UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

EFECTO DE LA DIETA, DENSIDAD DE CRÍA Y ÁREA SUPERFICIAL SOBRE PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE LA ESPECIE *Gryllodes sigillatus* EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Helbert Antonio Arévalo Arévalo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Departamento de Producción Animal
Bogotá D.C., Colombia
2024

EFECTO DE LA DIETA, DENSIDAD DE CRÍA Y ÁREA SUPERFICIAL SOBRE PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE LA ESPECIE *Gryllodes sigillatus* EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Helbert Antonio Arévalo Arévalo

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Producción Animal

Director:

Ph.D., Karol Bibiana Barragán Fonseca

Codirector:

Ph.D., Adriana Patricia Muñoz Ramírez

Línea de Investigación:

Sistemas pecuarios

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia

Departamento de Producción Animal

Bogotá D.C., Colombia

2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi Madre Luz Mery Arévalo, a mi padre Antonio Arévalo, mi hermana Liliana Arévalo, a Ginger y a mi novia y compañera de vida Magaly Menjura Rojas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con recursos del Fondo de CTeI del Sistema General de Regalías del Departamento de Cundinamarca y al Programa Nacional Colombia Bio (MinCiencias) bajo la convocatoria 829-2018 2ª Convocatoria proyectos de I+D para el desarrollo tecnológico base biológica, Cundinamarca.

Al Fondo de CTeI del Sistema General de Regalías del Departamento de Cundinamarca y al Programa Nacional Colombia Bio (MinCiencias) por financiar el proyecto “Cría de grillos para la alimentación humana. Fomento del biocomercio en acompañamiento de mujeres rurales en el municipio de La Mesa, Cundinamarca”. A la Universidad de La Sabana, a la empresa ArthroFood S.A.S y al Centro de Investigación de Artrópodos Terrestres CINAT de la Universidad Nacional de Colombia

A la doctora Karol Barragán, por su excelencia y disciplina inculcada.

A la doctora Adriana Muñoz, por su dedicación y acompañamiento.

Al investigador Félix Andrés Castellanos Suarez, por su ayuda en revisión y escritura.

A la profesora Diana Vernot, por su confianza y apoyo brindado.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 4
CONTENIDO 5
RESUMEN 7
ABSTRACT 8
LISTA DE FIGURAS 9
LISTA DE TABLAS 10
OBJETIVOS 11
CAPÍTULO 1. PERSPECTIVAS DEL USO SOSTENIBLE DEL GRILLO DOMÉSTICO TROPICAL (G*ryllodes sigillatus*) PARA LA ALIMENTACIÓN HUMANA EN COLOMBIA
1.1 Resumen 12
1.2 Abstract 13
1.3 Introducción 13
1.4 Características generales de la especie *Gryllodes sigillatus* 16
1.5 Producción de la especie *Gryllodes sigillatus* 18
1.6 Características nutricionales de la especie *Gryllodes sigillatus* 19
1.7 Aspectos ambientales y socioeconómicos 21
1.8 Situación actual en la legislación y comercialización de insectos 23
1.9 Bibliografía 26
CAPÍTULO 2. EFECTO DE LA DENSIDAD DE CRÍA Y ÁREA SUPERFICIAL SOBRE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE LA ESPECIE *Gryllodes sigillatus* EN CONDICIONES DE LABORATORIO
2.1 Resumen 34
2.2 Introducción 35
2.3 Materiales y métodos 37
2.4 Análisis estadístico 41
2.5 Resultados 42
2.6 Discusión 43
2.7 Bibliografía 44
CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN DE LA INCLUSIÓN DIETARIA DE HARINA DE HOJAS DE YUCA (*Manihot esculenta*) Y DE BORE (*Alocasia macrorhyza*) SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y LA COMPOSICIÓN CORPORAL DE LA ESPECIE *Gryllodes sigillatus*
3.1 Resumen 49

3.2 Introducción 49
3.3 Materiales y métodos 53
3.4 Análisis estadístico 56
3.5 Resultados 57
3.6 Discusión 59
3.7 Bibliografía 61
4.1 ANEXO 1Protocolo obtención de harina de hojas de yuca (*Manihot esculenta*) 66
4.2 ANEXO 2 Protocolo obtención de harina de hojas de hojas de bore (*Alocasia macrorrhiza*) 74
4.3 ANEXO 3 obtención de harina de *Gryllodes sigillatus* 79

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar el impacto de la densidad de cría y el área superficial en la producción del grillo doméstico tropical, *Gryllodes sigillatus*, en entornos de laboratorio. Este objetivo se aborda a través de una investigación detallada dividida en tres capítulos distintos. El primer capítulo se enfoca en las perspectivas del uso de esta especie para la alimentación humana en Colombia, explorando su potencial impacto social, ambiental y nutricional. En el segundo capítulo, se examina cómo la densidad de cría y el espacio disponible afectan aspectos como la supervivencia y el peso promedio de esta especie, demostrando que a una densidad baja de individuos (<0.023 grillos/cm2) se obtenían individuos más pesados y una tasa de mortalidad baja. El tercer capítulo, analiza el impacto de la inclusión de harina de *Manihot esculenta* (yuca) y *Alocasia macrorhyza* (bore) en la dieta, evaluando su influencia en la supervivencia, peso promedio por individuo, conversión alimenticia y consumo de alimento, indicando que las harinas de yuca y de bore son una oportunidad como ingrediente en la dieta de los grillos al mejorar algunos parámetros productivos como también los beneficios de una dieta con una relación de carbohidratos- proteína de 2 a 1. En la presente tesis se comprueba la importancia de considerar cuidadosamente la densidad de cría, el área superficial y la dieta en el proceso de producción, proporcionando valiosa información para optimizar la cría de *Gryllodes sigillatus* y contribuir así a la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en los sistemas agroalimentarios.

Palabras clave: Producción de insectos, optimización de procesos, densidad, nutrición, bioconversión, sostenibilidad

Effect of diet, breeding density and surface area on productive parameters of the species *Gryllodes sigillatus* under laboratory conditions

ABSTRACT

The present research aims to assess the impact of rearing density and surface area on the production of the tropical house cricket, *Gryllodes sigillatus*, in laboratory settings. This objective is approached through a detailed investigation divided into three distinct chapters. The first chapter focuses on the prospects of using this species for human consumption in Colombia, exploring its potential social, environmental, and nutritional impact. In the second chapter, the examination of how rearing density and available space affect aspects such as survival and average weight of this species demonstrates that at a low density of individuals (<0.023 crickets/cm2), heavier individuals and a low mortality rate were obtained. The third chapter analyzes the impact of including *Manihot esculenta* (cassava) and *Alocasia macrorhyza* (bore) flour in the diet, evaluating their influence on survival, average weight per individual, feed conversion, and food consumption. It indicates that cassava and bore flours present an opportunity as ingredients in the cricket diet, improving some productive parameters as well as the benefits of a diet with a carbohydrate-protein ratio of 2 to 1. This thesis confirms the importance of carefully considering rearing density, surface area, and diet in the production process, providing valuable information to optimize *Gryllodes sigillatus* breeding and contribute to food security and sustainability in agri-food systems.

Keywords: Insect production, process standardization, density, nutrition, bioconversion, sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Hembra (izquierda) y macho (derecha) de *Gryllodes sigillatus*.....17

Figura 2. Ejemplo de las estructuras en cartón para el uso en contenedores de cría en grillos empleadas por EntoFarms…….....39

Figura 3. Medidas específicas de las láminas de cartón utilizadas para los 9 tratamientos experimentales de *G. sigillatus* ..……38

Figura 4. Disposición de elementos en la unidad experimental……40

Figura 5. Peso promedio y mortalidad para los efectos de área superficial y densidad de siembra…….41

Figura 6. Composición de las unidades experimentales……55

Figura 7. Conversión alimenticia, peso promedio por individuo, consumo de alimento promedio por individuo y supervivencia…….58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de *Gryllodes sigillatus* con base en materia seca……..……...……19

Tabla 2. Composición de aminoácidos (mg/g de proteína) en *Gryllodes sigillatus* en comparación a los requerimientos de aminoácidos establecidos por OMS, FAO y ONU……..…….....20

Tabla 3. Composición mineral de *Gryllodes sigillatus* (mg/100 g) con base en materia seca…...……21

Tabla 4. Tratamientos de densidades por áreas superficiales y relación grillo por centímetro cuadrado……..……..…….39

Tabla 5. Descripción de áreas superficiales por lámina de cartón……39

Tabla 6. Resultados de peso promedio y mortalidad……..42

Tabla 7. Composición garantizada del concentrado de pollo de levante…….53

Tabla 8. Composición proximal de los recursos utilizados……54

Tabla 9. Composición nutricional de las dietas experimentales.....54

Tabla 10. Resultados de conversión alimenticia, peso promedio, consumo de alimento y supervivencia……...57

Tabla 11. Composición de harinas de *Gryllodes sigillatus* por dieta……...59

OBJETIVOS

Objetivo general

El objetivo de la presente investigación es estudiar el efecto de factores como el área de cría, la densidad de siembra y la dieta sobre variables zootécnicas en la producción del grillo rayado o el grillo doméstico tropical *Gryllodes sigillatus* en el Centro de Investigación de Artrópodos Terrestres - CINAT, bajo condiciones ambientales controladas y en dos experimentos independientes.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la densidad de siembra y el área superficial disponible sobre la mortalidad y el peso promedio por individuo en la especie *G. sigillatus*. en condiciones de laboratorio
- Establecer el efecto de la inclusión de la harina de hojas de *Manihot esculenta* (yuca) y *Alocasia macrorhyza* (bore) en la alimentación de *G. sigillatus* sobre la conversión alimenticia, peso promedio por individuo, consumo de alimento y supervivencia en condiciones de laboratorio

CAPÍTULO 1. PERSPECTIVAS DEL USO SOSTENIBLE DEL GRILLO DOMÉSTICO TROPICAL (*Gryllodes sigillatus*) PARA LA ALIMENTACIÓN HUMANA EN COLOMBIA

Publicado en. Rev Med Vet Zoot. 69(3), septiembre-diciembre 2022: 310-324
https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n3.98890

1.1 Resumen

Para el año 2050 se espera un aumento del 60% al 70% en el consumo de productos de origen animal. Este aumento en el consumo demandará enormes recursos, siendo las fuentes tradicionales de proteína las más costosas, sobreexplotadas y perjudiciales para el ambiente. Explorar nuevas fuentes de proteína animal se convierte en una necesidad para el sector agropecuario. Es por esta razón que la FAO (2009) incluyó el uso de insectos en la alimentación humana y animal como una fuente alternativa de nutrientes desde el 2003 debido a sus características nutricionales y a su bajo impacto ambiental. Una de las especies más promisorias es el grillo doméstico tropical (*Gryllodes sigillatus*), cuyo potencial como sistema productivo sostenible ha sido demostrado en varios países asiáticos como europeos. El propósito de este capítulo es presentar los aspectos asociados al aprovechamiento y producción de la especie *G. sigillatus* que pueden hacerla sostenible como alimento en Colombia, dando cuenta de las características generales y nutricionales de la especie y las ventajas socioeconómicas y ambientales de la cría de estos grillos y de los insectos en general. Se establece que, aunque existen emprendimientos en el país, es importante continuar con la investigación sobre esta especie en términos de producción a gran escala, así como en términos nutricionales para potenciar el sector económico y mejorar las condiciones materiales de los agricultores en el país.

Palabras clave: grillos, insectos comestibles, nutrientes, sostenibilidad, seguridad alimentaria.

1.2 Abstract

Global agriculture production must increase by about 60-70 percent from the current levels to meet the increased food demand in 2050, which will demand enormous resources, with traditional protein sources being the most expensive, overexploited, and environmentally damaging. New alternative protein sources are a necessity for the agricultural sector. Since 2003, FAO (2009) has included insects as feed and food as an alternative protein source because they are nutritious and environmentally sustainable. One of the most promising species is the tropical house cricket (*Gryllodes sigillatus*), whose potential as a sustainable production system has been demonstrated in several Asian and European countries. This article presents the aspects associated with using and producing the *G. sigillatus* that can make it sustainable as food in Colombia, accounting for the general and nutritional features of this species and the socioeconomic and environmental advantages of raising these crickets, and insects in general. It was established that, even though there are entrepreneurships in the country, research on this species needs to continue, both in terms of its large-scale production and of its nutritional qualities, to strengthen the economic sector and to improve the material conditions of farmers.

Keywords: crickets, edible insects, *Gryllodes sigillatus*, nutrients, sustainability.

1.3 Introducción

En el 2009, cuando la población mundial era aproximadamente de 6.841 millones (Banco Mundial 2019), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) emitió un informe estipulando los pasos necesarios para mantener la seguridad alimentaria de los más de 9.100 millones de habitantes que tendrá el planeta Tierra para el 2050 (FAO 2009). La preocupación más eminente es asegurar la producción de alimentos necesarios para mantener una población que, para ese entonces, se traducirá en una

producción anual de carne que alcance las 470 millones de toneladas (Tripathi *et al*. 2019).

La producción anual de carne a nivel mundial para el 2018 fue de aproximadamente 336,4 millones de toneladas (FAO 2019). Esta cantidad implica un costo ambiental alto si se tiene en cuenta que para producir una tonelada de carne se requieren aproximadamente quince mil litros de agua (Bhaskar 2017), es decir, para la cantidad mencionada se requirió el uso de más de 5 billones de litros. Además, la ganadería produce casi un 30% de los gases de efecto invernadero a nivel mundial (Fundación Heinrich Böll 2014).

Por otro lado, en el caso colombiano, donde gran parte del desplazamiento forzado se ha dado por dos tipos de conflictos que confluyen: el agrario y el armado (Sarmiento 2018), la ganadería extensiva está ligada a la gran propiedad y ocupa más del 70% de las tierras con vocación agrícola (Suescún 2013) y, en términos jurídicos, en las sentencias de Justicia y Paz se encontraron menciones que indican la incidencia de este sector económico en dinámicas ya sea de despojo y abandono de tierras o de financiamiento económico, sobre todo en relación con el grupo armado paramilitar (Michalowski *et al*. 2018).

El efecto de la ganadería también ha propuesto estrategias de producción cárnica como los sistemas silvopastoriles para reducir el impacto socioambiental (Restrepo *et al*. 2016). No obstante, los académicos también se han propuesto incrementar, visibilizar y fomentar el consumo de insectos para mitigar dichos efectos –prácticas ampliamente utilizadas por comunidades alrededor del mundo (Meyer–Rochow y Jung 2020; Van Huis 2018). Además, el uso de insectos como fuente de proteína animal también disminuiría la producción de gases de efecto invernadero (Oonincx *et al*. 2010), el desperdicio de agua y la utilización de tierra arable (Cámara *et al*. 2018).

Adicionalmente, se ha establecido que la producción y el consumo de productos derivados de insectos puede mejorar el nivel nutricional de más de 805 millones de personas que viven con deficiencias nutricionales en el mundo (Barennes *et al*. 2015), de las cuales 191 millones de personas viven en América Latina y el Caribe

(FAO *et al*. 2020). Aunque varía con la especie, la mayoría de los insectos ha demostrado tener un alto porcentaje de proteína, de ácidos grasos mono y poliinsaturados, de elementos traza como cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, selenio y zinc, así como algunas vitaminas importantes en la nutrición humana (Cámara *et al*. 2018). Por tanto, Govorushko (2019) apunta a que el consumo de insectos, aparte de ser una alternativa beneficiosa para la salud humana, también lo es para el medio ambiente, además de generar un efecto positivo a nivel socioeconómico.

Los órdenes de insectos más consumidos a nivel mundial son los lepidópteros y coleópteros, seguidos por los himenópteros (abejas, avispas y hormigas) y ortópteros (saltamontes, langostas y grillos) (Cámara *et al*. 2018). Entre los insectos con mayor potencial de ser consumidos en el mundo, se destacan las seis especies autorizadas actualmente por la Unión Europea para el consumo humano y animal: gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), mosca negra soldado *(Hermetia illucens*), grillo doméstico (*Acheta domesticus*), grillo rayado (*Gryllodes sigillatus*), grillo de campo (*Gryllus assimilis*) y gusano de la harina menor (*Alphitobius diaperinus*) (IPIFF 2016). Dadas sus diferentes ventajas productivas, de manejo y nutricionales, en algunos países asiáticos y europeos existen sistemas de producción con diferentes grados de tecnificación para varias especies de grillos como A*cheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Gryllus bimaculatus* y *Gryllus assimilis*, siendo el grillo doméstico tropical (*Gryllodes sigillatus*) una especie que se ha empezado a estudiar en Colombia para su cría (Cruz y Arévalo 2021). 1. Por su potencial productivo, dada su alta prolificidad y fácil manejo productivo (Orinda *et al*. 2021); 2. su alto valor nutricional (Dion Poulin 2020; Zielińska *et al*. 2021 y 2015); 3. sus propiedades bioactivas, alergénicas, hipolipidémicas y antimicrobianas (Hall 2020; Malm y Liceaga 2021); y 4. su potencial de ampliar mercados a través de la creación de emprendimientos en el país (Díaz 2019).

En este sentido, la literatura recolectada a través de ScienceDirect, ResearchGate, Lens y Google académico se presenta con el objetivo de dar a conocer los aspectos asociados al aprovechamiento y producción de la especie *G. sigillatus* como posible alimento en Colombia. Por este motivo, se presentarán las características de la

especie y su forma de producción, el valor nutricional, los aspectos ambientales y socioeconómicos que podría traer a poblaciones vulnerables y las pautas internacionales y nacionales a nivel legislativo.

1.4 Características generales de la especie *Gryllodes sigillatus*

El *Gryllodes sigillatus* es conocido como grillo rayado, grillo bandeado o grillo doméstico tropical. Es de la clase insecta, orden Orthoptera, familia *Gryllidae* y género *gryllodes*. Esta especie es considerada cosmopolita, dado que está distribuida en la mayor parte del mundo (Smith y Thomas 1988; Walker 1999). Al ser del orden Orthoptera puede habitar en diversos ecosistemas ambientes como cordilleras, sabanas, selvas tropicales, estepas, etc. (Comisión Nacional del Ministerio del Medio Ambiente 2008). Están clasificados en el suborden Ensifera y la familia *Gryllidae* al presentar un cuerpo alargado y ligeramente aplanado, dividido en tres segmentos distintos; cabeza, tórax y abdomen, con antenas largas, filiformes y con segmentos articulados, con órgano estridulador en los machos y con ovopositor las hembras, alas membranosas, canto, hábitos alimenticios nocturnos y con alimentación preferiblemente herbívora.

Está especie se alimentan de tallos, follaje y raíces de plántulas, como las de los cultivos de maíz y arroz, entre otros (Zumbado y Azofeifa 2018), así como de otros insectos (Gillot 2005), por lo que son catalogados como omnívoros. Esta especie cuenta con un tamaño de 18 a 22 mm y 230 mg en promedio en estado adulto (Ivy y Sakaluk 2005; Okada *et al*. 2011). Es de color claro, pardo dorado y con dos líneas transversales oscuras que cruzan su tórax y abdomen, el espacio entre las antenas es estrecho (aproximadamente el ancho del segmento basal de cualquiera de las antenas), y hay una sola banda transversal oscura entre los ojos. Asimismo, mientras que los machos tienen alas que solo cubren la mitad del abdomen, las hembras tienen alas reducidas (figura 1).

Figura 1. Hembra (izquierda) y macho (derecha) de *Gryllodes sigillatus*. Fuente: elaboración propia

En cuanto a sus aspectos reproductivos, esta especie presenta dimorfismo sexual, es decir, las hembras se diferencian morfológicamente de los machos por poseer un ovipositor. Las hembras son fonéticamente atraídas a los machos en la noche y montan a los machos, quienes transfieren un espermatóforo (valor nutricional), que se adhiere a la genitalia de la hembra. La oviposición se genera al día siguiente de la cópula y los huevos emergen a los 13 días a una temperatura de 30 ºC. Dependiendo de la temperatura, el desarrollo de huevo a adulto toma de 2 a 3 meses aproximadamente (Ivy y Sakaluk 2005).

En Colombia, está ampliamente distribuida desde los 0 a 1900 msnm, mostrando una preferencia por temperaturas templadas a cálidas (25 a 31 °C). Suele encontrarse en bosques, vegetación secundaria y áreas aledañas a casas de zonas rurales. Hasta el momento ha sido reportado en los departamentos del Huila (municipio de Yaguara), Cundinamarca (municipios de Arbeláez, La Mesa y Tocaima), Meta (municipios de Puerto Gaitán y Puerto López), Bolívar (Cartagena), Magdalena (municipio de Santa Ana), Caldas (municipio de La Dorada), Tolima (municipios de Chaparral, Albalema y Cambao) y Atlántico (Barranquilla) (Cadena–Castañeda 2011).

1.5 Producción de la especie *Gryllodes sigillatus*

La cría de grillos para consumo humano se ha llevado a cabo tanto en países tropicales como subtropicales (Dossey *et al*. 2016) Asimismo, un gran número de especies de grillos son cultivados en países tropicales asiáticos como Tailandia, Laos, Myanmar y Taiwán, se cultiva el grillo de casa *Acheta testacea*, el grillo de campo *Gryllus bimaculatus*, el grillo gigante de Taiwán *Brachytrupes portentosus* y en menor proporción los grillos *Gryllus assimilis* y *Gryllodes sigillatus* (Govorushko 2019). En cambio, en países americanos la producción se centra principalmente en *Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus* y en los últimos años, *Gryllus assimilis*.

Las tecnologías de producción de grillos se describen en publicaciones como las de Cortés *et al*. (2016), Dossey *et al*. (2016), Hanboonsong y Durst (2020) y Orinda *et al*. (2021), donde explican los diferentes métodos de cultivo. Por ejemplo, la producción de *Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Gryllus bimaculatus* y *Gryllus assimilis* se realiza en corrales rectangulares, generalmente de 1,2 a 3,0 m de ancho, de 2,4 a 5,0 m de longitud y con paredes de 0,6 m de altura. Estos contenedores se rellenan con cartones de huevos o divisores de embalaje para aumentar el área de superficie y proporcionar refugio a los individuos. Los contenedores de cría pueden estar hechos de diferentes materiales como cemento, ladrillo, barro, madera, cartón, metal, polietileno de alta densidad o fibra de vidrio, con superficies preferiblemente lisas para evitar fugas. En un contenedor de 1,5 m x 1,5 m x 0,6 m de alto, se puede producir aproximadamente 10 kg de grillos en peso fresco.

En un ambiente controlado con temperaturas entre 28º y 32 ºC con una humedad relativa del 40% al 70%, siendo los rangos ideales para la producción y alimentando los grillos con residuos vegetales y concentrados de animales domésticos, entre estos, concentrados de pollo de levante de 22% de proteína. Asimismo, se debe suministrar agua con diferentes mecanismos como sistemas comerciales de riego de pollos, mangueras, tubos de PVC o botellas plásticas modificadas con esponjas para evitar ahogamientos limpiando los contenedores, utensilios, bebederos y comederos constantemente para evitar la proliferación de hongos y bacterias, lo que garantiza la salud e inocuidad de los individuos (Cruz y Arévalo 2021).

1.6 Características nutricionales de la especie *Gryllodes sigillatus*

Para el éxito de esta industria alimentaria, es necesaria la investigación de las propiedades funcionales y nutricionales como ingrediente alimenticio, desde un punto de vista de la ciencia y tecnología de alimentos. Estudios como los de Zielińska *et al*. (2015; 2021), Dion Poulin *et al*. (2020) y Ribeiro *et al*. (2019) describen la composición nutricional en seco del *Gryllodes sigillatus* (tabla 1).

Tabla 1. Composición nutricional de *Gryllodes sigillatus* con base en materia seca

	Zielińska *et al*. 2021	Dion–Poulin *et al*. 2020	Ribeiro *et al*. 2019	Zielińska *et al*. 2015
Proteína (%)	71,15 ± 1,1	55,5 ± 0,3	65,3 ± 0,94	70,0 ± 1,7
Grasa (%)	14,92 ± 0,08	16,7 ± 0,1	23,5 ± 0,07	18,23 ± 0,7
Fibra (%)	Np	Np	7,1 ± 0,26	3,65 ± 0.5
Ceniza (%)	4,35 ± 0,08	4,8 ± 0,1	4,2 ± 0,02	4,74 ± 0,4
Carbohidratos (%)	4,83 ± 0,02	Np	Np	0,1 ± 0,0
Energía (kJ / 100g)	1.844 ± 10,3	Np	Np	1.896 ± 12,5
Energía (kcal/ 100g)	Np	Np	Np	452 ± 4,3

Np; No presenta

Fuente: elaboración propia.

El nivel de proteína en seco varía entre 55% y 71%. Este nutriente se caracteriza por tener la mayoría de los aminoácidos esenciales, entre estos leucina, lisina, metionina, treonina y valina, con niveles iguales o superiores a los establecidos por la OMS/FAO y ONU (tabla 2). Se ha encontrado que los péptidos de *G. sigillatus* inhiben las actividades de la enzima convertidora de angiotensina, dipeptidil peptidasa-4, α-amilasa y α-glucosidasa, con efecto antihipertensivo y antiglucémico. También se reduce eficazmente la producción de NF-κB (factor nuclear potenciador de las cadenas ligeras kappa de las células B activadas), MCP-1 (Proteína quimioatrayente de monocitos 1) y IL-6 (glicoproteína Interleucina-6) en las células con un efecto antiinflamatorio (Hall 2020).

Los lípidos de los insectos pueden contribuir a la nutrición humana al suministrar energía y ácidos grasos esenciales (Wu *et al*. 2014). En este sentido, las grasas entre un 14% y 23% representan el segundo nutriente en la composición de la harina de grillo, siendo rica en ácidos grasos monoinsaturados, los cuales tienen beneficios en la prevención de enfermedades cardiovasculares (Ramos–Elorduy 2008) con un alto nivel de ácidos grasos poliinsaturados omega 3 y omega 6, los cuales ayudan en la reducción del colesterol total (Fontaneto *et al*. 2011). De igual manera el *Gryllodes sigillatus* presenta varios micronutrientes como cobre, hierro, magnesio, calcio, fósforo y zinc (Zielińska *et al*. 2015) en cantidades adecuadas para el consumo humano (tabla 3).

Tabla 2. Composición de aminoácidos (mg/g de proteína) en *Gryllodes sigillatus* en comparación a los requerimientos de aminoácidos establecidos por OMS, FAO y ONU

Composición de aminoácidos	**Zielińska *et al*. 2015**	**OMS / FAO / UNU (mg/g de proteína)**
Isoleucina	26,6 ± 0,5	30
Leucina	57,8 ± 1,1	59
Lisina	38,4 ± 0,9	45
Metionina	15,9 ± 0,8	16
Cisteína	11,1 ± 0,2	6,6
Fenilalanina	22,0 ± 0,24	30
Tirosina	31,8 ± 0,35	Np
Treonina	36,8 ± 0,48	23
Valina	47,0 ± 0,98	26
Histidina	17,2 ± 0,21	15

Np; No presenta

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Composición mineral de *Gryllodes sigillatus* (mg/100 g) con base en materia seca

	Fe	Cu	Zn	K	Mg
Zielińska *et al*. 2015	4,3 ± 0,1	4,79 ± 0,42	13,9 ± 0,63	1190 ± 10	101 ± 5,5
Ribeiro *et al*. 2019	4,7 ± 0,31	4,9 ± 0,45	16,8 ± 0,31	870,9 ± 18,55	42,7 ± 1,84
Ingestas diarias recomendadas (mg / día) *	7,5-58,8	0,9-1,3**	3-12	4700**	220-260

* (Centro de micronutrientes del Instituto Linus Pauling http://lpi.oregonstate.edu/infocenter);

**(FAO, 2004)

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, la especie no representa ningún peligro para el consumo humano, ya que no se encuentran bacterias tales como *Salmonella* sp, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus* coagulasa positivos ni *Bacillus cereusse*, al ser los insectos procesados con tratamientos térmicos como la liofilización o el secado en horno, lo que garantiza la inocuidad del producto y permite una vida útil hasta de 6 meses sin aditivos o conservantes (Vandeweyer *et al*. 2018).

1.7 Aspectos ambientales y socioeconómicos

El aumento en la demanda de alimentos requiere nuevas alternativas para la producción de proteína de calidad para abastecer a la población mundial, con un bajo impacto ambiental, prácticas de producción sostenible, de fácil acceso y replicabilidad (FAO 2009). En términos ambientales, la cría de grillos de las especies anteriormente mencionadas en este texto ha sido estudiada y evaluada, demostrando un menor potencial de impacto sobre el calentamiento global como producto para la alimentación humana (Halloran *et al*. 2017; Halloran *et al*. 2018).

Entre las ventajas de la producción de grillos se encuentran: las bajas emisiones de gases de efecto invernadero (Dunkel y Payne 2016), bajo potencial de acidificación de los suelos, menor contaminación en los cuerpos de agua y eutrofización terrestre (Halloran *et al*. 2017), destacando por un menor uso de la tierra (Stehfest *et al*. 2009) y una conversión alimenticia más eficiente, la cual es explicada como la cantidad de alimento necesaria para producir 1 kg de proteína animal, como la proteína de la carne o la leche con una relación de 7:1, es decir, se requieren 7 kg de alimento para producir 1 kg de leche o de carne (Nadathur *et al*. 2017), seguido de la carne del cerdo con una relación 5;1 kg y el pollo con 2,7; 1 kg (Smil, 2002). Por el contrario, los grillos requieren 1,7 kg de alimento para producir 1 kg de peso corporal (Hanboonsong *et al*. 2013). Esto significa que los grillos son casi el doble de eficientes que los pollos para convertir el alimento en biomasa, al menos tres veces más eficientes que los cerdos y cuatro veces más eficientes que el ganado.

Teniendo en cuenta los impactos ambientales que se han medido de la cría de grillos y otros insectos hasta el momento (Halloran *et al*. 2018), llama la atención incorporar esta área de producción a las agendas sociales y ambientales de cada gobierno, dado el impacto positivo que este tipo de producciones puede traer a las comunidades rurales de Colombia, como es el caso de Insectos por la Paz (Barragán Fonseca *et al*. 2020) o empezar a promover su cría y uso de derivados como la harina de grillo *G. sigillatus* en las dietas (Vernot 2021).

De esta forma, pensar en emprendimientos que tengan como fin la cría de grillos en Colombia puede ser una alternativa de producción para el campo del país y que, al mismo tiempo, mejore la vida de agricultores y sus medios materiales, como lo han planteado Halloran *et al*. (2017 y 2016). Por ejemplo, ya se ha notado que, en las zonas rurales de los países en desarrollo, el consumo y el comercio de insectos comestibles, especialmente la venta ambulante, contribuye al empoderamiento socioeconómico, sobre todo de mujeres rurales (Roos y van Huis 2017), aspectos que también favorecen las metas establecidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, entre estos: 1. Fin de la pobreza; 2. Hambre cero; 5. Igualdad de género; 8. Trabajo decente y crecimiento económico; 12. Producción y consumo responsable; y 13. Acción por el clima.

Por último, en términos de la ingesta de grillos en Colombia, no existe aún una cultura donde este sea valorado como alimento humano. Sin embargo, en el municipio de La Mesa, Cundinamarca, donde se presentó el grillo *G. sigillatus* como una alternativa de producción en el campo no solo para mitigar los efectos del cambio climático, sino también como una opción para mejorar la seguridad alimentaria y los ingresos de mujeres rurales en condición de vulnerabilidad, hubo un cambio en la percepción de esta especie a través de talleres de empoderamiento y emprendimiento y el diseño de platos en la cocina utilizando harina de grillo como parte de los ingredientes (Vernot 2021).

1.8 Situación actual en la legislación y comercialización de insectos

Los insectos son probablemente una de las alternativas de fuente de proteína más antiguas que existe en el mundo. La entomofagia es una práctica milenaria desde los tiempos de los primeros homínidos y actualmente se practica en países del Este, África y en algunos países de América Latina, con más de dos mil especies clasificadas como comestibles (Jongema 2017). La mayoría de las personas del Occidente aún no contempla los insectos en sus hábitos alimenticios, sino que los relacionan con un comportamiento primitivo y desagradable (Lensvelt y Steenbekkers 2014; Woolf *et al*. 2019). En la última década, se ha impulsado el consumo de insectos procesados como una alternativa para mejorar la aceptación de los consumidores (Hartmann y Siegrist 2016; Piha *et al*. 2018). Asimismo, esto ha impulsado significativamente la producción de insectos, en especial en Norte América, Europa y África, debido a sus ventajas como alimento humano y animal (Dicke 2017). Para 2019, el tamaño del mercado de insectos comestibles superó los 112 millones de dólares a nivel mundial y se estima que crecerá a más del 47% de CAGR (Compound Annual Growth Rate) entre 2019 y 2026, con un valor de proyección aproximado de 710 mil millones de dólares para 2026 (Ahuja y Mamtani 2020).

Para entender la situación legislativa, se presenta un análisis comparativo de las leyes existentes en diferentes países. Uno de los ejemplos más significativos ocurrió en 2018, cuando la Comisión Europea emitió el Reglamento n.° 2015/2283, donde se catalogaron los insectos como “nuevo alimento” y se estableció el procedimiento a seguir para su inclusión en la dieta humana. Este reglamento está soportado en informes como el de la EFSA (European Food Safety Authority) y la IPIFF

(International Platform of Insects for Food and Feed), en el que se valoran los riesgos asociados a la producción y el consumo de insectos en la alimentación humana y animal, como también brinda recomendaciones de buenas prácticas de higiene para los productores de insectos y, de esta forma, garantizar una fuente alimenticia segura.

En el caso de Estados Unidos, la Administración Federal de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) protege y promueve la salud de humanos y animales en todos los Estados al supervisar la mayor parte del suministro de alimentos, hacer cumplir las regulaciones que le compete; inspeccionar las instalaciones de fabricación y procesamiento para verificar las buenas prácticas de manufactura, establecer lineamientos y trabajar de la mano con las agencias locales de Seguridad Alimentaria (Keenan *et al*. 2015). Sin embargo, las regulaciones de la FDA no han establecido pautas claras para la producción y el uso de insectos para la alimentación humana y animal, por lo que los negocios de producción y distribución de estos animales se han ralentizado (Lähteenmäki–Uutela *et al*. 2017).

Al ser considerados los insectos como “alimentos novedosos” (novel foods), la FDA ha determinado que las regulaciones establecidas para los alimentos convencionales deben extenderse a estos animales. No obstante, hay una contradicción con las regulaciones establecidas por la misma agencia, donde los insectos son considerados aditivos alimentarios que afectan las características de cualquier alimento y, por tanto, su comercialización debe ser revisada y aprobada primero, a menos que su uso esté catalogado como “generalmente considerado como seguro” (Generally Regarded As Safe–GRAS). En cualquier caso, todos los productos de insectos deben estar etiquetados con su nombre científico y común. (Lähteenmäki–Uutela *et al*. 2017).

En Canadá, los insectos para consumo humano y animal también son considerados como alimentos novedosos y su producción y comercialización está administrada por el Ministerio de Sanidad de Canadá bajo la Ley de Alimentos y Medicamentos (Lähteenmäki–Utela *et al*. 2017). Este tipo de alimentos, antes de ser comercializados, requiere una notificación de premercado, lo que quiere decir que deben pasar una evaluación de seguridad y adecuación nutricional antes de ser comercializados en el país a través de la Regulación 870 de Alimentos y

Medicamentos. Igualmente, la Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (CFIA) permite cuatro fragmentos de insectos y 25 ácaros muertos por cada 225 gramos de productos de queso. Lo que ayuda a los actores de la industria a introducir insectos comestibles transformados y, de este modo, impulsar el crecimiento del mercado local y global (Ahuja y Mantami 2020).

Por otro lado, en México, donde existe una larga tradición de obtención, preservación y obtención de insectos, el cultivo de estos es ínfimo (Ramos–Elorduy y Viejo 2007). Hasta el momento, la empresa Aspire Food Group, en conjunto con la Universidad Tecnológica de los Valles Centrales de Oaxaca, ha capacitado a estudiantes en la recolección de chapulines (*Sphenarium purpurascens*) para desarrollar técnicas de cultivo a futuro (Kluk 2016). De este modo, todavía no existe una regulación para su producción y comercialización (Lähteenmäki–Uutela *et al*. 2017).

Actualmente, en Colombia tampoco existe una legislación clara que aborde la producción y comercialización de insectos como alimento animal y/o humano. Sin embargo, mediante la expedición de licencias ambientales para la implementación de sistemas de zoocría otorgadas por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), se permite la producción de insectos en general, teniendo en cuenta el impacto ambiental que esta pueda representar. De esta manera, la ley 611 de 2000 regula el aprovechamiento de la fauna silvestre y acuática de forma sostenible y, por otro, la resolución 1317 de 2000 “establece los criterios para el otorgamiento de la licencia de fines de fomento y para el establecimiento de zoocriaderos”. No obstante, estas regulaciones no incluyen parámetros para el manejo ni cría de insectos.

En el territorio colombiano, el consumo de insectos en algunas regiones es tradicional y su obtención y formas de preparación o transformación no entran en estas regulaciones. Especialmente, esto ocurre en dos departamentos: Santander y Amazonas. En el primero, se consume y comercializa la especie conocida como hormiga culona (*Alta laevigata*), y en el último, el mojojoy (larva del escarabajo *Rhynchophorus palmarum*) y la hormiga arriera (*Alta sp*.) (Cartay 2018; Ministerio de Cultura 2015).

Desde el punto de vista comercial, en el país han surgido emprendimientos que se enfocan en la producción de insectos para la alimentación animal como EntoPro

(Ayala 2022) y, en el caso de la alimentación humana, ArthroFood. Este último emprendimiento se ha enfocado en estudiar la producción y su transformación del grillo doméstico tropical en harina, ya que este producto ha sido aceptado ante la sala especializada de alimentos y bebidas del Invima en el acta 13 de 2018 para la elaboración de postres, panadería y otras innovaciones gastronómicas.

El aumento en investigaciones en Colombia en torno al uso de insectos para la alimentación humana y animal, al igual que la apertura de empresas con este fin, propone reflexionar sobre legislaciones más acordes con el desarrollo productivo, comercial e investigativo de la especie insecta. De esta forma, se deben establecer procedimientos específicos que garanticen el desarrollo económico de los actores del sector (productores y transformadores), así como asegurar la inocuidad y calidad de estos productos para el consumidor a partir de las buenas prácticas de manufactura (BPM) y el análisis de puntos críticos de control (HACCP) en esta industria (IPIFF 2020). Es importante mencionar que estas legislaciones deben ir acompañadas de programas de comunicación que incentiven la ingesta de estos insectos, ya que, como apuntan Simon *et al*. (2006), el consumo de un alimento está asociado a la familiaridad y exposición a este, de tal manera que las campañas y el acercamiento al uso de insectos en las dietas humanas pueda aumentar su aceptabilidad.

1.9 Bibliografía

1. Ahuja K, Mamtani K. 2020. Edible Insects Market Size by Product (Beetles, Caterpillars, Gras-shoppers, Bees, Wasps, Ants, Scale Insects & Tree Bugs), By Application (Flour, Protein Bars, Snacks), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Application Potential, Price Trends. Disponible en: https://www.gminsights.com/industry-analysis/edible-insects-market
2. Ayala ML. 2022. Mosca negra, plato fuerte de una spin-off pionera en Colombia. Periódico UNAL. Disponible en: http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/mosca-negra-plato-fuerte-de-una-spin-off-pionera-en-colombia-1
3. Barragán–Fonseca KY, Barragán-Fonseca KB, Verschoor G, Van Loon JJ, Dicke M. 2020. Insects for peace. Current Opinion in Insect Science. 40:85-93. https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.05.011
4. Banco Mundial. 2019. Población, total | Data. Disponible en:

https://datos.bancomundial.org/indicator/SP.POP.TOTL

5. Barennes H, Phimmasane M. Rajaonarivo C. 2015. Insect Consumption to Address Undernutrition, a National Survey on the Prevalence of Insect Consumption among Adults and Vendors in Laos. PLOS ONE. 10(8):e0136458. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136458
6. Bhaskar M. 2017. Curaduría. El poder de la selección en un mundo de excesos. México: Fondo de Cultura Económica. 311 p.
7. Cadena–Castañeda OJ. 2011. A new genus of cricket near to Miogryllus and Kazuemba from the Colombian Atlantic coast and the first report of *Gryllodes sigillatus* from Colombia. Zootaxa. 3126:55-61.
8. Cámara MM, Moreno PC, Daschner Á, Fandos MEG, Gómez AP, Lázaro DR, Buelga JÁS. 2018. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN) en relación a los riesgos microbiológicos y alergénicos asociados al consumo de insectos. Revista del Comité Científico de la AESAN 27:11-40.
9. Cartay R. 2018. Entre el asombro y el asco: El consumo de insectos en la cuenca amazónica. El caso del Rhynchophorus palmarum (Coleoptera Curculionidae). Revista Colombiana de Antropología. 54(2):143-169. https://doi.org/10.22380/2539472X.465
10. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2008. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y desafíos. 2da Ed. Santiago de Chile: Ocho Libros Editores Ltda. 640 p.
11. Cortés JA, Ruiz AT, Morales–Ramos JA, Thomas M, Rojas MG, Tomberlin, JK. Yi L, Han R, Giroud L, Jullien RL. 2016. Chapter 6—Insect Mass Production Technologies. En: Dossey A, Morales-Ramos JA, Rojas MG. Insects as Sustainable Food Ingredients. London: Academic Press. 153-201 p. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00006-5
12. Cruz D, Arévalo, H. 2021. Artrópodos. Producción de grillos de forma sustentable. Chía: Universidad de La Sabana. 99 p.
13. Díaz E. 2019. Bioemprendimientos en Latinoamérica: jóvenes emprendedores. En: Hodson E, Henry G, Trigo, E. La bioeconomía Nuevo marco para el crecimiento sostenible en América Latina. 147-161 p. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
14. Dicke M. 2017. Servicios ecosistémicos de insectos. En: Van Huis A,

Tomberlin JK. Insects as Food and Feed: From Production to Consumption. 61-76 p. Países Bajos: Wageningen Academic Publishers.

15. Dion Poulin A, Laroche M, Doyen A, Turgeon, SL. 2020. Functionality of Cricket and Mealworm Hydrolysates Generated after Pretreatment of Meals with High Hydrostatic Pressures. Molecules (Basel, Switzerland). 25(22):5366. https://doi.org/10.3390/molecules25225366
16. Dossey AT, Tatum JT, McGill WL. 2016. Chapter 5-Modern Insect-Based Food Industry: Current Status, Insect Processing Technology, and Recommendations Moving Forward. En: Dossey A, Morales–Ramos JA, Rojas MG. Insects as Sustainable Food Ingredients. London: Academic Press. 113-152 p. London: Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00005-3
17. Dunkel FV, Payne C. 2016. Introduction to Edible insects. En: Dossey AT, Morales–Ramos JA, Rojas MG, editores. Insects as Sustainable Food Ingredients. London: Academic Press. p. 1-27.
18. FAO. 2009. 2050 High-Level Experts Forum: Foro. Disponible en: http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-forum/es/
19. FAO. 2019. Meat Market Review—Overview of global meat market developments in 2018. Disponible en: http://www.fao.org/documents/card/es/c/ca3880en/
20. FAO, FIDA, OPS, WFP, UNICEF. 2020. Panorama de la seguridad alimentaria y nutrición en América Latina y el Caribe 2020. Santiago de Chile: FAO. 150 p.
21. Fontaneto D, Tommaseo–Ponzetta M, Galli C, Rise P, Glew RH, Paoletti M. 2011. Differences in fatty acid composition between aquatic and terrestrial insects used as food in human nutrition. Ecological of Food Nutrition. 50:351-367. https://doi.org/10.1080/03670244.2011.586316
22. Fundación Heinrich Böll. 2014. «Atlas de la carne»—Hechos y cifras sobre los animales que comemos. Editora e Imprenta MAVAL Ltda. Disponible en: https://cl.boell.org/sites/default/files/atlasdelacarne2014_web-2.pdf
23. Gillott C. 2005. The Plecopteroid, Blattoid, and Orthopteroid Orders. En: Entomology. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-3183-1_7
24. Govorushko S. 2019. Global status of insects as food and feed source: A review. Trends in Food Science & Technology. 91:436-445. https://doi.

org/10.1016/j.tifs.2019.07.032

25. Hall FG. 2020. Bioactive and allergenic properties of edible cricket (*Gryllodes sigillatus*) peptides. https://doi.org/10.25394/PGS.13360142.v1
26. Halloran A, Roos N, Flore R, Hanboonsong Y. 2016. The development of the edible cricket industry in Thailand. 91-100 p. Wgeningen: Academic Publishers. https://doi.org/info:doi/10.3920/JIFF2015.0091
27. Halloran A, Hanboonsong Y, Roos N, Bruun S. 2017. Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. J Clean Prod. 156:83-94. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.017
28. Halloran A, Roos N, Hanboonsong Y. 2017. Cricket farming as a livelihood strategy in Thailand. The Geographical Journal. 183(1):112-124. https://doi.org/10.1111/geoj.12184
29. Halloran A, Hansen HH, Jensen LS, Bruun S. 2018. Comparing Environmental Impacts from Insects for Feed and Food as an Alternative to Animal Production. En: Halloran A, Flore R, Vantomme P, Roos N, editors. Edible Insects in Sustainable Food Systems. Springer Inter-national Publishing. p. 163-180. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_1
30. Hanboonsong Y, Jamjanya T, Durst P.B. 2013. Six-legged livestock: Edible insect farming, collection and marketing in Thailand. Bangkok: FAO. 57 p.
31. Hanboonsong A, Durst P. 2020. Guidance on sustainable cricket farming–A practical manual for farmers and inspectors. Bangkok: FAO. 84 p.
32. Hartmann C, Siegrist M. 2016. Becoming an insectivore: Results of an experiment, Food Quality and Preference. 51:118-122. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.03.003
33. IPIFF. 2016. Implementation of EU Regulation 2015/2283 on 'novel foods. Disponible en: https://ipiff.org/wp-content/uploads/2019/08/ipiff_briefing_update_03.pdf
34. Ivy TM, Sakaluk SK. 2005. Polyandry promotes enhanced offspring survival in decorated crickets. Evolution 59(1):152-159. https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2005.tb00902.x
35. Jongema Y. 2017. List of Edible Insects of the World. Wageningen. University. Disponible en: https://www.wur.nl/en/research-results/chair-groups/plant-sciences/laboratory-of-entomology/edible-insects/worldwide-species-list.htm
36. Keenan S, Spice S, Cole J, Banfi P. 2015. Directorate General for Internal

Policies. Policy Department A: economic and scientific policy. Food Safety Policy and Regulation in the United States. Disponible en: http://www.europarl.europa.eu/studies.

37. Kluk, C. 2016. Innovación social. Creando soluciones para la vida. México: Promotora Social de México. 250 p.
38. Lahteenmaki–Uutela A, Grmelova N, Henault–Ethier L, Deschamps MH, Vandenberg, GW, Zhao A, Zhang Y, Yang B, Nemane V. 2017. Insects as Food and Feed: Laws of the European Union, United States, Canada, Mexico, Australia, and China. Insects as Food and Feed. 3(2):155-160. https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0058
39. Lensvelt EJS, Steenbekkers LPA. 2014. Exploring consumer acceptance of entomophagy: A survey and experiment in Australia and the Netherlands. Ecology of Food and Nutrition, 53(5):543-561. https://doi.org/10.1080/03670244.2013.879865
40. Malm M, Liceaga AM. 2021. Physicochemical Properties of Chitosan from Two Commonly Reared Edible Cricket Species, and Its Application as a Hypolipidemic and Antimicrobial Agent. Polysaccharides. 2(2):339-353. https://doi.org/10.3390/polysaccharides2020022
41. Meyer– Rochow, VB, Jung, C. 2020. Insects used as food and feed: isn't that what we all need?. Foods. 9(8):1003. https://doi.org/10.3390/foods9081003
42. Michalowski S, Sánchez C, Marí n D, Jiménez A, Martínez H, Domínguez V, Arroyave LM. 2018. Entre coacción y colaboración-verdad judicial, actores económicos y conflicto armado en Colombia. Bogotá: Dejusticia. 329 p.
43. Ministerio de Cultura. 2015. La tierra de la abundancia. Las cocinas tradicionales indígenas del sur del departamento del Amazonas. Bogotá D.C.: Ministerio de Cultura de Colombia. 89 p.
44. Nadathur SR, Wanasundara JPD, Scanlin L. 2017. Chapter 1-Proteins in the Diet: Challenges in Feeding the Global Population. En: Nadathur SR, Wanasundara JPD, Scanlin L, editores. Sustainable Protein Sources. Academic Press. p. 1-19.
45. Okada K, Pitchers W.R. Sharma MD, Hunt J, Hosken DJ. 2011. Longevity, calling effort, and metabolic rate in two populations of cricket. Behavioral Ecology and Sociobiology. 65(9):1773-1778. https://doi.org/10.1007/s00265-011-1185-3

46. Oonincx D, van Itterbeeck J, Heetkamp M, van den Brand H, van Loon, JJA, van Huis A. 2010. An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. PLoS ONE. 5(12): e14445. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445
47. Orinda M., Oloo J, Magara H, Ayieko M, Ekesi S, Roos N. 2021. Cricket rearing handbook services for science and education United Kingdom: Service For Science and Education. 59 p.
48. Piha S, Pohjanheimo T, Lähteenmäki–Uutela A, Křečková Z, Otterbring T. 2018. The effects of consumer knowledge on the willingness to buy insect food: An exploratory cross-regional study in Northern and Central Europe, Food Quality and Preference. 70:1-10. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.12.006
49. Ramos –Elorduy J, Viejo JL. 2007. Los insectos como alimento humano: Breve ensayo sobre la entomofagia, con especial referencia a México. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural Sección Biológica. 102(1-4):61-84.
50. Ramos-Elorduy J. 2008. Energy Supplied by Edible Insects from Mexico and their Nutritional and Ecological Importance. Ecology of Food and Nutrition. 47(3):280-297. https://doi.org/10.1080/03670240701805074
51. Restrepo EM, Rosales RB, Estrada M, Orozco JDC, Herrera JER. 2016. Es Posible Enfrentar el Cambio Climático y Producir más Leche y Carne con Sistemas Silvopastoriles Intensivos. Ceiba. 54(1):23-30. https://doi.org/10.5377/ceiba.v54i1.2774
52. Ribeiro JC, Lima RC, Maia M. Almeida A, Fonseca AJ, Cabrita AR, Cunha LM. 2019. Impact of defatting freeze-dried edible crickets (*Acheta domesticus* and *Gryllodes sigillatus*) on the nutritive value, overall liking and sensory profile of cereal bars. LWT. 113: 108335. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108335
53. Roos N, van Huis A. 2017. Consuming insects: Are there health benefits? Journal of Insects as Food and Feed. 3(4):225-229. https://doi.org/info:doi/10.3920/JIFF2017.x007
54. Sarmiento, JP. (2018). La aplazada reforma agraria y la Concentración de la tierra en Colombia. Revista de Derecho. 49:VII-XII.
55. Simon SA, de Araujo IE, Gutiérrez R, Nicolelis M. 2006. The neural mechanisms of gustation: A distributed processing code. Nature Reviews

Neuroscience. 7(11):890-901. https://doi.org/10.1038/nrn2006

56. Smil V. 2002. Eating meat: evolution, patterns, and consequences. Population and Develo-pment Review. 28(4):599-639. https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2002.00599.x
57. Smith RL, Thomas W. 1988. Southwestern Distribution and Habitat Ecology of *Gryllodes supplicans*. American Entomologist. 34(4):186-191. https://doi.org/10.1093/besa/34.4.186
58. Stehfest E, Bouwman L, van Vuuren DP, Den Elzen MGJ, Eickhout B, Kabat P. 2009. Climate benefits of changing diet. Climatic change, 95:83-102. https://doi.org/10.1007/s10584-008-9534-6
59. Suescún CA. 2013. La inercia de la estructura agraria en Colombia: determinantes recientes de la concentración de la tierra mediante un enfoque espacial. Cuadernos de Economía, 32(SPE61):653-682.
60. Tripathi AD, Mishra R, Maurya KK, Singh RB, Wilson DW. 2019. Estimates for world population and global food availability for global health. En: Singh RB, Watson RR and Takahashi T, editors. The Role of Functional Food Security in Global Health. 1st edition. London: Academic Press. p. 3-24.
61. Vandeweyer D, Wynants E, Crauwels S, Verreth C, Viaene N, Claes J, Lievens B, Van Campenhout L. 2018. Microbial Dynamics during Industrial Rearing, Processing, and Storage of Tropical House Crickets (*Gryllodes sigillatus*) for Human Consumption. Applied and Environmental Microbiology. 84(12):e00255-18. https://doi.org/10.1128/AEM.00255-18
62. van Huis A. 2018. Chapter 11-Insects as Human Food. En Nóbrega RR, Albuquerque UP, editores.
63. Vernot D. 2021. Nuevas alternativas de producción con grillos *G. sigillatus*. Empoderamiento, emprendimiento y reconocimiento a mujeres rurales del municipio de La Mesa, Cundinamarca–Colombia. Chía: Universidad de La Sabana. 133 p.
64. Walker TJ. 1999. Grillo de la casa tropical - *Gryllodes sigillatus* (F. Walker). Disponible en: http://entnemdept.ufl.edu/creatures/misc/crickets/gsigilla.html
65. Woolf EZY, Emory K, Zhao J, Liu C. 2019. Wi llingness to consume insect-containing foods: A survey in the United States. LWT, 102:100-105, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.010
66. Wu G, Bazer FW, Cross HR. 2014. Land-based production of animal protein:

impacts, efficiency, and sustainability. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1328:18- 28. https://doi.org/10.1111/nyas.12566

67. Zielińska E, Baraniak B, Karaś M, Rybczyńska K, Jakubczyk A. 2015. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. Food Research International. 77:460-466. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008
68. Zielińska E, Pankiewicz U, Sujka M. 2021. Nutritional, Physiochemical, and Biological Value of Muffins Enriched with Edible Insects Flour. Antioxidants (Basel, Switzerland). 10(7):1122. https://doi.org/10.3390/antiox10071122
69. Zumbado, MA y Azofeifa, D. (2018). Insectos de importancia agrícola. Guía básica de entomología Costa Rica y Centroamérica. Programa Nacional de Agricultura Orgánica (PNAO).

CAPÍTULO 2. EFECTO DE LA DENSIDAD Y DEL ÁREA SUPERFICIAL DE CRÍA SOBRE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE LA ESPECIE *Gryllodes sigillatus* EN CONDICIONES DE LABORATORIO

2.1 Resumen

En los últimos años, las especies de insectos comestibles se han anunciado como una alternativa sostenible a las crisis alimentarias actuales y futuras, demostrando la importancia de desarrollar sistemas de producción óptimos y estables en el tiempo. El grillo doméstico tropical (*Gryllodes sigillatus*) es una especie promisoria por su alto valor nutricional y potencial productivo. Sin embargo, la cría intensiva de la especie tiene efectos en el rendimiento a través del tiempo por diferentes condiciones como la densidad y área superficial durante su producción. En el presente trabajo se evaluó el efecto de la densidad de siembra de los insectos y área superficial en las unidades de cría bajo condiciones de laboratorio, sobre el peso promedio final y la mortalidad en *G. sigillatus*. Se evaluaron tres densidades de siembra (1, 2 y 3 ml de ninfas con menos de 24 horas post emergencia) y tres áreas superficiales con diferentes distancias de celda de 3, 4 y 5 cm representando respectivamente (16296, 11856 y 10800 cm^2). El peso promedio final por individuo fue mayor en la densidades de cría menores (1 ml) sin un efecto del área superficial (> 192 mg). En cuanto a la mortalidad se presentó un mayor número de individuos muertos en la densidad más alta (3 ml) sin un efecto del área superficial. Se observa una correlación negativa entre el peso por individuo y la mortalidad. Se recomienda cultivar los grillos a densidades menores de 0.023 grillos/cm2 para obtener un peso promedio mayor y una baja mortalidad. Se recomienda continuar evaluando diversos factores en el sistema productivo que puedan afectar el peso promedio y la mortalidad para así poder optimizar la producción de *G. sigillatus* bajo condiciones controladas.

Palabras claves

Grillos, área superficial, densidad de cría, producción de insectos.

2.2 Introducción

En la última década los insectos han sido objeto de investigación debido al aumento de la necesidad de cubrir la demanda alimenticia para la población humana y animal, lo cual ha determinado la necesidad de caracterizar nuevas fuentes proteicas que sean sostenibles; con el fin de minimizar el impacto ambiental que se ha generado con producciones animales convencionales (Kee *et al.,* 2023; Takacs *et al.,* 2023; Nikkhah *et al.,* 2021; Orinda *et al.,*

2017). Las producciones de insectos que han emergido tanto a pequeña como gran escala han permitido contemplar una posible solución para cubrir la proteína de origen animal ya que se estima que hay alrededor de unas 2000 especies aptas para consumo humano, así como también su capacidad de biodegradación y gestión de residuos orgánicos provenientes de actividades agrícolas y pecuarias que al no ser dispuestos correctamente han incrementado la contaminación ambiental tanto de emisiones de amoniaco y de fuentes hídricas, además de representar un menor costo de producción (Kee *et al.,* 2023; Nikkhah *et al.,* 2021; Orinda *et al.,* 2021; Bawa *et al.,* 2020; Otieno *et al.,* 2019; Salomone *et al.,* 2017). Estos hallazgos subrayan la importancia crítica de desarrollar sistemas de producción de insectos que sean óptimos y estables a lo largo del tiempo. Que no solo ofrecen una alternativa a los problemas ambientales y de sostenibilidad asociados con las prácticas alimentarias convencionales, sino que también abren nuevas perspectivas para el futuro de la seguridad alimentaria y la gestión de los recursos naturales (Jensen *et al*., 2017; Orinda *et al.,* 2017).

El grillo doméstico tropical (*Gryllodes sigillatus*) es una especie promisoria por su alto valor nutricional y potencial productivo ya que se caracteriza por su alta prolificidad, facilidad de cría y manejo; siendo uno de los insectos aceptados internacionalmente para el consumo humano y animal (Arévalo *et al.,* 2022), como en el Reglamento de la Unión Europea 893 de 2017 donde esta especie se autoriza para su uso en la acuicultura. Lo anterior ha permitido que se incentive la cría masiva en países europeos, asiáticos y en norteamericanos ya que suelen ser más aceptados para su consumo en comparación con insectos holometábolos de estadío larvario (Muzzatti *et al.,* 2022; Bawa *et al.,* 2020; Reverberi, 2020). Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la cría intensiva de la especie tiene efectos en el rendimiento a través del tiempo, ya sea por las condiciones ambientales naturales o artificiales de las instalaciones de cría, la aparición de enfermedades, la dieta suministrada, la pérdida de variación genética, la depresión por endogamia, cambios en la conducta natural de los individuos como aumento de la agresividad y territorialidad; presentando cambios potenciales en los rasgos del ciclo de vida, la tolerancia y la robustez de los insectos (Mahavidanage *et al.,* 2023; Takacs *et al.,* 2023; Kelly y L´Heureux, 2021; Niemelä *et al.,* 2021; Orinda *et al.,* 2021; Jensen *et al.,* 2017). Por consiguiente, resulta crucial abordar investigaciones hacia factores bióticos, como la densidad de cría y el área superficial, para comprender y mitigar los posibles impactos de estas variables en la cría exitosa y sostenible de los insectos (Takacs *et al.,* 2023; Mitchaothai *et al.,* 2022; Jensen *et al.,* 2017).

El espacio físico en el que un animal es criado durante el ciclo productivo se puede considerar a partir de dos puntos de vista. Sánchez-Casanova *et al.,* (2021) resaltan, que en primer lugar, hace referencia al “espacio vital”, es decir, que el individuo cuente con un área

mínima requerida, la cual, varía según la especie, objetivo productivo y estado fisiológico, en el que llevará a cabo actividades tales como alimentación, descanso, socialización y desplazamiento; en segundo lugar, se contempla a partir de la distribución del espacio donde se asignan las “áreas estáticas” donde el animal buscará satisfacer sus necesidades como individuo, teniendo en cuenta la cantidad óptima de número de animales que se alojarán conjuntamente y con quienes se relacionará. Por lo anterior, se tiene en consideración la densidad y área superficial como factores relevantes que van de la mano con el diseño de las instalaciones de cría; comederos, bebederos, facilidad de manejo de los animales y ejecución de las actividades rutinarias (Jensen *et al.,* 2017). La densidad de cría se define como el número de individuos por unidad espacial de superficie y que es expresado por unidad de volumen como por ejemplo, kg de peso vivo/m2 y que incrementa al incluir más animales o disminuye si se retiran (Sánchez-Casanova *et al.,* 2021; Barragán-Fonseca, 2018; Martella *et al*., 2012; Sheppard *et al.,* 2002), mientras que el área superficial se refiere al espacio disponible para esos individuos, es decir la suma de las áreas totales que ocupa la superficie de un objeto y es asignada a un animal o grupo de animales, es decir, expresa el número total de individuos por unidad de área (Numminen *et al*., 2023; Sánchez-Casanova *et al.,* 2021; Yu *et al*., 2001).

Considerando lo anterior, la densidad y el área superficial son factores críticos que interactúan entre sí con el medio ambiente y los individuos, por ejemplo en la producción de *Acheta domesticus* y *Hermetia illucens* influye en parámetros de gran importancia, tales como: porcentaje de postura, porcentaje de supervivencia, mortalidad, así como también en la aparición de brotes de enfermedades que impactan negativamente la producción, incrementando la conversión alimenticia, disminuyendo las tasas de crecimiento afectando así la homogeneidad del lote (Takacs *et al.,* 2023; Sánchez-Casanova *et al.,* 2021; Jensen *et al.,* 2017; Park *et al.,* 2016). A su vez, la relación de estos dos factores se ha asociado a la conducta agresiva entre los individuos por la dominancia el, aumento de la cantidad de excretas generadas, mayor presencia de residuos de alimento y sustrato no aprovechado (Kelly y L´Heureux, 2021; Niemelä *et al.,* 2021; Sánchez-Casanova *et al.,* 2021; Alonso *et al*., 2019; Orinda *et al;* 2017; Herrero y Gil, 2008). Por lo tanto, la densidad de cría y el área superficial en la producción animal se convierten en aspectos claves para garantizar el bienestar de los animales y optimizar la eficiencia de la producción; permitiendo que los animales sean capaces de emplear su espacio para cubrir requerimientos de naturaleza fisiológica, reproductiva, social y comportamental (Sánchez-Casanova *et al.,* 2021; Jensen *et al.,* 2017; Park *et al.,* 2016; Vanhonacker *et al*., 2009).

La producción de insectos presenta la ventaja de aprovechamiento del espacio, según Jensen *et al*. (2017), el uso de espacios verticales para la cría de insectos emplea contenedores apilables con el fin de aprovechar la altura del recinto y maximizar la biomasa de acuerdo con el ciclo de vida del insecto desde una etapa juvenil hasta el tiempo o talla de cosecha. Específicamente, en el caso del orden Orthoptera, como los grillos, según la etapa productiva se clasifican en contenedores de diferente altura que varían desde los 36 hasta los 60 cm con el fin de evitar escapes; y que pueden contener estructuras internas en materiales como cartón, polietileno o fibra de vidrio con el fin de incrementar el área superficial y permitir una mayor densidad de cría (Cortés *et al*. 2016). En grillos se han realizado algunas investigaciones con respecto a la densidad de cría, como el de Niemelä *et al.,* (2021), quienes encontraron que en densidades de cría altas (116 hembras y 128 machos en contenedores de 128x98x73 mm) se vio reducida la masa corporal en los individuos del grillo campestre (*Gryllys interger*) así como una rápida maduración, sin embargo, la agresividad y cambios comportamentales no se vieron influenciados por este parámetro. También Kelly y L´Heureux, (2021), evaluaron el desarrollo del aparato mandibular para defensa y disputa con otros machos en el grillo de campo (*Gryllus firmus*); encontrando que los machos criados en bajas densidades eran más agresivos y tenían mayores posibilidades de derrotar a los machos criados en altas densidades, probablemente debido a un mayor desarrollo de su aparato mandibular que puede estar asociado indirectamente a la densidad de crianza.

En este capítulo, se evalúa el efecto de la densidad de siembra de los insectos y área superficial en las unidades de cría, sobre el peso promedio final y la mortalidad en *G. sigillatus* en condiciones de cautiverio en el Centro de Investigación de Artrópodos Terrestres - CINAT de la Universidad Nacional de Colombia.

2.3 Materiales y métodos

Individuos experimentales

Los individuos experimentales de *G. sigillatus* fueron obtenidos del Centro de Investigación de Artrópodos Terrestres - CINAT de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Estos individuos fueron procedentes de 30 grupos reproductores, contaron con una relación de hembra: macho de 5:1; alojados en cajas plásticas de 25 litros con 300 individuos cada una y con edades de 80 días los cuales fueron sincronizados para obtener 54 ml de ninfas necesarios para la experimentación. Cada ml de ninfas contenía un promedio de 256

individuos. Se mantuvieron bajo condiciones ambientales controladas: Temperatura 28ºC±2, una Humedad Relativa 65 ±10% y un régimen de luz oscuridad (L:O) de 12:12 horas.

Diseño experimental

Este experimento se llevó a cabo en 7 semanas y basó en un análisis simultáneo de dos factores fijos bajo un análisis de varianza factorial 3*3 organizado bajo un diseño completamente al azar. Para el desarrollo del experimento se contó con 27 unidades experimentales, cada unidad constó de un contenedor plástico de 25 litros de capacidad (ancho 29.5 cm x alto 30 cm x fondo 47.5 cm) con dos salidas superiores de aire laterales y circulares de 2 pulgadas de diámetro (20,3 centímetros cuadrados), ubicadas a 17 cm de la base del lado ancho de la caja (29,5 cm); selladas con malla antiáfido (ojo de malla menor a 0.3 milímetros) para asegurar el intercambio de aire y evitar la fuga y entrada de individuos. Para poder obtener diferentes densidades y áreas de superficie, se utilizaron divisores de cartón, empleados para la cría de la especie *G. sigillatus* por la empresa EntoFarms (https://entomofarms.com/). Las medidas originales son 57.15 cm de largo X 27.94 cm de ancho X 30 cm (alto); dimensiones celdas: 6.35 cm de largo X 6.35 cm de ancho X 30 cm (alto) // 36 celdas. El cartón es de calibre 0.030 mm (Chipboard) (Figura 2). Los divisores cuentan con orificios entre celdas con los que se busca facilitar la circulación de aire y facilitar el acceso al alimento y agua para los individuos (Cortés *et al*. 2016).

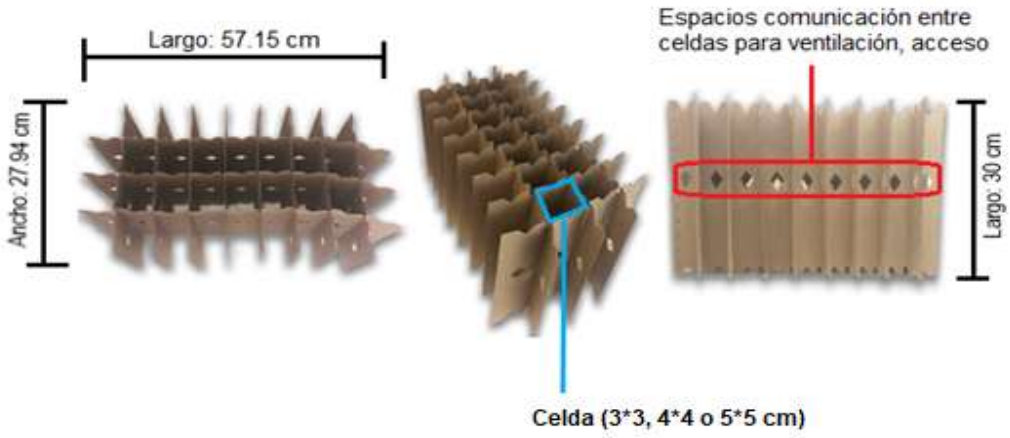


Figura 2. Ejemplo de las estructuras en cartón para el uso en contenedores de cría en grillos empleadas por EntoFarms.

Se evaluaron tres áreas superficiales y tres densidades de siembra, para un total de nueve tratamientos con tres réplicas cada uno. En total 27 unidades experimentales (Tabla 4).

Tabla 4. Tratamientos de densidades por áreas superficiales y relación grillo por centímetro cuadrado

	Área superficial de celdas de 3 cm (B1)	Área superficial de celdas de 4 cm (B2)	Área superficial de celdas de 5 cm (B3)
Densidad de 1 ml (A1)	A1B1 0.015 grillo/ cm2	A1B2 0.021 grillo/ cm2	A1B3 0.023 grillo/ cm2
Densidad de 2 ml (A2)	A2B1 0.031 grillo/ cm2	A2B2 0.043 grillo/ cm2	A2B3 0.047 grillo/ cm2
Densidad de 3 ml (A3)	A3B1 0.047 grillo/ cm2	A3B2 0.064 grillo/ cm2	A3B3 0.071 grillo/ cm2

*cada ml contenía un promedio de 256 individuos

Los tratamientos corresponden a la introducción de 3 densidades diferentes de siembra correspondientes a 1ml, 2ml y 3 ml de ninfas recién eclosionadas (< a 24 horas) (Mazurkiewicz *et al*. 2013), en las unidades experimentales que contenían separadores de botellas con 3 distancias medidas de celda (3x3cm); (4x4cm) y (5x5cm) (tabla 5) y con tres repeticiones por tratamiento, para una población total de 54 ml de ninfas recién eclosionadas.

En cada caja organizadora se utilizó el 81,4% del área de la base (630 centímetros cuadrados con respecto a los 773,4 centímetros cuadrados de base total (36,5*21,2 cm), ya que el 18,6% restante se destinó para el comedero y bebedero. Las áreas superficiales están descritas de acuerdo a las medidas de las láminas presentadas en la Tabla 5.

Tabla 5. Descripción de áreas superficiales por lámina de cartón

Distancia entre celdas	Área superficial lámina A*	Área superficial lámina B**	Área superficial total
3 cm	1092 cm^2	768 cm^2	16296 cm^2 o 1.62 m^2
4 cm	1128 cm^2	792 cm^2	11856 cm^2 o 1.18 m^2
5 cm	1140 cm^2	792 cm^2	10800 cm^2 o 1.08 m^2

*Área superficial lámina A: corresponde a la lámina de cartón de 30 cm de largo * 20 cm de ancho, teniendo en cuenta ambas caras de la lámina sin el área de los orificios que componen el pasillo de ventilación y comunicación de la estructura.

**Área superficial lámina B: corresponde a la lámina de cartón de 21 cm de largo * 20 cm de ancho, teniendo en cuenta ambas caras de la lámina sin el área de los orificios que componen el pasillo de ventilación y comunicación de la estructura.

Las medidas de las estructuras tridimensionales de cartón en cuanto al largo, ancho y alto fueron iguales para los tres tratamientos: 30 cm * 20 cm * 21 cm respectivamente; el ajuste para cada tratamiento se realiza con base a la distancia de la celda (figura 3). Se presenta

el área superficial en cm^2 por cada lámina (1A y 1B) que conforma la estructura, la distancia de la celda que compone cada tratamiento y el área superficial total de cada tratamiento.

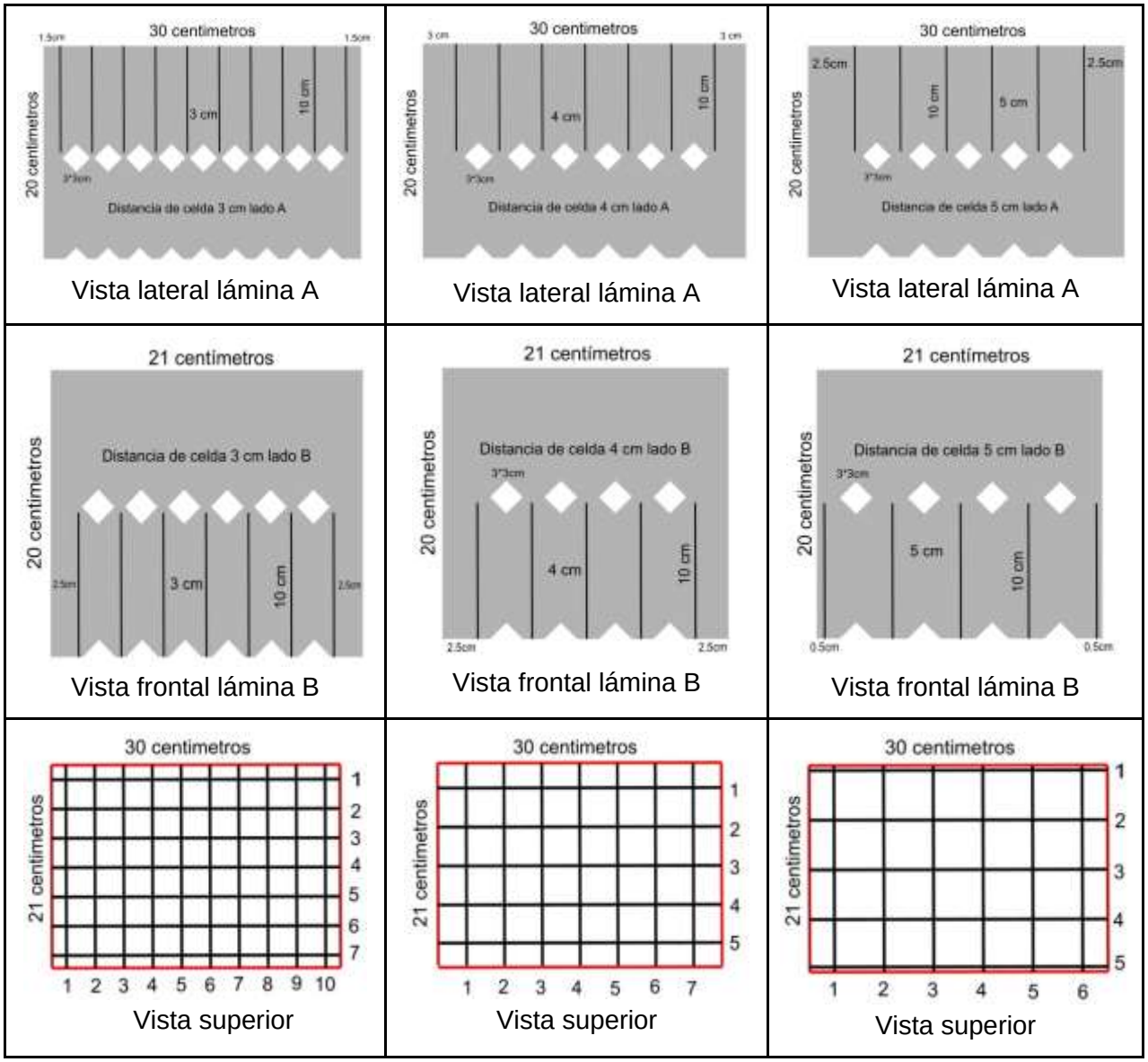


Figura 3. Medidas específicas de las láminas de cartón utilizadas para los 9 tratamientos experimentales de *G. sigillatus*

Alimentación de individuos experimentales

En cada unidad experimental la alimentación se dispuso en una caja de Petri de 5 cm de diámetro, con concentrado molido para pollo en fase de iniciación (Nutrepollo de 20% de proteína de la marca Solla). Para los bebederos se empleó un bloque de oasis (espuma floral) con dimensiones de 4,5 x 3 x 8 centímetros, humedecida y con un recipiente cilíndrico insertado como contenedor de agua potable, facilitando la hidratación y evitando el ahogamiento de las ninfas (figura 4). Los individuos tuvieron acceso a agua y alimento *ad libitum,* tanto bebederos como comederos fueron reemplazados tres veces en la semana,

así mismo, se lavaron y desinfectaron con el propósito de prevenir la proliferación de bacterias y hongos que pudieran representar un riesgo para la población de insectos.

Figura 4. Disposición de elementos en la unidad experimental

2.4 Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando modelos lineales generalizados (glm) para probar el efecto de la densidad de cría y el área superficial como factores fijos. Para comprobar el efecto de la densidad de cría y el área superficial sobre el peso promedio (mg) y la mortalidad (%) se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una estadística descriptiva (proc means) de una vía a un nivel de significación de 0,05, seguido de pruebas de Tukey post-hoc. Las pruebas de Kruskal-Wallis fueron realizadas cuando no se cumplieron los supuestos de normalidad y/u homocedasticidad. Se utilizó el software SAS 9.4. SAS Institute Inc.

Parámetros por evaluar

Peso promedio (mg): El peso de los insectos se registró al final del experimento con una balanza Ohaus modelo PX84/E con una desviación de 2 mg, con 50 individuos registrando el promedio de los pesos tomados por unidad experimental (según la metodología propuesta por Orinda *et al*. 2017 y Mazurkiewicz *et al*. 2013).

Mortalidad (%): La mortalidad fue tomada de acuerdo Kinyuru y Kipkoech (2018) comparando la proporción de grillos muertos con respecto al número inicial en cada contenedor dentro del tiempo dispuesto de la investigación.

2.5 Resultados

El peso promedio no presentó diferencias significativas respecto al área superficial; sin embargo, sí se observaron diferencias significativas en relación con la densidad (GLM, P ≤ 0,05). No se encontraron diferencias significativas del peso promedio entre las áreas superficiales, pero sí se encontraron diferencias significativas del peso entre las densidades 1, 2 y 3 (p < 0,0001). El peso promedio final por individuo fue mayor en una menor densidad y con áreas superficiales 1 y 2 (> 200 m) (Figura 5).

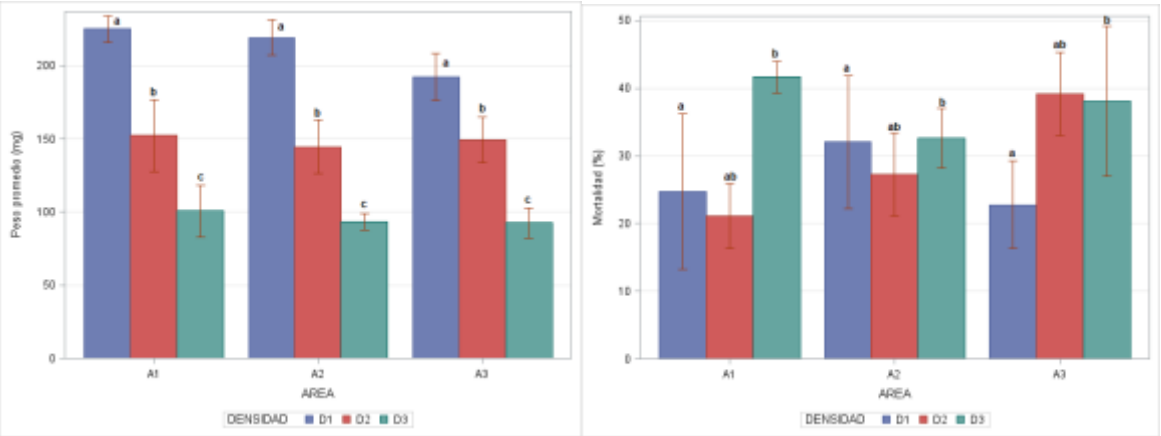


Figura 5. Peso promedio y mortalidad para los efectos de área superficial y densidad de siembra de *G. sigillatus*.

En cuanto a la mortalidad se presentaron diferencias estadísticas en la densidad 3 sin un efecto aparente del área superficial versus los demás tratamientos (GLM, P ≤ 0,05), demostrando que una mayor densidad de individuos es un espacio limitado aumenta la mortalidad de los individuos. Adicionalmente se presentó una correlación negativa entre el peso por individuo y la mortalidad de -0,35 de acuerdo a la prueba de Spaerman con SAS 9.4.

Tabla 6. Resultados de peso promedio y mortalidad

Área	Densidad	Peso promedio (mg)	Mortalidad (%)
A1 16296 cm^2	D1 1 ml	225.1±8.9	24.8±11.5
A1 16296 cm^2	D2 2 ml	152.33±24.71	21.1±4.8
A1 16296 cm^2	D3 3 ml	100.73±17.6	41.7±2.3
A2 11856 cm^2	D1 1 ml	219.2±12.02	32.1±9.8
A2 11856 cm^2	D2 2 ml	144.7±18.28	27.3±6.2
A2 11856 cm^2	D3 3 ml	93.56±5.51	32.6±4.5
A3 10800 cm^2	D1 1 ml	192.26±16.2	22.8±6.5
A3 10800 cm^2	D2 2 ml	149.43±15.57	39.1±6.2
A3 10800 cm^2	D3 3 ml	92.5±10.14	38.1±11.1

2.6 Discusión

Los resultados de esta investigación demuestran una nula interacción entre el área superficial y la densidad de cría sobre el peso promedio por individuo, presentando diferencias significativas entre densidades de cría con resultados favorables en una menor proporción de individuos por contenedor (1 ml) tanto el área 1, 2 y 3 respectivamente (225.1±8.9, 219.2±12.02 y 192.26±16.2 mg), indicando que los mejores pesos promedios por individuo se presentan en las relaciones grillo por cm2 <0.023. Resultados que coinciden con estudios realizados por Mazurkiewicz *et al*., (2013) en *Gryllodes sigillatus* donde una densidad de 0.37 y 0.18 ml de individuos/litro llegaron a tener una menor tasa de crecimiento y un menor peso promedio que una densidad menor de 0.09 ml de individuos/litro. Niemelä *et al.,* (2021), quienes encontraron que en densidades de cría altas (116 hembras y 128 machos en contenedores de 128x98x73 mm) se vio reducido el peso de los individuos del grillo campestre (*Gryllys interger*).

En cuanto a la mortalidad, nuestro estudio indicó un efecto de la densidad de cría sobre la mortalidad, indicando que a densidades altas (3 ml) o con una relación > 0.047 grillos/cm2 se presentaba un porcentaje mayor de individuos muertos en las áreas superficiales 1, 2 y 3 respectivamente (41.7±2.3, 32.6±4.5 y 38.1±11.1%). De acuerdo con estudios anteriores en *Gryllus firmus, Tenebrio molitor*, *Zophobas atratus* y *Drosophila types* se presenta una mayor mortalidad como una disminución del tamaño y el peso de los individuos al presentarse hacinamiento (Kelly y L'HeHeureu 2021, Zaelor y Kitthawee 2018, Peters Barbosa 1997). Mahavidanage et al., 2023 descubrió que la cría masiva de grillos domésticos (*Acheta domesticus*) es óptima con densidades inferiores a 0,93 grillos/cm2, y que densidades más altas conducen a una menor supervivencia y resistencia al hambre. De manera similar, Iba (1995) observó en *Gryllus bimaculatus* que la alta densidad de población de grillos conducía a una supresión del crecimiento y el desarrollo. Sin embargo, Mazurkiewicz *et al*., (2013), informó que, si bien la supervivencia no dependía de la densidad inicial, la especie *Gryllodes sigillatus* mantenida en densidades más altas presentó una longitud corporal más pequeña, llegando a ser un riesgo para la misma producción cómo lo reportó Takacs *et al*., (2023), al presentarse un aumento en la competencia por recursos, lesiones físicas, estrés en los individuos y hasta la incidencia de enfermedades como es el caso del densovirus (AdDv) en *A. domesticus*.

De acuerdo con nuestro estudio se recomienda que para lograr una producción de grillos a gran escala bajo condiciones de laboratorio se tenga en cuenta la densidad de cría como factor principal en la respuesta de una menor mortalidad y un mayor peso promedio por individuo con relaciones menores de 0.023 grillos/cm2 y de esta manera, garantizar una mayor eficiencia del espacio sin perturbar el ciclo productivo. De igual manera se sugiere continuar evaluando factores como la territorialidad de los individuos para así poder optimizar la producción de insectos

2.7 Bibliografía

1. Alonso, L., Amanto, F., Rodríguez, E. (2019). Evaluación de la densidad sobre los parámetros productivos. Tesis de la Facultad de Ciencias Veterinarias UNCPBA. Tandil, Argentina.
2. Arévalo Arévalo, H., Vernot, D. y Barragán Fonseca, K. (2022). Perspectivas de uso sostenible del grillo doméstico tropical (*Gryllodes sigillatus*) para la alimentación humana en Colombia. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 69(3). https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n3.98890
3. Ayieko, M. A., and Orinda M. A. (2020). Production, Nutrient Composition, and Bioactive Components of Crickets (*Gryllidae*) for Human Nutrition. Springer EBooks,b 213–224. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5_14
4. Barragán-Fonseca, K. B. (2018). Flies are what they eat: Tailoring nutrition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens L*.) for larval biomass production and fitness. https://doi.org/10.18174/449739
5. Bawa, M., Songsermpong, S., Kaewtapee, C., & Chanput, W. (2020). Effect of diet on the growth performance, feed conversion, and nutrient content of the house cricket. Journal of Insect Science, 20(2), 10. https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa014
6. Cortés Ortiz, J. A., Ruiz, A. T., Morales-Ramos, J. A., Thomas, M., Rojas, M. G., Tomberlin, J. K., Yi, L., Han, R., Giroud, L., & Jullien, R. L. (2016). Chapter 6—Insect Mass Production Technologies. En Aaron T. Dossey, J. A. Morales-Ramos, & M. G. Rojas (Eds.), Insects as Sustainable Food Ingredients (pp. 153-201). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00006-5
7. Dion Poulin A, Laroche M, Doyen A, Turgeon, SL. (2020). Functionality of Cricket and Mealworm Hydrolysates Generated after Pretreatment of Meals with High Hydrostatic Pressures. Molecules (Basel, Switzerland). 25(22):5366. https://doi.org/10.3390/molecules25225366

8. Halloran A, Hanboonsong Y, Roos N, Bruun S. (2017). Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. J Clean Prod. 156:83-94. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.017
9. Halloran A, Hansen HH, Jensen LS, Bruun S. (2018). Comparing Environmental Impacts from Insects for Feed and Food as an Alternative to Animal Production. En: Halloran A, Flore R, Vantomme P, Roos N, editors. Edible Insects in Sustainable Food Systems. Springer Inter-national Publishing. p. 163-180. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_1
10. Hanboonsong, A. and Durst, P. (2020). Guidance on sustainable cricket farming – A practical manual. Bangkok, FAO. https://doi.org/10.4060/cb2446en
11. Herrero, M. A., y Gil, S. B. (2008). Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. Ecología austral, 18(3), 273-289.
12. Iba, M., Nagao, T., & Urano, A. (1995). Effects of Population Density on Growth, Behavior and Levels of Biogenic Amines in the Cricket, *Gryllus bimaculatus*.
13. Jensen, K., Kristensen, T. N., Heckmann, L-H. L., & Sørensen, J. G. (2017). Breeding and maintaining high-quality insects. In A. van Huis, & J. T. Tomberlin (Eds.), Insects as Food and Feed: from production to consumption (pp. 174-198). Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-849-0
14. Kee, P. E., Cheng, Y. S., Chang, J. S., Yim, H. S., Tan, J. C. Y., Lam, S. S., Wei Lan, J.C., Suan, H., Khoo, K. S. (2023). Insect biorefinery: A circular economy concept for biowaste conversion to value-added products. Environmental research, *221*, 115284. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115284
15. Kelly, C. D., and Valérie L'Heureux. (2021). Effect of diet and rearing density on contest outcome and settlement in a field cricket. 75(3). https://doi.org/10.1007/s00265-021-02990-w
16. Kinyuru J., and Kipkoech C. (2018). Production and growth parameters of edible crickets: experiences from a farm in a high altitude, cooler region of Kenya. Journal of Insects as Food and Feed; https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0081
17. Mahavidanage, S., Fuciarelli, T. M., Li, X., & David, R. C. (2023). The effects of rearing density on growth, survival, and starvation resistance of the house cricket *Acheta domesticus*. 32(1), 25–31. https://doi.org/10.3897/jor.32.86496
18. Martella, M. B., Trumper, E., Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., & Gleiser, R. M. (2012). Manual de Ecología. Poblaciones: Introducción a las técnicas para el estudio de las poblaciones silvestres. Reduca (Biología), 5(1). p: 5 (1): 1-31. ISSN: 1989-3620
19. Mazurkiewicz, A., D. Tumialis, E. Pezowicz, Urbanski, J., Galewski, P., & K. Góral. (2013). The effect of density on the breeding optimization of the tropical house cricket *Gryllodes sigillatus* (Walker) (Orthoptera: *Gryllidae*). Annals of Warsaw University of Life Sciences- SGGW Animal Science.

20. Mitchaothai, J., Grabowski, N. T., Lertpatarakomol, R., Trairatapiwan, T., Chhay, T., Keo, S., & Lukkananukool, A. (2022). Production Performance and Nutrient Conversion Efficiency of Field Cricket (*Gryllus bimaculatus*) in Mass-Rearing Conditions. Animals, 12(17), 2263. https://doi.org/10.3390/ani12172263
21. Muzzatti, M. J., McConnell, E., Neave, S., MacMillan, H. A., Bertram, S. M. (2022). Fruitful female fecundity after feeding *Gryllodes sigillatus* royal jelly. bioRxiv, 2022-05. https://doi.org/10.1101/2022.05.17.492327
22. Niemelä, P. T., Tiso, S., & Dingemanse, N. J. (2021). Density-dependent individual variation in male attractiveness in a wild field cricket. Behavioral Ecology, 32(4), 707-716. https://doi.org/10.1093/beheco/arab009
23. Nikkhah, A., Van Haute, S., Jovanovic, V. et al. Life cycle assessment of edible insects (*Protaetia brevitarsis seulensis* larvae) as a future protein and fat source. Sci Rep11, 14030 (2021). https://doi.org/10.1038/s41598-021-93284-8
24. Numminen, E., Jokinen, M., Lindén, A., & Jarno Vanhatalo. (2023). *Species ecology can bias population estimates*. *283*, 110115–110115. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110115
25. Orinda, M., Mosi, R., Ayieko, M., Amimo, F., & Odinga, J. (2017). Growth performance of Common house cricket (*Acheta domesticus*) and field cricket (*Gryllus bimaculatus*) crickets fed on agro-byproducts. ~ 1664 ~ Journal of Entomology and Zoology Studies, 5(6), 1664–1668. https://www.entomoljournal.com/archives/2017/vol5issue6/PartW/5-5-333-397.pdf
26. Orinda M., Oloo J., Magara H., Ayieko M., Ekesi S., Roos N. (2021). Cricket Reading Handbook – Services for Science & Education.https://doi.org/10.14738/eb.86.2020.
27. Otieno, J., Ayieko, M. A., Saliou Niassy, Salifu, D., Ameen Abdelmutalab, Fathiya, K. M., Subramanian, S., Komi K. M. Fiaboe, Roos, N., Ekesi, S., & Tanga, C. M. (2019). Integrating temperature-dependent life table data into Insect Life Cycle Model for predicting the potential distribution of *Scapsipedus icipe* Hugel & Tanga. 14(9), e0222941–e0222941. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222941
28. Park, kwanho, Kim, W., Kim, E., Choi, J.-Y., & Kim, S.-H. (2016). Effect of adult population density on egg production in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). International Journal of Industrial Entomology, *33*(2), 92–95. https://doi.org/10.7852/ijie.2016.33.2.92
29. Peters TM, Barbosa P (1997) Influence of Population Density on Size, Fecundity, and Developmental Rate of Insects in Culture. Annual Review of Entomology 22: 431–450. https://doi.org/10.1146/annurev.en.22.010177.002243
30. Reverberi, M., (2020). Edible insects: cricket farming and processing as an emerging market. Journal of Insects as Food Feed 6: 211–220. https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0052

31. Ribeiro JC, Lima RC, Maia M. Almeida A, Fonseca AJ, Cabrita AR, Cunha LM. (2019). Impact of defatting freeze-dried edible crickets (*Acheta domesticus* and *Gryllodes sigillatus*) on the nutritive value, overall liking and sensory profile of cereal bars. LWT. 113: 108335. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108335
32. Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., Savastano, D. (2017). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. Journal of Cleaner Production, 140, 890-905. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.154
33. Sánchez-Casanova RE, Muñoz-Osorio GA, Sarmiento-Franco LA (2021). ¿Cómo afecta la disponibilidad de espacio y el tamaño de grupo al bienestar de los animales de granja?. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 117(4): 375-389. https://doi.org/10.12706/itea.2020.041
34. Sheppard, D. C., Tomberlin, J. K., Joyce, J. A., Kiser, B. C., & Sumner, S. M. (2002). Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: *Stratiomyidae*): Table 1. Journal of Medical Entomology, 39(4), 695–698. https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695
35. Takacs, J., Bryon, A., Annette Bruun Jensen, van, & Vera. (2023). Effects of Temperature and Density on House Cricket Survival and Growth and on the Prevalence of *Acheta Domesticus Densovirus*. 14(7), 588–588. https://doi.org/10.3390/insects14070588
36. Vanhonacker F., Verbeke, W., Van Poucke E., Buijs, S., & Tuyttens, F. (2009). Societal concern related to stocking density, pen size and group size in farm animal production. Livestock Science, *123*(1), 16–22. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.09.023
37. Yu.D. Burago, V.A. Zalgaller, L.D. Kudryavtsev (2001), «Area», en Hazewinkel, Michiel, ed., Encyclopaedia of Mathematics (en inglés), Springer, ISBN 978-1556080104
38. Zaelor J., and Kitthawee S. (2018). Growth response to population density in larval stage of darkling beetles (Coleoptera; Tenebrionidae) *Tenebrio molitor* and *Zophobas atratus*. Agriculture and Natural Resources, 52(6), 603–606. https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.11.004
39. Zielińska E, Baraniak B, Karaś M, Rybczyńska K, Jakubczyk A. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. Food Research International. 77:460-466. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008
40. Zielińska E, Pankiewicz U, Sujka M. (2021). Nutritional, Physiochemical, and Biological Value of Muffins Enriched with Edible Insects Flour. Antioxidants (Basel, Switzerland). 10(7):1122. https://doi.org/10.3390/antiox10071122

EVALUACIÓN DE LA INCLUSIÓN DIETARIA DE HARINA DE HOJAS DE YUCA (*Manihot esculenta)* Y DE BORE (*Alocasia macrorhyza*) SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y LA COMPOSICIÓN CORPORAL DE LA ESPECIE *Gryllodes sigillatus*

3.1 Resumen

En los últimos años el creciente interés por la búsqueda de fuentes sostenibles que permitan suplir las necesidades de la demanda de alimentos prevista para las próximas décadas han postulado a los insectos como posibles soluciones ante este reto. Gracias a sus bajos requerimientos alimentarios y un perfil nutricional favorable, los grillos se destacan como una de las especies de insectos más cultivadas y se consideran una excelente opción para la producción masiva. Sin embargo el desafío al que se enfrentan los productores de insectos es el alto costo del alimento, debido a que existen pocos alimentos formulados especializados para grillos y en algunos países aún no se cuenta con estos concentrados, lo que lleva a suplirlo con alimentos balanceados para animales convencionales o de compañía, y frutas y verduras para el consumo humano generando competencia por estos recursos, lo que ha llevado a una búsqueda de residuos orgánicos o materias primas provenientes de cadenas agrícolas que no generen competencia y puedan ser sostenibles en el tiempo. En esta investigación se evaluó el efecto de la inclusión de la harina de hojas Manihot *esculenta* (yuca) y *Alocasia macrorhyza* en la alimentación del grillo doméstico tropical (*Gryllodes sigillatus)* sobre el peso promedio por individuo, consumo de alimento, conversión alimenticia y supervivencia en condiciones de laboratorio. Se evaluaron 4 dietas; la primer dieta control (DC) con concentrado de pollo de levante con 20% de proteína, la segunda dieta, concentrado de pollo con 35% de inclusión de harina de hojas de yuca (DCY), la tercera dieta, concentrado de pollo con 45% de inclusión de harina de hojas de bore (DCB) y la cuata dieta con 13% de harina de yuca, 27% de bore y concentrado de pollo (DCYB). Se observó una menor conversión alimenticia con la DC y la DCB con relación de 1.38 y 1.42 gr de alimento/ gr de peso vivo respectivamente, un peso promedio más alto con la DCY 251.8 ± 39.1 mg, un consumo de alimento promedio por individuo más alto con la DCY 421 ± 82.5 mg y sin efecto aparente de las dietas sobre la supervivencia. Se estableció que la inclusión de la harina de bore y de yuca es una oportunidad en la dieta del grillo doméstico tropical

subrayando la necesidad de continuar investigaciones sobre más ingredientes alternativos y su efecto en la composición nutricional de los insectos que garanticen la sostenibilidad y viabilidad de esta actividad emergente.

Palabras clave
Grillos, dietas, alimentación, producción de insectos, economía circular, sostenibilidad

3.2 Introducción

Los grillos se han considerado en la última década como una fuente nutricional humana y animal de gran importancia por su producción sostenible, conversión alimenticia, calidad proteica y facilidad de manejo, lo que puede representar una alternativa para combatir la desnutrición mundial y cubrir la demanda alimentaria prevista para el 2050 ya que se estima que existen alrededor de 60 especies de grillos aptas para consumo humano, siendo uno de los órdenes más consumidos (Pilco - Romero *et al*., 2023; Magara *et al.,* 2021; Murugu *et al.,* 2021; Bawa *et al.,* 2020).

En continentes como Europa y Asia, el mercado actual ya ofrece comercialmente grillos procedentes de cultivos tanto de pequeña como de gran escala, siendo Tailandia reconocido como uno de los principales productores con una producción anual de 3700 toneladas (Mungkung *y* Phetcharaburanin, 2023). Otros países como Indonesia, Camboya y China también participan activamente en esta industria (Siddiqui *et al.,* 2023). La aprobación para el uso de las especies *Acheta domesticus* y *Gryllodes sigillatus* en la alimentación en la acuicultura, según el Reglamento de la UE 2017/893, ha impulsado la producción de grillos, especialmente en el Reino Unido (Suckling *et al.* 2020; IPIFF, 2019;). Este impulso no solo ha contribuido al suministro de alimentos, sino que también ha desempeñado un papel significativo en mejorar la calidad de vida de familias y mujeres agricultoras (Halloran *et al.,* 2017). En lugares como Kenia, en el continente africano, se ha observado un creciente interés en la investigación de estos insectos, destacando su contribución al aumento de ingresos y empoderamiento para quienes crían y procesan estos insectos (Sorjonen *et al.,* 2022; Ververis *et al.,* 2022; Murugu *et al.,* 2021; Bawa *et al.,* 2020; Oloo *et al.,* 2020).

El valor nutritivo que representan los grillos y su conversión alimenticia son características que han permitido considerarlos para la producción animal gracias a que su contenido proteico puede oscilar entre 55 y 73% y contenido de ácidos grasos

poliinsaturados de un 58% y 70% (Magara *et al.,* 2021); sin embargo, el establecimiento de dietas comerciales y alimentación en pequeña escala se ha basado en recursos que representan altos costos comerciales como el concentrado para pollos, materias primas a base de soya, frutas y verduras frescas para consumo humano que están disponibles por temporadas generando competencia con los humanos y animales de granja, lo que limita la industria e producción masiva de insectos (Morales-Ramos *et al.,* 2023; Jucker *et al .,* 2022; Cortes-Ortiz *et al.,* 2016), por lo cual el reciente interés de investigar materias primas o residuos orgánicos provenientes de la cadena agrícola de bajo o nulo valor comercial se ha intensificado para la formulación de dietas experimentales de insectos y disminuir los costos del sistema productivo (Musungo *et al.,* 2023; Kaewplik *et al.,* 2023; Kuo y Fisher, 2022*;* Ng'ang'a *et al.,* 2021; Straub *et al.,* 2019).

A parte de una serie de condiciones bióticas como la densidad, es esencial proporcionar una dieta balanceada y de calidad a los insectos que satisfagan sus requerimientos nutricionales, permitiendo así el correcto desarrollo de los individuos para obtener la biomasa deseada destinada a su transformación y consumo, así como para una reproducción satisfactoria (Orinda *et al.,* 2017; Oonincx y De Boer, 2012; Zajitschel *et al.,* 2012). Las funciones fisiológicas y el metabolismo juegan un papel crucial en la forma en que se aprovechan los nutrientes y se invierte el costo y la energía (Suckling *et al.,* 2020; Jensen *et al.,* 2017). La tasa de madurez y el rendimiento productivo también están directamente vinculados, ya que animales en condiciones de desnutrición experimentan un crecimiento críticamente afectado, dando lugar a individuos de menor tamaño y aumentando el riesgo de mortalidad o incidencia de enfermedades, lo cual tiene un impacto económico significativo en la producción. (Tierney *et al.,* 2023; Bawa *et al.,* 2020; Ng´ang´a *et al.,* 2020; Oloo *et al.,* 2020).

La selección de las materias primas para la formulación de dietas en insectos impacta en la calidad nutricional de estos e influencia los parámetros productivos (Jucker *et al.,* 2022; Pastell *et al.,* 2021; Oloo *et al.,* 2020). Por otro lado, la dieta también ha demostrado influir en las poblaciones microbianas y enzimas digestivas del tracto gastrointestinal en estas especies (Ng´ang´a *et al.,* 2020; Ng *et al.,* 2018), como lo reportado por Ng *et al.,* (2018) donde los grillos silvestres (*Teleogryllus Oceanicus*) presentaban una mayor diversidad de microorganismos y altas tasas de *Firmicutes,*

así como una mayor cantidad de peptidasas, en comparación con los grillos criados en laboratorio (alimentados con alimentos para gato y una dieta formulada) que presentaban una menor diversidad microbiana. Los grillos poseen la capacidad de aprovechar dietas con bajos niveles de proteína y altos en almidón para convertirlos en biomasa (Lundy y Parrella, 2015). Como describió Straub *et al*., (2019) al evaluar en el grillo del mediterráneo (*Gryllus bimaculatus*) y la langosta del desierto (*Schistocerca gregaria*), quienes al analizar la conversión alimenticia y composición nutricional de dietas compuestas por harina de maíz, hojas de caupí, extracto de soja y rastrojos de maíz, observaron que los individuos mostraron un buen crecimiento (0.59 g a los 43 días de edad) y una eficiente conversión alimenticia (2.13) cuando se les alimentó con la dieta rica en almidón (333 g/kg) y fibra compuesta de harina de maíz y hojas de caupí, en comparación con la dieta de contenido proteína (244 g/kg ms) y fibra (343 g/kg ms) que tenía extractos de soja y rastrojos de maíz con una conversión alimenticia de 2.6 gr de alimento consumido/gr de peso vivo ganado. Oloo *et al.,* (2020*),* evaluaron el efecto de las dietas con residuos agrícolas como hojas de col rizada, hojas de batata, ugali y cáscaras de plátano en el grillo doméstico (*Acheta domesticus),* donde las ninfas alimentadas con col rizada y hojas de batata obtuvieron una ganancia de peso y una tasa de madurez significativamente más alta que aquellas alimentadas con cáscaras de ugali y plátano, este mismo comportamiento se vio en el contenido proteico de los grillos cosechados con 82,4% y 78,6%; mientras que los grillos alimentados con ugali y cáscara de plátano fue de 57,9% y 62,9% respectivamente. Kuo y Fisher (2022) tras su análisis de investigaciones en grillos (*A. domesticus y G. bimaculatus)* pudieron determinar que las dietas formuladas con residuos de alimentos como el nabo contenían un promedio de supervivencia alto del 77%.

Para el caso de la especie de interés en esta investigación, *Gryllodes sigillatus,* en los últimos años se han llevado a cabo evaluaciones de dietas con materias primas poco convencionales; como la investigación realizada por Muzzatti *et al.,* (2022) donde evaluaron la suplementación de jalea real en ninfas, encontrando que las hembras que fueron alimentadas con un 15% de jalea real tenían un incremento del 30% de peso vivo y abdómenes más largos permitiendo albergar un 67% más de huevos en comparación con hembras alimentadas con una dieta estándar que contenía 40,4% de maíz, 27,9% harina de soja, 15% harina de pescado y 1,7% de premix vitaminas y minerales. Hawkes *et al.,* (2022) formularon dietas con proporciones variables de

proteína: carbohidrato con el mismo contenido nutricional para evaluar la duración de vida de los insectos y el esfuerzo reproductivo de los *G. sigillatus*, donde relaciones bajas de proteína: carbohidrato de 1:3,37 era idónea para machos incrementado su tiempo de vida, sin embargo, las hembras requirieron una mayor ingesta de carbohidratos 1:5.21 para cumplir las funciones reproductivas como la postura de huevos.

Evaluar ingredientes alternativos locales para insectos que tienen potencial productivo es de gran importancia ya que en países del sur global como Colombia se requieren sistemas productivos más sostenibles y que involucren sistemas más circulares, as su vez que proporcionen nutrientes adecuados para optimizar las producciones, por lo cual uno de los principales intereses de esta investigación es abordar el aprovechamiento de los recursos vegetales que son desechados de las producciones agrícolas y que pueden representar materias primas para la formulación de dietas para el crecimiento y desarrollo del *G. sigillatus*. Por esta razón, en este estudio se evalúa el efecto de la inclusión de dos ingredientes locales de bajo costo, como la harina de hojas de *Manihot esculenta* (yuca) y *Alocasia macrorhyza* (bore) en la alimentación de la especie *Gryllodes sigillatus* sobre parámetros productivos y composición nutricional en condiciones de cautiverio en el Centro de Investigación de Artrópodos Terrestres - CINAT de la Universidad Nacional de Colombia.

3.3 Materiales y métodos

Individuos experimentales

Los individuos de *Gryllodes sigillatus* fueron suministrados por la empresa Arthrofood y al iniciar los experimentos tenían 2 días post eclosión, con un peso individual de aproximadamente de 8.9 ± 0,5 mg. Los individuos estuvieron bajo condiciones controladas (Temp: 28 °C +/-2, HR: 65% +/-10 y L/O 12/12) por 35 días en el Centro de investigación en Artrópodos terrestres (CINAT) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

Dietas experimentales

El experimento se basó en un análisis completamente al azar con 4 tratamientos correspondientes a 4 dietas evaluando el peso promedio por individuo, el consumo de alimento promedio por individuo, la tasa de conversión y la supervivencia. La dieta

control fue concentrado de pollo de levante de 20% de proteína (El Galpón – pollo levante); la segunda dieta: concentrado de pollo (20% Proteína) con 35% de inclusión de harina de hojas de *Manihot esculenta* (yuca); la tercera dieta: concentrado de pollo (20% Proteína) con 45% de inclusión de harina de hojas de *Alocasia macrorhyza* (bore), y la cuarta dieta: concentrado de pollo (20% Proteína.) con 13 % de inclusión de harina de hojas de yuca y 27% de bore (Tabla 7). Valores propuestos por los investigadores con el fin de tener dietas experimentales diferentes al control con valores similares de proteína como ajuste composicional.

Tabla 7. Composición nutricional de las dietas experimentales para *Gryllodes sigillatus.*

Composición	Dieta control (DC)	Dieta con 35% de inclusión de harina de hojas de yuca (DCY)	Dieta con inclusión de 45% de harina de hojas de bore (DCB)	Dieta con 13% de inclusión de harina de hojas de yuca y 27% de bore (DCYB)
Humedad (%)	12.35	15.37	9.17	11.52
Proteína (%)	20.87	22.41	22.61	22.49
Grasa (%)	3.49	5.35	4.98	5.08
Fibra (%)	12.34	13.10	12.34	12.62
Cenizas (%)	7.13	6.24	7.85	7.23
Fósforo (%)	0.77	0.63	0.58	0.6
Calcio (%)	1.85	1.78	2.15	2.01
Potasio (%)	1.24	1.34	0.69	0.95
Energía kcal/kg	4476.09	4746.84	4661.67	4688
Carbohidratos no fibrosos (%)	43.82	37.53	43.05	41.06
Relación carbohidrato-Proteína	2.1	1.7	1.9	1.8

El concentrado de pollo de levante es de la casa comercial el Galpón, con la siguiente composición reportada en etiqueta (Tabla 8).

Tabla 8. Composición garantizada del concentrado de pollo de levante.

Composición	Porcentaje
Humedad (máx)	13%
Fibra (máx)	6%
Proteína (min)	19%
Cenizas (máx)	9%
Grasa (min)	2.5%

En cuanto a las hojas de bore y de yuca se procesaron de acuerdo a los protocolos de transformación de harina propuesto por Ceballos y Ospina, (2002) y Giraldo, (2006), (anexo 1 y 2), posteriormente se enviaron al laboratorio de nutrición para su caracterización junto con el concentrado pollo de levante (El galpón) (Tabla 9). para así realizar las dietas con las inclusiones propuestas de acuerdo a la metodología (Tabla 7). Los porcentajes de sustitución de cada material vegetal varían con el fin de obtener una dieta con valores cercanos a la composición nutricional en proteína excepto la dieta control. Las dietas fueron analizadas por triplicado en el laboratorio de nutrición animal de la facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia.

Tabla 9. Composición proximal de los recursos utilizados para las dietas experimentales de *Gryllodes sigillatus.*

Composición	**Concentrado de pollo de levante**	**Harina de hojas de yuca**	**Harina de hojas de bore**
Humedad (%) *	12.35	23.51	6.94
Proteína (%) *	20.87	25.28	24.73
Grasa (%) *	3.49	8.85	6.63
Fibra (%) *	12.34	14.52	12.34
Cenizas (%) *	7.13	4.59	8.72
Fósforo (%) *	0.77	0.37	0.35
Calcio (%) *	1.85	1.64	2.52
Potasio (%) *	1.24	1.52	0.02

Energía kcal/kg*	4476.09	5249.66	4888.5
Carbohidratos no fibrosos (%)	43.82	23.25	40.64

*1 AOAC 1996. Official Methods of analysis of the Association of Analytical Chemists, (14 th ed). Valores obtenidos por el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, de la Universidad Nacional de Colombia (cada análisis se realizó por triplicado y aceptado con coeficientes de variación <0.05).

Diseño experimental

Se designaron 9 repeticiones por dieta para un total de 36 unidades experimentales, las cuales fueron asignadas aleatoriamente en cada manejo de acuerdo a una matriz en excel 2020. Cada unidad experimental constó 250 individuos de 2 días post eclosión con un peso individual de aproximadamente de 8.9 ± 0,5 mg, dispuestos en cajas organizadoras de 25 litros (29.5x30x47.5 centímetros), con dos salidas de aire laterales y circulares de 2 pulgadas de diámetro (20,3 centímetros cuadrados) a 17 cm de la base del lado ancho (29,5 cm), selladas con malla antiáfido (ojo de malla menor a 0.3 milímetros) para asegurar el intercambio de aire y evitar fuga o entrada de individuos, con una caja Petri plástica de 5 cm diámetro como recipiente para la dieta, un bebedero de aves de 260 ml y 4 cubetas de huevo de 15*30 cm (Figura 6).

Figura 6. Composición de las unidades experimentales de *Gryllodes sigillatus*.

Los insectos tuvieron acceso a agua y alimento *ad libitum* los cuales fueron reemplazados tres veces a la semana, pesando el alimento nuevo y residual utilizando una balanza electrónica Ohaus (PX84/E) en recipientes tarados y marcados previamente de acuerdo a cada unidad experimental, iniciando con 5 gramos de

alimento por unidad experimental y aumentando 30% del alimento en todas las unidades experimentales cada vez que el alimento residual sea menor al 30% del alimento suministrado, al mismo tiempo que los recipientes de comida y de agua fueron lavados y desinfectados con el fin de evitar la proliferación de microorganismos que pusieran en riesgo la población.

3.4 Análisis estadístico

Para determinar si hay diferencias significativas entre las dietas, se realizó un ANOVA y una estadística descriptiva (proc means) con un nivel de significación de 0,05, seguido de pruebas de Tukey post-hoc. Las pruebas de Kruskal-Wallis fueron realizadas cuando no se cumplieron los supuestos de normalidad y/u homocedasticidad. Utilizando el software SAS 9.4. SAS Institute Inc.

Parámetros por evaluar

Peso promedio por individuo (mg): el peso promedio por individuo se calcula dividiendo el peso grupal por el número de individuos de la muestra de acuerdo a Nakagaki y Defoliart, (1991) y Orinda *et al*., (2017).

Consumo de alimento promedio por individuo (mg): el consumo total de alimento o ingesta total de alimento (TFI), es la sumatoria del alimento suministrado en comparación con el residuos no consumidos, en todo el periodo experimental (Fuah *et al*., 2015), Este parámetro está dado por la fórmula (TFI/número total de individuos)

Conversión alimenticia (mg/ind): la conversión alimenticia se calcula dividiendo la cantidad de peso corporal ganado por la cantidad total de alimento consumido. **(**Straub *et al*., 2019 y Fuah *et al.,* 2015)

Supervivencia (%): La tasa de supervivencia se calcula como el número final de individuos sobrevivientes dividido por el número inicial de individuos en el periodo de tiempo designado, y posteriormente multiplicado por 100, para ser expresado como porcentaje (Mitchaothai *et al.,* 2022)

Análisis proximal de los individuos: se realizó un análisis composicional en el Laboratorio de Nutrición Animal de la FMVZ (AOAC, 1996) de los individuos obtenidos en cada uno de los 4 tratamientos, los cuales fueron procesados para obtener harina de acuerdo al anexo 3. Los resultados no se evalúan estadísticamente al no presentarse réplicas dada la unificación de los

individuos por dieta para obtener la cantidad mínima solicitada por el laboratorio de nutrición animal.

3.5 Resultados

La conversión alimenticia tuvo un mejor comportamiento con la dieta 1 (DC) y la dieta 3 (DCB) con valores menores a las dietas 2 y 4 (GLM, $P \leq 0.05$) (tabla 10 y figura 7), en cuanto al peso promedio se presentó el peso más alto con la dieta 2 vs la dieta 4 que presento el peso más bajo, aunque teniendo un comportamiento similar a las dietas 1 y 3 (GLM, $P \leq 0.05$), la variable consumo de alimento presento el mayor valor con la dieta 2 en contraste con las demás (GLM, $P \leq 0.05$) (Tabla 10). En cuanto a la supervivencia no se presentaron diferencias significativas entre las dietas (Figura 7).

Tabla 10. Resultados de conversión alimenticia, peso promedio, consumo de alimento y supervivencia de *Gryllodes sigillatus* alimentados con las cuatro dietas experimentales

Dieta	Conversión alimenticia (mg/ind)	Peso promedio por individuo (mg)	Consumo de alimento promedio por individuo (mg)	Supervivencia (%)
Dieta 1 (DC)	1.38 ± 0.05	241.6 ± 37.4	321.8 ± 50.3	67 ± 17.6
Dieta 2 (DCY)	1.73 ± 0.14	251.8 ± 39.1	421.3 ± 82.5	68 ± 15.4
Dieta 3 (DCB)	1.42 ± 0.08	225.2 ± 16.7	309 ± 27.1	58 ± 8.9
Dieta 4 (DCYB)	1.61 ± 0.08	209.3 ± 31.8	324.9 ± 57.7	56.3 ± 17.3

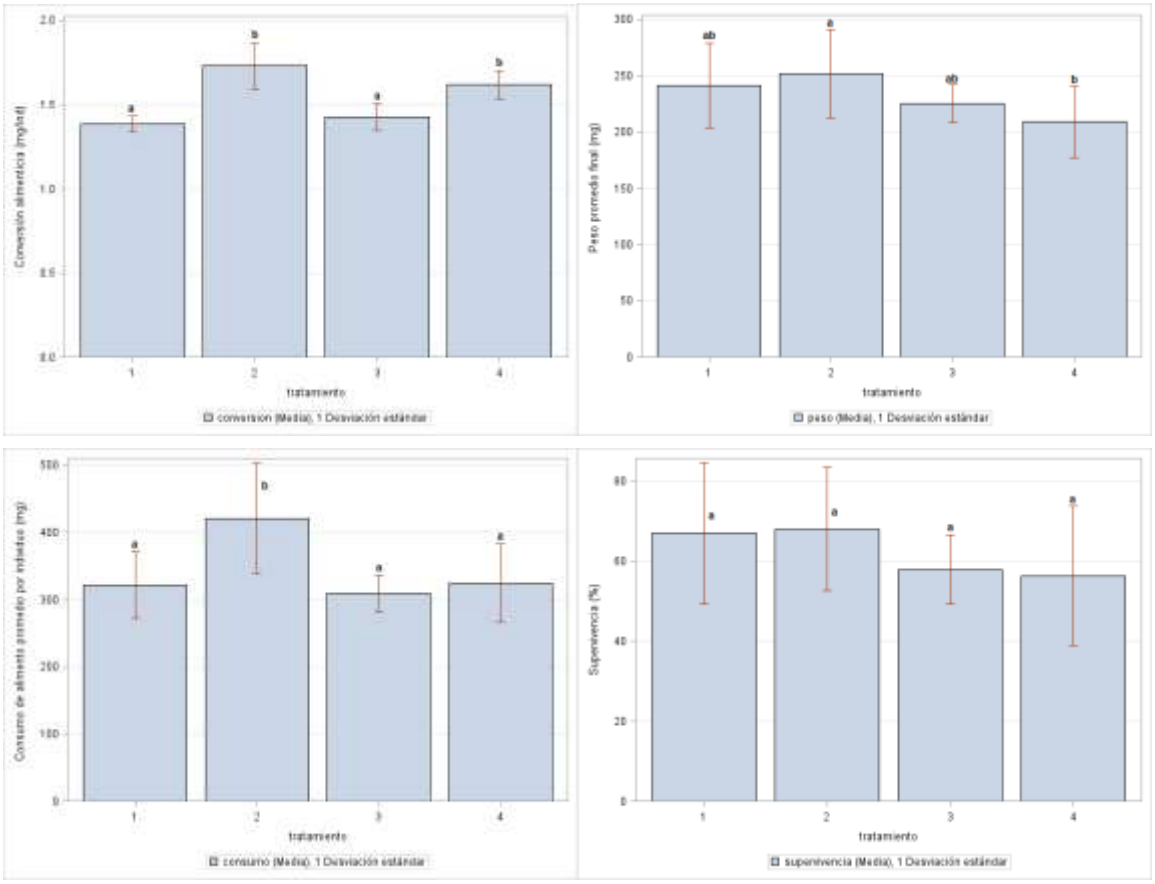


Figura 7. Conversión alimenticia, peso promedio por individuo, consumo de alimento promedio por individuo y supervivencia de *Gryllodes sigillatus* alimentados con las cuatro dietas experimentales.

En la tabla 11 se observan los análisis proximales realizados a los individuos de *G. sigillatus* obtenidos en cada una de las 4 dietas. Aunque no se realizó un análisis estadístico por la ausencia de réplicas se puede observar que los grillos alimentados con la dieta 2, 3 y 4 mostraron mayores contenidos de proteína como de fibra y cenizas versus la dieta control.

Tabla 11. Composición de harinas de *Gryllodes sigillatus* por dieta experimental.

Composición	***G. sigillatus* DC**	***G. sigillatus* DCY**	***G. sigillatus* DCB**	***G. sigillatus* DCYB**
Humedad (%) *	95.1	93.7	95.3	96.1
Proteína (%) *	60.6	65.5	67.2	67.1
Grasa (%) *	23.1	21.7	19.7	18.2

Fibra (%) *	4.8	5.8	5.8	5.9
Cenizas (%) *	3.6	3.8	3.8	3.9
Fósforo (%) *	0.89	0.96	0.96	0.98
Calcio (%) *	0.33	0.31	0.32	0.32
Potasio (%) *	0.91	1.05	1.09	1.09
Nitrógeno no proteico (%Pc) ****	12.5	14.6	11.3	11.4

* AOAC 1996. Official Methods of analysis of the Association of Analytical Chemists, (14 th ed)

**2 Animal Feed Science and Technology (1996) 57:347-348

3.6 Discusión

Los resultados de este estudio muestran la favorable conversión alimenticia observada en las dietas 1 y 3, caracterizadas por niveles similares y más altos de carbohidratos no fibrosos, coincidiendo con hallazgos previos de Straub *et al*., (2019) en *Gryllus bimaculatus* y *Scistocerca gregaria*, quienes también encontraron una menor eficiencia de conversión alimenticia (2.13) al proporcionar dietas ricas en almidón (Harina de maíz y caupí) versus una dieta alta en proteína (combinación de extracto de soja y rastrojos de maíz) (2.6). Como también Lundy y Parrella (2015) que reportaron una conversión alimenticia de 1.47 en *Acheta domesticus* al alimentar con dieta de pollo. Sugiriendo que una relación aproximada de 2 a 1 de carbohidratos no fibrosos - proteína puede resultar en una eficiente conversión alimenticia en la cría de grillos como es el caso del concentrado de pollo (DC) y la dieta control con 45% de harina de hojas de bore (DCB).

En cuanto al peso promedio por individuo, la significativa diferencia entre las dietas 2 (251.8 ± 39.1 mg) y 4 (209.3 ± 31.8 mg), concuerda con la investigación de Caparrós et al., 2016 reportando que las dietas basadas en hojas de yuca es un ingrediente prometedor para la producción de grillos *Teleogryllus testaceus*, ya que genera una mayor masa corporal y niveles elevados de proteínas. planteando interrogantes sobre la influencia de componentes específicos de la dieta en el desarrollo de los grillos. Aunque la razón detrás de esta disparidad no es evidente en la composición de la dieta, subraya la complejidad de los factores que afectan el crecimiento individual en este contexto.

El análisis del consumo de alimento promedio por individuo revela un mayor consumo de la dieta 2 versus las demás dietas, la cual presentó una relación carbohidrato proteína más baja (1.7). Posiblemente por la necesidad de suplir una cantidad mínima de carbohidratos no fibrosos en la dieta de los grillos o la posibilidad de una mayor palatabilidad y aceptación de la harina de hojas de yuca, como sugiere Fuah *et al*. (2015). Aunque la relación entre composición de la dieta, palatabilidad y consumo de alimento destaca la importancia de la formulación precisa de las dietas para optimizar la crianza de grillos.

La evaluación de la supervivencia no mostró diferencias significativas entre las dietas, indicando una relativa estabilidad en este aspecto bajo las condiciones del estudio. Coincidiendo con el estudio de Caparrós *et al.,* 2016 al no presentarse una diferencia estadística entre las dietas con hojas de yuca y concentrado de pollo. No obstante, se destaca la recomendación de evaluar factores más amplios o variables ambientales y bióticas que puedan afectar la supervivencia en estudios futuros.

En cuanto a la composición de las harinas de *Gryllodes sigillatus* se presentó un comportamiento similar que en *Acheta domesticus* al convertir dietas bajas en proteína y ricas en carbohidratos en individuos ricos en nitrógeno (4%) en base húmeda (Lundy y Parrella, 2015), como también Caparros *et al.,* 2016 en *Teleogryllus testaceus* al reportar una proteína de 64.2% con una dieta del 100% hojas de yuca en comparación con una proteína más baja de 46.8% en individuos alimentados con dieta de pollo.

Este estudio confirmó la eficiencia y posibilidad de inclusión de la harina de hojas de yuca y de bore sobre la dieta del grillo doméstico tropical como alternativa al concentrado de pollo. Aunque no se encontró literatura para constatar los parámetros productivos con la dieta de bore, los datos presentados junto con su análisis es un avance base para futuras investigaciones. Se recomienda continuar investigando materias primas alternativas para la elaboración de dietas locales de acuerdo a las condiciones de cada territorio y no solo en laboratorio, con diferentes niveles de inclusión evaluando parámetros productivos con enfoques innovadores para garantizar la sostenibilidad y viabilidad de esta actividad emergente.

3.7 Bibliografía

1. Bawa, M., Songsermpong, S., Kaewtapee, C., & Chanput, W. (2020). Effect of diet on the growth performance, feed conversion, and nutrient content of the house cricket. Journal of Insect Science, 20(2), 10. https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa014
2. Ceballos, H., y Ospina, B. (2002). La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) CLAYUCA (Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca). Cali, Colombia 2002. 586p. http://hdl.handle.net/20.500.12324/37152
3. Caparros Megido, R., Alabi, T., Nieus, C., Blecker, C., Danthine, S., Bogaert, J., Haubruge, É. y Francis, F. (2016), R, Optimización de una producción barata y residencial a pequeña escala de grillos comestibles con subproductos locales como fuente alternativa de alimentos humanos ricos en proteínas en la provincia de Ratanakiri, Camboya. J. Ciencia. Food Agric., 96:627-632. https://doi.org/10.1002/jsfa.7133
4. Cortes Ortiz, J. A., Ruiz, A. T., Morales-Ramos, J. A., Thomas, M., Rojas, M. G., Tomberlin, J. K., Yi, L., Han, R., Giroud, L., & Jullien, R. L. (2016). Chapter 6—Insect Mass Production Technologies. En Aaron T. Dossey, J. A. Morales-Ramos, & M. G. Rojas (Eds.), Insects as Sustainable Food Ingredients (pp. 153-201).
5. Fuah, A. M., Siregar, H. C. H., & Endrawati, Y. C. (2015). Cricket farming for animal protein as profitable business for small farmers in indonesia. J. Agric. Sci. Tech, 5, 296-304. DOI: 10.17265 / 2161-6256 / 2015.04.008
6. Giraldo Toro, A. (2006). Estudio de la obtención de harina de hojas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) para consumo humano. Tesis (Ingeniero Agroindustrial) (Doctoral dissertation, Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ingeniería Agroindustrial).
7. Halloran, Afton, Roos, N., & Hanboonsong, Y. (2017). Cricket farming as a livelihood strategy in Thailand. The Geographical Journal, 183(1), 112-124. https://doi.org/10.1111/geoj.12184
8. Hawkes, M., Lane, S. M., Rapkin, J., Jensen, K., House, C. M., Sakaluk, S. K., & Hunt, J. (2022). Intralocus sexual conflict over optimal nutrient intake and the evolution of sex differences in life span and reproduction. Functional Ecology, *36*(4), 865-881 https://doi.org/10.1111/1365-2435.13995

9. International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF). (2019). The European insect sector today: challenges, opportunities and regulatory landscape. IPIFF vision paper on the future of the insect sector towards 2030.

10. Jensen, K., Kristensen, T. N., Heckmann, L. H., & Sørensen, J. G. (2017). Breeding and maintaining high-quality insects. Insects as food and feed: from production to consumption. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 175-198.

11. Jucker C., Belluco S., Bellezza Oddon S., Ricci, A., L. Bonizzi, Lupi, D., S. Savoldelli, I. Biasato, Caimi, C., A. Mascaretti, & Gasco, L. (2022). Impact of some local organic by-products on *Acheta domesticus* growth and meal production. Institutional Research Information System University of Turin (University of Turin), 8(6), 631–640. https://doi.org/10.3920/jiff2021.0121

12. Kaewplik, T., Akiyama, D., & Sasaki, Y. (2023). Construction and evaluation of an AI system for tracking cricket behavior under conditions of bright and dark lighting. Journal of Insects as Food and Feed, 1-12. https://doi.org/10.3920/JIFF2023.0006

13. Kuo, C., and Fisher, B. L. (2022). A literature review of the use of weeds and agricultural and food industry by-products to feed farmed crickets (insecta; orthoptera; *Gryllidae*). Frontiers in Sustainable Food Systems, *5*. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.810421

14. Lundy, M. E., and Parrella, M. P. (2015). Crickets Are Not a Free Lunch: Protein Capture from Scalable Organic Side-Streams via High-Density Populations of *Acheta domesticus*. PLOS ONE, 10(4), e0118785–e0118785. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118785

15. Magara, H. J., Niassy, S., Ayieko, M. A., Mukundamago, M., Egonyu, J. P., Tanga, C. M., Kimathi, E. K., Ongere, J. O., Fiaboe, K. M., Hugel, S., Orinda, M. A., Roos, N., & Ekesi, S. (2021). Edible crickets (*Orthoptera*) around the world: distribution, nutritional value, and other benefits—a review. *Frontiers in nutrition*, *7*, 537915. https://doi.org/10.3389/fnut.2020.537915

16. Mitchaothai, J., Grabowski, N. T., Lertpatarakomol, R., Trairatapiwan, T., Chhay, T., Keo, S., & Lukkananukool, A. (2022). Production Performance and Nutrient Conversion Efficiency of Field Cricket (*Gryllus bimaculatus*) in Mass-Rearing Conditions. Animals, 12(17), 2263. https://doi.org/10.3390/ani12172263

17. Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., Coudron, T. A., Huynh, M. P., Zou, D., & Shelby, K. S. (2023). Artificial diet development for entomophagous arthropods. In Mass production of beneficial organisms (pp. 233-260). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822106-8.00011-7

18. Mungkung, R., & Phetcharaburanin, T. (2023). Food for the future: sustainability assessment of cricket products for policy decisions to move toward sustainable agriculture in Thailand. Journal of Insects as Food and Feed, 1-12. https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0182

19. Murugu D. K., Onyango A. N., Ndiritu A. K., Osuga I. M., Xavier C., Nakimbugwe D. & Tanga C.M. (2021). From Farm to Fork: Crickets as Alternative Source of Protein, Minerals, and Vitamins.Front. Nutr. 8:704002. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.704002

20. Musungu, A. L., Muriithi, B. W., Ghemoh, C. J., Nakimbugwe, D., & Tanga, C. M. (2023). Production, consumption, and market supply of edible crickets: insights from East Africa. Agricultural and Food Economics, 11(1), 28. https://doi.org/10.1186/s40100-023-00272-9

21. Muzzatti, M. J., McConnell, E., Neave, S., MacMillan, H. A., & Bertram, S. M. (2022). Fruitful female fecundity after feeding *Gryllodes sigillatus* (Orthoptera: *Gryllidae*) royal jelly. The Canadian Entomologist, 154(1), e50. https://doi.org/10.4039/tce.2022.39

22. Nakagaki, B. J., & Defoliart, G. R. (1991). Comparison of diets for mass rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: *Gryllidae*) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock. Journal of Economic Entomology, 84(3), 891-896. https://doi.org/10.1093/jee/84.3.891

23. Ng'ang'a, J., Imathiu, S., Fombong, F., Borremans, A., Van Campenhout, L., Broeck, J. V., & Kinyuru, J. (2020). Can farm weeds improve the growth and microbiological quality of crickets (*Gryllus bimaculatus*)?. Journal of Insects as Food and Feed, 6(2), 199-209. https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0051

24. Ng'ang'a, J., Imathiu, S., Fombong, F., Vanden Broeck, J., & Kinyuru, J. (2021). Effect of dietary supplementation with powder derived from Moringa oleifera and Azadirachta indica leaves on growth and microbial load of edible crickets. Journal of Insects as Food and Feed, 7(4), 419-431. https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0056

25. Ng, S. H., Stat, M., Bunce, M., & Simmons, L. W. (2018). The influence of diet and environment on the gut microbial community of field crickets. Ecology and Evolution, 8(9), 4704-4720. https://doi.org/10.1002/ece3.3977

26. Oloo, J. A., Ayieko, M., & Nyongesah, J. M. (2020). *Acheta domesticus* (Cricket) feed resources among smallholder farmers in Lake Victoria region of Kenya. Food science & nutrition, 8(1), 69-78. https://doi.org/10.1002/fsn3.1242

27. Oonincx D; De Boer I. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. PLoS One 7(12):511-515.

28. Orinda, M., Mosi, R.O., Ayieko, M.A., & Amimo, F.A. (2017). Growth performance of common house cricket (*Acheta domesticus*) and field cricket (*Gryllus bimaculatus*) crickets fed on agro byproducts. Journal of entomology and zoology studies, 5, 1664-1668.

29. Pastell, H., Mellberg, S., Ritvanen, T., Raatikainen, M., Mykkänen, S., Niemi, J., Latomäki, I., and Wirtanen, G. (2021). How Does Locally Produced Feed Affect the Chemical Composition of Reared House Crickets (*Acheta domesticus*)?. ACS Food Science & Technology, 1(4), 625-635. https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.0c00083

30. Pilco-Romero, G., Chisaguano-Tonato, A. M., Herrera-Fontana, M. E., Chimbo-Gándara, L. F., Sharifi-Rad, M., Giampieri, F., ... & Álvarez-Suárez, J. M. (2023). House cricket (*Acheta domesticus*): A review based on its nutritional composition, quality, and potential uses in the food industry. Trends in Food Science & Technology, 104226. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104226

31. Straub, P., Tanga, C. M., Osuga, I., Windisch, W., & Subramanian, S. (2019). Experimental feeding studies with crickets and locusts on the use of feed mixtures composed of storable feed materials commonly used in livestock production. Animal Feed Science and Technology, 255, 114215. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114215

32. Siddiqui, S. A., Osei-Owusu, J., Yunusa, B. M., Rahayu, T., Fernando, I., Shah, M. A., & Centoducati, G. (2023). Prospects of edible insects as sustainable protein for food and feed–a review. Journal of Insects as Food and Feed, 1(aop), 1-27. https://doi.org/10.1163/23524588-20230042

33. Sorjonen, J. M., Karhapää, M., Holm, S., Valtonen, A., & Roininen, H. (2022). Performance of the house cricket (*Acheta domesticus*) on by-product diets in small-

scale production. Journal of Insects as Food and Feed, 8(3), 289-294. https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0079

34. Suckling, J., Druckman, A., Moore, C. D., & Driscoll, D. (2020). The environmental impact of rearing crickets for live pet food in the UK, and implications of a transition to a hybrid business model combining production for live pet food with production for human consumption. The International Journal of Life Cycle Assessment, 25, 1693-1709. https://doi.org/10.1007/s11367-020-01778-w

35. Tierney, A. J., Velazquez, E., Johnson, L., Hiranandani, S., Pauly, M., & Souvignier, M. (2023). Nutritional and reproductive status affect amino acid appetite in house crickets (*Acheta domesticus*). Frontiers in Insect Science, 3, 1120413. https://doi.org/10.3389/finsc.2023.1120413

36. Ververis, E., Boué, G., Poulsen, M., Pires, S. M., Niforou, A., Thomsen, S. T., Tesson, V., Federighi, M., & Naska, A. (2022). A systematic review of the nutrient composition, microbiological and toxicological profile of *Acheta domesticus* (house cricket). Journal of Food Composition and Analysis, 104859. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104859

37. Zajitschek, F., Lailvaux, S. P., Dessmann, J., & Brooks, R. (2012). Diet, sex, and death in field crickets. Ecology and Evolution, 2(7), 1627-1636. https://doi.org/10.1002/ece3.288

4.1 Anexo 1. PROTOCOLO OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA (*Manihot esculenta*)

Composición de las hojas de Yuca (*Manihot esculenta*)

La yuca es una planta perenne, perteneciente a la familia Euphorbiaceae, es monoica (con estructuras masculinas y femeninas), de ramificación simpodial y altura máxima de 3 metros, ideal para uso agroindustrial debido a la producción de hidratos de carbono en las raíces y de proteína en la parte aérea. Es un arbusto herbáceo, o arbolillo, con hojas dactiliformes (Heuzé y Tran G. 2016).

Las hojas de yuca son un producto que ha sido subutilizado en el cultivo de yuca, actualmente se usan principalmente en la elaboración de productos para alimentación animal. Estás hojas poseen contenidos de proteína, vitaminas y minerales que actualmente se conocen, pero no se aprovechan en el desarrollo de tecnologías para la elaboración de productos especializados para consumo humano y animal (Ceballos y Ospina, 2002).

Aunque la principal desventaja de las hojas de yuca es su contenido de ácido cianhídrico, estos niveles pueden ser disminuidos con un proceso eficiente en la elaboración de harina. Por ejemplo, en países como Indonesia y Tanzania, las hojas de yuca se consumen frescas como cualquier otro vegetal haciendo una cocción previa (Maeda, 1989). En Perú son consumidas en cápsulas o tabletas como complementos nutricionales. Sin embargo, la planta cuando presenta una mayor edad fisiológica presenta mayor contenido de fibra y de materia seca, que en edades tempranas (3- 4 meses) presentan niveles altos de proteína (Ceballos y Ospina, 2002).

Maeda, (1989) indica que si los niveles de HCN son altos en las hojas de yuca, el producto final presenta altos niveles y por lo tanto no resulta ser apto el consumo humano; sin embargo, los procesos de secado liberan en gran porcentaje los contenidos de HCN en la yuca, de esta forma es preferible que la variedad seleccionada esté clasificada como dulce, aunque se debe tener en cuenta que no es completamente seguro que las variedades dulces presentan bajos contenidos de HCN en las hojas, ya que se puede presentar lo contrario. Por lo que es necesario que al procesar las hojas de yuca se realicen varias pruebas de análisis del contenido de HCN durante el proceso y en el producto final. Para animales monogástricos la hoja

de yuca debe ser secada al sol o ensilada en condiciones anaerobias, para reducir su toxicidad a tal punto que no cause problemas en ellos.

Se explicará la metodología comprendiendo la definición de variables y niveles de operación en las etapas tempranas de cosecha, limpieza, picado, secado y molienda, con base en el análisis de la información tecnológica disponible por la Universidad de La Sabana- sede Chía- Cundinamarca.

Valor nutricional de las hojas de Yuca.

La hoja tiene un 77% de agua, 8,2% de proteína cruda, 13,3% de carbohidratos solubles, 1,2% de grasa, 2,2% de fibra cruda en base húmeda y se ha considerado como uno de los vegetales verdes con mayor concentración de proteína (Necochea, 2002). Aunque la composición nutricional del follaje varía en calidad y cantidad según el tipo variedad, época de corte, densidad de siembra y proporción entre hojas (lámina foliar más pecíolos) y tallos. De acuerdo a los nutrientes requeridos, la parte de la planta que se use determina su composición, por ejemplo, si sólo se utiliza lámina foliar, el contenido de proteína sería de 23-28% en base seca, pero si se incluyen los pecíolos y las ramas apicales el contenido se reduciría de 18-21%, una relación inversa se apreciaría en el contenido de fibra que suele ser alrededor de 9% para lámina foliar, pero que aumenta en 20-25% cuando se incorpora toda la parte superior de la planta (Buitrago y Gil, 1990)

Tabla 1. Contenido nutricional en hojas de yuca

Nutrientes	Hojas	Hojas y pecíolos	Hojas, peciolos y tallos
Proteína (%)	22.7	21.6	20.2
Cenizas /%)	10.9	9.8	8.5
Grasa (%)	6.8	6.3	5.3
Fibra (%)	11	11.6	15.2
Humedad (%)	7.8	9	7.6

Fuente Buitrago y Gil, (1990)

Tabla de aminoácidos en g/100g de proteína en base seca.

Nutriente	Hojas de yuca
Proteína cruda	18.94
Lisina	5.87
Metionina	1.86
Treonina	4.20
Triptofano	1.99
Isoleucina	4.50
Leucina	8.29
Arginina	5.34
Alanina	5.73
Histidina	2.30
Valina	5.56
Glisina	4.86

Fuente: Wanapat, (2002).

Métodos de Procesamientos

Aunque la principal desventaja de las hojas de yuca es su contenido de ácido cianhídrico, estos niveles pueden ser disminuidos con diferentes métodos de procesamiento como, por ejemplo, la deshidratación artificial por proceso de cocción en agua o la deshidratación natural por secado solar técnicas seguras para destruir el ácido cianhídrico sin afectar la acción de la linamarasa, enzima que actúa sobre los glucósidos cianogénicos presentes en la planta (*Linamarina y Lotaustralina*) y dan origen al ácido cianhídrico libre (Giraldo.Toro, 20226; Maeda, 1989).

Normalmente, los trozos de yuca secados al sol contienen niveles de cianuro menores a los obtenidos con secado artificial, ya que la reacción hidrolítica se favorece a largos tiempos y bajas temperaturas. La eliminación de HCN es por secado artificial a temperaturas por debajo de 60 ºC o por cocción en agua, son métodos que aseguran una eliminación de HCN efectiva (Maeda, 19989).

Obtención de harina de hoja de yuca

En la postcosecha de las hojas se inicia el proceso de obtención de la harina que consta de las siguientes etapas; recepción y pesaje de material cosechado, selección y adecuación, pesaje de lámina foliar, lavado y desinfección, picado, secado, molienda – tamizado y empaque.

Recepción y pesaje de material cosechado; En esta operación se recibe el follaje de yuca, tallos y hojas (Lámina foliar y pecíolos), y se hace el respectivo pesaje de toda la materia prima, con el fin de determinar los rendimientos del cultivo y cuanto material se produce por un área específica del mismo.

Se recibirá el material vegetal originario del municipio de Acacias en el departamento del Meta- Colombia, en costal de lona, con una edad 185 días (sembrado el 31 de Julio de 2020). El material será pesado con balanza electrónica de gancho

Figura 1. Cultivo y recolección de hojas de yuca. *Sembrado el 31 de Julio de 2020 (6 meses 2 días)

Selección y adecuación; Esta operación se realizará teniendo en cuenta la sanidad del producto. Eliminando hojas que presenten daños mecánicos (golpes, cortaduras, hojas marchitas), ataque microbiológico, o por insectos, así como el material extraño, es decir, palos, piedras o partículas distintas a la materia prima en cuestión. La adecuación de la materia prima seleccionada consiste en retirar de las hojas los pecíolos y dejar solamente la lámina foliar que es el producto de interés.

Figura 2. Separación y embalaje de hojas de yuca

Pesaje de lámina foliar: Esta operación se caracteriza con el fin de medir la cantidad real de lámina foliar que ingresará al proceso de transformación y así determinar el rendimiento del proceso de obtención de harina de hojas de yuca (lámina foliar). El material será pesado con balanza electrónica de gancho

Picado o cortado: Esta operación busca reducir de tamaño las hojas y facilitar el secado dado que el área de transferencia de calor de la materia prima aumenta. Pero adicionalmente, tiene como objetivo principal la liberación del ácido cianhídrico, la cual ocurre de forma natural cuando se realizan cortes, propiciando así que la linamarasa actué sobre la linamarina (glucósido cianogénico ligado) produciendo ácido cianhídrico libre.

La reducción del material vegetal se realizará con tijeras especiales de 11 pulgadas, obteniendo pedazos menores a 5 centímetros de largo.

Molienda: La molienda es la operación que determina el tamaño de las partículas. En esta etapa la materia prima pasa a través de un procesador de alimentos, equipo usado para obtener la reducción del material al tamaño requerido. El procesador de alimentos a utilizar será el Thermomix TM6 de la marca Vorwerk, en tandas de 60 gramos por un minuto a velocidad 10.

Figura 3. Thermomix TM6. Foodlab - Universidad de la Sábana

Secado: El secado es la operación con mayor relevancia dentro del proceso de obtención de harina de hoja de yuca porque es en ella donde se contempla la reducción de los contenidos de HCN en el producto final, además ayuda a mejorar la calidad microbiológica del producto final.

El método a realizar será por secado artificial con aire forzado, con una estufa universal UN110- Memmert. El material será dispuesto en las bandejas de acero inoxidable con un espesor de 2 cm de material vegetal, a una temperatura de 60°c por 28 horas (basado en la metodología de Giraldo. 2006) con el fin de evitar que se inhiba la acción de la linamarasa sobre los glucósidos cianogénicos

Figura 4. Memmert horno UN110. Foodlab- Universidad de la Sábana.

Empaque: La harina es empaquetada en bolsas de papel multipliego o bolsa de polipropileno; que son empaques de alta resistencia y confieren una mayor conservación del producto final.

Figura 5. Sellado al vacío de las harinas de bore y yuca

El almacenamiento se realizó en bolsas de papel multipliego en raciones de 400 gramos por bolsa sellada y almacenadas dentro de contenedores de 25 litros plásticos. protegidas de la humedad, la luz directa y de la contaminación por cualquier tipo de insectos o plaga.

Bibliografía.

1. Buitrago Arbeláez, J. A., & Gil LL, J. L. (1990). La yuca en la alimentación animal en: Ceballos Hernám y Ospina Bernardo. La yuca en el tercer milenio. Cali, Colombia 2002. 586p.

2. Ceballos, H. y Ospina, B. (2002). La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) CLAYUCA (Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca). Cali, Colombia 2002. 586p. http://hdl.handle.net/20.500.12324/37152

3. Giraldo Toro, A. (2006). Estudio de la obtención de harina de hojas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) para consumo humano. Tesis (Ingeniero Agroindustrial) (Doctoral dissertation, Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ingeniería

Agroindustrial

4. Heuzé V., Tran G., (2016). Hojas y follaje de yuca. Feedipedia, un programa de INRAE, CIRAD, AFZ y FAO. https://www.feedipedia.org/node/528 Última actualización el 11 de abril de 2016, 13:28

5. Necochea, C. (2002). Hoja de la planta de yuca supera a la espinaca. Revista Vida y Futuro. Disponible en http://wvw.nacion.com/viva/2002/diciembre/28/var1.html

6. Maeda, E.E. (1989). Cassava leaves in the human diet. University of Agriculture Sokoine. Department of food science ind technology. Morogoro, Tanzania.

7. Wanapat, M. (2001). Role of cassava as animal feed in the tropics, 225-226 pp. In Proceedings of International Workshop on Current Research and Development use of cassava as animal feed. Stockholm, SIDA-SAREC..

Anexo 2. PROTOCOLO OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE HOJAS DE BORE (*Alocasia macrorrhiza*)

Investigación de la composición de las hojas de bore (*Alocasia macrorrhiza*)

*Alocasia macrorrhiz*a es una hierba gigante que puede alcanzar hasta 5 m de altura y sus hojas hasta un metro de largo. Es muy eficiente captando energía solar bajo condiciones de sombra, característica que es importante para asociarla con otras especies arbóreas. Crece rápidamente y se adapta bien en diversas zonas de vida pasando por los climas medios hasta cálidos y suelos pantanosos y de baja fertilidad. En su tallo se acumulan carbohidratos en forma de almidón y sus hojas contienen cantidades importantes de proteína, estas dos características la convierten en una especie promisoria para la alimentación de cerdos y aves.

Tabla 1. Composición bromatológica de la harina de bore (Castillo, 2017)

Ingrediente	Nutriente (%)[1]							
	MS	Proteína	E.E	F B	Energía, kcal/kg	Ca.	P.	Ceniza
Harina de Bore (*Alocasia macrorrhiza)*	88,0	26,2	6	19	4,70	1,72	0,42	9,8

Métodos de Procesamientos

Normalmente, los trozos de hojas de bore son secados al sol o por secado artificial a temperaturas por debajo de 60 ºC y por más de 24 horas. Pero en está ocasión se basó la transformación bajo el mismo protocolo de procesamiento de Ceballos y Ospina, (2002)

Obtención de harina de hoja de bore

El proceso de obtención de la harina consta de las siguientes etapas; recepción y pesaje de material cosechado, selección y adecuación, pesaje de lámina foliar, lavado y desinfección, picado, secado, molienda – tamizado y empaque.

Recepción y pesaje de material cosechado; En esta operación se recibe el follaje de bore, tallos y hojas (Lámina foliar y pecíolos), y se hace el respectivo pesaje de

toda la materia prima, con el fin de determinar los rendimientos del cultivo y cuanto material se produce por un área específica del mismo.

Se recibió y peso el material vegetal originario del municipio de La Mesa-Cundinamarca en la Unidad de procesamiento de alimentos (UPA) de la universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

Figura 1. Pesaje de las hojas bore. *Sembradas el 16 de diciembre de 2020

Selección y adecuación; Esta operación se realizará teniendo en cuenta la sanidad del producto. Eliminando hojas que presenten daños mecánicos (golpes, cortaduras, hojas marchitas), ataque microbiológico, o por insectos, así como el material extraño, es decir, palos, piedras o partículas distintas a la materia prima en cuestión. La adecuación de la materia prima seleccionada consiste en retirar de las hojas los pecíolos y dejar solamente la lámina foliar que es el producto de interés.

Figura 2. Selección de hojas de bore para el secado

Pesaje de lámina foliar: Esta operación se caracteriza con el fin de medir la cantidad real de lámina foliar que ingresará al proceso de transformación y así determinar el rendimiento del proceso de obtención de harina de hojas de bore (lámina foliar). El material será pesado con balanza electrónica de gancho

Picado o cortado: Esta operación busca reducir de tamaño las hojas y facilitar el secado dado que el área de transferencia de calor de la materia prima se aumenta. La reducción del material vegetal se realizará con tijeras especiales de 11 pulgadas, obteniendo pedazos menores a 5 centímetros de largo.

Molienda: La molienda es la operación que determina el tamaño de las partículas. En esta etapa la materia prima pasa a través de un procesador de alimentos, equipo usado para obtener la reducción del material al tamaño requerido. El procesador de alimentos a utilizar será el Thermomix TM6 de la marca Vorwerk, en tandas de 60 gramos por un minuto a velocidad 10.

Figura 3. Thermomix TM6.

Secado: El método a realizar será por secado artificial con aire forzado, con una horno. El material será dispuesto en las bandejas de acero inoxidable con un espesor de 2 cm de material vegetal, a una temperatura de 60°C por 24 horas (basado en la metodología de Giraldo. (2006)

Figura 4. Horno de convección forzada y canastillas con hojas de bore

Empaque: La harina es empaquetada en bolsas de papel multipliego o bolsa de polipropileno; que son empaques de alta resistencia y confieren una mayor conservación del producto final.

El almacenamiento se realizó en bolsas de papel multipliego en raciones de 400 gramos por bolsa sellada y almacenadas dentro de contenedores de 25 litros

plásticos. protegidas de la humedad, la luz directa y de la contaminación por cualquier tipo de insectos o plagas.

Bibliografía.

1. Castillo A. (2017). Evaluación de la harina de bore (*Alocasia macrorrhiza*) y la harina de cajeto (*Trichanthera gigantea*) en la producción de pollo de engorde fase final.Universidad Nacional abierta y a distancia (UNAD), espercializaciación em nutrición animal y sostenible, escuala de ciencias agrarias, pecuarias y del medio ambiente https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13047/20927907.pdf?sequence=1&isAllowed=y

2. Ceballos, H. y Ospina, B. (2002). La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) CLAYUCA (Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca). Cali, Colombia 2002. 586p. http://hdl.handle.net/20.500.12324/37152

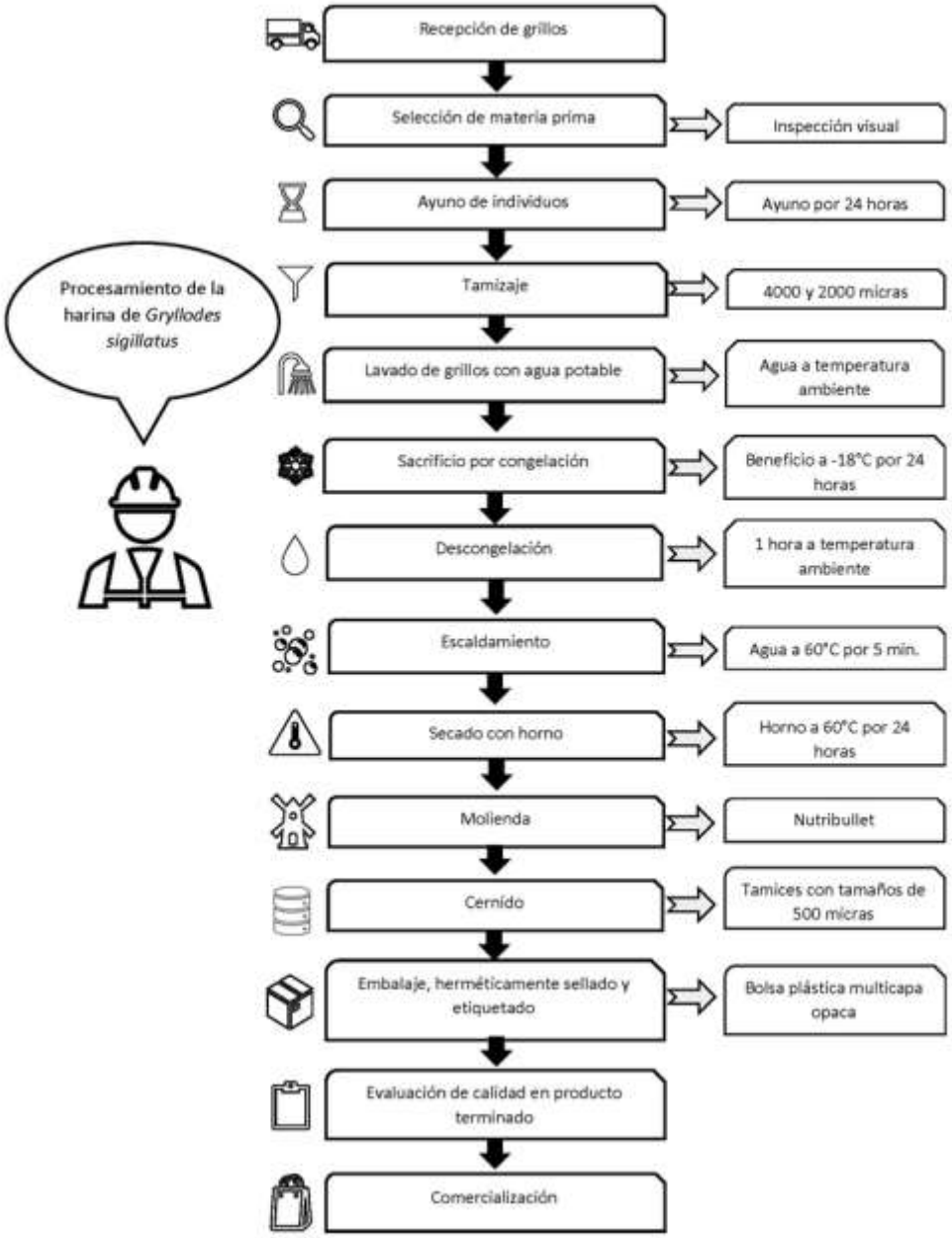
3. Giraldo Toro, A. (2006). Estudio de la obtención de harina de hojas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) para consumo humano. Tesis (Ingeniero Agroindustrial) (Doctoral dissertation, Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ingeniería Agroindustrial

4.3 ANEXO 3. OBTENCIÓN DE HARINA DE *Gryllodes sigillatus*

Procesamiento de la harina

La estandarización del procesamiento es un paso fundamental en la transformación del producto, dado que dé está depende la reducción y aseguramiento de la calidad microbial y sensorial. Razón por la cual se realizó un esquema del adecuado procesamiento, de acuerdo a diferentes autores “basado en *Tenebrio molitor*”.

Figura 1. Diagrama de procesamiento para la fabricación de harina de *Gryllodes sigillatus*.



En el proceso se reciben los grillos y posteriormente se someten a un ayuno de 24 horas con el fin de limpiar el tracto gastrointestinal, luego pasan a tamizaje en donde se separan los adultos de las exubias, heces y partículas extrañas de; los grillos son lavados con agua potable para retirar las impurezas y a continuación son sacrificados mediante congelación a -18°C por 24 horas (Fraqueza y Patarata, 2017). El descongelamiento se realiza a temperatura ambiente por 1 hora (Purschke et al, 2018), a continuación, los individuos son sometidos a escaldamiento de 60°C por 5 minutos para reducir la carga microbiológica e inactivar las enzimas responsables del pardeamiento (Vandeweyer et al, 2018); una vez los grillos han sido escaldados se llevan al proceso de secado en horno a 60°C por 24 horas (Fraqueza y Patarata, 2017).

Figura 2. Escaldamiento y secado de grillos.

La molienda y cernido de los grillos deshidratados se lleva a cabo mediante lo señalado por Purschke et al, (2018) ya que el tamaño del gránulo es de 355 a 500 micras. La harina es envasada en bolsa plástica opaca y herméticamente cerrada (Kooh et al., 2020), procediendo al embalaje en bolsas tipo doypack de sello hermético.

Figura 3. Trituración de grillos

Bibliografía.

1. D. Vandeweyer, S. Crauwels, Lievens, B., & L. Van Campenhout. (2017). Microbial counts of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and crickets (*Acheta domesticus* and *Gryllodes sigillatus*) from different rearing companies and different production batches. International Journal of Food Microbiology, 242, 13–18. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.11.007
2. Kooh, P., Jury, V., Laurent, S., Frédérique Audiat-Perrin, Moez Sanaa, Tesson, V., Federighi, M., & Géraldine Boué. (2020). Control of Biological Hazards in Insect Processing: Application of HACCP Method for Yellow Mealworm (Tenebrio molitor) Powders. Foods, 9(11), 1528–1528. https://doi.org/10.3390/foods9111528
3. Purschke B. Purschke, H. Brüggen, R. Scheibelberger, H. Jäger (2018). Effect of pre-treatment and drying method on physicochemical properties and dry fractionation behavior of mealworm larvae (*Tenebrio molitor L.*). European Food Research and Technology, 244 (2018), pp. 269-280, 10.1007/s00217-017-2953-8