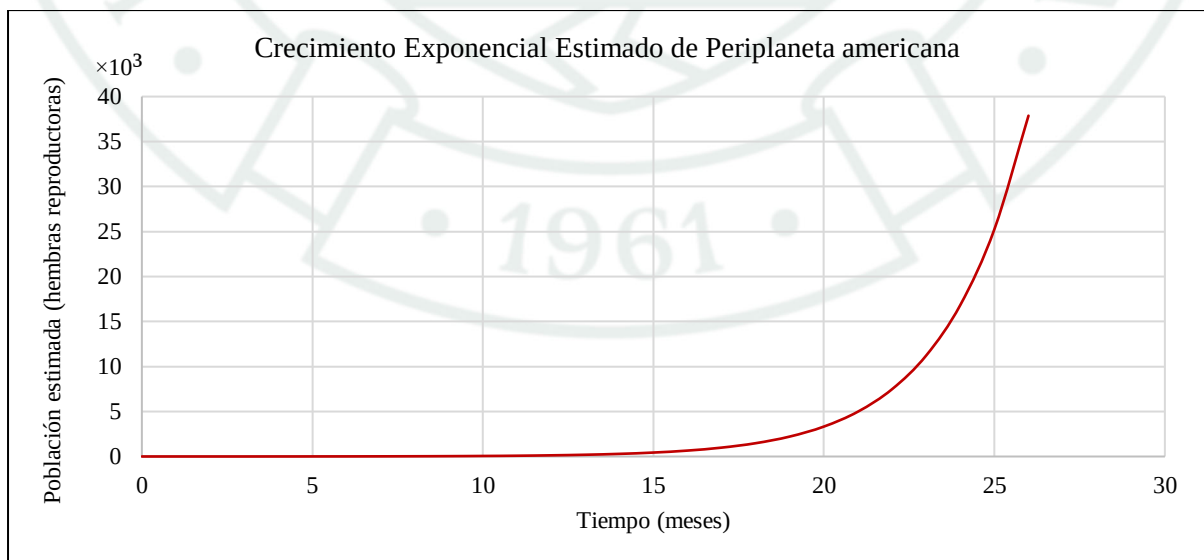
El desarrollo desde ninfa hasta el estadio adulto puede extenderse variando desde varios meses hasta un año, lo cual depende de factores ambientales como la temperatura y la disponibilidad de recursos; con condiciones ambientales favorables, las hembras exhiben una capacidad reproductiva sostenida pudiendo producir ootecas de forma continua; depositando en promedio alrededor de una ooteca por mes, aunque se han registrado picos reproductivos de hasta dos ootecas por semana (Chen Z. et al., 2023). Para cuantificar el crecimiento poblacional, se usa la fórmula de crecimiento exponencial continuo que permite estimar la dinámica poblacional bajo condiciones ideales con recursos ilimitados:

$$P(t) = Ce^{kt}$$

donde $P(t)$ es la población en el tiempo, t es tiempo medido en meses, C es la población inicial y k la tasa de crecimiento exponencial mensual.

Como indicador del periodo entre reproducciones se toma el intervalo medio entre ootecas puestas por hembra; un valor representativo bajo condiciones comunes es ~1 ooteca al mes en promedio, con ~16 huevos (IFAS, 2025); esta información convertida en tasa de crecimiento continua se representa en:

Figura 3. Crecimiento Exponencial estimado de *Periplaneta americana*



Nota. Propia.

La **Figura 3.** muestra el crecimiento poblacional de *P. americana* en 26 meses; este comportamiento se basa en una tendencia de crecimiento exponencial, característico de especies con altas tasas de reproducción y baja mortalidad inicial en condiciones ambientales favorables (Brenner R. & Kramer R., 2019); con una población inicial mínima se observa un incremento progresivo en los primeros meses, la fase exponencial se puede observar a partir del mes 12; para a partir del mes 20 generar un ritmo de aumento pronunciado.

2.2.2.2. Etapas de Desarrollo

Según Borah N. & Hazarika L., 2023; el género se diferencia en cada etapa de su ciclo de vida con un periodo aproximado de 200 a 400 días que consta de 3 etapas:

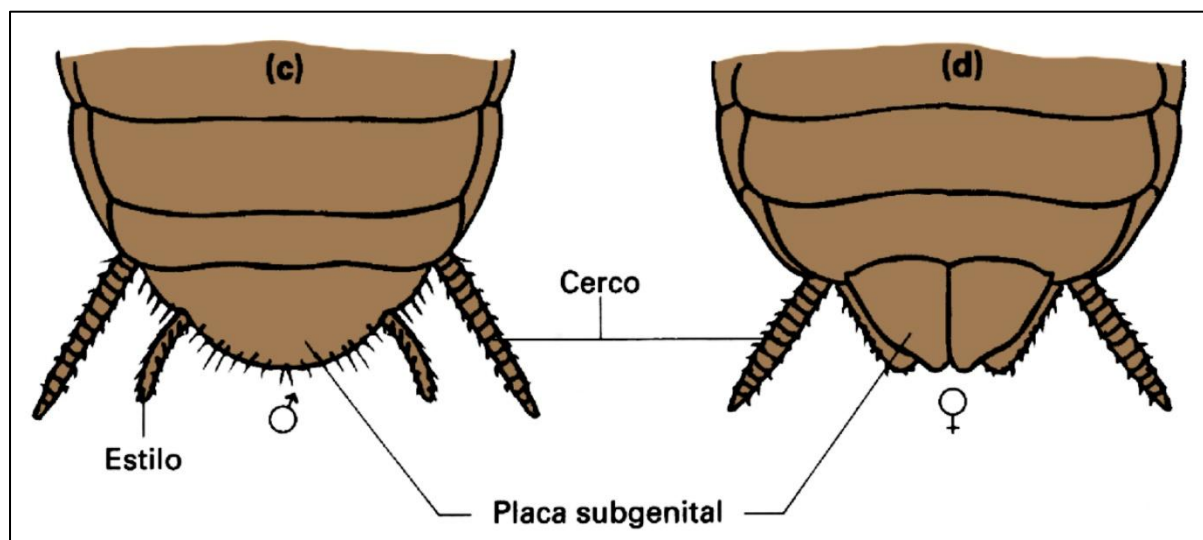
- **Huevo.** Se encuentran de forma pareada al interior de la bolsa u ooteca (estructura hermética) de 8 mm (largo), dura de aspecto coriácea y con feromonas de repulsión, se resguardan hasta la eclosión de las ninfas, esta estructura contiene 14 - 16 huevos de color café oscuro, la hembra es capaz de poner de 15 - 90 ootecas entre una por semana que al ser colocadas son aseguradas mediante secreciones bucales de la hembra (Ponce G., 2005).
- **Ninfa.** Se caracterizan por presentar genitales externos en desarrollo y alas poco desarrolladas, se da a los 50 - 55 días luego de la etapa de huevo; ninfas jóvenes inicialmente tienen coloración café grisáceo con una marca lineal en la zona larga media de la espalda que luego de mudar se torna café rojizo; la duración de esta etapa es de 160 - 971 días (Contreras M., 1989).
- **Adulto.** De acuerdo al sexo varía el tiempo de vida en hembras es de 15 meses aprox. y los machos tienen periodos de vida más cortos (Jacobs S., 2002); en ambos sexos llegan a medir entre 34 - 35 mm con una línea en el pronoto, presentan alas completas y cercos (**Figura 4. y Figura 5.**).

Figura 4. Género de *Periplaneta americana*.



Nota. A la izquierda Especie *P. americana* Hembra esta se puede identificar fácilmente por los cercos inferiores, su protuberancia más ancha en la parte del abdomen esta se genera generalmente para poder producir y almacenar sus ootecas sus huevos y el tamaño y a la derecha Especie *P. americana* Macho esta se puede identificar fácilmente por los cuatro estilos inferiores que este tienes y el tamaño que generalmente es más grande que la hembra.

Figura 5. Hembra adulta y macho adulto, Orden Blattodea.



Nota. De Clase Insecta, Orden Blattodea por Pascual T. F., 2015. Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. http://seaentomologia.org/IDE@/revista_48.pdf

2.2.2.3. Requerimientos Climáticos

Los individuos de la especie *Periplaneta americana* son capaces de adaptarse, sobrevivir y prosperar en una amplia gama de condiciones climáticas, su preferencia tiende a hábitats cálidos y húmedos con temperaturas ideales que oscilan entre los 25 - 30 °C; sin embargo, se ha observado que son susceptibles al frío extremo, llegan a soportar períodos de exposición a temperaturas de -4 °C sin que se alteren sus funciones y a temperaturas superiores a los 38 °C (Espinoza F. & Zambrano C., 2020). La especie requiere un nivel de humedad relativamente alto para sobrevivir, prefieren ambientes con una humedad relativa de alrededor del 50 al 75 %, la falta de humedad puede afectar su capacidad de reproducción y supervivencia (Espinoza F. & Zambrano C., 2020). Según Talgi, 2016 presentan un estado de diapausa suspendiendo sus actividades metabólicas cuando se encuentran sin recursos de comida y agua; además soportan períodos largos de estrés hídrico, tales capacidades se deben a que esta especie puede absorber la humedad presenten los alimentos a través de su cuerpo.

Además, si a la especie *Periplaneta americana* si se le desprende la cabeza esta especie puede sobrevivir dos semanas y presenta un poder adaptativo alto a los insecticidas (Guerrero G. & Cadena F., 2016); la resistencia del orden *Blattidae* se puede explicar debido a las enzimas que poseen generando la inactivación de insecticidas mediante la transformación a sustancias y a su capacidad de mutación de proteínas en su sistema nervioso para generar cambios en la configuración química de los insecticidas (Espinoza F. & Zambrano C., 2020). Su exoesqueleto le permite secretar antibióticos posicionándolos como invulnerables ante ataques de bacterias, hongos y otros agentes patógenos (Sánchez -Pedraza R., 2011).

Se ha observado que *Periplaneta americana* al agruparse y permanecer en huecos, rendijas o conductos crea un pequeño microclima propio; lo que termina por generar una disminución en la circulación de aire y acumulando respiración, calor corporal y vapor de agua, lo que eleva localmente la humedad y puede aumentar ligeramente la temperatura respecto al ambiente exterior asegurando una estabilidad térmica del grupo (Calvo M. et al., 2019); este microclima se explica en la deposición de heces y secreciones en los refugios, generando compuestos cuticulares que atraen y retienen a otros individuos promoviendo la ocupación continua de los sitios, el acondicionamiento de la superficie y perpetuando estos sitios en tiempo. Además, el efecto funcional del microclima puede relacionarse con la reducción de fluctuaciones térmicas y desecación, mejorando las condiciones para el desarrollo y supervivencia de las ninfas y adultos; la tolerancia térmica y condiciones de humedad se relacionan con el aspecto social, pues hay un cambio en el temperatura y humedad cuando se agregan individuos y la decisión de emigrar o permanecer en el lugar determina cuánto tiempo se mantiene ese microambiente protector (Chown S. & Terblanche J., 2006).

2.2.2.4. Desarrollo Conductual

La especie *Periplaneta americana* se caracteriza por ser una especie peridoméstica (Borah N. & Hazarika L., 2023); es decir, requiere de un sitio que lo albergue debido a sus necesidades de agua, alimento y para la protección contra el estrés climático y depredadores. Esta especie es omnívora pues se alimenta de toda materia orgánica; en su dinámica de comportamiento se hace mención a que prefieren lugares con elevados niveles de humedad (Calvo M. et al., 2019).

Esta especie presenta tres tipos de comportamiento que varía acorde a las etapas de vida; esta especie puede ser gregarias generalmente presentes mayormente en la etapa adulta donde se encuentran por agregación (Nicolis S. et al., 2020), también pueden presentar un comportamiento sub-social que se caracteriza por el cuidado de los padres a las ninfas (Pellens R., 2007) y su comportamiento en solitario está presente en la etapa de cortejo con la presencia de feromonas (Borah N. & Hazarika L., 2023).

2.2.2.5. Información nutricional

La *P. americana* presenta un alto contenido de macronutrientes, principalmente proteínas de calidad, además de lípidos ricos en ácidos grasos insaturados y carbohidratos en menor proporción; en macronutrientes según Boate U. & Suotonye B., 2020 en el artículo “Cockroach” (*Periplaneta americana*): Nutritional Value as Food and Feed For Man and Livestock” menciona que la harina de *P. americana* muestra en sus resultados valores de proteína bruta obtenida de $8,72 \pm 1,3 \%$, grasa bruta obtenida de $17,64 \pm 1,9 \%$, fibra obtenida de $21,28 \pm 2,1 \%$, Carbohidratos (método seco) en $87,56 \pm 4,2 \%$ y Carbohidratos (extracto nitrogenado libre); esto puede variar en su composición dependiendo de varios factores como la etapa de desarrollo, la dieta y el entorno en el que se crían.

Según Ramos-Elorduy J. & Pino J. (2001), dentro de su estudio generaron una comparación de la especie *Periplaneta americana* con otros alimentos convencionales, esta comparación evidenció el potencial de esta especie como fuente alternativa de micronutrientes; dentro de los principales resultados encontraron que la especie *Periplaneta americana* en su etapa ninfa para vitaminas liposolubles se encuentra por encima de alimentos como la leche de vaca (92 U.I./ 100 g) y la calabacita (86.58 U.I./ 100 g) con 160.52 U.I./ 100 g; mientras que, en su etapa adulta se encuentra por encima de la leche (14 U.I./ 100 g), el brócoli (11 U.I./ 100 g) y el huevo (9.70 U.I./ 100 g) con un valor obtenido de 29.06 U.I./ 100 g sugiriendo un perfil vitamínico competitivo. Además, dentro del mismo estudio se llevó a cabo la comparación en diferentes estadios de *P. americana* presentando variaciones en cada estado de desarrollo; por ejemplo, en la etapa adulta, alcanza concentraciones de hasta 160,52 UI de vitamina A por cada 100 g, un valor considerablemente superior al registrado durante la fase de ninfa (29,06 UI/100 g); mientras que, los niveles de vitamina C tanto en ninfas como en adultos se mantienen en los mismos niveles, estos aun resultan más altos que los registrados en vegetales de consumo común, como el jitomate y el melón; en cuanto a los demás estadios se presume que a medida que el individuo crece, mejora su capacidad fisiológica y metabólica para sintetizar y acumular nutrientes esenciales.

Tabla 3.

Vitaminas de insectos comestibles

Especie	Estado de Desarrollo	A (U.I. / 100 g)	C (U.I. / 100 g)	D (U.I. / 100 g)
<i>Periplaneta americana</i>	<i>Ninfa</i>	29.06	23.84	387.18
<i>Periplaneta americana</i>	<i>Adulta</i>	160.52	23.84	-

Nota. Adaptado de Contenido de vitaminas de algunos insectos comestibles de México de Ramos-Elorduy J. & Pino J., 2001. Revista de la Sociedad Química de México.

En la **Tabla 3.**, la Vitamina D las ninfas de *P. americana* se encuentran por debajo de ninfas de la *acheta domesticus* - grillo doméstico (852.66 U.I./ 100 g), el arenque fresco (850 U.I./ 100 g), el salmón (473.30 U.I./ 100 g) y leche de vaca fortificada (444 U.I./ 100 g); sin embargo, está por encima de las sardinas (283 U.I./ 100 g) y la especie *Sphenarium sp* - *Chapulines adultos* (164.91 U.I./ 100 g) con un valor de 387.18 U.I./ 100 g (Ramos-Elorduy J. & Pino J., 2001). En vitamina C, *P. americana* presenta bajo contenido en comparación con otras especies de insectos y alimentos convencionales, tal valor está representado en la Tabla 4.

Tabla 4.

Comparación de Vitamina C

Vitamina C (mg / 100 g)		Vitamina C (mg / 100 g)	
Guayaba	216,95	Pimiento crudo	109,00
Fresas	53,70	Jugo de naranja	62,00
Nabos	50,40	Fresa	60,00
<i>Latebraria amphipyrioides</i>	46,33	Jugo de tomate	57,00
<i>Tenebrio molitor</i> (adultos)	45,73	Brócoli	56,40
Naranja	42,92	Pimientos dulces	48,00
Col	39,10	<i>Latebraria amphipyrioides</i>	46,33
<i>Liometopum apiculatum</i>	36,14	Papaya	46,00
<i>Tenebrio molitor</i> (larvas)	36,10	<i>Tenebrio molitor</i> (adultos)	45,73
<i>Acheta domestica</i> (ninfas)	25,47	<i>Liometopum apiculatum</i>	36,14
<i>Acheta domestica</i> (adultos)	23,92	<i>Tenebrio molitor</i> (larvas)	36,10
<i>Periplaneta americana</i> (ninfas)	23,84	Naranja	35,00
<i>Periplaneta americana</i> (adultos)	23,84	Sandía	30,70
Jitomates	15,40	Toronja	27,30
		<i>Acheta domestica</i> (ninfas)	25,47
		<i>Acheta domestica</i> (adultos)	23,92
		<i>Periplaneta americana</i> (ninfas)	23,84
		<i>Periplaneta americana</i> (adultos)	23,84
		Melón	22,60

Nota. Adaptado de Contenido de vitaminas de algunos insectos comestibles de México de Ramos-Elorduy J. & Pino J., 2001. Revista de la Sociedad Química de México.

2.2.3. Residuos Sólidos

Los residuos sólidos se definen como un material, sustancia u objeto desechado luego de ser utilizado, o que cumplió con su ciclo de vida y no posee valor para su propietario, pueden ser clasificados en diferentes y varias categorías, incluyendo residuos municipales, industriales, agrícolas y peligrosos, cada uno con características específicas. Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), los residuos sólidos abarcan desde residuos orgánicos hasta productos químicos tóxicos (Guerra A. & Cajas K., 2022), esta diversidad en la composición de los residuos sólidos hace que su manejo en la disposición final sea un reto complejo; la generación de residuos sólidos está vinculada al crecimiento demográfico, desarrollo industrial y patrones de consumo, a medida que la economía se expande y urbanización avanza, los residuos sólidos aumentan significativamente.

Los residuos sólidos orgánicos son materiales desechados que provienen de seres vivos (plantas o animales), biodegradables, e incluyen restos de alimentos, poda de jardines, residuos agrícolas, y ciertos desechos de papel y cartón, entre otros; su característica distintiva es su capacidad para descomponerse de manera natural mediante acción de los microorganismos dando como resultados compuestos más simples como dióxido de carbono (CO₂), agua y materia orgánica estabilizada (Chavez T. & Quispe M., 2025).

2.2.3.1.1. Composición de Residuos Orgánicos

La composición de los Residuos Sólidos Orgánicos (RSO) varía entre países y regiones y es influenciada por factores socioeconómicos, culturales y climáticos; según el informe de Debates del Gobierno Urbano (IEU), aproximadamente el 50% de los residuos sólidos generados en América Latina y el Caribe son de naturaleza orgánica, incluyendo restos de alimentos, residuos de jardines, y desechos

agrícolas; siendo de los que menos se gestionan (IEU, 2021), este porcentaje elevado refleja patrones de consumo predominantes en alimentos frescos y productos agrícolas característico de zonas con una economía basada en la producción primaria y el autoconsumo, en contraste con regiones industrializadas donde predomina la generación de residuos inorgánicos debido al alto consumo de productos procesados, empaquetados y de un solo uso.

En los residuos orgánicos, los restos de alimentos constituyen la mayor proporción, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) reveló que ciudades como México y São Paulo - Brasil, en residuos sólidos municipales los restos de alimentos presentan entre el 40% y 50% (PNUMA, 2021), lo cual se debe a altas tasas de desperdicio de alimentos. Asimismo, los residuos provenientes de jardines y parques constituyen una fracción significativa dentro de los residuos sólidos orgánicos; en países con extensas áreas urbanas y zonas verdes, como Brasil y Argentina, los desechos generados por la poda y el mantenimiento pueden representar hasta un 20% del total de residuos sólidos orgánicos, estos incluyen hojas, ramas y césped (Arteaga & Yarasca, 2023). En Latinoamérica, los desechos agrícolas son parte significativa de los residuos sólidos orgánicos, especialmente en países con economías basadas en la agricultura como Perú y Colombia; donde los residuos agrícolas (cáscaras, bagazo y residuos de cosechas, entre otros.) pueden representar hasta un 15% de los residuos sólidos orgánicos (FAO, 2022).

2.2.3.1.2. Caracterización de Residuos Orgánicos

Según Requena-Sánchez N. & Carbonel-Ramos D., 2021, solo el 76% de la población rehúsa los residuos orgánicos del hogar empleando como alimento para animales o elaboración de compost; además, la mayor proporción de residuos corresponde a los orgánicos, representando el 72.71% del total, siendo los residuos de preparación de alimentos y maleza los más significativos con un 57.18%, seguidos por las sobras de guisos, aderezos y huesos con un 15.53%, en cuanto a los residuos inorgánicos aprovechables, estos representan el 14.25%, destacando el polietileno (3.44%) y el polipropileno (2.57%), materiales con potencial de reciclaje, evidenciado en la **Tabla 5**.

Tabla 5.

Composición de residuos domiciliarios

Tipo de residuos	Porcentaje [%]
Residuos Aprovechables	
1.1 Residuos orgánicos	
1.1.1 Residuos de preparación de alimentos y maleza	57.18%
1.1.2 Sobras de guisos de la comida, aderezos y huesos	15.53%
1.2 Residuos inorgánicos	
1.2.1 Polietileno	3.44%
1.2.2 Polietileno de alta densidad y polipropileno	2.57%
1.2.3 Residuos aprovechables diferenciados	6.76%
1.2.4 Eco ladrillo	0.93%
1.2.5 Aceite usado	0.55%
Residuos No Aprovechables	
2.1 Residuos sanitarios*	7.16%
2.2 Residuos peligrosos	1.26%
2.3 Inertes	4.63%

Nota. Adaptado de Cambios en la generación y composición de residuos domiciliarios durante la pandemia del Covid-19 de Requena-Sánchez & Carbonel-Ramos, 2021.

Un estudio basado en nueve distritos de la provincia de Arequipa; Alto Selva Alegre, Mariano Melgar, Cayma, Cerro Colorado, Characato, José Luis Bustamante y Rivero, Paucarpata, Miraflores, Mariano Melgar y Socabaya; genero encuestas para estimar la generación per cápita de los residuos; la generación per cápita obtenida fue del 0.373 Kg/hab./día, cifra que comparada con el valor del PIGARS Arequipa - 2017 de 0.49 Kg/hab./día, Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS, 2017) esta disminución puede ser explicada por un aumento en compras a domicilio provocando que en los hogares no se cocinen y no se generen residuos orgánicos.

Los residuos Orgánicos son desechos que en su mayoría son biodegradables y se descomponen de manera natural; sin embargo, no todos los residuos orgánicos son iguales, ya que pueden variar según su naturaleza, la forma en que se gestionan o su origen. La clasificación de los residuos orgánicos según el *Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019)* pueden variar de acuerdo a diferentes políticas de gestión de cada país o región y legislaciones, en el Perú se pueden identificar algunas de las categorías según su Origen:

- **Residuos de Origen Alimentario:** Se originan por actividades diarias, comprenden restos de alimentos, generados en oficinas, establecimientos educacionales, locales comerciales y restaurantes.
- **Residuos de Origen Vegetal:** Incluye residuos como las hojas, ramas, césped y otros desechos similares que pueden ser reutilizables para el compostaje o como materia prima en la producción del abono.

2.2.3.2. Contaminación por Residuos Sólidos

Durante el Foro Mundial sobre la Alimentación y la Agricultura celebrado en Berlín, el director general de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), QU Dongyu, advirtió que un aproximado del 1/3 de los suelos del planeta son actualmente degradadas y se estima que para el 2050 habrá un 10% de reducción en la producción de cultivos (FAO, 2022).

Según datos del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019), en el Perú se generan aproximadamente 21 toneladas diarias de residuos sólidos; sin embargo, solo cerca del 2% es reciclado, cifra que dista significativamente del 20% establecido como meta en la Nueva Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.L. N.º 1278); este bajo nivel de reciclaje refleja una limitada eficiencia en la administración de residuos, situación que se agrava con el aumento de la población y la expansión de las actividades agrícolas. Si bien la agricultura constituye una fuente de alimentos, también se posiciona entre las más importantes causas de degradación del recurso suelo; el uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos, prácticas de monocultivos, la deficiente gestión de los recursos naturales y la contaminación proveniente de los residuos sólidos contribuyen a la pérdida de fertilidad y al deterioro de los ecosistemas rurales.

En este contexto, el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) ha señalado que más del 25% de las tierras nacionales son deforestadas para producción agrícola y ganadería; esta expansión no solo afecta la cobertura vegetal, sino que también altera los ciclos hidrológicos y reduce la capacidad del suelo para retener nutrientes; a ello se suma la descomposición de residuos orgánicos, que bajo ciertas condiciones ambientales genera lixiviados con altas concentraciones de materia orgánica y metales pesados (Surco Reyes B., 2022).

Asimismo, uno de los problemas ambientales más relevantes asociados a esta mala gestión es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) durante la descomposición anaeróbica en rellenos sanitarios, botaderos o incluso en cuerpos de agua; este proceso libera compuestos orgánicos volátiles (COV) que deterioran la calidad del aire y contribuyen al cambio climático. según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), los residuos sólidos orgánicos contribuyen cerca del 20% de las emisiones globales de metano (IPCC, 2021), este gas liberado principalmente durante los procesos de descomposición anaeróbica en depósitos de residuos como, rellenos sanitarios, vertederos y depósitos informales; el metano posee un potencial de calentamiento 28 veces superior al del dióxido de carbono, lo que lo convierte en un agente crítico en la intensificación del cambio climático (Gharfalkar M. et al., 2020).

Una gestión inadecuada de los residuos genera consecuencias directas negativas en la salud pública; cuando los puntos de disposición final carecen de un control y monitoreo permanente se convierten en focos activos de proliferación de vectores transmisores de enfermedades como ratas, moscas y mosquitos. Es este contexto, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020) hace mención a que una exposición prolongada a entornos con alta presencia de residuos orgánicos incrementa significativamente la incidencia de afecciones gastrointestinales, respiratorias y dérmicas en la población; un país que enfrenta esta situación evidencia profundas deficiencias en su infraestructura destinada al depósito y tratamiento de residuos sólidos; además, revela limitaciones en la gestión integral de los desechos y una marcada ausencia de políticas coherentes orientadas a la prevención y la educación sanitaria.

2.2.3.3. Tecnologías en Residuos Orgánicos

Según la nueva Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Decreto Legislativo N.º 1278, 2023), el Perú impulsa la incorporación de tecnologías innovadoras orientadas a optimizar el manejo de los residuos sólidos; dichas tecnologías buscan no solo reducir la generación de residuos, sino también minimizar su impacto ambiental y social (MINAM, 2017).

- **Tecnologías de reciclaje avanzadas:** Estas tecnologías incorporan procesos innovadores para lograr una recuperación más eficiente de materiales valiosos a partir de los desechos, su objetivo es buscar soluciones más eficientes para tratar residuos difíciles de reciclar y maximizar la recuperación de recursos.
- **Tecnologías de compostaje:** Es una alternativa biotecnológica que permite la descomposición de materia orgánica para obtener compost de alta calidad que se puede utilizar como fertilizante natural; este proceso reduce significativamente el volumen de residuos sólidos orgánicos enviados a los vertederos.
- **Tecnologías de separación y clasificación automatizada:** Esta tecnología permite el empleo de sistemas automatizados con sensores ópticos, infrarrojos o electromagnéticos para identificar, separar y clasificar distintos tipos de residuos con una precisión superior a la del trabajo manual, esta automatización incrementa la pureza de los materiales recuperados; optimiza el rendimiento de las plantas de reciclaje; y reduce los costos operativos, al tiempo que fortalece la trazabilidad del proceso y mejora la calidad de los productos reciclados.

2.2.4. Sector Ganadero Arequipa

El sector ganadero de la región Arequipa es multifacético, abarcando sistemas de ganados adaptados a distintos pisos ecológicos desde la sierra alta hasta los valles y la costa; estos sistemas cumplen funciones productivas (carne, leche, fibra), socioeconómicas (sustento familiar y seguridad alimentaria) y culturales (Bello -Bravo J. et al., 2024)

2.2.4.1. Consumo de Suplementos

MINAGRI presentó el proyecto de encuestas agrarias probabilísticas bajo el marco del Convenio de Cooperación Técnica, Estadística y Cartografía (CONESTCAR) con un rango muestral nacional en costa, sierra y selva; el equipo técnico del Instituto Nacional de Estadística e Informática generó estadísticas agrarias, donde el resumen ejecutivo evidenció que el año 2022 el 58,8% de encuestados aceptan con alta probabilidad buenas prácticas de alimentación para ganado haciendo uso de suplementos y alimentos balanceados (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2022 b). No existe información cuantitativa hasta la fecha de esta presentación sobre el mercado de suplementos tanto en producción como en consumo en ganadería a nivel local, regional ni nacional.

2.2.4.2. Requerimientos Nutricionales Ganaderos

Según Ojha S. et al., 2020, los suplementos se utilizan para complementar la dieta y satisfacer los requerimientos nutricionales en animales, variando según la especie y factores como edad, peso, actividad física y estado fisiológico.

- **Vitaminas:** Compuestos orgánicos necesarios en pequeñas cantidades para el correcto funcionamiento del organismo; algunas vitaminas esenciales para el ganado vacuno incluyen la vitamina A, vitamina D, vitamina E y vitamina B12, las cuales desempeñan roles importantes en el sistema inmunológico, salud ósea, reproducción y metabolismo.

- **Minerales:** Elementos inorgánicos esenciales para el ganado vacuno, algunos minerales importantes incluyen el calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, hierro, zinc, cobre y selenio; los cuales desempeñan funciones vitales en la formación de huesos y dientes, equilibrio de líquidos, transporte de nutrientes y la función enzimática.
- **Proteínas y aminoácidos:** Fundamentales para el crecimiento y desarrollo del ganado vacuno; los aminoácidos son los componentes básicos de las proteínas y son esenciales para la síntesis de tejidos y el metabolismo. Suplementos de proteínas y aminoácidos ayudan a satisfacer necesidades nutricionales en el crecimiento, la gestación o la lactancia.
- **Ácidos grasos:** Son componentes esenciales de las grasas y los aceites.; ácidos grasos como el omega-3 y omega-6, son considerados esenciales porque el ganado no puede sintetizarlos por sí mismos y deben obtenerlos a través de la alimentación; desempeñan un rol importante en la salud cardiovascular, función cerebral y respuesta inflamatoria del ganado.

2.2.4.2.1. Requerimientos de Proteína

La cuantificación del requerimiento proteico en ganado vacuno varía de acuerdo al sexo, edad, raza, etapa productiva del animal y condiciones medioambientales (Gadberry S. & Jennings J., 2005). Según Cerdas-Ramírez R., 2013, los requerimientos nutricionales en individuos adultos se basan en cuatro criterios; etapa de producción, tamaño corporal, condición corporal y grado de producción de leche. Según Flores Leiva G., 2023, las necesidades nutricionales pueden ser categorizadas por edad (meses) y peso (Kg.); donde se indica las necesidades de proteína cruda para un crecimiento adecuado.

Tabla 6.*Requisitos para raciones de terneras de reemplazo*

Datos	Valores			
Edad (meses)	3-6	7-12	13-18	19-22
Peso (Kg)	125	275	400	550
Consumo Materia Seca (Kg)	3-5	5-7	7-9	9-12
Consumo Materia Seca (%)	2,9	2,7	2,5	2,2
Nutrientes, % Materia Seca				
Proteína cruda	16	15	14	12
FAD	19	22	22	22
FND	23	25	25	25
Ca	0,5-0,6	0,4-05	0,4-05	0,4-05
P	0,38	0,34	0,3	0,28
Minerales	0,3	0,3	0,3	0,3
Vit A, UI	2205	2205	2205	2205
Vit D, UI	309	309	309	309
Vit E, UI	24	24	24	24

Nota. Adaptado de Evaluación de la inclusión de ensilado de pasto napier (*Pennisetum purpureum*) o ensilado de maíz (*Zea mays*) en la dieta sobre el uso de nutrientes, el balance de nitrógeno, la síntesis de proteínas microbianas y el rendimiento en vacas lecheras en ordeño. Flores Leiva G. et al, 2023. <https://hdl.handle.net/20.500.14492/27499>

La **Tabla 6.** muestra los requisitos en raciones para las terneras; donde a medida que crecen demandan más materia seca, pero este convertido en valores de Pesos vivo disminuye. Asimismo, se presentan requerimientos de Ca., P, minerales y vitaminas A, D y E (Flores Leiva G., 2023); los requerimientos vitamínicos durante los dos primeros años no muestran una diferenciación significativa; ello resulta coherente, pues en estas etapas iniciales las terneras atraviesan un proceso de crecimiento acelerado que demanda una alta disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo de sus sistemas óseo, muscular e inmunológico.

2.2.4.2.2. Requerimientos de Macronutrientes y Micronutrientes

Una dieta balanceada para el sector vacuno debe considerar los requerimientos mínimos nutricionales los cuales son el agua, la proteína y la fibra; una composición rica en nutrientes debe considerar componentes como la energía, proteína, grasas, calcio, hierro, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina, potasio, calcio, magnesio, folato y vitamina C, los cuales son los más destacados en alimentos consumidos para una alimentación balanceada; por ejemplo, *Medicago sativa* presenta un alto contenido de Nitrógeno (N), Fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en comparación con otros cultivos forrajeros presentados en la **Tabla 7**.

Tabla 7.

Extracción total de nutrientes por cultivo (kg/t órgano cosechable)

Cultivos	Nombre específico	Órgano cosechable	Extracción (kg/ ton)*					
			N	P	K	Ca	Mg	S
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	Forraje	27	2.8	21	12	2.8	3.8
Trébol rojo	<i>Trifolium pratense</i>	Forraje	21	3	23.6	-	3.2	4.5
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i>	Forraje	30	3.3	20	-	-	3
Trébol de cuernos	<i>Lotus corniculatus</i>	Forraje	20.5	2.2	15.8	-	-	-
Vicia	<i>Vicia sativa</i>	Forraje	25.9	3	18.5	-	-	-
Pasto Ovillo	<i>Dactylis glomerata</i>	Forraje	26	2.7	21.5	-	2.3	2.3
Raigrás	<i>Lolium sp.</i>	Forraje	25	2.7	18.5	4.9	3.6	2.5
Cebadilla	<i>Bromus unioloides</i>	Forraje	14.6	2	17.3	-	-	2.3
Poa	<i>Poa annua</i>	Forraje	13.6	2.4	17.3	-	1.6	2.3
Alpiste	<i>Phalaris arundinacea</i>	Forraje	12.7	1.9	16.6	-	-	-
Sorgo Forrajero	<i>Sorghum bicolor</i>	Forraje	10.6	2.8	12.7	-	2.1	2.6
Gramilla	-	Forraje	8.6	2	9.6	-	1	1.5
Festuca	<i>Festuca pratensis</i>	Forraje	16.8	2.4	20.3	-	2.6	2.6

Nota. Adaptado de Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios de Ciampitti, I & Gracia, O., 2007. International Plant Nutrition Institute (IPNI).

2.2.5. Método de Ensayo Destilación Kjeldahl

El Método de Kjeldahl, constituye uno de los métodos más conocidos y ampliamente más utilizados para la determinación cuantitativa del contenido total de nitrógeno en compuestos orgánicos, permitiendo que a partir de dicho valor se pueda calcular la concentración de proteínas presentes en una muestra. Este método se fundamenta en la transformación del nitrógeno orgánico en amonio (NH_4^+) mediante digestión ácida, seguido de la destilación y titulación del amoníaco liberado (Zúñiga Arias I., 2024).

De acuerdo con Guauque-Olarte S., 2019, la relevancia del método Kjeldahl radica en la alta precisión, reproducibilidad y aplicabilidad para una amplia gama de matrices biológicas, alimentarias e industriales; a diferencia de los métodos colorimétricos como el Biuret, el procedimiento Kjeldahl no depende de la presencia de enlaces peptídicos, sino del contenido total de nitrógeno, lo que lo convierte en una técnica estándar y referencia en análisis de proteínas. Asimismo, Da Silva E. et al., 2024, destacan que este método presenta ventajas considerables, tales como su exactitud analítica, la posibilidad de adaptación a diferentes tipos de muestras (vegetales, animales. microbiológicas, entre otras) y su bajo margen de error cuando se aplica bajo condiciones controladas; sin embargo, aunque se requiere un mayor tiempo de análisis y el manejo de reactivos corrosivos, la confiabilidad lo hace un método de elección en laboratorios de investigación y control de calidad.

Según la metodología descrita por Cañar-Ramos S. et al, 2024, el procedimiento del método Kjeldahl para el presente estudio comprende las siguientes etapas:

2.2.5.1. Digestión de la muestra

Pesar aproximadamente 2 g de harina de cucaracha y transferir la muestra a un matraz Kjeldahl. Agregar 15 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) junto con una mezcla catalizadora compuesta por sulfato de cobre (CuSO_4) y sulfato de potasio (K_2SO_4), cuya función esencial es elevar el punto de ebullición y acelerar

la oxidación del material orgánico. Calentar la mezcla hasta que la solución adquiera una coloración verde clara o incolora, indicando la completa digestión del material orgánico y la conversión del nitrógeno a $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

2.2.5.2. Neutralización y destilación

Una vez enfriada la usera de digestión, se añade cuidadosamente agua destilada para diluir la solución. Posteriormente, se agrega una solución alcalina de hidróxido de sodio (NaOH al 40%), liberando el amoniaco (NH_3) contenido en el medio. El amoniaco liberado se destila y captura en una solución receptora de ácido bórico (H_3BO_3 al 4%), , que actúa como medio absorbente formando borato de amonio.

2.2.5.3. Valoración

Una vez que la digestión se completa y la solución adquiere un color claro, el amoniaco absorbido se titula con una solución estándar de ácido clorhídrico (HCl 0,1 N) hasta alcanzar el punto final, identificando mediante un indicador mixto (rojo de metilo y azul de metileno).

2.2.5.4. Cálculo de proteína

El contenido de nitrógeno obtenido se multiplica por el factor de conversión 6,25 que corresponde al promedio de nitrógeno presente en las proteínas. De esta manera se estima el porcentaje de proteína cruda en la muestra analizada.

$$\% \text{ PROTEÍNA} = (\text{mg de N} * 6,25) / \text{peso de la muestra (mg)}$$

2.2.5.5. Interpretación de resultados

Una concentración elevada de nitrógeno total indica un alto contenido proteico en la harina de cucarachas *Periplaneta americana*, lo cual permite establecer su valor nutricional y potencial uso en aplicaciones alimentarias o biotecnológicas.

2.3. MARCO LEGAL

2.3.1. *Marco Legal Internacional*

2.3.1.1. **Normativa de la Unión Europea 2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo**

La Normativa UE 2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo está relacionada con los nuevos alimentos, cuyo propósito es garantizar la seguridad alimentaria ante la introducción de productos que no poseían un historial de consumo significativo antes de 1997; en el inciso (8) se menciona la necesidad de revisar, clarificar y actualizar la normativa conforme a los avances científicos y tecnológicos, entre los alimentos incluidos se encuentran los insectos enteros y cualquiera de sus partes, esta normativa reconoce su uso potencial como una fuente alimentaria ya sea para humanos como para animales (Eur-Lex, 2024).

2.3.1.2. **Resolución Exenta N° 6612: Ingredientes Autorizados para la Producción de Alimentos o Suplementos para Animales**

En Chile, la Resolución Exenta N° 6612 establece la nómina de ingredientes autorizados para la producción de alimentos o suplementos destinados a animales, derogando a las normativas previas; en este marco, los insectos son reconocidos como ingredientes alimenticios, los cuales han sido descritos específicamente como “invertebrados terrestres enteros” o “harinas que no tengan efectos nocivos en la sanidad animal ni en la inocuidad” dentro de la categoría “Animales de abasto, sus productos y subproductos”, esta normativa además de reconocer a los insectos como fuente de alimentación exige que los productos derivados sean sometidos a análisis de proteínas, cenizas y extracto etéreo garantizando el valor nutricional que poseen y su inocuidad para el consumo animal (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [BCN], 2021).

2.3.1.3. Decreto N° 4: Reglamento de Alimentos para Animales

En Chile el Decreto N° 4, que aprueba el Reglamento de Alimentos para Animales y deroga decretos anteriores, establece en su Artículo 2° que se considera como un aditivo a toda “sustancia natural o sintética” que forme parte de la formulación alimentaria; además, clasifica los productos en alimentos completos o balanceados, aditivos, suplementos o ingredientes de consumo vía oral; asimismo, el Artículo 4° especifica las cantidades permitidas de ingredientes o aditivos considerados para la producción de alimentos completos, ingredientes, suplementos y/o aditivos formulados para animales, con el fin de mantener la calidad nutricional y la seguridad de los productos destinados al consumo animal (BCN, 2017).

2.3.1.4. Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias: Comisión del Codex Alimentarius

El Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias a través de la Comisión del Codex Alimentarius, reconoce a los insectos como una fuente alternativa de alimentos tanto para animales terrestres como para acuáticos, incluyendo productos de distribución mayorista y minorista; dentro de las categorías del Codex se incluyen los “Alimentos elaborados de origen animal” destacándose el tipo 10, correspondiente a “Animales invertebrados” identificado con el código IN 1035 para el producto “Blattodea: organismos pertenecientes al orden Blattodea, como termitas y cucarachas”.

Asimismo, en el tipo 16, correspondiente a “Productos secundarios de invertebrados de origen animal”, se encuentra el código IV 1035, que describe a “Blattodea desecados” reconociendo oficialmente su potencial como materia prima alimenticia de origen animal (OMS, 2023).

2.3.2. Marco Legal Nacional

2.3.2.1. Ley N°28611 - Ley General del Ambiente

Establece que toda persona tiene derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir una efectiva gestión ambiental y proteger el ambiente, asegurando el aprovechamiento de recursos naturales y el desarrollo sostenible del país (MINAM,2021 & Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2020).

2.3.2.2. Ley N°6883 - Para el control de Elaboración y Gasto de Alimentos para Animales

Esta ley tiene como finalidad regular la producción, elaboración, uso y comercialización de alimentos que son destinados al consumo animal, con el propósito de asegurar su calidad e inocuidad; a través de esta normativa se establecen los parámetros y definiciones que deben cumplir las materias primas, premezclas y alimentos balanceados, de acuerdo con las recomendaciones y los criterios técnicos vigentes. (MINAM,2021& Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2006).

2.3.2.3. Norma Sanitaria para la Fabricación de Alimentos a Base de Granos y otros Alimentos para Animales

Esta norma establece los requisitos sanitarios y de calidad que deben cumplir los alimentos destinados para la alimentación animal, además de definir los criterios para la elaboración, almacenamiento, transporte y comercialización de estos alimentos, tiene como objetivo garantizar la inocuidad y calidad de los productos alimentarios; lo que incluye a los piensos elaborados a partir de insectos como fuentes alternativas de nutrientes (MINAM,2021& Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2020).

2.3.2.4. Aplicación del Sistema HACCP

Este sistema establece criterios para el control de la calidad sanitaria e inocuidad de los productos que se fabrican para la seguridad alimentaria de los alimentos que serán ingeridos por los animales (MINAM,2021 & Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2020).

2.3.2.5. Decreto Legislativo N.º 1062, Ley de Inocuidad de los Alimentos

La Ley de Inocuidad de los Alimentos, y su reglamento aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 034-2008-AG, establecen las bases para garantizar que los alimentos, incluidos los de origen no tradicional como lo son los insectos sean seguros para el consumo humano; esta normativa asigna al Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) y al Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES) competencias para controlar la inocuidad y trazabilidad de productos alimenticios. Este decreto se relaciona con el Decreto Supremo N.º 025-2017-MINAGRI que regula la producción y comercialización de alimentos balanceados y suplementos para ganado a nivel nacional, requiriendo que las materias primas empleadas cumplan con estándares sanitarios y ambientales, lo cual incluye a las harinas derivadas de insectos (Ministerio de Agricultura y Riego [MIDRAGRI], 2008).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

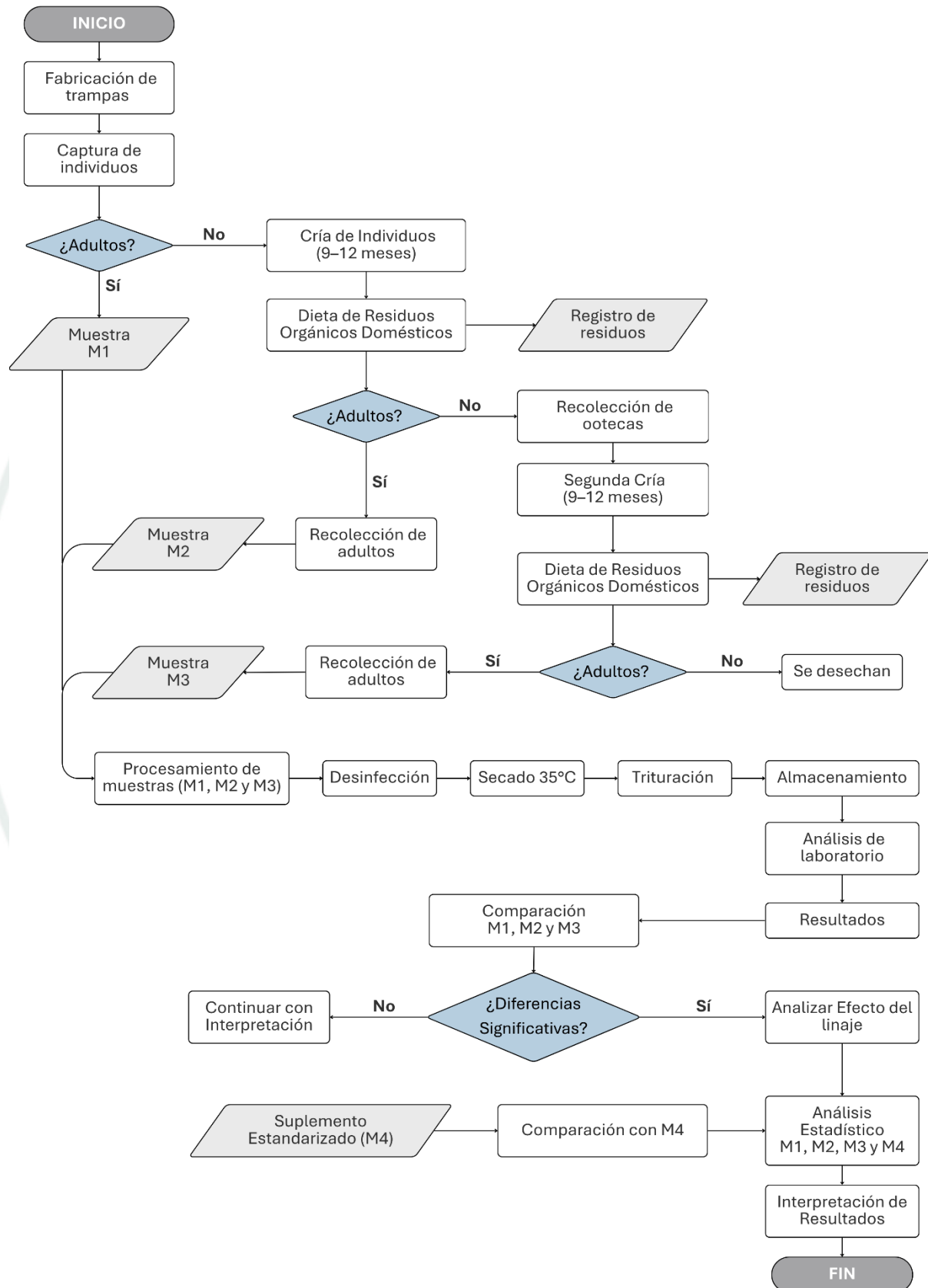
El tipo de investigación tuvo un enfoque **cuantitativo**. Según Zúñiga P. et al., 2023, pues se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para determinar características, establecer relaciones y contrastar hipótesis en contextos específicos; en esta investigación se recopilarán datos cuantitativos relacionados con la composición nutricional de la harina de *Periplaneta americana*, donde se establecerá la relación entre una variable independiente (tipo de suplemento proteico) y variables dependientes (macro y micronutrientes).

El nivel de investigación fue de tipo **experimental**. La presente investigación se caracteriza por la manipulación deliberada de una o más variables independientes (por ejemplo, la cantidad de residuos domésticos orgánicos suministrados a las cucarachas), con el fin de observar sus efectos sobre una o más variables dependientes como la producción de proteína, crecimiento, rendimiento o contenido proteico de la *Periplaneta americana*, controlando las condiciones para establecer relaciones de causa - efecto bajo condiciones controladas, esto garantizando que los cambios obtenidos se deban a las diferentes variaciones introducidas (Hernandez, Fernández & Baptista, 2014).

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la presente investigación es de tipo experimental, dado que se estableció una configuración controlada de criadero destinada a la reproducción de la especie *Periplaneta americana*; para tal fin, se desarrolló el ciclo reproductivo de dos generaciones alimentadas únicamente con residuos orgánicos domiciliarios, lo que permitió mantener condiciones homogéneas de crianza y garantizar la validez de los resultados; el diseño se encuentra representado en la **Figura 6**.

Figura 6. Flujograma



3.3. CAMPO DE INVESTIGACIÓN

La unidad de análisis de la presente investigación es el polvo obtenido de la especie *Periplaneta americana* (cucaracha de alcantarilla), evaluada en tres etapas de alimentación con residuos orgánicos domésticos, y comparada con un suplemento proteico comercial para ganado vacuno.

3.4. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables de investigación se definen en:

- **Variable Independiente:** Tratamiento alimenticio de las muestras.
- **Variable Dependiente:** Composición nutricional de las muestras.
- **Variables de Control:** Individuos en estadio adulto.

Tabla 8.

Operacionalización de Variables

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Unidad de Medida
Variable Dependiente: Tratamiento alimenticio de las muestras.	Niveles de Tratamiento	Muestras: M1, M2, M3, M4	Registro de muestreo	Nominal (M1, M2, M3, M4)
	Dieta alimenticia	Composición y frecuencia	Balanza electrónica	g.
	Tasa de Conversión	Eficiencia de Reducción de Residuos (ERR)	Balanza electrónica	g.
Variable Independiente: Composición nutricional de las muestras.	Cantidad de Proteína	Concentración de proteína en el producto final	Método Kjeldahl	g/Kg
	Cantidad de macronutrientes	B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn (concentración)	-	mg/Kg
	Cantidad de micronutrientes	Ca, K, Mg, S, P (concentración)	ICP OES	mg/Kg
	Cantidad de Ceniza	Concentración final de ceniza del proceso	-	%

Nota. Propia

3.5. MATERIALES Y EQUIPOS

3.5.1. *Materiales Biológicos*

- Especie *Periplaneta americana*
- Residuos orgánicos domésticos
- Aceite de cocina
- Agua destilada

3.5.2. *Instrumentos*

- 50 botellas de 3L
- 8 unid. de frascos de vidrio herméticos rotulados
- 6 envase de 40 L. de plástico rotulados
- 24 jabas de huevo
- 20 unid. de bandejas de acero inoxidable
- 6 unid. de recipientes circulares de acero inoxidable rotulados
- Alcohol etílico al 70%
- Pinzas metálicas
- Guantes de látex
- Mascarillas NK95
- Cinta de Embalaje

3.5.3. *Equipos*

- Horno Eléctrico
- Vernier
- Microscopio
- Balanza analítica
- Balanza eléctrica
- Frigobar

- Licuadora
- Cámara fotográfica
- Termohigrómetro Digital

3.5.4. Técnicas

- Método Kjeldahl
- ICP - OES macronutrientes y micronutrientes
- Software Estadístico Rstudio
- Microsoft Excel

Figura 7. Equipos Utilizados



Nota. a) Horno Eléctrico; b) Vernier; c) Microscopio; d) Balanza Analítica; e) Balanza Eléctrica; f) Licuadora.

3.6. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.6.1. *Determinación del crecimiento de Periplaneta americana en un entorno controlado*

Para la investigación sobre el crecimiento de la cucaracha, se utilizaron trampas artesanales las cuales fueron fabricadas a partir de botellas de plástico de 3L. cortadas por la mitad, en el interior de las botellas se añadió cinta de embalaje y se colocó aceite en los contornos superiores para impedir que los individuos logren salir; además, se añadieron residuos orgánicos triturados para atraer a individuos de *P. americana*; estas trampas se dejaron por periodos de 24 horas y fueron ubicados en el interior de los medidores del servicio de agua y zonas de depósitos de basura generada por mercados centrales y mercados pequeños como se puede evidenciar en la **Figura 8**.

La captura de estos individuos tomó un tiempo de tres meses aproximadamente; a medida que se capturaban ejemplares, se clasificó a los individuos adultos silvestres e individuos en estadios menores en diferentes envases mediante la observación visual; para los individuos adultos silvestres se separaron en recipientes de acero inoxidable previamente rotulados como Muestra 1 - M1, la cual paso un análisis de coliformes fecales; por otro lado, los individuos de estadios menores se reservaron en los envases transparentes de 40 litros para su crecimiento y reproducción mediante una dieta alimenticia a base de residuos domésticos orgánicos domiciliarios los cuales fueron en actividades domiciliarias cotidianas; estos residuos incluían restos de comida y restos de fruta.

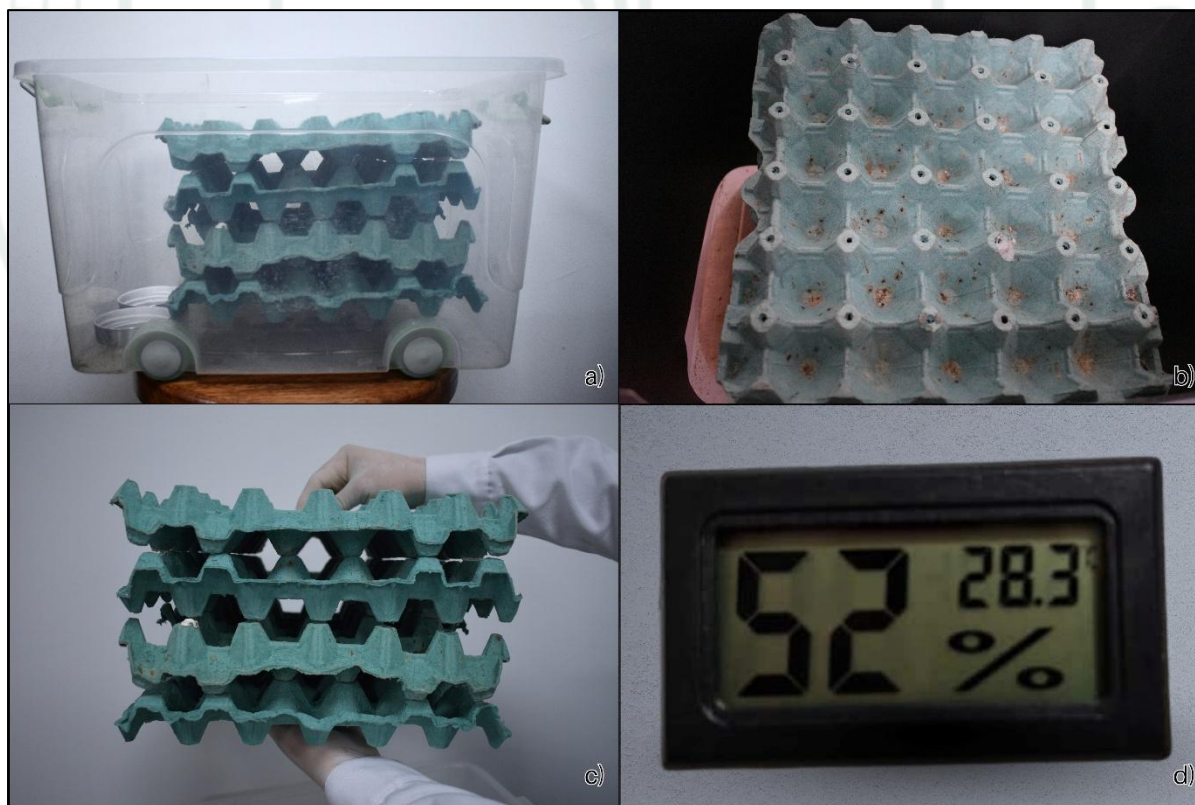
La configuración experimental de los tres envases de plástico de 40 L.; consistió de forrar el interior con cartulina negra para bloquear la luz, se colocaron cuatro jabs de huevo una sobre otra para proporcionar refugio; adicionalmente se colocó un termohigrómetro para tener un registro de la temperatura y humedad, debido a que la especie genera su propio microclima. Esta configuración se puede apreciar en la **Figura 9**.

Figura 8. Trampas artesanales



Nota. a) Trampas artesanales para captura de *P. americana*; b) Individuos capturados en botellas de 3 L.

Figura 9. Configuración experimental



Nota. a) Configuración experimental interna; b) Forrado de cartulina negra; c) Capas de jvas de huevos; d) Termohigrómetro Digital.

3.6.2. *Análisis de la tasa de conversión de residuos sólidos orgánicos en biomasa mediante la cría de *Periplaneta americana*.*

Las ootecas e individuos en estadios menores introducidos en envases de plástico de 40 L. fueron alimentados con Residuos Domésticos Orgánicos - RDO (restos de comida generados en la preparación o consumo de alimentos, restos de frutas, verduras y otros) lavados y/o cortados (**Figura 10.**); la elección de una alimentación con composición variada respondió a criterios metodológicos orientados a simular condiciones reales de generación de residuos domésticos, garantizar la diversidad nutricional necesaria para el desarrollo de *Periplaneta americana* y evaluar su capacidad de bioconversión frente a sustratos heterogéneos, en coherencia con el objetivo de la investigación de analizar su potencial como alternativa sostenible para alimentación animal; su dieta se administró cada 5 días con de 114g a 115g de RDO (**Figura 11.**) y una limpieza para evitar la acumulación de materia en descomposición.

El ciclo experimental de los individuos se desarrolló en un periodo de 8 a 10 meses, debido al ritmo en que cada individuo alcanzaba la etapa adulta; durante todo el proceso, se registraron las cantidades de residuos orgánicos suministrados en cada alimentación; esta variabilidad en la dieta permitió observar el impacto de diferentes composiciones de RDO en el crecimiento, consumo y eficiencia de reducción de residuos, aportando mayor representatividad a los resultados obtenidos; cuando alcanzaron la etapa adulta fueron separados en recipientes de acero inoxidable y conservados en refrigeración hasta completar una masa total aproximada de 220 g (peso seco), denominándose esta Muestra 2 - M2. A partir del décimo mes de crianza, se recolectaron las ootecas generadas por los adultos de M2 para ser trasladadas a nuevos contenedores de igual configuración experimental, manteniendo las mismas condiciones y tipo de alimentación; por un periodo de 9 a 12 meses, los individuos adultos fueron refrigerados hasta alcanzar una masa final aproximada de 220 g (peso seco), conformando la Muestra 3 (M3).

Durante ambos ciclos se registraron de forma sistemática en tablas de datos; (a) el peso de residuos suministrados (g), y (b) el peso de residuos remanentes (g); como indicador principal de eficiencia se calculó la Eficiencia de Reducción de Residuos (ERR), usando la formula:

$$ERR\% = \frac{\text{Peso residuos suministrados} - \text{Peso residuos remanentes}}{\text{Peso residuos suministrados}} \times 100$$

La ERR se estimó por cada ciclo y de forma acumulada para cada muestra (M2, M3), considerando que la heterogeneidad de la dieta influye directamente en este indicador al reflejar la capacidad del organismo para procesar distintos tipos de residuos orgánicos; con los datos obtenidos se aplica una Prueba de Normalidad, Prueba de Homogeneidad y T de student para analizar y comparar los resultados de ERR.

Figura 10. Dieta Alimenticia



Nota. Propia.

Figura 11. Pesaje de residuos orgánicos triturados



Nota. Propia.

3.6.3. Evaluación del linaje *Periplaneta americana* en la variabilidad de macro y micronutrientes.

Con el fin de evaluar la variabilidad nutricional entre linajes de la especie *Periplaneta americana*, se realizó un proceso estandarizado para las 3 muestras (M1, M2 y M3), las cuales fueron procesados individualmente para asegurar la trazabilidad y evitar la contaminación cruzada; cada muestra fue dividida en cinco recipientes herméticos previamente rotulados y desinfectados con alcohol etílico al 70%. Seguidamente, los individuos correspondientes a cada muestra fueron colocados en envases de acero inoxidable, material elegido por su alta conductividad térmica lo que permitió una distribución homogénea del calor durante el secado; estos envases fueron introducidos en un horno eléctrico a una temperatura constante de 35 °C durante un periodo continuo de 24 horas, con el fin de disminuir el contenido de humedad sin alterar significativamente los compuestos bioquímicos esenciales, el procedimiento se repitió de manera idéntica para las muestras M1, M2 y M3.

Posteriormente, las muestras fueron trituradas utilizando una licuadora industrial hasta obtener una masa completamente homogénea, dado que las muestras presentaban un nivel apreciable de humedad natural fue necesario colocarlas en envases de vidrio previamente esterilizados, debidamente rotulados con la identificación correspondiente y sellados herméticamente para evitar la pérdida de humedad o la contaminación cruzada; estos envases fueron almacenados en un frigobar a temperatura controlada, asegurando la estabilidad del material hasta el momento de su análisis (**Figura 12.** y **Figura 13.**).

En los análisis de laboratorio para M1, M2 y M3 se incluyó la determinación del contenido de proteínas, cantidad de cenizas, macronutrientes (Ca, K, Mg, N, P, S) y micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn); posteriormente los datos obtenidos fueron expuestos a un análisis descriptivo para identificar las diferencias entre las muestras y evaluar la influencia del linaje.

Figura 12. *Procesamiento en Horno eléctrico*



Nota. Propia.

Figura 13. Secado en Horno eléctrico



Nota. a) Individuos *P. americana* previo secado; b) Individuos *P. americana* luego de 24 horas.

3.6.4. Comparación de la composición nutricional de *Periplaneta americana* frente a un suplemento alimenticio para ganado.

Para llevar a cabo la comparación nutricional entre la especie *Periplaneta americana* frente a un suplemento alimenticio comercial, se empleó un suplemento estandarizado comúnmente utilizando como aditivo en la alimentación de ganado vacuno. Con el fin de garantizar la integridad del análisis y cumplir con los principios éticos de manipulación de muestras biológicas y alimenticias, el producto fue cuidadosamente extraído de su envase original bajo condiciones controladas. Posteriormente, el suplemento fue trasladado a un recipiente de vidrio estéril, sellado herméticamente y debidamente rotulado para su correcta identificación. Esta muestra fue codificada como Muestra 4 (M4), mientras que las muestras obtenidas del procesamiento fueron identificadas como M1, M2, y M3, respectivamente.

Se evaluaron las muestras M1, M2, M3 y M4; en primera instancia, se realizó el análisis de macronutrientes y micronutrientes presentes en cada uno, posteriormente se determinó el contenido proteico, a fin de comparar la calidad nutricional del suplemento elaborado a partir

de *Periplaneta americana* frente al suplemento comercial de referencia. Este proceso permitió establecer el potencial alimenticio del insecto como fuente alternativa de proteína para la alimentación animal.

Finalmente, todos los datos experimentales obtenidos fueron procesados y analizados mediante herramientas estadísticas con el propósito de evaluar la significancia de las diferencias observadas entre tratamientos; para ello, se aplicó el Análisis de Varianza descriptivo dado a que nuestros resultados son únicos para cada muestra, junto con pruebas complementarias de normalidad y homogeneidad de varianzas, así como representaciones de las variables. Estos procedimientos se realizaron utilizando el software de Excel obtener los gráficos de cada tabla , que permite establecer las relaciones entre los factores y los valores obtenidos, asegurando así una interpretación precisa de los resultados.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del crecimiento de *Periplaneta americana* en un entorno controlado

Tabla 9.

Resultados de Coliformes fecales M1

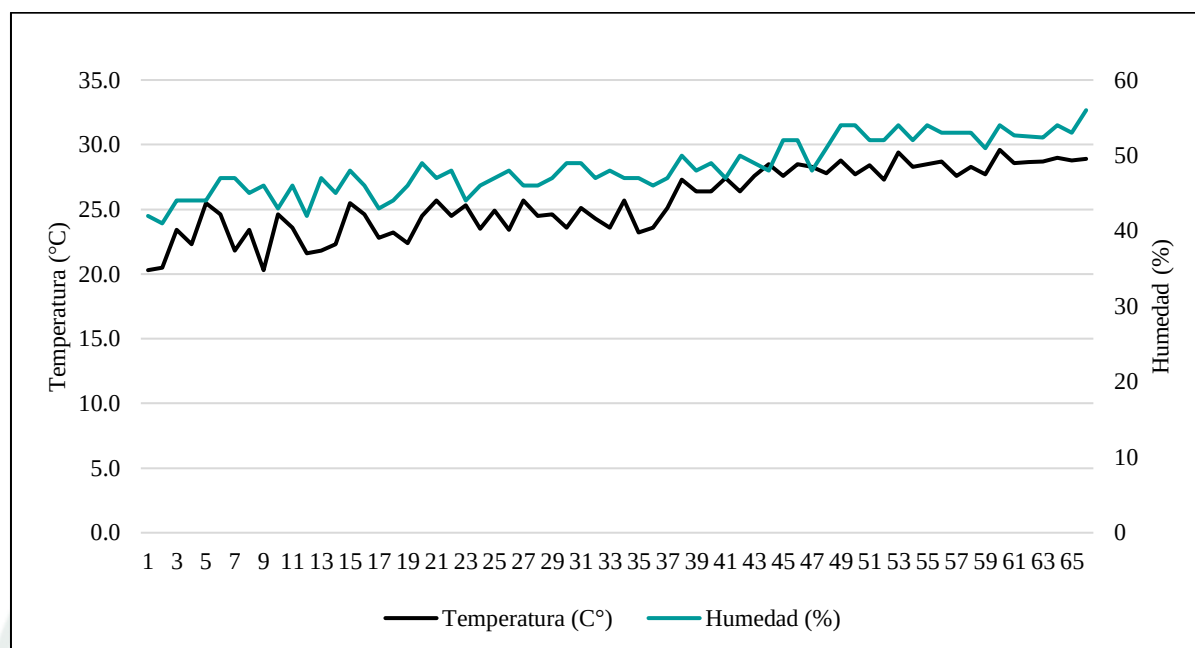
Muestra	Coliformes fecales en sedimentos
	NMP/1g ST
M1	<0,18

Nota. Propia.

Los resultados evidenciados en la **Tabla 9.**, muestran que en la Muestra (M1) presenta un valor inferior a <0,18 NMP/g de coliformes fecales en sedimentos, este valor indica que la muestra presenta una ausencia práctica de contaminación fecal; es decir, se encuentra por debajo del límite mínimo de detección de coliformes fecales en sedimentos establecido por el método empleado para la Muestra M1, indicando que la carga microbiana entérica es insignificante o prácticamente nula en los individuos de la especie *Periplaneta americana*.

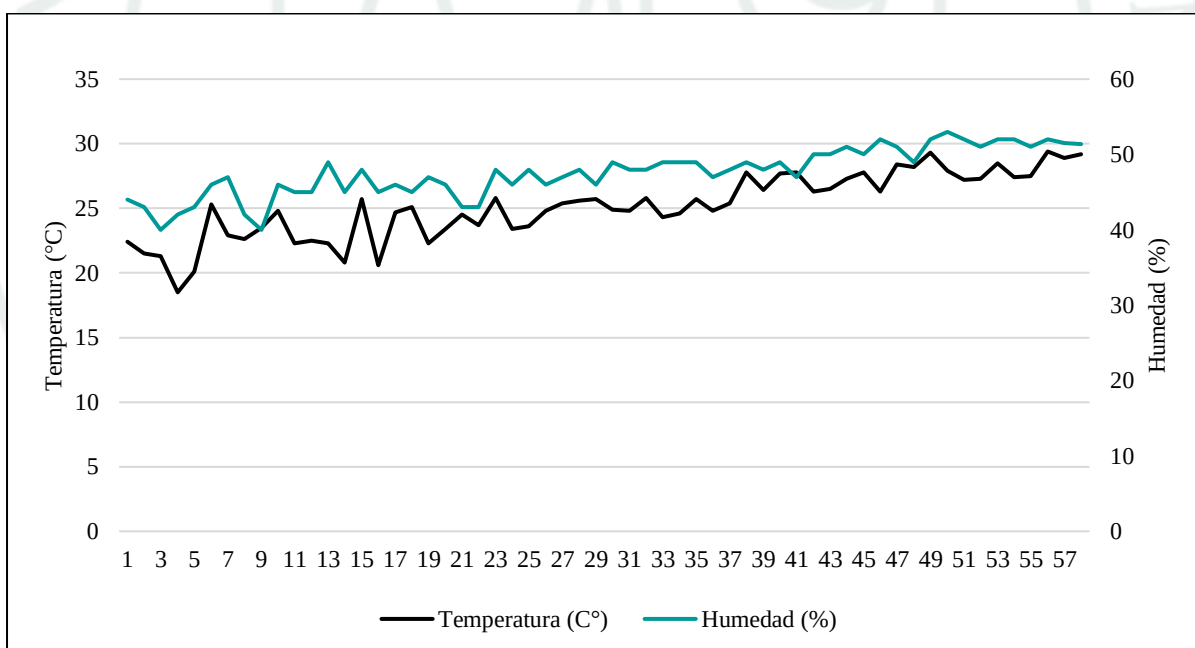
Desde una perspectiva microbiológica, la ausencia de coliformes fecales es un indicador clave de inocuidad y salubridad ambiental, y que estos microorganismos son usados como marcadores de contaminación fecal en alimentos, agua, suelos y muestras biológicas; por lo tanto, se infiere que el ambiente de captura de *P. americana* presentó condiciones favorables de saneamiento, reduciendo el riesgo de transmisión de patógenos de origen entérico. No obstante, es importante señalar que estos resultados deben interpretarse considerando ciertas limitaciones del estudio como el tamaño muestral y la evaluación de un único grupo microbiológico indicador, en este sentido la ausencia de coliformes fecales respalda la viabilidad sanitaria de *P. americana* como alternativa en la alimentación animal, pero su implementación a mayor escala requeriría evaluaciones microbiológicas más amplias, así como el cumplimiento estricto de la normativa vigente. Según el Decreto Legislativo N°1062, Ley de la Inocuidad de los Alimentos establece bases para garantizar que los alimentos de origen no tradicional como los insectos sean seguros para el consumo, asignando al Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) la responsabilidad de supervisar y regular estos productos

Figura 14. Datos de Temperatura (°C) y Humedad (%) en M2



Nota. Propia.

Figura 15. Datos de Temperatura (°C) y Humedad (%) en M3



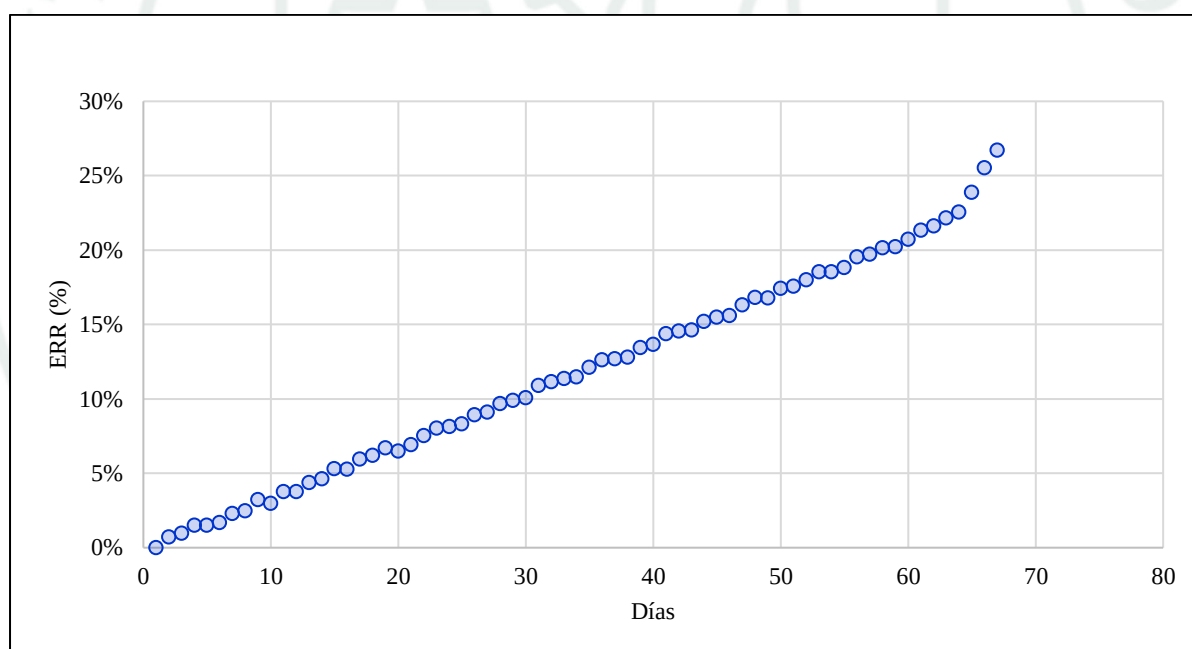
Nota. Propia.

En la **Figura 14** y **Figura 15** se muestra el registro de datos de Temperatura (C°) y Humedad (%) para la M2, se puede apreciar que la humedad y la temperatura tienen un incremento gradual con pequeñas fluctuaciones donde los puntos más altos de temperatura toman el valor de 29°C y en humedad toma el valor de 56 %.

4.2. Análisis de la tasa de conversión de residuos sólidos orgánicos en biomasa mediante la cría de *Periplaneta americana*

Del proceso de alimentación de *P. americana* con residuos orgánicos domésticos se generó una tabla de datos (**Anexo 1.**) donde se registró el peso inicial y el pesaje final de cada alimentación, el pesaje fue realizado en cada uno de los envases para ambos ciclos de crianza de *P. americana* (M2, M3), considerando que la dieta suministrada estuvo compuesta por una mezcla heterogénea de residuos orgánicos seleccionados bajo criterios de representatividad doméstica, diversidad nutricional y disponibilidad constante, lo cual permitió simular condiciones reales de generación de residuos; los datos reportados muestran las siguientes gráficas:

Figura 16. Eficiencia de Reducción de Residuos (%) en M2

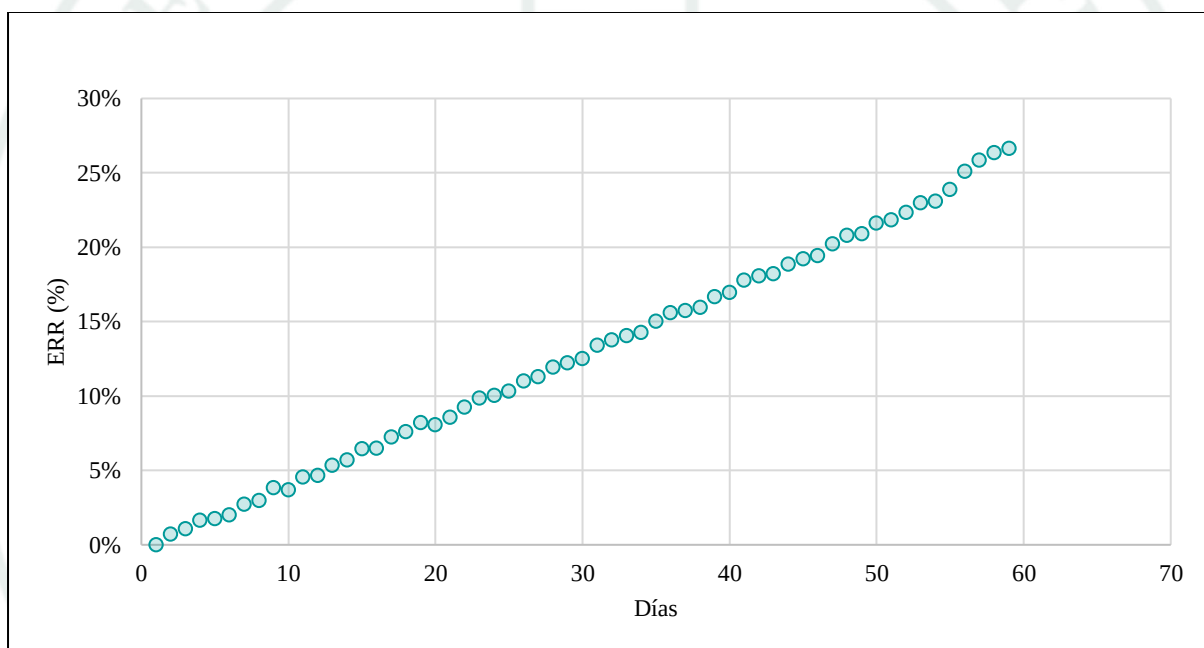


Nota. Propia.

En la **Figura 16.**, se observa la Eficiencia de Reducción de Residuos (ERR%) en M2 cuyo crecimiento presenta una tendencia ascendente constante desde el día 1 al día 66 llegando a un mínimo de 0.70% y a un máximo de 26.70%; de igual manera y con la misma dinámica ascendente, en M3 se evidencia la ERR% en un rango de 0.70% y 26.64% (**Figura 17.**); la dinámica para ambos está explicada por el ciclo de vida de *Periplaneta americana*, pues en el

día 1 se considera que los individuos en los envases de 40L se encontraban en etapa de ooteca y ninfas en estadios menores para ambas muestras; adicionalmente, esta tendencia ascendente también refleja el efecto progresivo de la dieta variada, la cual favorece el incremento de la capacidad de ingestión y aprovechamiento metabólico a medida que los individuos acceden a diferentes tipos de nutrientes presentes en los RDO; asimismo, estos valores reflejan que en ambos casos se produjo una disminución efectiva del material orgánico, donde porcentajes más altos representan una mayor eficiencia en la reducción del volumen de residuos.

Figura 17. Eficiencia de Reducción de Residuos (%) en M3



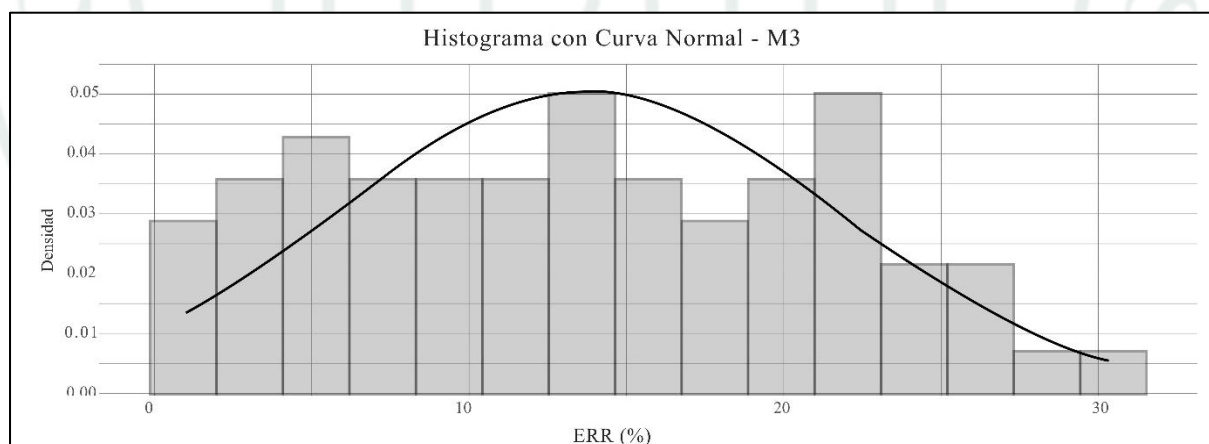
Nota. Propia.

Las variaciones en la ERR responden a la ecología de la especie y al ritmo metabólico relacionado a la velocidad del crecimiento que incluye todo el ciclo vital desde ninfas en estadios menores con poca capacidad de ingestión hasta adultos con una mayor demanda energética; otros factores que se pueden incluir son el gasto energético, tasas de ingestión, entre otros, a los cuales se suma la influencia directa de la composición del sustrato alimenticio, ya que la heterogeneidad de los residuos puede generar variaciones en la disponibilidad de nutrientes y, por ende, en la eficiencia de conversión, manteniendo en conjunto una tendencia estable de aprovechamiento del residuo (Mustafa F. et al., 2024). Por lo tanto, la información

presentada demuestra que, a lo largo de todo el ciclo biológico, la generación de *Periplaneta americana* mantuvo una eficiencia sostenida en la reducción de residuos sólidos orgánicos, lo cual es coherente con el enfoque metodológico adoptado, orientado a evaluar su desempeño bajo condiciones de alimentación variables y realistas, confirmando su capacidad de adaptación y su potencial para transformar materia orgánica en condiciones controladas.

En comparación con la literatura de Oonincx D. et al., 2015, aquellos insectos usados como biodigestores dependen para su eficiencia del tipo de alimento que se brinda, las condiciones del entorno y la etapa del desarrollo del insecto; en este sentido, la utilización de una dieta de composición variada permite una comparación más cercana con escenarios reales, a diferencia de estudios que emplean dietas controladas o homogéneas, en especies de cucarachas como *Blaptica dubia* demuestra que con algunas combinaciones dietéticas favorables muestran valores de 20%-30% mejores valores de Eficiencia de Conversión de los Alimentos Ingeridos (ECI); mientras que, en dietas pobres la eficiencia es menor.

Figura 18. Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk – M2

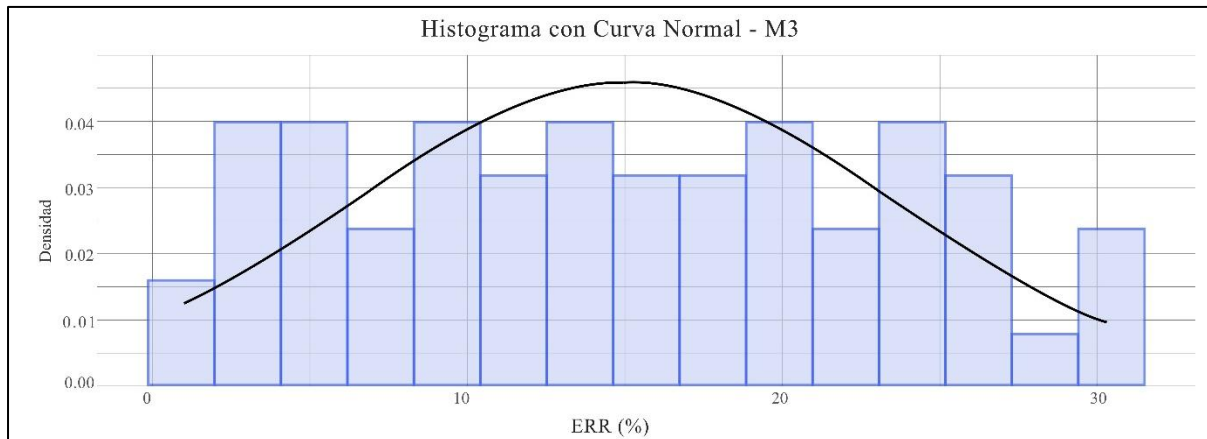


Nota. Propia.

La **Figura 18.**, muestra la distribución de ERR para M2 que presenta una forma unimodal con una ligera asimetría a la derecha, la curva que se superpone se encuentra ajustada al histograma, el cual no evidencia valores en extremo atípicos. Este resultado es coherente con

el $p\text{-value} = 0.0809 > 0.05$, el cual indica que no se rechaza la normalidad; por lo tanto, la distribución de ERR en M2 se considera normal para análisis de Prueba T.

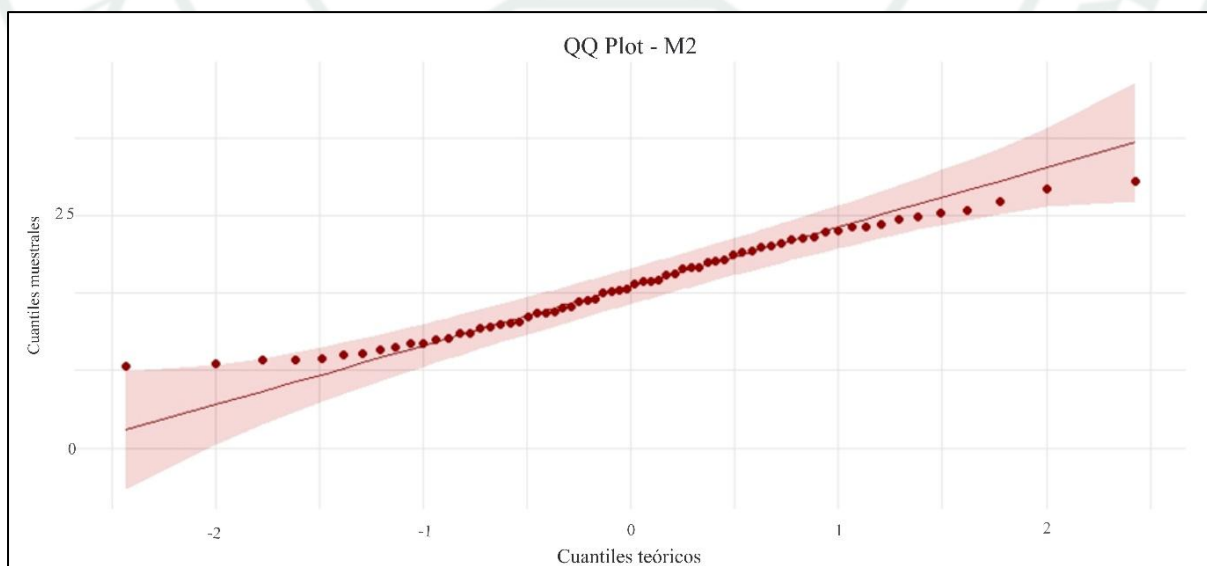
Figura 19. Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk – M2



Nota. Propia.

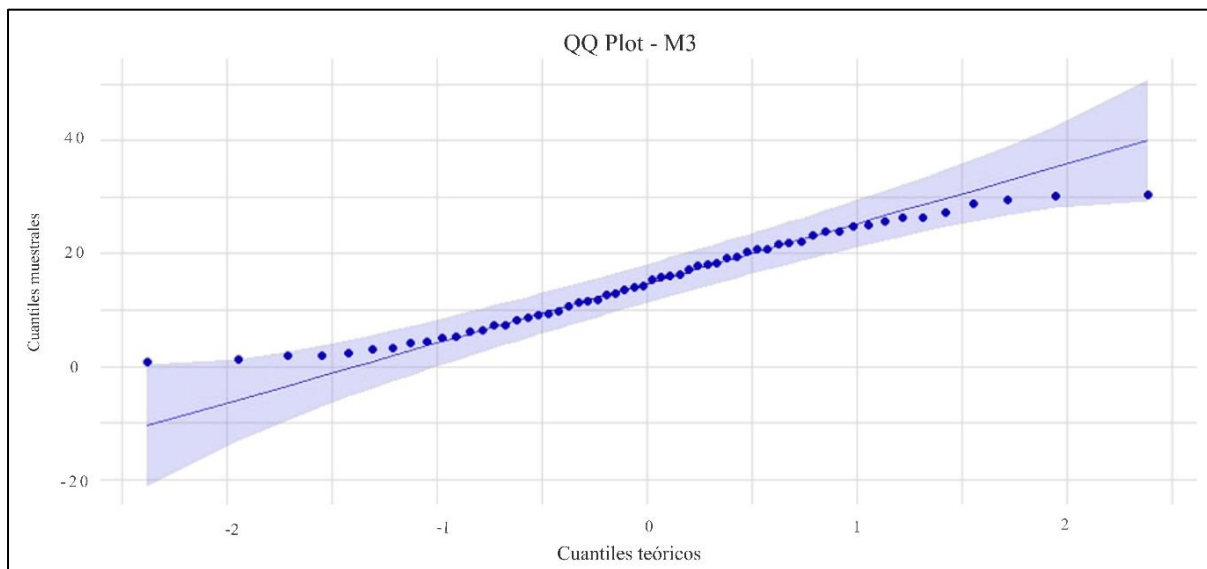
La **Figura 19.**, muestra la distribución de ERR para M2 que presenta una forma unimodal con una ligera asimetría positiva (cola derecha) pero menos marcada que en M2, la curva normal se encuentra ajustada al histograma, el cual no evidencia valores en extremo atípicos. Este resultado es coherente con el $p\text{-value} = 0.0555 > 0.05$, el cual refuerza que no se rechaza la normalidad; por lo tanto, los valores ERR en M3- presenta una distribución normal.

Figura 20. QQ Plot – M2



Nota. Propia.

Figura 21. QQ Plot – M3



Nota. Propia.

La **Figura 20.** y la **Figura 21.**, en ambos casos muestra como los datos (puntos) se alinean acorde a la línea diagonal con la mayoría de puntos superponiéndose a la línea diagonal sobre todo en la zona intermedia; además, se mantienen dentro del abanico de confianza graficada como una sombra que indica que los valores se posicionan dentro de lo esperado para una distribución normal; además, se puede observar pequeñas desviaciones en los extremos, pero estos no indican falta de normalidad porque no son abruptas.

Tabla 10.

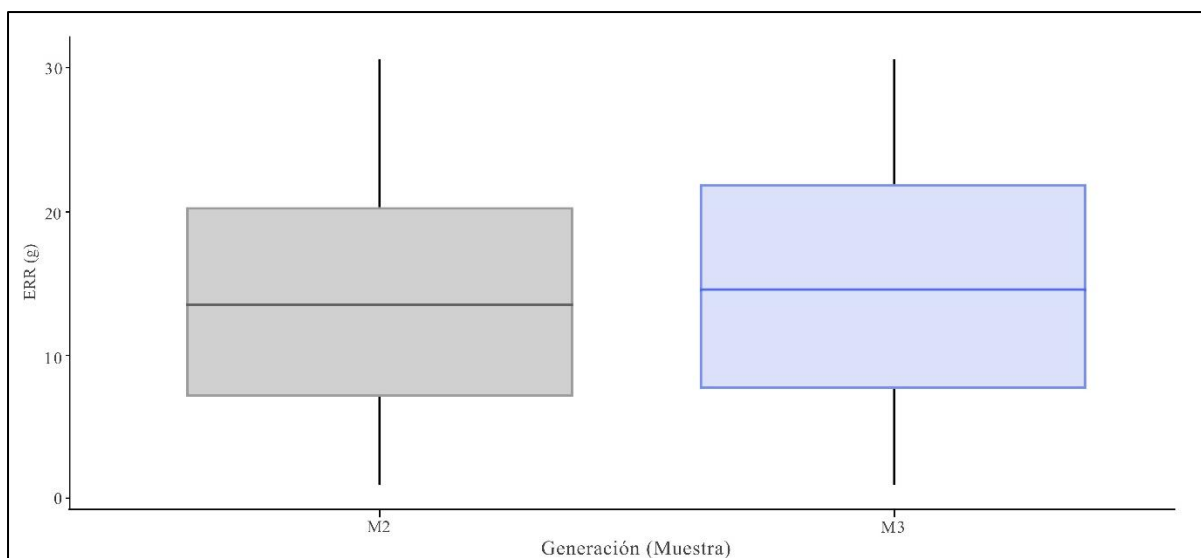
Prueba de Homogeneidad Levene

statistic	p-value	df	df-residual
0.6538	0.4203	1	122

Nota. Propia.

En la **Tabla 10.**, se evalúa si la variabilidad en el ERR es similar entre M2 y M3, con un resultado p-value = 0.4203, se evidencia que ambos grupos presentan niveles comparables de dispersión en la cantidad de residuos que logran procesar, sin que entre las generaciones existan inconsistencias, esto sugiere que en ambas muestras el comportamiento de consumo de residuos es similar cumpliéndose el supuesto de homocedasticidad.

Figura 22. Comparación de dispersión entre M2 y M3



Nota. Propia.

La **Figura 22.**, permite visualizar como se distribuye la variable ERR entre las dos generaciones de cucarachas, en M2 y M3 se muestran rangos y amplitudes de dispersión similares que evidencia que la variabilidad del aumento de peso dentro de cada generación es parecida y que en ninguna muestra presenta valores extremadamente dispersos o concentrados; por otro lado, las medianas sugieren que el Índice de porcentaje de Eficiencia de Reducción de Residuos (ERR) se comporta de manera comparable entre ambas generaciones, por lo que la suposición de homogeneidad de varianzas se cumple.

Se generaron las siguientes hipótesis para determinar la diferencia:

Hipótesis nula (H_0): $\mu_{M2} = \mu_{M3}$

Hipótesis alterna (H_1): $\mu_{M2} \neq \mu_{M3}$

Tabla 11.

Prueba T de Student

Estadístico_T	gl	p-valor	Media_M2	Media_M3	IC_95_Low	IC_95_High
-0.809905	122	0.4195717	13.72576	14.93103	-4.151259	1.740706

Nota. Propia.

A partir de la prueba t de Student presentada en la **Tabla 11.**, realizada para comparar las medias de la eficiencia de reducción de residuos (ERR) entre las generaciones M2 y M3, se obtuvo un estadístico $t = -0.8099$ con 122 grados de libertad y un $p\text{-valor} = 0.4196$, claramente

superior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), este resultado indica que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula (H_0); es decir, aunque la media de ERR de la generación M3 (14.93 g) es ligeramente mayor que la de M2 (13.73 g), presenta diferencia es pequeña y estadísticamente no significativa; es decir, se sugiere que ambas generaciones presentan una capacidad similar para convertir residuos sólidos orgánicos en biomasa, lo cual es relevante ya que indica estabilidad en el desempeño productivo del sistema sin necesidad de recambios generacionales para mejorar la tasa de conversión.

Este comportamiento coincide con lo reportado en estudios de bioconversión mediante insectos, donde se ha observado que bajo condiciones alimentarias y ambientales constantes, las variaciones intergeneracionales en la eficiencia de conversión suelen ser limitadas y no necesariamente significativas desde el punto de vista estadístico o productivo; en investigaciones realizadas con otros insectos detritívoros como *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*, se muestra que los incrementos sustanciales en la conversión de residuos suelen asociarse a cambios en la composición del sustrato, la densidad poblacional, la temperatura o la humedad, más que únicamente a la generación evaluada (Fowles & Nansen, 2019; Siddiqui et al., 2024b); en este sentido, los valores de ERR obtenidos para *P. americana* se consideran esperables según la literatura, y no necesariamente indicativos de una mejora biológica espontánea entre generaciones consecutivas.

Desde una perspectiva estadística y funcional, la ausencia de diferencias significativas entre M2 y M3 refuerza la idea de que *Periplaneta americana* presenta un desempeño consistente como agente de bioconversión, lo cual es una ventaja para sistemas de manejo de residuos a escala piloto o semiindustrial; sin embargo, esta estabilidad también pone de manifiesto una de las principales limitaciones del estudio ya que la evaluación de la eficiencia se centra exclusivamente en la ERR, sin incorporar variables complementarias como la tasa de crecimiento individual, la eficiencia alimentaria, la digestibilidad del sustrato o la composición

de la microbiota intestinal, factores que han demostrado ser determinantes para explicar variaciones en la conversión de residuos y en la calidad nutricional de la biomasa producida (Siddiqui et al., 2024a).

Asimismo, es importante destacar que la coherencia entre la decisión metodológica y los objetivos del estudio radica en que no se buscó evaluar el efecto de un residuo específico, sino la capacidad global de bioconversión de *P. americana* frente a una matriz alimentaria heterogénea, lo cual fortalece la aplicabilidad de los resultados en sistemas de gestión de residuos orgánicos a escala real; esta aproximación permite inferir que los valores de ERR obtenidos no solo responden al desarrollo biológico del insecto, sino también a su plasticidad fisiológica frente a variaciones en la calidad del sustrato; además, incluir una dieta variada contribuye a reducir sesgos experimentales asociados a la sobreestimación o subestimación de la eficiencia de conversión, ya que integra diferentes velocidades de degradación, contenidos de humedad y perfiles nutricionales propios de los residuos domésticos.

Finalmente, es importante señalar que la viabilidad de *P. americana* como alternativa no depende únicamente de sus valores nutricionales o de su eficiencia de conversión, sino también de aspectos como la estandarización del sustrato, la bioseguridad, la aceptación del producto por parte del mercado y los costos operativos; por lo que, los resultados obtenidos sugieren que *P. americana* podría ser una opción viable en escenarios donde se disponga de residuos orgánicos homogéneos y con bajo riesgo de contaminación especialmente de contextos que priorizan los principios de la economía circular y la valorización de residuos, considerando a los mercados locales como un punto de partida estratégico para su implementación debido a la disponibilidad constante de residuos orgánicos y a la posibilidad de reducir costos logísticos; asimismo, se requieren estudios adicionales que integren análisis nutricionales más detallados para determinar su competitividad real frente a suplementos comerciales convencionales.

4.3. Evaluación del linaje *Periplaneta americana* en la variabilidad de macro y micronutrientes

Para la evaluación del linaje de *P. americana* se generó un análisis de 200 gramos de muestra seca de masa de *P. americana* en cada muestra M1, M2 y M3, a las cuales se le aplicó la técnica del método Kjeldahl para determinar el contenido de proteína, adicionalmente se obtuvo resultados de macronutrientes, micronutrientes y cenizas.

4.3.1. Resultados de Proteínas

Tabla 12.

Resultado de Proteínas M1, M2, M3

Muestra	Proteína
	g/kg
M1	262.6
M2	281.8
M3	290.9

Nota. Propia.

En la **Tabla 12.**, se muestra el análisis cuantitativo de proteína donde la muestra M3 registró el mayor contenido proteico (290.9 g/kg), seguida por M2 (281.8 g/kg) y M1 (262.6 g/kg); lo que sugiere una pequeña pero notable diferencia en la concentración de proteína. Estos resultados indican que las condiciones experimentales y el tipo de tratamiento aplicado en las muestras M1, M2 y M3 favorecieron una mayor retención o concentración de proteínas.

En comparación con la literatura, según López et al. (2022), las proteínas en harinas obtenidas de *Periplaneta americana* pueden variar entre 250 y 310 g/kg, dependiendo de las condiciones de secado y molienda; del mismo modo, Gómez y Salazar (2021) señalan que los valores superiores a 270 g/kg se consideran indicativos de un alto rendimiento proteico y adecuada eficiencia del proceso de transformación. Asimismo, Mustafa et al. (2024) documento que la harina seca de *P. americana* puede alcanzar cerca del 60 % de proteína en base seca, cifra que se aproxima a los resultados encontrados y que a su vez refuerza la hipótesis

de que los residuos orgánicos como sustrato de cría permiten un perfil proteico competitivo con fuentes convencionales.

Por otro lado, tenemos la investigación de Okanlawon, Ojetayo y Sotolu (2020), cuyo reporte genero resultados de un contenido de proteína bruta de alrededor de 53,1 % en harina de cucaracha, siendo una cifra muy por encima de la encontrada en esta investigación; tal diferencia es atribuible a diferencias en la preparación (como el secado, trituración) o en la etapa de desarrollo escogido para las muestras de la harina de cucarachas.

El contenido de la proteína obtenido de la especie *Periplaneta americana* alimentada con residuos orgánicos se encuentra dentro del rango superior reportado para especies de insectos, estudios realizados por Kuajui et al.(2022), muestran un contenido de proteína con un porcentaje de 55.05% de proteína P americana, que son valores cercanos a los obtenidos en la investigación, lo cual confirma la hipótesis de estabilidad proteica de la especie *Periplaneta americana* bajo los métodos de alimentación y procesamientos controlados.

Al igual, los estudios de *Tenebrio molitor* y *Hermetia illucens* muestran valores proteicos entre 180 y 250 g/kg de biomasa seca (Avendaño & Valenzuela, 2020; Long et al.,2024), los cuales son resultados de proteína obtenidos menores a comparación de la investigación como se muestra en la M3 que es de 290 g/kg , lo cual indica que la especie *Periplaneta americana* presenta niveles proteicos de alto valor según investigaciones anteriores, sino que puede superar a especies de insectos los cuales comúnmente son aceptadas como la mosca negra.

Asimismo, Ou et al. (2024) demuestra que la sustitución de la harina convencional de soya por la de *P. americana* en la alimentación dietética no genera efectos perjudiciales a su crecimiento más bien se evidencio mejoras en su crecimiento, estas investigaciones refuerzan las mejoras en el crecimiento al ingerir productos elaborados a base de la especie *P. americana*.

4.3.2. Resultados de Macronutrientes

Los resultados obtenidos para los macronutrientes en las tres muestras (M1, M2 y M3) muestran variaciones relevantes, lo que sugiere que el tipo de tratamiento o la dieta de cría influyen no solo en la proteína, sino también en la mineralización corporal de *Periplaneta americana*.

Tabla 13.

Resultados de Macronutrientes M1, M2, M3

Muestra	Ca	K	Mg	N	P	S
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
M1	8 447	7 540	1 400	4 2020	2 540	1 662
M2	7 540	13 800	1 830	4 5090	3 330	2 370
M3	7 548	17 800	2 010	4 6540	4 010	3 806

Nota. Propia.

Los valores de calcio obtenidos en las muestras muestran una ligera disminución de M1 (8 447 mg/kg) hacia M2 (7 540 mg/kg) y M3 (7 548 mg/kg), lo que sugiere que el cambio en la dieta basada en residuos orgánicos no incrementó significativamente la acumulación de este mineral; en estudios previos describen que *Periplaneta americana* presenta una composición mineral variable dependiendo del tipo de sustrato, pero generalmente el calcio no figura entre los macronutrientes más concentrados. De hecho, Finke (2013) reportó valores relativamente bajos de Ca en insectos criados para alimentación animal, lo que concuerda con la tendencia de la **Tabla 13.** resultados para Calcio.

La concentración de potasio va en aumento desde 7 540 mg/kg en M1 a 13 800 mg/kg en M2 y hasta 17 800 mg/kg en M3, esta tendencia ascendente es prometedora ya que el potasio es fundamental para funciones fisiológicas como el balance osmótico y la síntesis de proteína (Hyatt & Marshall. 1985); en estudios de otras especies de insectos usados como alimento (harinas de grillos y moscas), se ha observado que potasio es uno de los minerales más abundantes y su contenido puede variar según la dieta y el procesamiento dado. En particular, Ukoroije y Bawo (2020) en su estudio con *P. americana* reportó alrededor de 242,5 mg/100 g

($\approx 2\,425$ mg/kg) de potasio, lo que indica que el resultado de la tienen concentraciones de potasio significativamente mayores, lo que podría responderse con una mejor biodisponibilidad o una acumulación eficiente del mineral en los insectos según las condiciones de crianza.

Los datos de magnesio muestran un aumento de 1 400 mg/kg en M1 a 1 830 mg/kg en M2 y 2 010 mg/kg en M3 que comparado con los datos de Ukoroije y Bawo (2020), ellos reportan para *P. americana* un Mg de aproximadamente 362 mg/100 g ($\approx 3\,620$ mg/kg), aunque los valores absolutos son menores, se evidencia una tendencia creciente entre las muestras lo cual sugiere que las condiciones de cría pueden modular la retención de Mg. Su importancia radica en que es un mineral esencial para proceso como la función enzimática y la síntesis de ATP; sin embargo, esta variabilidad de magnesio entre insectos según dieta ha sido documentada en revisiones sobre composición mineral de insectos comestibles (Oonincx & Finke, 2021).

El nitrógeno y el fósforo están directamente relacionados con la proteína y los fosfatos estructurales; valores en N sube de 4 020 mg/kg (M1) a 4 509 mg/kg (M2) y 4 654 mg/kg (M3), mientras que el P va de 2 540 a 3 330 y luego a 4 010 mg/kg, esto una acumulación de nitrógeno que puede reflejar mayor síntesis de compuestos nitrogenados y de fósforo (Irungu et al., 2018). Ukoroije y Bawo (2020) en el análisis de *P. americana* reportaron fósforo en torno a 128,8 mg/100 g ($\approx 1\,288$ mg/kg), por lo que los valores encontrados en la **Tabla 13.** son mucho más elevados, sugiriendo que los tratamientos aplicados en el presente estudio han favorecido la acumulación o retención de fósforo, lo que podría traducirse en un producto de valor añadido si se desea utilizar la harina de cucaracha como fuente fosfórica en piensos.

Para el azufre aumenta desde 1 662 mg/kg en M1 a 2 370 mg/kg en M2 y a 3 806 mg/kg en M3, este es un elemento clave en muchos aminoácidos y proteínas como la metionina y la cisteína (Oonincx & Finke, 2021). Investigaciones sobre insectos comestibles indica que los perfiles minerales pueden incluir azufre ligado a compuestos orgánicos y que su contenido

puede depender mucho de la dieta del insecto; el aumento se explica en una mayor síntesis de aminoácidos sulfurados o una acumulación de compuestos ricos en azufre, lo cual podría mejorar la calidad nutricional de la harina de cucaracha en términos de perfil de aminoácidos (Oonincx & Finke, 2021).

En general, los resultados de macronutrientes demuestran que las condiciones de cría con la dieta de residuos orgánicos domésticos y la extracción de individuos adultos para los análisis influyen en el perfil mineral de *Periplaneta americana*, incrementando de forma sistemática minerales clave como calcio, potasio, magnesio, fósforo, nitrógeno y azufre desde M1 hasta M3; la comparación con estudios, en especial con los resultados de Ukoroije y Bawo (2020), muestran que los resultados de la investigación actual presentan una acumulación mineral más elevada. Además, en base a los resultados podemos evidenciar que la optimización de la dieta alimenticia y la elección de individuos convertida en harina de cucaracha puede ofrecer un perfil nutricional útil como ingrediente en piensos o en suplementos para consumo animal.

4.3.3. Resultados de Micronutrientes

Las concentraciones de los micronutrientes es un indicativo de calidad en un alimento, en la **Tabla 14.**, presenta las concentraciones de los micronutrientes boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc, determinados en las tres muestras de *Periplaneta americana*.

Tabla 14.

Resultados de Micronutrientes M1, M2, M3

Muestra	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
M1	^b <3,0	98.4	2 800	109	^b <1,0	309
M2	^b <3,0	294	3 090	264	^b <1,0	1 030
M3	^b <3,0	528	3 250	432	^b <1,0	1 720

Nota. Propia.

Se observa una tendencia ascendente en la concentración de la mayoría de los elementos conforme las muestras pasan de origen silvestre (M1) a aquellas criadas bajo condiciones

controladas (M2 y M3), lo que sugiere un proceso de acumulación progresiva de minerales esenciales asociados al tipo de alimentación y a la adaptación generacional.

En la muestra M1, correspondiente a individuos silvestres recolectados en entornos naturales, los valores de cobre (98,4 mg/kg) reflejan un perfil mineral básico y típico de organismos con dietas estandarizadas. El resultado para hierro es de 2800 mg/kg; comparado con el estudio de Latunde-Dada et al. (2016), quienes hallaron contenidos de Fe superiores a 2000 mg/kg en grillos, destaca que en ambos casos los insectos se posicionan como fuentes ricas en hierro biodisponible. Para el zinc presenta un valor de 309 mg/kg que presenta valor por encima con el estudio de Rumpold y Schlüter (2013) que reportaron niveles de zinc entre 100 y 270 mg/kg en diversos insectos lo que sugiere una composición mineral típica.

El manganeso (109 mg/kg) muestra una concentración moderada dentro del rango esperado coincide con lo descrito por Ghosh et al. (2020), quienes señalan que este mineral varía según la dieta del insecto. En cambio, boro ($< 3,0$ mg/kg) y molibdeno ($< 1,0$ mg/kg) se encontraron por debajo del límite de detección, indicando una baja presencia.

La muestra M2, integrada por ejemplares criados con residuos orgánicos, muestra un aumento significativo en casi todos los micronutrientes; el cobre asciende a 294 mg/kg, y el zinc a 1030 mg/kg, lo que indica mayor capacidad de retención y asimilación de elementos traza asociados al metabolismo de proteína y supera ampliamente los rangos usuales reportados por Payne et al. (2016), quienes indicaron que la mayoría de insectos oscilan entre 100 y 500 mg/kg. El hierro (3090 mg/kg) también aumenta respecto a M1, lo que sugiere una mejor disponibilidad de este mineral en el sustrato de alimentación y se sitúa dentro de los valores altos registrados por Finke M. (2013), señalando que la bioacumulación de Fe puede incrementarse rápidamente según la densidad de nutrientes en el alimento; asimismo, el manganeso (264 mg/kg) presenta un incremento que es consistente con el modelo metabólico

descrito por Ghosh et al. (2020), en el que la disponibilidad del sustrato influye directamente en la asimilación del mineral.

La muestra M3, correspondiente a la descendencia directa de M2 criada bajo las mismas condiciones de alimentación, presenta valores de cobre (528 mg/kg) y zinc (1720 mg/kg), que duplican las concentraciones observadas en M2, reflejando una tendencia de acumulación progresiva y una posible adaptación metabólica heredable al medio controlado (Latunde-Dada et al., 2016); además, supera ampliamente a los valores promedio reportados por estudios en insectos comestibles, como los de van Huis et al. (2021) quienes destacan que el contenido de zinc raramente supera los 1 000 mg/kg incluso en especies altamente mineralizadas (Finke M., 2013). De manera similar, en M3 el hierro (3250 mg/kg) y manganeso (432 mg/kg) continúan incrementando, lo que indica una mejora en procesos de absorción y almacenamiento mineral a nivel celular (Van Huis et al. (2021)); por otro lado, el boro y molibdeno permanecen por debajo del límite de detección, lo que podría estar asociado a una baja disponibilidad de estos elementos en la dieta o a una limitada capacidad fisiológica para acumularlos (Ghosh et al., 2020).

De acuerdo con la comparación de macronutrientes y micronutrientes los resultados generados se evidencia el alto contenido de potasio, fosforo, magnesio hierro y zinc, esta similitud se presentan en el estudio de Ukoroiye & Bawo (2020), los cuales señalan de la especie *P. americana* presenta una composición diversas a comparación de fuentes vegetales comunes usadas en el mercado (soya o maíz), la elevada concentración de hierro y zinc se considera relevante ya que cumplen un rol importante en el metabolismo, la inmunidad y el crecimiento. Según estudios de Duran-Galdo & Saavedra (2022), la composición del contenido de minerales en insectos se debe a su dieta, lo cual explica el incremento progresivo de de nuestras muestras desde M1 hasta M3, de tal forma que la dieta alimenticia a base de residuos orgánicos

domiciliarios no solo cumple la función de bioconservación, sino que actúa como un factor de enriquecimiento nutricional, aportando minerales de alta eficacia a la biomasa del insecto.

4.3.1. Resultados de Cenizas

Las cenizas reflejan la cantidad en porcentaje de material que no es aprovechado en el resultado de la obtención de un suplemento; por lo tanto, se requiere comparar los valores resultantes para determinar la cantidad de material que será no aprovecha en el consumo final.

Tabla 15.

Resultados de Cenizas

Nombre de Muestra	Cenizas
	%
M1	13.75
M2	16.58
M3	18.25

Nota. Propia.

En la **Tabla 15.**, se muestran los resultados del análisis de cenizas de las muestras M1, M2 y M3), el contenido de cenizas refleja la cantidad total de materia inorgánica, la cual incluye elementos esenciales como el calcio, fósforo, potasio, magnesio, hierro, manganeso y zinc, este parámetro permite inferir la concentración mineral y la calidad nutricional total del producto (González et al.,2021). En la Muestra M1. se presentó un 13,75% de cenizas lo que indica una proporción adecuada de minerales, esta cantidad sugiere que la muestra contiene una base mineral suficiente para mantener el valor nutritivo, comparado con evaluaciones de los maro y micronutrientes se observa que es relativo con la presencia destacable de fósforo (2540 mg/kg) y potasio (7540 mg/kg); dicho nivel de cenizas se asocia a un buen equilibrio entre materia orgánica e inorgánica. En la muestra M2 se presentó un 16,58%, valor que representa un incremento en su contenido mineral total respecto a M1, esto podría deberse a una mejor retención de minerales tras el secado o al tipo de alimentación, este valor coincide con reportes de insectos deshidratados que oscilan entre 15 y 20% (FAO,2021).

Finalmente, la muestra M3 registró el mayor valor de cenizas 18,25%, reflejando un alto contenido mineral total; es decir, posee una mayor densidad mineral, la proporción de fósforo (4010 mg/kg) y potasio (17 800 mg/kg), esto confirma una muestra rica en macronutrientes; asimismo, y según van Huis et al. (2021), valores cercanos o superiores al 18 % suelen asociarse a insectos alimentados con sustratos particularmente ricos en minerales o sometidos a procedimientos de secado que reducen la pérdida de elementos inorgánicos.

En relación con los resultados obtenidos, se identificaron diferencias entre individuos machos y hembras de la especie *Periplaneta americana*, las cuales estas pueden atribuirse al dimorfismo sexual característico de la especie, estas diferencias tanto fisiológicas y morfológicas influyen directamente en variables como el contenido nutricional en este caso a la nueva dieta alimenticia, la acumulación de biomasa y la eficiencia en la conversión de los residuos orgánicos.

Las hembras, al presentar mayor peso corporal y mayor capacidad de almacenamiento está asociada a su función reproductiva y por el ancho de su abdomen, tienden a mostrar una acumulación de nutrientes, especialmente en términos de proteínas.

Por otro lado, los machos, al poseer una estructura corporal mas alargada y de menor masa estas pueden presentar variaciones en su composición nutricional y su tasa de crecimiento.

Estas diferencias resultan ser relevantes dentro del estudio ya que estas permites comprender mejor la variabilidad de los resultados obtenidos y su influencia en la calidad final de la biomasa producida, en tal sentido, considerar el sexo de los individuos constituye un factor importante para optimizar procesos de producción y mejorar la eficiencia en los sistemas e la bioconservación de los residuos orgánicos (dieta alimenticia) orientados a la alimentación animal.

4.4. Comparación de la composición nutricional de *Periplaneta americana* frente a un suplemento para alimentación animal.

4.4.1. Resultados de Proteínas M3, M4

Los resultados obtenidos de la proteína en M1, M2, M3 de *P. americana* y M4 como suplemento comercial, en la cual se tomó como peso referencial 200 gr para cada muestra.

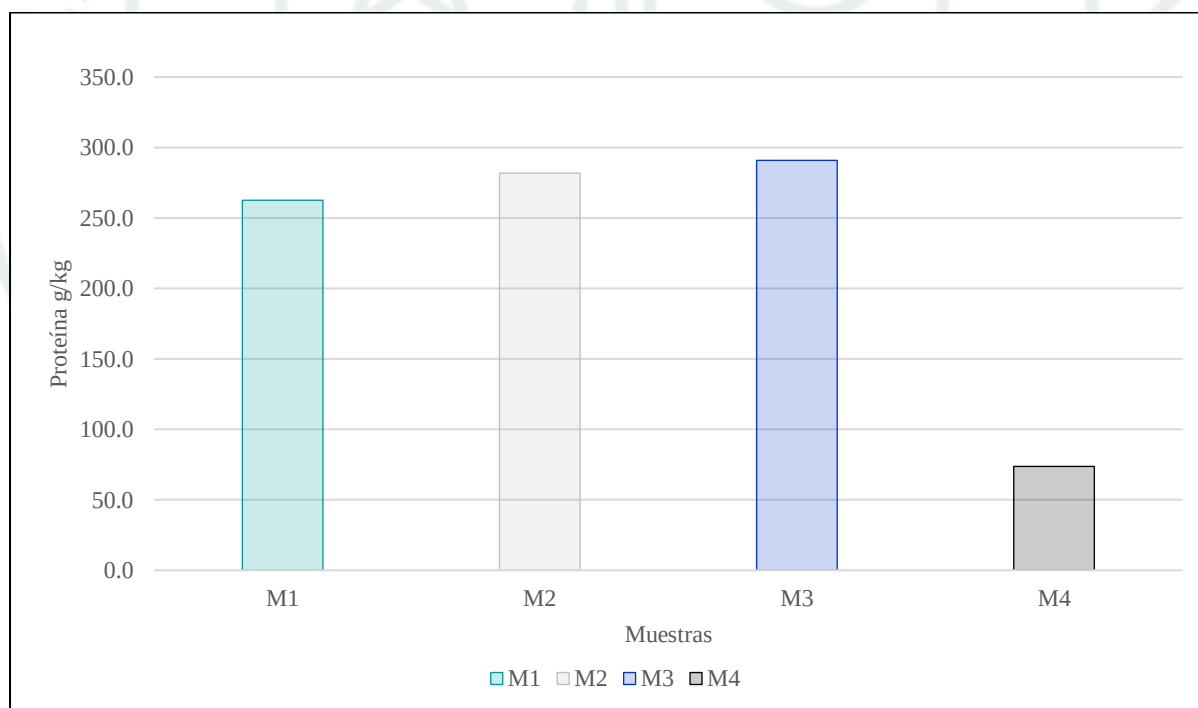
Tabla 16.

Resultado de Proteínas M1, M2, M3 y M4

Muestra	Proteína
	g/kg
M1	262.6
M2	281.8
M3	290.9
M4	73.7

Nota. Propia.

Figura 23. Resultado de Proteínas M1, M2, M3 y M4



Nota. Propia.

La **Tabla 16.**, presenta los valores obtenidos de contenido proteico (expresado en g/kg) para las cuatro muestras analizadas (M1, M2, M3 y M4), los resultados muestran una clara diferencia entre las muestras evaluadas. Las muestras M1, M2 y M3 provenientes del

procesamiento de la especie *Periplaneta americana* registran valores altos de proteína, con 262.6 g/kg, 281.8 g/kg y 290.9 g/kg, respectivamente, según estudios de Van Huis et al. (2020) destacan el aporte proteico de los insectos en particular de la especie Blattodea, los cuales precisan que puede alcanzar valores elevados, lo que indica un alto aprovechamiento nutricional de los residuos sólidos orgánicos con los que fueron alimentados; estos valores presentan una dinámica progresiva de crecimiento, ya que de M1 a M3 se evidencia que los valores de proteína aumentan considerablemente teniendo en cuenta que la diferencia es de una generación, esto puede relacionarse con adaptaciones a la absorción de nutrientes de los residuos sólidos orgánicos por parte de los individuos de *P. americana* o el cambio en la dieta alimenticia de los individuos silvestres comparado con individuos en condiciones controladas.

En la **Figura 23.** se puede apreciar el contraste entre las muestras M1, M2, M3 y M4, M4 presenta un valor considerablemente menor (73.7 g/kg) a diferencia de las demás muestras de proteína, siendo una disminución significativa respecto a las demás, esta muestra es un suplemento nutricional estandarizado por lo que la variación se responde al ser de una fuente diferente. M1, M2 y M3 mantienen una composición proteica elevada y estable; mientras que M4 se aparta del patrón general, mostrando una reducción marcada en el contenido de proteína.

Resultados similares se reportaron en la investigación de Sule et al.(2021), quienes evaluaron la harina a base de *P. americana* y harina de pescado obteniendo resultados favorables que evidencia a la *P. americana* como un suplemento que mejoro los parámetros de crecimiento y eficiencia alimenticia en peces. No obstante, es importante reconocer las limitaciones de la presente investigación, esta investigación se desarrolló en escala experimental y no se llegó a evaluar directamente parámetros zootécnicos in vivo como ganancia de peso y digestibilidad esta como bien recalca en la investigación de Duran – Galdo & Saavedra – Garcia (2022) la presencia de quitina es un limitante a la digestibilidad las cuales no fueron evaluadas. La viabilidad de esta investigación estaría condicionada como un

suplemento parcial, generalmente para dietas de aves, peces, vacuno o animales jóvenes, Ou et al. (2024) y Khajuie et al.(2022) como señalan los autores donde la disponibilidad de residuos orgánicos y la necesidad de reducir costos de alimentación, esta alternativa resulta especialmente prometedora desde el enfoque de economía circular y sostenibilidad.

4.4.2. Resultados de Macronutrientes

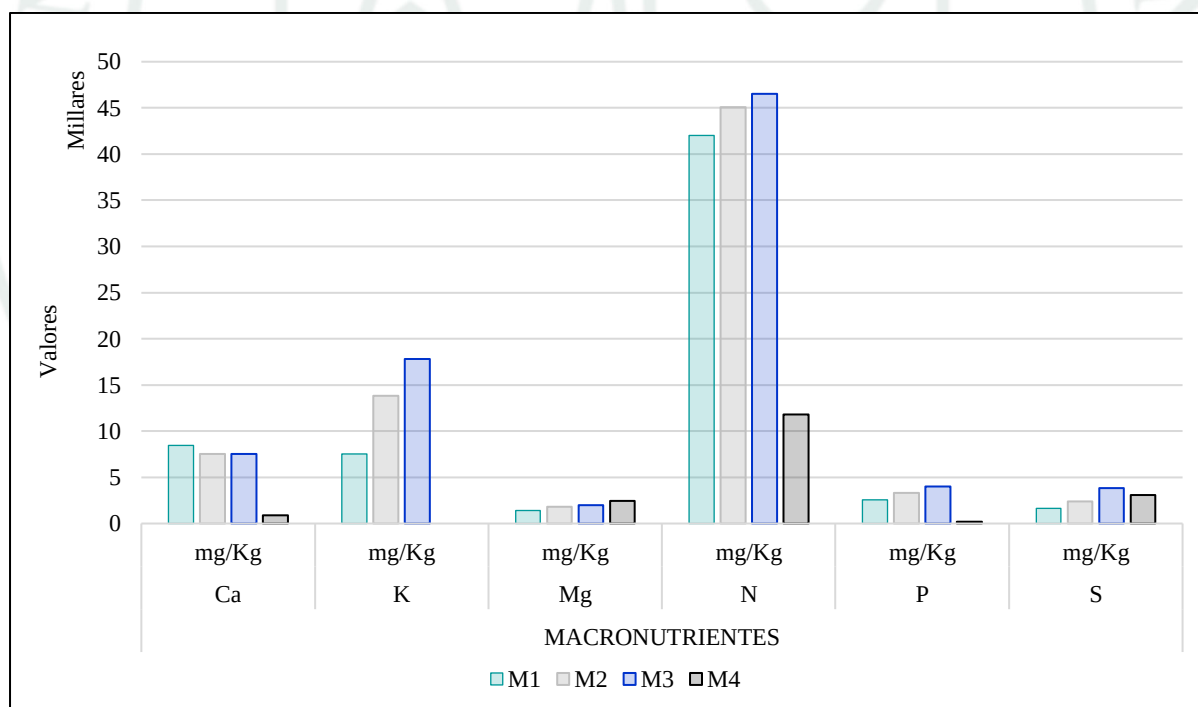
Tabla 17.

Resultados de Macronutrientes M1, M2, M3 y M4

Muestra	Ca	K	Mg	N	P	S
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
M1	8 447	7 540	1 400	4 2020	2 540	1 662
M2	7 540	13 800	1 830	4 5090	3 330	2 370
M3	7 548	17 800	2 010	46 540	4 010	3 806
M4	911.5	>25000,0	2 440	11 800	180	3 078

Nota. Propia.

Figura 24. Resultados de Macronutrientes M1, M2, M3 y M4



Nota. Propia.

La **Tabla 17.**, los resultados obtenidos de los macronutrientes (Ca, K, Mg, N, P, S) en las Muestras M1, M2, M3 y M4, los valores permiten observar la variación de los contenidos

minerales en función del tipo de alimentación recibida y su comparación con el suplemento comercial estandarizado.

La muestra M1 presenta 8447 mg/kg de calcio lo cual se considera un contenido moderado, las muestras M2 y M3 muestran valores similares a comparación con la muestra M4 la cual presenta una reducción drástica de 911.5 mg/kg, lo que evidencia que la especie *Periplaneta americana* posee una mayor concentración de calcio esto se puede apreciar en la **Figura 24.**; en cambio, para el Potasio (K) se observa que la muestra M4 supera todos los valores de las muestras M1, M2 y M3, pero en estas muestras se ve un incremento progresivo de la muestra M1 (7540 mg/kg) y la muestra M3 (17800 mg/kg) esto evidencia el enriquecimiento notable indicando que la dieta influye directamente en la absorción de potasio; para el magnesio (Mg) se evidencia un aumento gradual de M1 (1400 mg/kg) a M4 (2440 mg/kg), las muestras tratadas M2 (1830 mg/kg) y M3 (2010 mg/kg) mejoran sus niveles progresivamente respecto al control, la incorporación de la alimentación incremento la biodisponibilidad del magnesio, mejorado el perfil mineral de la especie. El nitrógeno (N), es el elemento que está relacionado directamente con la calidad proteica, la cual muestra un aumento significativo desde M1 (4020 mg/kg) hasta M3 (46540 mg/kg), este incremento sugiere una acumulación de compuestos nitrogenados (proteínas) producto de la dieta establecida ya que los valores más altos están entre M2 y M3.

Por otro lado, M4 presenta un valor de 11800 mg/kg la cual es un valor inferior a M3, esto confirma que la biomasa de la especie *Periplaneta americana* bajo la dieta alimenticia presenta una proteína de alto valor biológico, superior al suplemento estandarizado, según Chávez et al. la dieta por residuos genera un aumento significativo en los valores de macronutrientes debido a la estructura de los alimentos ingeridos.

Se observa un aumento sostenido de fósforo (P) desde M1 (2540 mg/kg) hasta M3 (4100 mg/kg), pero el valor de la M4 (180 mg/kg) es considerablemente menor, el fósforo es

esencial en el metabolismo energético y la formación ósea; por otra parte, el azufre (S) se incrementa gradualmente de M1 (1662 mg/kg) a M3 (3806 mg/kg), el azufre es un componente esencial de aminoácidos como la cisteína y metionina ha comparación de la M4 que es ligeramente inferior a la M3. Finalmente, las muestras M2 y M3, alimentadas con residuos orgánicos presentan un perfil nutricional mejorado a comparación de la muestra M4, destacando especialmente un notable incremento en nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), elementos claves para la síntesis proteica y una mayor calidad proteica integral. Resultados de Micronutrientes.

4.4.3. Resultados de Macronutrientes

La **Tabla 18.** presenta las concentraciones de seis elementos traza; boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn), expresadas en mg/kg, correspondientes a las muestras M1, M2, M3 y M4; los valores encontrados en los análisis evidencian una marcada variabilidad entre las muestras, lo que refleja diferencias en la capacidad de bioacumulación de cada elemento posiblemente influenciada por las condiciones de cría y e, tipo de sustrato utilizado.

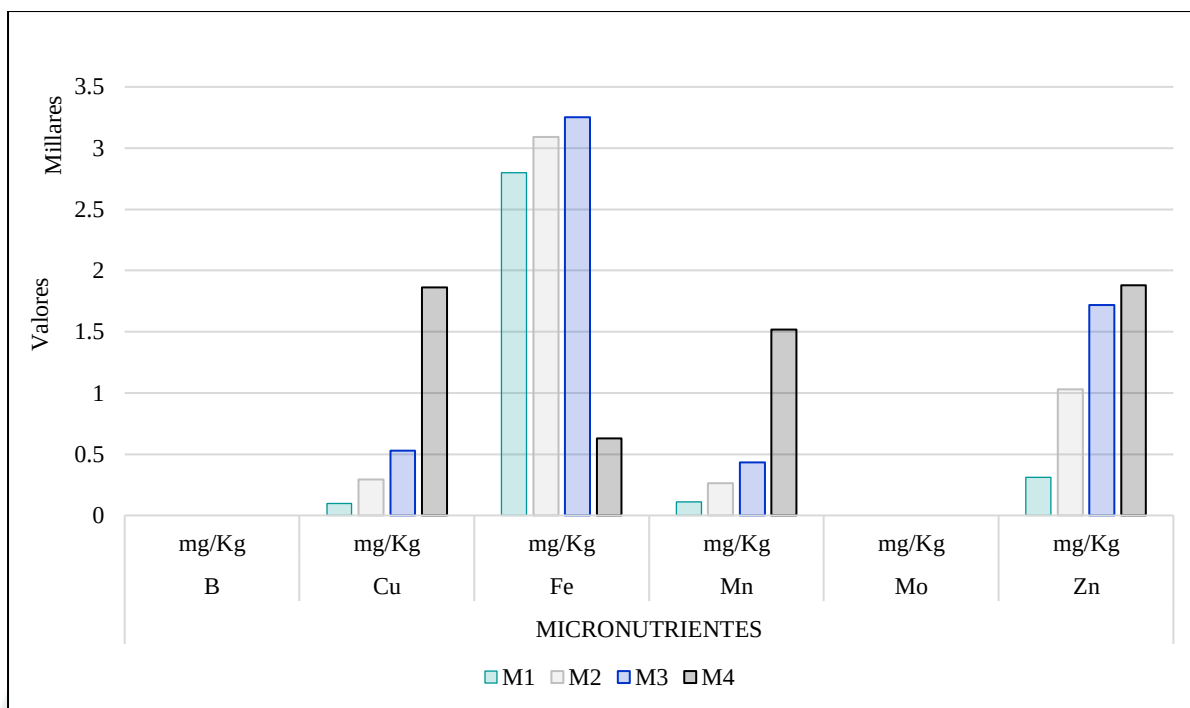
Tabla 18.

Resultados de Micronutrientes M1, M2, M3 y M4

Muestra	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
M1	^b <3,0	98.4	2 800	109	^b <1,0	309
M2	^b <3,0	294	3 090	264	^b <1,0	1 030
M3	^b <3,0	528	3 250	432	^b <1,0	1 720
M4	^b <3,0	1 860	628	1 520	^b <1,0	1 880

Nota. Propia.

Figura 25. Resultados de Micronutrientes M1, M2, M3 y M4



Nota. Propia.

El hierro (Fe) exhibe concentraciones elevadas en las tres primeras muestras M1, M2 y M3 (2 800 a 3 250 mg/kg) y una disminución marcada en M4 suplemento comercial estandarizado (628 mg/kg), lo que podría estar relacionado con una variación en el contenido del sustrato.

El manganeso (Mn) también presenta un incremento sostenido para las muestras, pasando de 109 mg/kg en M1 a 1 520 mg/kg en M4 suplemento comercial estandarizado, lo que evidencia un patrón acumulativo progresivo, sugiriendo un rol activo de este elemento en la fisiología de la especie tratada denominada *Periplaneta americana* especialmente en la formación de estructuras cuticulares. El zinc (Zn) mantiene concentraciones altas en todas las muestras, con un aumento progresivo desde 309 mg/kg (M1) hasta 1 880 mg/kg (M4) suplemento comercial estandarizado, este elemento es esencial para el crecimiento y la reproducción de los insectos, por lo que su incremento puede reflejar una alta disponibilidad en el alimento o una mayor demanda metabólica en etapas adultas.

Finalmente, la **Figura 25.**, evidencia una acumulación diferencial de micronutrientes para las muestras M1, M2, M3 y M4 (suplemento comercial estandarizado), especialmente

cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn), a lo largo de las muestras analizadas sugiriendo que la especie *Periplaneta americana* posee una gran capacidad significativa alta para incorporar y retener elementos presentes en los residuos orgánicos, en comparación a otros estudios como Chávez et al. se muestra la eficacia de la especie alimentada bajo un régimen de una dieta rica en residuos sólidos domiciliarios.

Los resultados obtenidos fueron comparados con diferentes estudios desarrolladas en otras investigaciones de especies de insectos utilizados en procesos de bioconversión, como por ejemplo los mas conocidos como *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*, ampliamente estudias por su alto contenido proteico y eficiencia en la conversión de residuos orgánicos.

Diversos estudios han demostrado la adaptabilidad y la generación de altos niveles de proteica generados por los insectos y una eficiente tasa de conversión alimenticios, lo que ls posiciones en una de las mejores alternativas sostenibles para la alimentación animal. En comparación, los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la especie *Periplaneta americana* presentan valores nutricionales competitivos, especialmente en el contenido de proteínas,

Las diferencias observadas entre los estudios pueden atribuirse a factores como el tipo de dieta suministrada, el manejo de sistema de crianza y las metodológicas de análisis empleadas, asimismo al igual que otras especies, la eficiencia de la bioconversión depende en gran medida de la calidad del sustrato utilizado.(Long et aal.2024)



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Se concluye que la viabilidad de *Periplaneta americana* como un agente eficiente en la bioconversión de residuos domésticos orgánicos a biomasa de alto valor nutricional evidenciando su potencial para integrarse en sistemas sostenibles de alimentación animal ganadera; en las tres muestras evaluadas fue la muestra M3 la que alcanzó el mejor desempeño nutricional, registrando un contenido máximo de 290.9 g/kg de proteína superando significativamente suplemento proteico comercial empleado como control que presento un valor de 73.7 g/kg; este hallazgo respalda la hipótesis planteada y evidencia la capacidad metabólica progresiva de *P. americana* a través de generaciones.

El análisis de los macronutrientes y micronutrientes reveló un incremento sustancial, destacando valores elevados de fósforo (P), potasio (K), hierro (Fe), zinc (Zn) y magnesio (Mg), lo que refleja que la alimentación a base de residuos orgánicos domiciliarios favorece la bioasimilación de elementos, los valores generados refuerza el valor nutricional del producto final M3; en términos comparativos, la harina proteica obtenida de la especie *Periplaneta americana* presentó niveles superiores al suplemento convencional estandarizado (M4) elegido, evidenciando un perfil nutricional competitivo, sostenible y con potencial de sustitución parcial de fuentes tradicionales de proteína animal en la alimentación ganadera.

El análisis inicial de coliformes fecales realizado en la muestra M1 permitió determinar la inocuidad microbiológica del proceso experimental, evidenciándose la ausencia de contaminación por el resultado $<0,18$ NMP/g que se encuentra dentro de los límites aceptados por la normativa peruana aplicable a ingredientes y suplementos destinados a la alimentación animal; como consecuencia, no fue necesario extender dicho análisis a las muestras posteriores, lo que validó la idoneidad del manejo sanitario en el experimento y aseguró que el proceso de cría se desarrolló bajo condiciones controladas, minimizando riesgos de bioacumulación de agentes patógenos.

El análisis del contenido de cenizas en las tres muestras evaluadas evidenció un incremento progresivo de los valores siendo M1 (13.75 %), M2 (16.58 %) y M3 (18.25 %), lo que refleja una tendencia directamente asociada con la composición de los residuos orgánicos utilizados como sustrato alimenticio pues este aumento sugiere una mayor acumulación de minerales y elementos esenciales como calcio, fósforo, hierro y magnesio, lo cual refuerza la hipótesis de que la alimentación de *Periplaneta americana* con residuos orgánicos diversificados mejora su perfil estructural siendo de un tamaño más grande las nuevas generaciones como M3 y, por ende, su valor nutricional total.

El enfoque integral del estudio demuestra que la especie *Periplaneta americana* constituye una alternativa viable para la valorización de residuos sólidos orgánicos en el Perú al transformar eficientemente estos sustratos en biomasa de alto valor nutricional; esta capacidad de bioconversión contribuye a la reducción del volumen de desechos destinados a disposición final, mitigando a su vez los impactos ambientales asociados a la generación de lixiviados y emisiones de gases de efecto invernadero, problemas críticos en la gestión de residuos municipales; en este contexto, el uso de insectos como agentes biodegradadores se alinea con los principios de la economía circular al reincorporar los residuos orgánicos en ciclos productivos, respondiendo directamente al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N.º 12. En este sentido, el presente estudio constituye un primer acercamiento aplicado a la implementación de principios de economía circular mediante el uso de insectos detritívoros, evidenciando su potencial y aportando evidencia experimental bajo condiciones controladas; asimismo, el estudio establece bases para nuevas líneas de investigación y producción sustentable de proteína mediante insectos, demostrando que es posible implementar tecnologías de bajo costo y alta eficiencia adaptables a contextos rurales o urbanos, promoviendo un modelo que integra la gestión de residuos sólidos domiciliarios con la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental.

6.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar los ensayos experimentales hacia una escala piloto y posteriormente a una etapa semiindustrial con el propósito de evaluar de manera integral el desempeño biológico, productivo y nutricional de *Periplaneta americana* bajo condiciones reales de bioconversión masiva de residuos orgánicos; este proceso de escalamiento permitirá determinar con mayor precisión la eficiencia operativa del sistema, considerando variables críticas como el tipo y volumen del residuo orgánico, la densidad de cría, la tasa de conversión del sustrato y los tiempos de degradación necesarios para garantizar una producción estable y sostenible de biomasa; asimismo, esta transición es esencial para establecer parámetros técnicos y protocolos estandarizados aplicables a escenarios reales de aprovechamiento de residuos y producción de harina proteica destinada a la alimentación animal.

Se recomienda promover la optimización integral del proceso de producción de biomasa de la especie *Periplaneta americana*, en especial las heces fecales, que representan un recurso valioso con potencial para ser transformado en biofertilizantes de alta calidad mediante procesos biotecnológicos complementarios, esta estrategia permitiría cerrar los ciclos productivos y avanzar hacia un modelo de aprovechamiento integral de residuos, bajo el enfoque zero waste (residuo cero) generando sinergias entre los sectores pecuario y agroindustrial y promoviendo una economía circular basada en la valorización de cada componente del proceso biológico.

Se recomienda incorporar tecnologías de procesamiento no agresivas en las etapas de secado y trituración de la biomasa de *Periplaneta americana*, priorizando métodos como el secado solar indirecto o el secado por aire caliente en rangos térmicos entre 30 °C y 40 °C que han sido recomendado por diversos autores por ser técnicamente viables para preservar la integridad nutricional, la inocuidad y la estabilidad microbiológica del producto final; asimismo, resulta necesario evaluar la influencia del exoesqueleto quitinoso en la uniformidad

del secado, dado que su estructura puede dificultar la eliminación homogénea de humedad y en consecuencia afectar la eficiencia del proceso de trituración y la homogeneidad granulométrica de la harina final obtenida; de igual modo, se recomienda establecer protocolos de almacenamiento estandarizados que garanticen la consistencia del material, prevengan la oxidación, minimicen la proliferación microbiana y aseguren la conservación de las propiedades nutricionales durante el acopio y la distribución de la biomasa procesada.

Se recomienda fortalecer la educación y la sensibilización ambiental de la comunidad mediante programas que difundan de manera clara, científica y accesible los beneficios del uso de harinas derivadas de insectos como *Periplaneta americana*, destacando su valor nutritivo y su bajo costo frente a suplementos convencionales, de modo que se promueva una comprensión informada sobre el manejo controlado y doméstico de estos insectos, superando el rechazo inicial derivado de su asociación con entornos insalubres como alcantarillas o residuos urbanos; esta estrategia debe permitir visibilizar los resultados positivos del proceso de domesticación y transformación higiénica de la especie, contribuyendo así a mejorar la percepción pública y favorecer una aceptación progresiva de su incorporación en la alimentación animal.

Se recomienda que las entidades distritales y municipales incorporen la biotecnología basada en insectos dentro de sus políticas y programas de gestión ambiental, promoviendo el aprovechamiento de los residuos orgánicos como materia prima para la producción de biomasa proteica mediante *Periplaneta americana*; integrar este enfoque contribuiría a reducir la presión sobre los rellenos sanitarios, disminuir los costos operativos de disposición final y avanzar en el cumplimiento de los compromisos climáticos nacionales, al reducir de manera significativa las emisiones de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) asociadas a la descomposición convencional de residuos.

Se recomienda realizar una evaluación gradual de costos y beneficios que permita identificar con claridad los procesos críticos dentro del sistema de cría y procesamiento de

Periplaneta americana, con el fin de optimizar la mano de obra, reducir gastos operativos y mejorar la productividad de la biomasa destinada a la obtención de harina proteica; esta evaluación es relevante si se considera que la harina obtenida a partir de *P. americana* presenta un coste de producción considerablemente menor en comparación con los suplementos proteicos convencionales disponibles en el mercado, debido al bajo costo del sustrato utilizado como son los residuos orgánicos domésticos desechados en mercados y/o en hogares; y relacionado a la alta eficiencia de conversión característica de la especie.



REFERENCIAS

- Aguilar Loayza, F. A. (2023). Análisis nutricional de la harina de cucaracha doméstica *Periplaneta americana* para una acuicultura sostenible en camarón blanco *litopenaeus vannamei*. [Tesis de Titulación, Facultad de Ciencias Agropecuarias] Repositorio Institucional Universidad Técnica de Machala, Ecuador. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/23481>
- Aidoo, O. F., Osei-Owusu, J., Asante, K., Dofuor, A. K., Boateng, B. O., Debrah, S. K., ... & Chia, S. Y. (2023). Insects as food and medicine: A sustainable solution for global health and environmental challenges. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1113219. <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2023.1113219/full>
- Arteaga, C., Silva, J., & Yarasca-Aybar, C. (2023). Solid waste management and urban environmental quality of public space in Chiclayo, Peru. *City and Environment Interactions*, 20, 100112. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2023.100112>
- Avendaño, C., Sánchez, M., & Valenzuela, C. (2020). Insectos: son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos. *Revista chilena de nutrición*, 47(6), 1029-1037. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029>
- Belhadj Slimen, I., Yerou, H., Ben Larbi, M., MHamdi, N., & Najar, T. (2023). Insects as an alternative protein source for poultry nutrition: a review. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1200031. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13274>
- Bello-Bravo, J. (2020). Managing biodiversity & divinities: Case study of one twenty-year humanitarian forest restoration project in Benin. *World Development*, 126, 104707. [doi:10.1016/j.worlddev.2019.104707](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104707)
- Bernabé, R. A. M. (2022). Gestión de Impactos Ambientales de los Residuos Alimentarios a Nivel de Gobiernos Locales. El Estado de la Gestión de Residuos en el Mercado San José de Jesús María. [Tesis de Doctorado, Pontificia Universidad Católica del Perú].

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [BCN]. (2017). Decreto 4 aprueba reglamento de alimentos para animales y deroga decretos que indica. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1104854>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [BCN]. (2021). La Resolución 6612 Exenta establece la nómina de ingredientes autorizados para la producción de alimentos o suplementos para animales y deroga la resolución que indica. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1124685>

Boate, U., & Suotonye, B. (2020). Cockroach (*Periplaneta americana*): Nutritional value as food and feed for man and livestock. *Asian Food Science Journal*, 15(2), 37-46. DOI: 10.9734/AFSJ/2020/v15i230150

Borah, N., & Hazarika, L. (2023). Age-specific variation of body mass and lipid reserves in *Periplaneta americana* (Blattodea: Blattidae). Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2707829/v1>

Brenner, R. J., & Kramer, R. D. (2019). Cockroaches (blattaria). In *Medical and veterinary entomology* (pp. 61-77). Academic Press.

Calvo Martín, M., Nicolis, S. C., Planas-Sitjà, I., & Deneubourg, J. L. (2019). Conflictual influence of humidity during shelter selection of the American cockroach (*Periplaneta americana*). *Scientific reports*, 9(1), 20331. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56504-w>

Cañar-Ramos, S., García-Montes, Y., Aldas-Morejón, J., Revilla-Escobar, K., Caicedo-Álvarez, E., & Arguello-Cedeño, J. (2024). Determinación de la calidad fisicoquímica e higiénico sanitaria de leche cruda considerando distintos sistemas de ordeño y tipos de alimentación. *Revista Peruana de Investigación Agropecuaria*, 3(1), e53-e53.

- Cerdas-Ramírez, R. (2013). Formulación de raciones para carne y leche: Desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica. *Intersedes*, 14(29), 133-158. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-24582013000300009&script=sci_arttext&tlng=en
- Chavez Tique, A. A., & Quispe Marca, E. E. (2025). Eficiencia de la especie *Periplaneta americana* para la reducción de residuos orgánicos domésticos. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/17094>
- Chen, Z., Wen, S., Shen, J., Wang, J., Liu, W., & Jin, X. (2023). Composition and diversity of the gut microbiota across different life stages of American cockroach (*Periplaneta americana*). *Bulletin of Entomological Research*, 113(6), 787-793. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007485323000469>
- Chown, S. L., & Terblanche, J. S. (2006). Physiological diversity in insects: Ecological and evolutionary contexts. *Advances in Insect Physiology*, 33, 50–152. [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(06\)33002-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(06)33002-0)
- Ciampitti, I. A., & García, F. O. (2007). Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Boletín Técnico*, Buenos Aires (Argentina): International Plant Nutrition Institute (IPNI). https://www.researchgate.net/publication/251813923_Requerimientos_nutricionales_Absorcion_y_extraccion_de_macronutrientes_y_nutrientes_secundario
- Contreras, M. L., Perez, D., & Rozas, R. (1989). Empirical correlations between electroantennograms and bioassays for *Periplaneta americana*. *Journal of chemical ecology*, 15(11), 2539-2548. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01014730>
- Cordero-Mendoza, D. D., Martínez-Llergo, S., Rivera-Gómez, R. C., Martínez-Campos, J. F., & Ortiz-Polo, A. (2023). Consumo de insectos y seguridad alimentaria. Vol. 12 Núm. 23 (2023): Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. ISSN: 2007-4573

Costas, M. E., & Kozubsky, L. E. (2023). Artrópodos. Libros de Cátedra. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/155036>

Da Silva, E. V. C., dos Santos Oliveira, E. V., Vasconcelos, G. K. C., Leão, A. J. N., Forte, P. R. C., Xavier, N. P., & de Lima Freitas, B. M. (2024). Comparação de Diferentes Métodos Para Determinação De Proteínas Em Pólen De Abelha Sem Ferrão. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, 5(9), e595620-e595620. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v5i9.5620>

Del Castillo Falcon, K. K. (2020). Conversión de residuos sólidos orgánicos de cocina en biomasa corporal de cucarachas (*Periplaneta americana*) para la producción de harina y su utilización como suplemento alimenticio de pollos bebes Huánuco 2019. [Tesis de Titulación, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional Universidad de Huánuco, Perú. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2430>

Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA]. (2006). Norma Sanitaria para la Fabricación de Alimentos a Base de Granos y Otros, destinados a Programas Sociales de Alimentación. http://www.digesa.minsa.gob.pe/NormasLegales/Normas/RM_451_2006_modificacion.pdf

Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA]. (2020). Proyecto “norma sanitaria sobre el procedimiento para la aplicación del sistema HACCP en la fabricación de alimentos y bebidas”. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/252398-482-2005-minsa>

- Durán-Galdo, R., & Saavedra-Garcia, L. (2022). Entomofagia, ¿Una potencial alternativa para la seguridad alimentaria?: Una revisión narrativa. *Rev. Española Nutr. Comunitaria*, 28, 14. ISSN 1135-3074. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8517220>
- Espinoza Figueroa, A. L., & Zambrano Changoluisa, L. I. (2020). Evaluación en mesocosmos de la descomposición de residuos sólidos domésticos mediante cucarachas americanas *Periplaneta americana* (LINNNAEUS, 1758) en la Amazonía Ecuatoriana. [Tesis de Bachiller, Universidad Estatal Amazónica]. Repositorio Institucional DSpace, Ecuador. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/822>
- Eur-Lex. (2024). Establishing the Union list of novel foods in accordance with Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council on novel foods. Commission Implement Regulation. European Commission (EC). Recuperado el 03 de agosto de 2024, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32017R2470>
- Finke, M. (2013). Complete nutrient composition of commercially raised insects. *Zoology*, 116(5), 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2013.03.002>
- Flores Leiva, G. A., Molina Quintanilla, S. D., & Puro López, U. O. (2023). Evaluación de la inclusión de ensilado de pasto napier (*Pennisetum purpureum*) o ensilado de maíz (*Zea mays*) en la dieta sobre el uso de nutrientes, el balance de nitrógeno, la síntesis de proteínas microbianas y el rendimiento en vacas lecheras en ordeño. [Tesis de Doctorado, Universidad de El Salvador]. Repositorio Institucional Universidad de El Salvador. <https://hdl.handle.net/20.500.14492/27499>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2022). Suelos sanos para una población y un planeta sanos: la FAO reclama que se revierta la degradación de los suelos. Recuperado el 16 de agosto de 2024, de

<https://www.fao.org/newsroom/detail/agriculture-soils-degradation-FAO-GFFA-2022/es>

Fowles, T. M., & Nansen, C. (2019). Artificial selection of insects to bioconvert pre-consumer organic wastes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(3), 31. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0577-z>

Gadberry S. & Jennings J. 2205. Nitrate and Prussic Acid Poisoning in Cattle, University of Arkansas, FSA 3024. <https://www.uaex.uada.edu/farm-ranch/animals-forages/beef-cattle/nitrate-poisoning-in-cattle.aspx>

Gahukar, R. T. (2016). Edible insects farming: efficiency and impact on family livelihood, food security, and environment compared with livestock. *Insects as Sustainable Food Ingredients* (pp. 85-111). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00004-1>

Gasca-Álvarez, H. J., & González, W. (2021). Aproximación al uso y aprovechamiento de insectos comestibles en las comunidades indígenas del oriente amazónico colombiano. *Revista peruana de biología*, 28(4). doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v28i4.21227>

Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z., & Hillier, G. (2015). Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste management*, 39, 305-313. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.007>

Ghosh, S., Jung, C., & Meyer-Rochow, V. B. (2020). Nutritional value and harvesting of edible insects. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(3), 789–798. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2020.06.005>

Gómez Olachica, M. D. P. (2022). Estado del arte de la iniciativa basura cero y su aplicación en la población actual nacional e internacional. [Tesis de Especialización]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia, Colombia.

https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/29064/2/G%C3%B3mezMaria%20_2022_EstadoBasuraCero.pdf

Gonzales, W. F. Z. (2021). Assessment And Characterization Of Common Solid Waste From The University Campus Of UCSM Arequipa Perú. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación [CONCYTEC]. Revistas - Universidad Católica de Santa María. <https://revistas.ucsm.edu.pe/ojs/index.php/veritas/article/view/294>

Guaque-Olarte, S. (2019). "Guía de prácticas de laboratorio del curso Procesos bioquímicos." Universidad Cooperativa de Colombia. Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. DOI: <https://doi.org/10.16925/gcgp.16>

Guerra, A. R., & Cajas, K. A. B. (2022). Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU): análisis de una década de gestión en países de Europa y América. Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas: REMCB, 43(1), 49-61. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8714767>

Guerrero García, L. Y., & Cadena Fernández, L. Á. (2016). Evaluación del control biológico de *periplaneta americana* (blattidae, linnaeus) por ingestión del hongo *metarhizium anisopliae* (clavicipitaceae, metchnikoff) y ácido bórico. [Tesis de Titulación] Repositorio Universitario Universidad Distrital Francisco José de Caldas <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/76b2cb85-9dc2-45a3-bf1f-c5872709f464/content>

Gwak, C. H., & Kim, H. S. (2025). Trends in eco-friendly pet food processing technologies using insect protein and meat by-products. Journal of Humanimal Sciences, 1(3), 125-140. <https://doi.org/10.23341/jhas.2025.1.3.125>

Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P.(2014). Metodología de la investigación (6.ºed.). McGraw-Hill Educación. ISBN: 978-1456277741. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>

- Hyatt, A. D., & Marshall, A. T. (1985). Water and ion balance in the tissues of the dehydrated cockroach, *Periplaneta americana*. *Journal of insect physiology*, 31(1), 27-34.
- Instituto de Estudios Urbanos [IEU]. (2021). Debates Gobierno Urbano, Gestión de residuos sólidos en América Latina: ¿hacia una economía circular?. Ed. Núm. 28. Debates Gob. Urbano issn-l: 2248-7204. <http://ieu.unal.edu.co/centro-editorial/debates-gobierno-urbano>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2022 a). Encuesta Nacional Agropecuaria 2022. Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1912/Libro.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2022 b). Informe Preliminar Estudio de mercado sobre el sector lácteo en el Perú. INDECOPI. <http://www.indecopi.gob.pe/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2021). Cambio climático 2021. Bases físicas. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf
- Irungu, F. G., Mutungi, C. M., Faraj, A. K., Affognon, H., Tanga, C., Ekesi, S., ... & Fiaboe, K. K. M. (2018). Minerals content of extruded fish feeds containing cricket (*Acheta domesticus*) and black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fractions. *International Aquatic Research*, 10(2), 101-113.
- Jacobs, S. (2002). American cockroaches *Periplaneta americana* (L.). Online at: www.psu.edu. <https://extension.psu.edu/cucarachas-americanas>
- Jesus Gimenez, J. K. (2020). Crianza de cucarachas (*Periplaneta americana*) mediante residuos de cocina para disminuir la acumulación de residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Huánuco 2019. [Tesis de Titulación, Universidad de Huánuco]. Repositorio

<http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2433>

- Joda, A., Olayode, F. E., & Lawal, O. A. (2023). Sexual differences in size and chemical composition of antennae of American cockroach, *Periplaneta americana* (Dictyoptera, Blattidae). *Entomologica Romanica*, 27. https://entomologica-romanica.reviste.ubbcluj.ro/27_2023/ER27202302_Joda_et al.pdf
- Khajuie, F., Valizadeh, R., Naserian, AA, Dadvar, P. y Dayani, O. (2022). Evaluation of cockroach (*Periplaneta americana*) powder as a potential feed ingredient for ruminants: chemical composition, fatty acids profile and ruminal degradability. *Journal of Livestock Science & Technologies (JLST)*, 10 (1). DOI: 10.22103/JLST.2022.18955.1396
- Kovitvadhi, A., Chundang, P., Pliantiangtam, N., Thongprajukaew, K., Tirawattanawanich, C., Suwanasopee, T. y Koonawootrittriron, S. (2021). Screening of in vitro nutrient digestibility coefficients of selected insect meals in broiler chickens, black-meat chickens and quails. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105 (2), 305-315. <https://doi.org/10.1111/jpn.13451>
- Kovitvadhi, A., Chundang, P., Thongprajukaew, K., Tirawattanawanich, C., Srikachar, S., & Chotimanothum, B. (2019). Potential of insect meals as protein sources for meat-type ducks based on in vitro digestibility. *Animals*, 9(4), 155. <https://doi.org/10.3390/ani9040155>
- Latunde-Dada, G. O., Yang, W., & Vera Aviles, M. (2016). Insects as a source of iron in human nutrition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(41), 8420–8426. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03190>

- Li, M., Mao, C., Li, X., Jiang, L., Zhang, W., Li, M., ... & Hou, X. (2023). Edible insects: A new sustainable nutritional resource worth promoting. *Foods*, 12(22), 4073. <https://doi.org/10.3390/foods12224073>
- Li, M., Wu, H., Wang, S., Wu, S., Han, J., & Han, Y. (2022). Development of microparticles for oral administration of *Periplaneta americana* extract to treat ulcerative colitis. *Drug Delivery*, 29(1), 2723-2733. DOI: 10.1080/10717544.2022.2112115
- Lim, X. (2022). Los insectos. American Chemical Society. <https://www.proed.acs.org/content/dam/acsorg/education/resources/highschool/chem-matters/issues/2021-2022/april-2022/bugs-future-meat-spanish.pdf>
- Lima, J. A. M. D. (2023). Animais Sinantrópicos Nocivos E Os Impactos Na Saúde. [Tesis de Licenciatura, Instituto Federal Da Paraíba]. Repositorio Institucional Instituto Federal de educação, ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil. <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/3644>
- Lin, L., Wen, J., Li, S., & Liu, F. (2022). Life-history traits from embryonic development to reproduction in the American cockroach. *Insects*, 13(6), 551. <https://doi.org/10.3390/insects13060551>
- Loiotine, Z., Gasco, L., Biasato, I., Resconi, A., & Bellezza Oddon, S. (2024). Effect of larval handling on black soldier fly life history traits and bioconversion efficiency. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1330342. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1330342>
- Long, X., Yang, W., Gu, Y., Xiao, P., Yang, Y., & Deng, J. (2024). The American cockroach (*Periplaneta americana*) residue could partially replace the dietary fish meal in the juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 35, 101942. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.101942>
- Mateos A. A. (2019). Insectos como Piensos, alimentos y productos básicos: Oportunidades y Retos Entomofagia, ¿Alimentación del futuro?. Real Academia de Ciencias

Veterinarias.

https://racve.es/files/2019/04/Entomofagia_IV_Conf_Academias_Cs_Vs_2019.pdf

Melgar-Lallande, G., Hernández-Álvarez, A. J., & Salinas-Castro, A. (2019). Edible insects processing: Traditional and innovative technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1166-1191. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12463>

Ministerio de Agricultura y Riego [MIDAGRI]. (2008). Decreto Supremo N.º 034-2008-AG: Reglamento de la Ley de Inocuidad de los Alimentos. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/normas-legales/258681-034-2008-ag>

Ministerio de Agricultura y Riego [MIDRAGRI]. (2008). Ley de Inocuidad de los Alimentos. Decreto Legislativo N.º 1062. <https://www.gob.pe/institucion/senasa/normas-legales/962247-1062>

Ministerio de Salud [MINSA]. (2006). Resolución Ministerial N°451-2006-MINSA. Norma Sanitaria para la Fabricación de Alimentos a Base de Granos y Otros, destinados a Programas Sociales de Alimentación. https://www.indecopi.gob.pe/documents/20182/143803/guia_rotulado_2013.pdf

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). Decreto Supremo N.º014-2017-MINAM. Reglamento del Decreto Legislativo N°1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12895/ds_014-2017-minam.pdf?v=1592374688

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2019). Resolución Ministerial N.º 100-2019-MINAM. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/271663-100-2019-minam>

Montalbán, A., Sánchez, C.J, Hernández, F., Schiavone, A., Madrid, J., & Martínez-Miró, S. (2022). Effects of Agro-Industrial Byproduct-Based Diets on the Growth Performance,

- Digestibility, Nutritional and Microbiota Composition of Mealworm (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*, 13 (4), 323. <https://doi.org/10.3390/insects13040323>
- Montero-Prado, P., Montero Atencio, R., & Atencio-Valdespino, R. (2025). Insectos como suplementos proteicos en la producción pecuaria: una alternativa sostenible y eficiente. *Agronomía Mesoamericana*, 36(1). <http://dx.doi.org/10.15517/am.2025.922>
- Mustafa, F., Sajjad, A., Tahir, R., Ali, M., Sajjad, M., Abbasi, A., ... & Abd_Allah, E. F. (2024). Use of *Periplaneta americana* as a Soybean Meal Substitute: A Step towards Sustainable Transformative Poultry Feeds. *Insects*, 15(9), 632. <https://doi.org/10.3390/insects15090632>
- Neupane, A. C. (2022). Food Detection and Feeding Behavior of Three Species of Household Cockroaches, *Blatella germanica* (L.), *Periplaneta americana* (L.), and *Supella longipalpa* (F.). In *Arthropods-New Advances and Perspectives*. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.108499
- Nicolis, S. C., Pin, A., Calvo Martin, M., Planas-Sitjà, I., & Deneubourg, J. L. (2020). Sexual group composition and shelter geometry affect collective decision-making: the case of *Periplaneta americana*. *Insectes Sociaux*, Vol. 67, 523-530. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00040-020-00791-4>
- Nishino, H., Yoritsune, A., & Mizunami, M. (2010). Postembryonic development of sexually dimorphic glomeruli and related interneurons in the cockroach *Periplaneta americana*. *Neuroscience letters*, 469(1), 60-64.
- Noriega, C. H. (2021). Empleo del insecto *Periplaneta americana*, para la reducción de desechos sólidos orgánicos. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos Aula Virtual*, 2(05), 56-68. <https://orcid.org/0000-0002-0873-8419>

- Ojha, S., Bußler, S., & Schlüter, O. K. (2020). Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing. *Waste Management*, Vol. 118, 600-609. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.010>
- Okanlawon, S. S., Ojetayo, T. A., & Sotolu, A. O. (2020). Cockroach (*Periplaneta americana*) Meal Nutritive Composition. *Trends in Science & Technology Journal*, 5(1). www.ftstjournal.com e-ISSN: 24085162; p-ISSN: 20485170
- Olazabal, M. M. V., & Benavente, M. J. L. G. (2021). Dirección y Supervisión General. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/investigaciones/costos-de-produccion-v7.pdf>
- Oonincx, D. G., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., & Van Loon, J. J. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PloS one*, 10(12), e0144601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222043>
- Ordoñez-Araque, R., & Egas-Montenegro, E. (2021). Edible insects: A food alternative for the sustainable development of the planet. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, Vol. 23, 100304. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100304>
- Organisation for Economic Co-operation and Development - Food and Agriculture Organization of the United Nations [OECD-FAO]. (2023). *OECD FAO Agricultural Outlook 2023-2032*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/08801ab7-en>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2018). *Instrumentos Básicos para la Fiscalización Ambiental*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2015-02857. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978.
- Organismo Mundial de la Salud [OMS]. (2023). *Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias Comité del Codex sobre Residuos de Plaguicidas. Revisión de la*

Clasificación de Alimentos y Piensos: Categoría B: Productos Alimenticios Primarios De Origen Animal Y Categoría E – Alimentos Elaborados De Origen Animal.
https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-718-54%252FWDs%252Fpr54_06s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2022).

Suelos sanos para una población y un planeta sanos: la FAO reclama que se revierta la degradación de los suelos. Recuperado el 16 de agosto de 2024, de <https://www.fao.org/newsroom/detail/agriculture-soils-degradation-FAO-GFFA-2022/es>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2020). Residuos Sólidos. Recuperado el 20 de Junio de 2024 de <https://www.paho.org/es/temas/residuos-solidos>

Ou, G., Zhao, Y., Wang, P., Tao, S., Li, H. y Zhao, T. (2024). The American cockroach (*Periplaneta americana*) residue could partially replace the dietary puffed soybean meal in the Three-yellow chickens. Poultry Science, Volume 103, Issue 9, 103967. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103967>

Palma Egas, A. A. (2023). Concentrados proteicos de Hormigas Santandereanas (*Atta laevigata*): Caracterización y evaluación de su capacidad anti inflamatoria tras el proceso de digestión gastrointestinal in vitro. Tesis de Bachiller, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Alimentos]. Repositorio Institucional Universidad Técnica de Ambato, México. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/bitstream/123456789/37914/1/CAL%20040.pdf>

Panta Roa, L. Y. (2022). Gestión de residuos sólidos y el impacto ambiental en la ciudad de Sullana 2022. [Tesis de Titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio

- Pascual T. F. (2015). Clase Insecta, Orden Blattodea. Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Granada (España). ISSN 2386-7183. http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_48.pdf
- Patón, D., & García-Gómez, J. C. (2023). Blaticomposting of food waste, production estimates, chemical composition and CO₂ emissions savings: A case study. *Waste and Biomass Valorization*, 14(11), 3811-3826. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02092-w>
- Payne, C. L. R., Scarborough, P., Rayner, M., & Nonaka, K. (2016). Are edible insects nutritious? *Food Chemistry*, 193, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.115>
- Pellens, R., D’Haese, C. A., Bellés, X., Piulachs, M. D., Legendre, F., Wheeler, W. C., & Grandcolas, P. (2007). The evolutionary transition from subsocial to eusocial behaviour in Dictyoptera: phylogenetic evidence for modification of the “shift-in-dependent-care” hypothesis with a new subsocial cockroach. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43(2), 616-626. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.12.017>
- Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos [PIGARS]. (2017). Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS) de la provincia de Arequipa. Municipalidad Provincial de Arequipa. [Archivo PDF]. <https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/gestionmanejoresiduos/PIGARS%202017-2028/PIGARS%20final%202022%20de%20Diciembre.pdf>
- Ponce, G., Cantú, P. C., Flores, A., Badii, M., Barragán, A., Zapata, R., & Fernández, I. (2005). Cucarachas: Biología e importancia en salud pública. *RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición*, 6(3). <https://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/152>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2021). Informe anual de 2021. <https://www.unep.org/es/resources/informe-anual-de-2021>

Prósper Ortega, L. (2020). Seguridad alimentaria y calidad nutricional del uso de insectos en la dieta. [Tesis de Doctorado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional Universitat Politècnica de València, España. <https://riunet.upv.es/handle/10251/147898>

Quillos Ruiz, S. A., Escalante Espinoza, N. J., Sánchez Vaca, D. A., Quevedo Novoa, L. G., & De La Cruz Araujo, R. A. (2018). Residuos sólidos domiciliarios: caracterización y estimación energética para la ciudad de Chimbote. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, Vol.84 N°3.

Quirós-Blanco, A. M., Fallas, P., & Acosta, Ó. (2019). Retos y oportunidades de los insectos comestibles como fuente de proteína sostenible en Costa Rica. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), Universidad de Costa Rica. <https://cita.ucr.ac.cr/sites/default/files/2024-05/Congreso%20Insectos%202019.pdf>

Ramos-Elorduy, J., & Pino, J. M. (2001). Contenido de vitaminas de algunos insectos comestibles de México. *Revista de la Sociedad Química de México*, 45(2), 66-76.

Requena-Sánchez, N., & Carbonel-Ramos, D. (2021). Cambios en la generación y composición de residuos domiciliarios durante la pandemia del Covid-19, Estudio de Caso en 8 distritos de la provincia de Arequipa, Perú. *Tecnia*, 31(2), 22-26. DOI: <https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i2.1035>

Rivera, J., & Carbonell, F. (2020). Los insectos comestibles del Perú: Biodiversidad y perspectivas de la entomofagia en el contexto peruano. *Ciencia & Desarrollo*, (27), 03-36. <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/995/1118>

Romero, R., Andrés, E., Romero Reyes, K. M., & Castellanos Villa, S. D. (2022). Ingeniería inversa y optimización de un horno de vacío para los laboratorios de Ciencia de los

- Materiales y Procesos de Manufactura del DCEM. [Tesis de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio Institucional Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/29214/1/T-ESPE-052250.pdf>
- Rosario, F. D. (2021). Plan de negocios para la producción de *Hermetia illucens* en la universidad Zamorano, Honduras. [Tesis de Doctorado, Escuela Agrícola Panamericana]. Repositorio Institucional Universidad Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/12499019-0d11-41d2-aeb1-b4c168b3de92/content>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition of insects – A systematic review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802–823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- Sáez-Plaza, P., Asuero, A. G., & Martín, J. (2019, April). Una anotación sobre el método de Kjeldahl. In *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* (Vol. 85, No. 1)
- Samper Pérez, E. (2020). Diseño de Planta para Procesado de 40.000 m³/año de FORM por medio de *Periplaneta americana* en el TM de Ulea. Repositorio Institucional Universidad de Cartagena. [Tesis de Titulación, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica]. Repositorio Institucional Universidad Politécnica de Cartagena. <http://hdl.handle.net/10317/9054>
- Sánchez-Pedraza, R., Gamba-Rincón, M. R., & González-Rangel, A. L. (2012). Use of black vulture (*Coragyps atratus*) in complementary and alternative therapies for cancer in Colombia: A qualitative study. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8(1), 20.
- SENASA. (2022). Memoria Anual 2022. Actualidad Ganadera. <https://actualidadganadera.com/tag/senasa-peru/>
- Siddiqui, S. A., Hadus, M. C. I., Fitriani, A., Guleria, V., Kuppusamy, S., Bhattacharjee, B., ... & Maggiolino, A. (2024 a). Edible cockroaches as food and feed—A systematic review

- on health benefits, nutritional aspects and consumer acceptance. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(aop), 1-43. ISSN: 2352-4588 | DOI: 10.1163/23524588-00001138
- Siddiqui, S. A., Harahap, I. A., Osei-Owusu, J., Saikia, T., Wu, Y. S., Fernando, I., ... & Câmara, J. S. (2024 b). Bioconversion of organic waste by insects–A comprehensive review. *Process Safety and Environmental Protection*, 187, 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.122>
- Sule, S. O., Sotolu, A. O., Yakubu, S. O., & Mohammed, R. (2021). Cockroach (*Periplaneta americana*) as fishmeal replacer in diets of African catfish (*Clarias gariepinus*) Juveniles. *Nigerian Journal of Entomology*, Vol. 40 (1): 27-41, 2024. DOI: 10.36108/NJE/4202/04.0120
- Surco Reyes, B. L. (2024). Evaluación del impacto ambiental del manejo de residuos sólidos del botadero “El Cebollar” del distrito de Paucarpata-Arequipa, 2023. [Tesis de Titulación, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/14460>
- Talgi Trejo, Y. A. (2016). Determinación de la presencia de ooquistes de *Toxoplasma gondii* en cucarachas *Periplaneta americana* que habitan en el Mercado Colón de la Ciudad de Guatemala (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala). <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/5781>
- Ukoroije, R. B., & Bawo, D. S. (2020). Cockroach (*Periplaneta americana*): Nutritional Value as Food and Feed For Man and Livestock. *Asian Food Science Journal*, 15(2), 37–46. DOI:10.9734/afsj/2020/v15i230150
- University of Florida, IFAS. (2025). American Cockroach, *Periplaneta americana* (Linnaeus). EDIS publication IN298. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/IN298>

- Van Huis, A., & Rumpold, B. (2023). Strategies to convince consumers to eat insects? A review. *Food quality and preference*, Volume 110, 104927. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104927>
- Van Huis, A., Halloran, A., & Roos, N. (2021). Edible insects: Future prospects for food and feed security. *Annual Review of Entomology*, 66, 293–316. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-070720-074658>
- Xie, Y., Liang, S., Zhang, Y., Wu, T., Shen, Y., Yao, S., & Li, J. (2023). Discovery of indole analogues from *Periplaneta americana* extract and their activities on cell proliferation and recovery of ulcerative colitis in mice. *Frontiers in Pharmacology*, 14, 1282545. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1282545>
- Zhukovskaya, M. I., & Novikova, E. S. (2023). Morphological Asymmetry of Antennae and Behavioral Grooming Asymmetries in the Cockroach *Periplaneta americana* L. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 59(2), 350-358. <https://link.springer.com/article/10.1134/s0022093023020047>
- Zúñiga Arias, I. (2024). Desarrollo de una metodología analítica para la cuantificación del 3-acetilhexapéptido en un gel cosmético anti-edad a través del Método de Biuret: Laboratorio de Farmacia Química y Farmacognosia. [Tesis de Titulación, Universidad Andrés Bello] Repositorio Universidad Andrés Bello, Chile. <https://repositorio.unab.cl/server/api/core/bitstreams/f116e5f0-8619-4ce5-ae1b-0ca15bea665d/content>
- Zúñiga, P. I. V., Cedeño, R. J. C., & Palacios, I. A. M. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723-9762.



ANEXOS

Anexo A. Tabla de Eficiencia de Reducción de Residuos (ERR) para M2-M3

Muestra	Peso Inicial	Peso Final	ERR	
M2/M3	g.	g.	g.	%
M2	115	114	0.8	0.70%
M2	115	114	1.1	0.96%
M2	115	113	1.7	1.48%
M2	115	113	1.7	1.48%
M2	114	112	1.9	1.66%
M2	115	112	2.6	2.27%
M2	114	112	2.8	2.45%
M2	115	111	3.7	3.22%
M2	114	111	3.4	2.98%
M2	115	110	4.3	3.75%
M2	114	110	4.3	3.76%
M2	115	110	5.0	4.36%
M2	115	109	5.3	4.63%
M2	115	109	6.1	5.31%
M2	114	108	6.0	5.24%
M2	115	108	6.8	5.92%
M2	115	108	7.1	6.19%
M2	115	107	7.7	6.70%
M2	114	107	7.4	6.48%
M2	114	106	7.9	6.91%
M2	115	106	8.6	7.50%
M2	115	106	9.2	8.01%
M2	115	105	9.3	8.12%
M2	114	105	9.5	8.31%
M2	115	104	10.2	8.90%
M2	114	104	10.4	9.09%
M2	115	104	11.1	9.68%
M2	115	103	11.3	9.87%
M2	114	103	11.5	10.06%
M2	115	102	12.5	10.88%
M2	115	102	12.8	11.15%
M2	115	102	13.0	11.34%
M2	114	101	13.1	11.46%
M2	115	101	13.9	12.12%
M2	115	100	14.5	12.62%
M2	115	100	14.5	12.66%
M2	114	100	14.6	12.78%
M2	115	99	15.4	13.44%
M2	114	99	15.6	13.64%
M2	115	98	16.5	14.36%
M2	115	98	16.7	14.56%
M2	114	98	16.7	14.61%
M2	115	97	17.4	15.18%
M2	115	97	17.7	15.46%
M2	114	96	17.8	15.59%
M2	115	96	18.7	16.30%
M2	115	96	19.3	16.80%
M2	114	95	19.2	16.78%
M2	115	95	20.0	17.42%
M2	115	94	20.1	17.55%
M2	115	94	20.6	17.98%
M2	115	94	21.3	18.54%
M2	114	93	21.2	18.53%
M2	114	93	21.5	18.81%
M2	115	92	22.4	19.51%
M2	115	92	22.6	19.72%
M2	115	92	23.1	20.14%
M2	114	91	23.1	20.21%
M2	115	91	23.7	20.70%
M2	115	90	24.5	21.32%
M2	115	90	24.8	21.60%
M2	115	89	25.4	22.14%
M2	115	89	25.8	22.53%

Muestra	Peso Inicial	Peso Final	ERR	
M2/M3	g.	g.	g.	%
M2	114	87	27.3	23.86%
M2	115	86	29.3	25.52%
M2	115	84	30.6	26.70%
M3	115	114	0.8	0.70%
M3	115	113	1.2	1.05%
M3	115	114	1.9	1.65%
M3	115	113	2.0	1.75%
M3	114	112	2.3	2.01%
M3	115	112	3.1	2.71%
M3	114	111	3.4	2.97%
M3	115	111	4.4	3.83%
M3	114	109	4.2	3.68%
M3	115	110	5.2	4.53%
M3	114	109	5.3	4.64%
M3	115	108	6.1	5.32%
M3	115	109	6.5	5.68%
M3	115	107	7.4	6.44%
M3	114	107	7.4	6.47%
M3	115	107	8.3	7.23%
M3	115	107	8.7	7.59%
M3	115	106	9.4	8.18%
M3	114	105	9.2	8.06%
M3	114	105	9.8	8.57%
M3	115	105	10.6	9.25%
M3	115	104	11.3	9.84%
M3	115	103	11.5	10.04%
M3	114	103	11.8	10.32%
M3	115	103	12.6	10.99%
M3	114	101	12.9	11.28%
M3	115	102	13.7	11.94%
M3	115	101	14.0	12.23%
M3	114	100	14.3	12.51%
M3	115	99	15.4	13.40%
M3	115	100	15.8	13.76%
M3	115	99	16.1	14.05%
M3	114	98	16.3	14.26%
M3	115	98	17.2	15.00%
M3	115	98	17.9	15.58%
M3	115	96	18.0	15.72%
M3	114	97	18.2	15.94%
M3	115	95	19.1	16.67%
M3	114	96	19.4	16.96%
M3	115	94	20.4	17.75%
M3	115	95	20.7	18.05%
M3	114	93	20.8	18.20%
M3	115	94	21.6	18.85%
M3	115	93	22.0	19.21%
M3	114	93	22.2	19.44%
M3	115	92	23.2	20.23%
M3	115	91	23.9	20.80%
M3	114	90	23.9	20.89%
M3	115	91	24.8	21.60%
M3	115	90	25.0	21.83%
M3	115	89	25.6	22.34%
M3	115	89	26.4	22.98%
M3	114	88	26.4	23.08%
M3	114	88	27.3	23.88%
M3	115	86	28.8	25.09%
M3	115	86	29.6	25.83%
M3	115	85	30.2	26.33%
M3	115	84	30.5	26.64%

Nota. Elaboración propia.

Anexo B. Resultado de Laboratorio M1 – Coliformes Fecales en Sedimentos



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : CD05FE0D

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-25-00030

Fecha de emisión: 4/10/2025

Página 3 de 4

RESULTADOS DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7155 Coliformes fecales en sedimentos
		NMP/1g ST
SD25000033	M1	<0,18

Firmado por: JOSÉ ALFREDO OZE ORTIZ CONDORI, JEFE DE ÁREA DE MICROBIOLOGÍA, Emisor de certificado: CAMERFIRMA PERÚ S.A.C., 4/10/2025 16:35:28


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
José A. Ortiz Condori
Microbiología
Biólogo C.B.P. 13052

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"a"<Valor numérico"<Limite de detección del método, "b"<Valor Numérico"<Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web

Anexo C. Resultado de Laboratorio M1 – Proteína, cenizas, macro y micronutrientes



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : CD05FE0D

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-25-00030

Fecha de emisión: 4/10/2025

Página 2 de 4

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7096	*7101						*7102					
		Cenizas	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Ca	K	Mg	N	P	S
		%	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD25000033	M1	13,75	b<3,0	98,4	2800	109	b<1,0	309	8447	7540	1400	42020	2540	1662

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7135
		Proteína
		g/kg
SD25000033	M1	262,6

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES, Emisor de certificado: LLAMA PE, 4/10/2025 16:35:26

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"a<Valor numérico"=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web

Anexo D. Resultado de Laboratorio M2 – Proteína, cenizas, macro y micronutrientes



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : BA02CE9B

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-25-00031

Fecha de emisión: 4/10/2025

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7096	*7101							*7102					
		Cenizas	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Ca	K	Mg	N	P	S	
		%	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD25000034	M2	16,58	b<3,0	294	3090	264	b<1,0	1030	7540	13800	1830	45090	3330	2370	

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7135
		Proteína g/kg
SD25000034	M2	281,8

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES, Emisor de certificado: LLAMA PE, 4/10/2025 16:35:57

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"*<Valor numérico"=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web

Anexo E. Resultado de Laboratorio M3 – Proteína, cenizas, macro y micronutrientes



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 230B9F21

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-25-00032

Fecha de emisión: 4/10/2025

Página 2 de 4

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7096	*7101						*7102					
		Cenizas	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Ca	K	Mg	N	P	S
		%	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD25000035	M3	18,25	b<3,0	528	3250	432	b<1,0	1720	7548	17800	2010	46540	4010	3806

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7135
		Proteína
		g/kg
SD25000035	M3	290,9

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES, Emisor de certificado: LLAMA PE, 4/10/2025 16:35:48

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"a<Valor numérico"=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web

Anexo F. Resultado de Laboratorio M4 – Proteína, macro y micronutrientes



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : 540CAFB7

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-25-00033

Fecha de emisión: 4/10/2025

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7101						*7102					
		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Ca	K	Mg	N	P	S
SD25000036	M4	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
		b<3,0	1860	628	1520	b<1,0	1880	911,5	>25000,0	2440	11800	180	3078

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7135
		Proteína g/kg
SD25000036	M4	73,7



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES, Emisor de certificado: LLAMA PE, 4/10/2025 16:35:39

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"a<Valor numérico"=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web

Anexo G. Resultado de Laboratorio – Métodos de Ensayos Utilizados



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : CD05FE0D

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-25-00030

Fecha de emisión: 4/10/2025

Página 4 de 4

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
*7096	Método de ensayo para la determinación de Cenizas en suelos y sedimentos	[0.001 - 100] %
*7101	Determinación de micronutrientes ICP OES - B	[0 - 0] mg/Kg
*7101	Determinación de micronutrientes ICP OES - Cu	[0 - 0] mg/Kg
*7101	Determinación de micronutrientes ICP OES - Fe	[0 - 0] mg/Kg
*7101	Determinación de micronutrientes ICP OES - Mn	[0 - 0] mg/Kg
*7101	Determinación de micronutrientes ICP OES - Mo	[0 - 0] mg/Kg
*7101	Determinación de micronutrientes ICP OES - Zn	[0 - 0] mg/Kg
*7102	Determinación de macronutrientes - Ca	[0 - 1000] mg/Kg
*7102	Determinación de macronutrientes - K	[0 - 1000] mg/Kg
*7102	Determinación de macronutrientes - Mg	[0 - 1000] mg/Kg
*7102	Determinación de macronutrientes - N	[0 - 1000] mg/Kg
*7102	Determinación de macronutrientes - P	[0 - 1000] mg/Kg
*7102	Determinación de macronutrientes - S	[0 - 1000] mg/Kg
*7135	Método de ensayo para Proteínas por destilación Kjelhdal	[0.5 - 100] g/kg
*7155	Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part-9221 E-1, 24th Ed. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedures (EC Medium) of sediments, sludges and soils.	[1.8 - 110000000000] NMP/1g ST

^a : Límite detección

^b : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Firmado por: JUAREZ SOTO OMAR ALFREDO, GERENTE DE OPERACIONES, Emisor de certificado: LLAMA PE, 4/10/2025 16:35:28

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"^a<Valor numérico">Límite de detección del método, "^b<Valor Numérico">Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web



Anexo I. Fotografía del Lugar de Captura de Periplaneta americana



Notas. a) Individuos *P. americana* en vía pública – época de verano, Camaná; b) Depósito de basura del Mercado Central de Camaná con presencia de individuos *P. americana*.

Anexo J. Fotografía de la Captura de la Especie *Periplaneta americana*.



Nota. a) Especie *P. americana* en entorno; b) Colocación de trampas para la captura de la especie; c) Especies dentro de las trampas.

Anexo K. Fotografía de las Condiciones de Configuración Experimental



Nota. a) Javas de huevo con presencia de hongos; b) Heces de *P. americana*; c) Configuración de jvas de huevos al segundo mes; d) Heces de *P. americana*.

Anexo L. Fotografía del Pesaje de *Periplaneta americana*.



Nota. a) Especie *P. americana* secada lista para el pesaje, b) y c) Pesaje dentro del laboratorio de la especie *P. americana*.

Anexo M. *Fotografía de la Desinfección con alcohol etílico 70%*



Nota. Propia.

Anexo N. *Fotografía de Dispersión de individuos en envases de acero inoxidable*



Nota. Propia.

Anexo O. Fotografía del Procesamiento en Horno eléctrico



Nota. Propia.

Anexo P. Fotografía del Secado en Horno eléctrico



Nota. a) Individuos *P. americana* previo secado; b) Individuos *P. americana* luego de 24 horas.

Anexo Q. Fotografía de la Trituración de individuos



Nota. a) y b) Triturado de *P. americana* en licuadora industrial; c) Producto final.

Anexo R. Fotografía de los Envases rotulados post-procesamiento



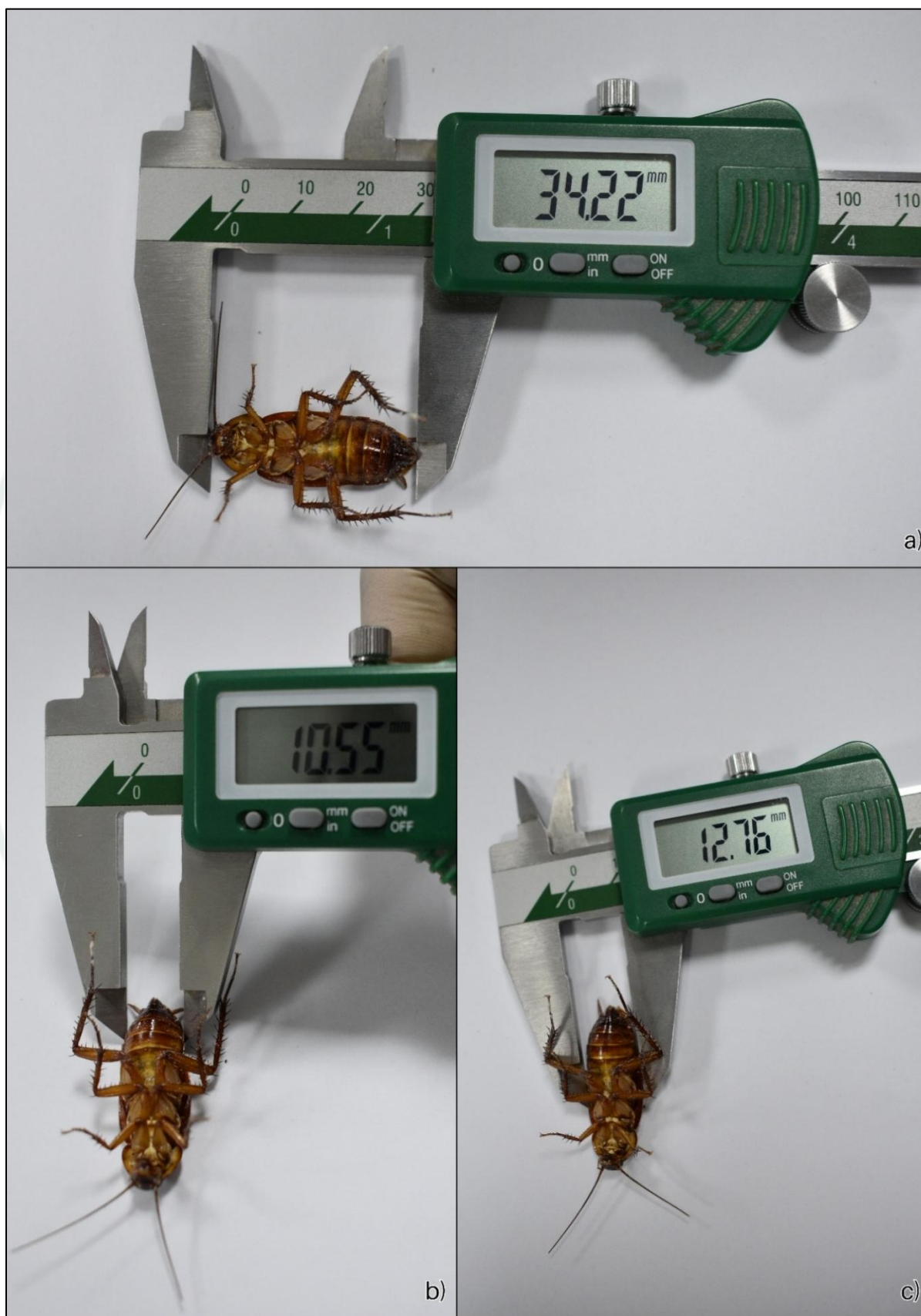
Nota. Propia.

Anexo S. Fotografía de Individuo Adulto *Periplaneta americana*.



Nota. a) Individuo adulto *P. americana* silvestre; b) y c) Individuo adulto *P. americana* extraído de configuración experimental M3; d) Pesaje de individuo *P. americana*.

Anexo T. Fotografía de Medición de Individuo *Periplaneta americana*.



Nota. a) Medición de la longitud con vernier de la Especie *P. americana*, b) Medición del ancho del abdomen del macho y c) Medición del ancho del abdomen de la hembra.