

Curvas de crecimiento del grillo doméstico (*Acheta domestica*) a partir de dietas isoenergéticas
y niveles proteicos

Duban Alexis Jaimes Chanagá

Trabajo de Grado para Optar al Título de Zootecnista

Director

Leonardo Avendaño Vásquez

PhD en Acuicultura

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Programa de Zootecnia

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado primeramente a Dios por darme las capacidades para poder culminar de manera correcta mis estudios, a mis padres y hermanos quienes siempre fueron un apoyo para poder alcanzar mis sueños, a mi abuela por siempre encomendarme en sus oraciones para que siguiera por el buen camino y superara todo lo malo, a mis amigos y compañeros Manuel, Carlos, Iván, Karen, Diego, Miguel y Mariana por ser parte de este bonito proceso y ayudarme cuando más lo necesite.

Duban Alexis Jaimes Chanagá

Agradecimientos

A Dios y a Santa Barbara, por permitirme cumplir un sueño más en mi vida y darme la inteligencia, paciencia y salud para poder culminar este trabajo.

A mis padres por brindarme siempre el apoyo económico para poder realizar mis estudios y siempre estar pendientes de mi salud.

A mis hermanos Sandra Jaimes y Felipe Jaimes por el apoyo moral y económico que me brindaron siempre.

A mi director de tesis Leonardo Avendaño Vásquez por brindarme los conocimientos y recursos necesarios para realizar este trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander por proporcionar la licencia del software Matlab y por todo el apoyo y soporte durante mis estudios.

A mis amigos de toda la vida Carlos Aceros y Manuel Pereira por siempre apoyarme en los momentos difíciles.

A mis amigos de la universidad Karen Celis, Diego Báez, Iván Alvarado, Adriana Martínez por acompañarme y ayudarme en todo este proceso.

A mi querida Laddy Mariana Dulcey por siempre creer en mí y estar a mi lado a pesar de todo.

Y en especial a Luis Miguel Pérez Archila por su apoyo incondicional.

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo general	13
1.2 Objetivos específicos	13
2. Marco Teórico	14
2.1 Uso de insectos en la alimentación animal	14
2.2 Ciclo de vida Acheta domesticus	14
2.3 Crianza	15
2.3.1 Cría en contenedores de concreto	16
2.3.2 Cría en contenedores de plástico	16
2.3.3 Cría en contenedores de concreto cilíndricos	16
2.4 Alimentación del grillo doméstico	16
2.5 Herramienta Solver	17
2.6 GDP (Ganancia de peso diario g/día)	17
2.8 Función de Gompertz	18
2.9 Función Logística	18
2.10 Función EVF	19

CRECIMIENTO DEL GRILLO CON DIETAS PROTEÍCAS	5
3. Metodología	20
3.1 Área de estudio	20
3.2 Diseño del sistema	21
3.3 Diseño experimental	21
3.4 Análisis estadístico	22
3.5 Parámetros evaluados	22
3.6 Ajuste de los modelos	22
4. Resultados	26
4.1 Evaluación de GDP y TCE	29
4.2 Modelos de crecimiento	31
5. Conclusiones	41
6. Recomendaciones	42
Referencias bibliográficas	43
Apéndices	47

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Contenido proteico y energético de los tratamientos.....	22
Tabla 2 Límites de la región solución para el ajuste de los modelos.....	24
Tabla 3 Criterios de ajuste del algoritmo PSO.....	25
Tabla 4 Composición proteica de dietas experimentales.....	26
Tabla 5 Métricas de ganancia de peso total sobre las tres poblaciones de grillos domésticos evaluados.....	30
Tabla 6 Resultados del análisis ANOVA entre la variable tratamiento y la GDP.....	30
Tabla 7 Resultados del análisis ANOVA entre la variable tratamiento y la TCE.....	31
Tabla 8 Resultados de bondad de ajuste de los tres modelos de crecimiento estudiados para las tres dietas proteicas seleccionadas.....	34
Tabla 9 Parámetros de los modelos de Gompertz ajustados a los valores promedios de los 3 tratamientos estudiados.....	37
Tabla 10 Parámetros de los modelos de EVF ajustados a los valores promedios de los 3 tratamientos estudiados.....	39
Tabla 11 Límites de confianza de los parámetros estimados con el modelo EVF para los 3 tratamiento.....	40

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Ciclo de vida del grillo doméstico.....	15
Figura 2 Mapa área de estudio	20
Figura 3 Datos experimentales para los tres tratamientos proteicos implementados en las poblaciones del grillo doméstico estudiadas. Tratamiento 1 con el 28% de proteína	28
Figura 4 Datos experimentales para los tres tratamientos proteicos implementados en las poblaciones del grillo doméstico estudiadas. Tratamiento 2 con el 32% de proteína	28
Figura 5 Datos experimentales para los tres tratamientos proteicos implementados en las poblaciones del grillo doméstico estudiadas. Tratamiento 3 con el 36% de proteína.	29
Figura 6 Gráfica de los tres modelos de crecimiento ajustados para los valores promedio de los datos experimentales. Tratamiento 1 con el 28% de proteína.	32
Figura 7 Gráfica de los tres modelos de crecimiento ajustados para los valores promedio de los datos experimentales. Tratamiento 2 con el 32% de proteína	32
Figura 8 Gráfica de los tres modelos de crecimiento ajustados para los valores promedio de los datos experimentales. Tratamiento 3 con el 36% de proteína.	33
Figura 9 Gráfica de los tres modelos de Gompertz obtenidos para cada uno de los tratamientos estudiados.....	36
Figura 10 Gráfica de los tres modelos de crecimiento EVF obtenidos para cada uno de los tratamientos estudiados.....	38

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Composición nutricional de las dietas seleccionadas usando el Solver	47
Apéndice B. Formulación de la dieta al 28% y 3200 kcal/kg de energía.	48
Apéndice C. Formulación de la dieta al 32% de proteína y 3200 kcal/kg de energía.	48
Apéndice D. Formulación de la dieta al 36% de proteína y 3200 kcal/kg de energía.	49

Resumen

Título: Curvas de crecimiento del grillo doméstico (*Acheta domestica*) a partir de dietas isoenergéticas y niveles proteicos*

Autor: Duban Alexis Jaimes Chanagá**

Palabras clave: economía circular, dietas, entomofagia, alternativas alimentarias, solver, Matlab, modelos de crecimiento.

Descripción:

En promedio 842 millones de personas sufren de desnutrición crónica, y 2 millones se encuentran en estado de malnutrición; lo que ha planteado nuevas formas de producción para la seguridad alimentaria a nivel mundial. El consumo de insectos o entomofagia trae bondades nutricionales, el consumo del grillo doméstico (*A. domestica*) es una alternativa alimenticia, este representa el 13% del total de insectos consumidos o usados por humanos para la alimentación animal. El objetivo de esta investigación fue evaluar dietas isoenergéticas con tres niveles de proteína en el crecimiento del grillo doméstico. 900 grillos recién nacidos, fueron colocados en nueve recipientes de 30 L (100 individuos por cada recipiente) a una temperatura promedio de 24°C y sometidos bajo un diseño completamente aleatorio con tres tratamientos (T1: 28%, T2: 32% y T3: 36% de proteína cruda), y tres repeticiones. Las dietas se formularon mediante el complemento de Solver con una energía de 3200 kcal/kg. Para medir el crecimiento total de las poblaciones bajo cada régimen dietario se empleó el criterio de ganancia diaria de peso (GDP). El T2 mostro una ganancia diaria de peso promedio con un valor de 2.27 mg/día, la cual supera a los tratamientos 1 y 3 en un 27.27% y 8.36%, respectivamente. Para modelar en detalle el comportamiento de los tres tratamientos estudiados se emplearon tres modelos de crecimiento clásicos: modelo de Gompertz, modelo logístico, y el modelo EVF. El modelo EVF mostro el mejor ajuste con un coeficiente de determinación (R^2) superior a 0.9831 para todos los tratamientos. En el ajuste de modelos EVF, el T2 de igual manera presento los mejores resultados con una tasa de crecimiento k un 27.64% y 2.36% mayor en comparación con el T1 y el T3. Además de mostrar un peso máximo mayor al 7.60% comparado con los otros tratamientos estudiados.

*Trabajo de Grado

**Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa de Zootecnia. Director: Leonardo Avendaño Vásquez. PhD en Acuicultura.

Abstract

Title: Growth curves of domestic cricket (*Acheta domesticus*) from isoenergetic diets and protein levels *

Author: Duban Alexis Jaimes Chanagá**

Key words: circular economy, diets, entomophagy, food alternatives, solver, Matlab, growth models.

Description

On average, 842 million people suffer from chronic malnutrition, and 2 million are in a state of malnutrition, which has raised alternative forms of production for food security worldwide. The consumption of insects or entomophagy brings nutritional benefits, the consumption of the domestic cricket (*A. domesticus*) is a food alternative, which represents 13% of the total insects consumed or used by humans for animal feed. The objective of this research was to evaluate isoenergetic diets with three protein levels on the growth of the domestic cricket. A total of 900 newborn crickets were distributed evenly among nine containers, each with a capacity of 30 liters (with 100 crickets per container). The containers were kept at an average temperature of 24°C and arranged in a completely randomized design with three different treatments (T1: 28% crude protein, T2: 32% crude protein, and T3: 36% crude protein) and three replicates. The diets were designed to provide an energy content of 3200 kcal/kg and were formulated using the Solver feature in Microsoft Excel. To measure the total growth of the populations under each dietary regime, the daily weight gain (DWG) criterion was used. T2 showed an average daily weight gain of 2.27 mg/day, which exceeded treatments 1 and 3 by 27.27% and 8.36%, respectively. To model in detail the behavior of the three treatments studied, three classical growth models were used: the Gompertz model, the logistic model, and the EVF model. The EVF model showed the best fit with a coefficient of determination (R^2) higher than 0.9831 for all treatments. When analyzing the fit of the EVF model, it became clear that T2 yielded the most impressive results, displaying a growth rate of 27.64%, surpassing T1 and T3 by 2.36%. In addition to showing a maximum weight greater than 7.60% compared to the other treatments studied.

*Degree work

** Institute for Regional Projection at a distance IPRED. Zootechnics Program. Director: Leonardo Avendaño Vásquez. PhD in Aquaculture.

Introducción

En Colombia, el aumento demográfico ha creado una problemática en la seguridad alimentaria de las poblaciones más vulnerables; debido, a los altos costos de los productos básicos, la falta de empleo y oportunidades en los sectores productivos; según la FAO (2021) el país cuenta con 4,4 millones de personas subalimentadas lo que correspondería a un 8,8 % de la población nacional. Este crecimiento ha generado mayor necesidad en la producción de alimentos, lo que implica la expansión de tierras para la agricultura y la ganadería ocasionando un impacto negativo en el medio ambiente que contribuye al cambio climático (Avendaño et al., 2020; Soares et al., 2020).

A medida que aumenta la población humana, también se incrementa la producción de animales y su alimentación. Según Martínez et al. (2016) las producciones convencionales como la ganadería bovina precisan grandes extensiones de tierra; ya sea en pastoreo o para cultivos de granos y forrajes utilizados en la elaboración de piensos destinados a la alimentación animal.

La torta de soya es ahora la principal fuente de proteína para la alimentación animal en el mundo, pero su producción causa deforestación, degradación de suelos, pérdida de biodiversidad y contaminación de fuentes hídricas. Asimismo, la harina de pescado es usada a gran escala en la acuicultura y alimentación de aves, cerdos y ganado, pero su demanda y la competencia por las proteínas entre el consumo humano y los piensos para animales aumenta constantemente, lo que afecta su precio y disponibilidad (Rodríguez, 2020).

En los sistemas de producción pecuarios, el 60 y/o 70% de los costos corresponden a la alimentación, asimismo, la mayoría de las materias primas utilizadas en la elaboración de

concentrados son importadas de otros países, lo que conlleva al aumento del precio en el mercado y causar la baja productividad y rentabilidad de pequeños productores (Nuñez, 2017).

En este sentido, se requiere de grandes esfuerzos para modificar el sistema alimentario desde la producción hasta el consumo, migrando a sistemas de producción sostenibles (Avendaño et al., 2020; Soares et al., 2020).

La producción de insectos se considera una estrategia viable que cumple con altos estándares de calidad para alimentación humana y puede utilizarse como fuente de proteína en la nutrición animal, lo cual contribuye a la creación de una solución alternativa y sostenible a las proteínas convencionales ya que su producción es amigable con el medio ambiente (Avendaño et al., 2020; Rodríguez, 2020; Durán & Saavedra, 2022).

El consumo de insectos trae bondades nutricionales como el denominado grillo doméstico (*A. domesticus*) que según, datos de la FAO en 2017 representa el 13% del total de insectos consumidos o usados para la alimentación animal. En el país, la crianza de insecto no se establece como sistema de producción con fines productivos, que lleven a rentabilidades, esto; es dado, al desconocimiento de su crianza y sus propiedades nutricionales, al igual que su fácil manejo e inocuidad (Martínez et al., 2016). Dentro de los aspectos que aún no han sido completamente estudiados en relación con la crianza del grillo doméstico (*A. domesticus*), se encuentran la determinación de una dieta idónea y el nivel óptimo de proteínas necesarios para maximizar las ganancias de peso, lo que a su vez garantizaría una mayor eficiencia y rentabilidad en el proceso de cría del grillo doméstico. Por tanto, en este proyecto de investigación se desea evaluar el nivel proteico en la dieta del grillo doméstico (*A. domesticus*), y su impacto en la tasa de crecimiento de dicho insecto, para considerarlo como una fuente alternativa de proteína para la alimentación animal y/o humana.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar la tasa de crecimiento de dietas isoenergéticas con tres niveles de proteína en grillo doméstico (*A. domesticus*).

1.2 Objetivos específicos

Desarrollar tres dietas isoenergéticas con distintos niveles de proteína de 28%, 32% y 36% para alimentación del grillo doméstico.

Evaluar la GPD (Ganancia de peso diaria) (gr/día), y la tasa de Crecimiento Especifico (SGR) sometidos a las dietas experimentales.

Establecer un modelo matemático adecuado y ajustarlo a los datos de crecimiento de las dietas isoenergéticas.

2. Marco Teórico

2.1 Uso de insectos en la alimentación animal

Los valores nutricionales de los insectos se consideran mayores a los de otras especies de consumo (Raubenheimer & Rothman, 2013). Según Arango (2005), los insectos representan el mayor número de la biomasa animal en el mundo; y contribuyen a ser fuente de energía en cualquier ecosistema, debido a que, el 60 a 70 % de sus cuerpos tienen como componente importante elevados aportes de proteína de buena calidad, grasas poliinsaturadas de fácil digestión como parte de la dieta de los humanos o para alimentar los animales de las producciones convencionales.

El consumo de insectos ha aumentado a través de los años siendo los órdenes Coleóptera, Hymenoptera, Orthoptera y Lepidóptera los de mayor importancia (Costa & Ramos, 2006). Uno de los principales insectos utilizados en la alimentación de animales o para el consumo humano es el grillo, del cual existen en promedio 13.000 especies que en su mayoría se encuentran en lugares tropicales. De acuerdo con algunos estudios, se ha encontrado que la especie más apta para el consumo es el grillo doméstico (*Acheta domesticus*), ya que presenta altos niveles de proteína y no presenta riesgos de transmitir enfermedades cuando su crianza se realiza de manera adecuada (Barrientos et al., 2004).

2.2 Ciclo de vida *Acheta domesticus*

El grillo doméstico es una especie perteneciente a la familia de los Ortópteros, los cuales realizan un tipo de metamorfosis incompleta, la cual consta solo de tres etapas que son huevo, ninfa y adulto (Figura 1) (Solano et al., 2021).

Figura 1

Ciclo de vida del grillo doméstico



Preparación del nidal



Protección del nidal



Huevo



Microgrillo



Grillo mediano



Grillo adulto

“La incubación del huevo puede tardar dos semanas, la fase de crecimiento hasta alcanzar la etapa adulta se extiende durante siete semanas (siete mudas de piel), mientras que el ciclo de vida total se prolonga de dos a tres meses dependiendo de las condiciones ambientales” (Medina & Rivas, 2020).

2.3 Crianza

Los sistemas de producción de grillos varían según lo especializada que sea la granja y sus diferentes sistemas de crianza pueden ser clasificados en:

2.3.1 Cría en contenedores de concreto

Es el sistema más utilizado para la producción de grillos a gran escala, el modelo más común tiene medidas de 1,2 x 2,4 x 0,5 metros, con este sistema se pueden producir de 25 a 30 kg de grillos (Durst & Hanboonsong, 2015).

2.3.2 Cría en contenedores de plástico

Sistema de producción a pequeña escala, en este se pueden apilar los recipientes plásticos sobre un estante para así aprovechar mejor el espacio, los recipientes utilizados cuentan con un volumen de 65 L y se pueden producir 1 a 2 kg de grillos (Durst & Hanboonsong, 2015).

2.3.3 Cría en contenedores de concreto cilíndricos

Este sistema funciona a pequeña escala, estos contenedores tienen dimensiones de 80 cm de diámetro por 50 cm de alto, de esta forma se pueden producir de 2 a 4 kg de grillos (Durst & Hanboonsong, 2015).

2.4 Alimentación del grillo doméstico

Estos insectos son eficientes en cuanto a la conversión alimenticia por su condición de poiquilotermos, es decir, no requieren gasto de energía para mantener su temperatura corporal en comparación a los demás animales de granja. Por otra parte, la eficiencia de estos en comparación al ganado vacuno en cuanto a la conversión de energía es 5 veces mayor, por tanto, los insectos tienen un mayor porcentaje de materia comestible en la población animal total que el ganado (80% frente al 40% del ganado), la eficiencia corresponde a 12 veces (Quirce et al., 2013).

Con frecuencia los productores de grillo utilizan alimento de tipo comercial para la cría de pollos con un promedio de 21% de contenido de proteína, lo que ha llevado a la elaboración de alimentos más específicos para grillos debido a su inexistencia (Durst & Hanboonsong, 2015). El

alto contenido de proteína requerido para la alimentación del *A. domesticus*, hace que el costo de producción sea elevado, siendo este el principal problema para su crianza (Oonincx et al., 2019).

2.5 Herramienta Solver

Este es un complemento integrado del programa Microsoft Excel que funciona como una herramienta muy útil para resolver problemas de programación lineal, el resultado de la interacción entre la función objetivo y las restricciones requeridas es descubrir una solución en el desarrollo de los modelos propuestos. Esta interacción permite identificar un área factible que cumpla todas las restricciones deseadas y optimice los recursos disponibles, logrando así que los niveles proteicos de los ingredientes utilizados logren cumplir los requerimientos nutricionales de los animales. (Fabiola Ibujès Orrala Tutora & Ligia Araceli Solís Lucas, n.d.).

2.6 GDP (Ganancia de peso diario g/día)

Es un indicador que determina el peso final de los animales listos para sacrificio con pesos considerables. Se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$GDP = \frac{P_f - P_i}{t} \quad (1)$$

Donde, P_f representa el peso de los animales al final del ciclo productivo, P_i es el peso en el inicio del ciclo productivo y t es el tiempo que dura el ciclo productivo.

2.7 TCE (tasa de crecimiento específica)

La tasa de crecimiento específica en animales es un concepto fundamental para comprender cómo se desarrollan y aumentan de tamaño a lo largo de su vida. Se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$TCE (\% \cdot \text{día}^{-1}) = \frac{[\ln (P_f) - \ln (P_i)]}{\text{Tiempo}} \times 100$$

2.8 Función de Gompertz

Es una función matemática propuesta por primera vez en 1825 por Benjamin Gompertz (Gompertz, 1825). Esta función se ha utilizado en múltiples trabajos académicos para modelar series temporales que describen el crecimiento de tumores (Laird, 1964), curvas de crecimiento poblacional (Asadi et al., 2023), y curvas de crecimiento de peso corporal en animales (Hrncar et al., 2021). Esta función está definida por tres parámetros (A, k, T_i) , como se muestra a continuación:

$$P = A \cdot e^{-e^{-k \cdot (t - T_i)}} \quad (2)$$

Donde, P representa el peso corporal de la especie estudiada. A es el parámetro que define la asíntota horizontal superior, relacionada al peso máximo de la población. k simboliza la tasa de crecimiento del peso. T_i es el parámetro correspondiente al punto de inflexión de la función, este punto también puede considerarse como el punto de mayor crecimiento de la función (Tjørve & Tjørve, 2010). Para el modelo de Gompertz este punto de inflexión se presenta en el 36.79% del valor de la asíntota horizontal superior, es decir del valor máximo de la función.

2.9 Función Logística

La función logística es una función matemática perteneciente a una familia de funciones empleadas para modelar curvas de crecimiento biológico (Koya & Goshu, 2013). El modelo de Gompertz también pertenece a esta familia de funciones, por lo que la interpretación de los parámetros de la función logística puede realizarse de una manera idéntica a la de Gompertz (Tjørve & Tjørve, 2010). Esta función está definida por los mismos 3 parámetros de la siguiente manera:

$$P = \frac{A}{1 + e^{-k \cdot (t - T_i)}} \quad (3)$$

Sin embargo, a diferencia del modelo de Gompertz, el punto de inflexión se encuentra al 50% del valor máximo de la función, por lo que el modelo puede considerarse simétrico entorno al punto de inflexión T_i (Tjørve & Tjørve, 2010).

2.10 Función EVF

Es una función matemática perteneciente a la misma familia de funciones de modelos clásicos de crecimiento no-flexibles como el modelo de Gompertz y logístico. Este tipo de modelos son apropiados para la representación de crecimiento biológico (Alves & Del Ponte, 2021). La ecuación que modela el modelo logístico clásico se ilustra a continuación.

$$P = A \cdot \left(1 - e^{-e^{k(t-T_i)}}\right) \quad (4)$$

Esta ecuación es complemento aditivo a la función de Gompertz, por lo que los parámetros del modelo y su interpretación pueden realizarse de manera similar a los dos modelos anteriores. No obstante, para este modelo el punto de inflexión se presenta en el 63.21% del valor de la asíntota horizontal superior, y su coordenada en el eje x está dada por el parámetro T_i (Tjørve & Tjørve, 2010).

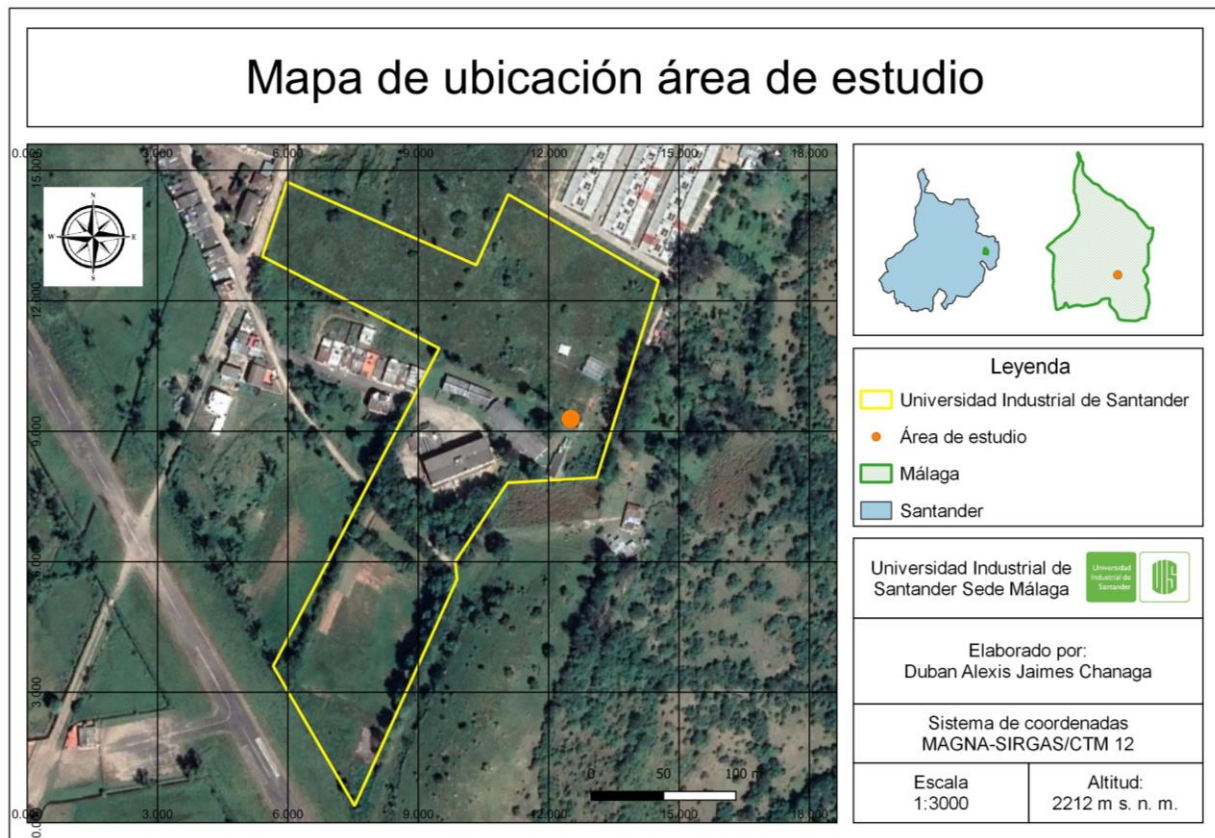
3. Metodología

3.1 Área de estudio

La investigación se realizó en el municipio de Málaga - Santander en las instalaciones del laboratorio de acuicultura (área de 48 m²) de la Universidad Industrial de Santander, a una altitud de 2212 m.s.n.m., temperatura de 19 °C y con coordenadas de 6°41'58"N - 72°43'58"W (Figura 2).

Figura 2

Mapa área de estudio



3.2 Diseño del sistema

La investigación se llevó a cabo utilizando 900 grillos recién nacidos de la especie (*Acheta domesticus*). Estos grillos se alojaron en nueve recipientes plásticos con un volumen de 30 litros cada uno. Cada recipiente estaba equipado con una tapa hermética, la cual se modificó en la parte central mediante una abertura rectangular de 15 x 10 cm. Esta abertura fue cubierta con una malla de anejo para permitir la ventilación de los animales.

A lo largo del experimento, se pesaron los grillos diariamente en las horas de la tarde. Para capturarlos, se utilizó una bomba casera consistente en dos mangueras conectadas a un recipiente donde se almacenaban los grillos antes de transferirlos a otro recipiente. En cada recipiente se contaron 10 individuos, lo que dio un total de 30 individuos por réplica y 90 individuos por tratamiento. El pesaje se realizó con una balanza analítica de precisión Pioneer Ohaus.

3.3 Diseño experimental

Los grillos se sometieron bajo un diseño completamente al azar con tres tratamientos (Tabla 1) y tres repeticiones (100 individuos por cada recipiente). Asimismo, se formularon tres dietas isoenergéticas en el complemento Solver de Excel®. Este diseño experimental fue realizado desde el momento de la eclosión hasta alcanzar su edad adulta y la mayor ganancia de peso para su aprovechamiento 60 días después de la eclosión (Medina & Rivas, 2020).

Tabla 1*Contenido proteico y energético de los tratamientos*

Tratamiento	Proteína (%)	Energía (kcal/kg)
T1	28	3200
T2	32	3200
T3	36	3200

3.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y cuando se hallaron diferencias significativas ($P < 0,05$) se realizó una prueba de comparación de medias.

3.5 Parámetros evaluados

Durante el experimento se evaluó el peso de los animales en gramos durante 60 días todos los días, en la hora de la tarde. Con los datos obtenidos se estimó la ganancia diaria de peso (GDP), y la tasa de crecimiento específico (TCE) y se utilizaron los modelos de la función de Gompertz, función Logística y función EVF. para predecir el comportamiento de las curvas de crecimiento y determinar cuál era el que más se ajustaba a los datos obtenidos.

3.6 Ajuste de los modelos

Las ecuaciones del modelo de Gompertz, Logístico y EVF presentadas con anterioridad, se ajustaron a los datos experimentales colectados durante el proyecto mediante un problema típico de regresión de mínimos cuadrados. En este tipo de problema se buscó encontrar el valor de los parámetros (A, k, T_i) que minimicen un criterio estadístico “Residual standard error” (RSE) entre los valores experimentales (\hat{P}) y los valores estimados por el modelo (P) . La función objetivo a minimizar (RSE) para este problema de regresión es mostrada en la siguiente ecuación:

$$\left[RSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n [P(A, k, T_i) - \hat{P}]^2}{n - N_{par} - 1}} \right] \quad (5)$$

En la ecuación anterior, n esta dado por el numero de datos experimentales a ajustar y N_{par} es el número de parámetros que se van a ajustar. Los parámetros en el problema de optimización (A, k, T_i) están restringidos a la región solución limitada por los valores superiores e inferiores. Estos límites son seleccionados dependiendo de las escalas de los parámetros y de criterios técnicos presentes en trabajos previos (Raji et al., 2014), por ejemplo, para el punto de inflexión se toma el mismo intervalo del tiempo entre 0 a 60 días. Los limites se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2*Límites de la región solución para el ajuste de los modelos*

Parámetro	Límite inferior	Límite superior
<i>A</i>	99.0822	181.6770
<i>k</i>	0	1
<i>T_i</i>	0	60

Para solucionar este problema de mínimos cuadrados se empleó el software de simulación y programación Matlab y su *toolbox* de optimización global para implementar el algoritmo “*Particle Swarm Optimization (PSO)*”. Para este algoritmo se seleccionaron los criterios mostrados en la (Tabla 3). Los grillos se sometieron bajo un diseño completamente al azar con tres tratamientos (Tabla 1) y tres repeticiones (100 individuos por cada recipiente). Asimismo, se formularon tres dietas isoenergéticas en el complemento Solver de Excel; el cual es un complemento integrado del programa Microsoft Excel que funciona como una herramienta muy útil para resolver problemas de programación lineal, el resultado de la interacción entre la función objetivo y las restricciones requeridas es descubrir una solución en el desarrollo de los modelos propuestos. Esta interacción permite identificar un área factible que cumpla todas las restricciones deseadas y optimice los recursos disponibles, logrando así que los niveles proteicos de los ingredientes utilizados logren cumplir los requerimientos nutricionales de los animales (Fabiola Ibujès Orrala Tutora & Ligia Araceli Solís Lucas, n.d.).

Tabla 3*Criterios de ajuste del algoritmo PSO*

Criterio	Valor del criterio
Número de partículas en el enjambre	$N_{par} * 100$
Número máximo de iteraciones	1×10^4
Tolerancia en la función objetivo	1×10^{-19}
Máximo número de iteraciones estáticas	150

Para evaluar la eficacia del algoritmo de optimización y reducir la variación debido a la naturaleza heurística del algoritmo, el ajuste de cada uno de los modelos es realizado 30 veces consecutivas, y se evalúa la varianza de cada una de las soluciones. También se realiza un análisis estadístico usando la herramienta “ANOVA” disponible en el software Matlab. La licencia de Matlab es proporcionada por la Universidad Industrial de Santander y es empleada solo con fines educativos y de investigación.

4. Resultados

Para la formulación de las dietas isoenergéticas se evaluaron las tablas nutricionales FEDNA®, y se logró identificar la disponibilidad 12 materias primas disponibles en la zona de influencia del estudio. En la (Tabla 4), se presenta las formulaciones finales alcanzadas para el desarrollo de los tres tratamientos. La composición nutricional de cada una de las dietas seleccionadas fue realizada cuidadosamente en el complemento Solver del software Excel de Microsoft office 2019®, tal como se muestra en el apéndice A

Tabla 4

Composición proteica de dietas experimentales

Ingredientes	Nivel de proteína (%)		
	28 %	32 %	36%
Harina de pescado	70,00	70,00	570,85
Harina de soya	415,13	524,46	10,00
Avena	164,40	172,31	340,50
Harina de trigo	120,00	120,00	70,00
Harina de maíz	126,07	1,00	3,25
Arroz	100,00	100,00	1,00
Aceite de soya	1,00	1,00	1,00
Premix	0,50	0,50	0,50
Sal	2,00	2,00	2,00
Fosfato bicalcico	0,20	0,20	0,20
Cal	0,20	0,20	0,20
Vitamina c	0,50	8,33	0,50
Total	1000	1000	1000
Composición calculada			
Proteína bruta (%)	28	32	36
Energía digestible (kcal/kg)	3200	3200	3200
Fibra bruta (%)	5,78	6,26	5,09
Extracto etéreo (%)	2,31	2,04	4,65
Almidón (%)	24,22	17,76	2,60
Calcio (%)	0,56	0,59	3,42
Fosforo disponible (%)	0,35	0,36	1,70
Lisina (%)	1,56	1,83	2,15

Metionina (%)	0,44	0,49	0,86
Vitamina c (%)	0,018	0,292	0,018

Nota: Los valores composicionales de las materias primas fueron tomados de la base de datos del FEDNA®

En la Figura 3, se puede observar que a medida que avanzó el experimento la dispersión de los pesos incremento para las tres poblaciones con las tres diferentes dietas o tratamientos. Lo cual puede explicarse debido a que existen individuos que tuvieron un mayor desarrollo y ganancia de peso en comparación con otros de la misma replica. No obstante, este incremento de la dispersión se acentúa para todas las réplicas a partir del día 45.

Los valores promedios, al igual que la desviación estándar de las 9 muestras para cada día son presentados en la Figura 3, Figura 4 y Figura 5 respectivamente.

Figura 3

Datos experimentales para los tres tratamientos proteicos implementados en las poblaciones del grillo doméstico estudiadas. Tratamiento 1 con el 28% de proteína

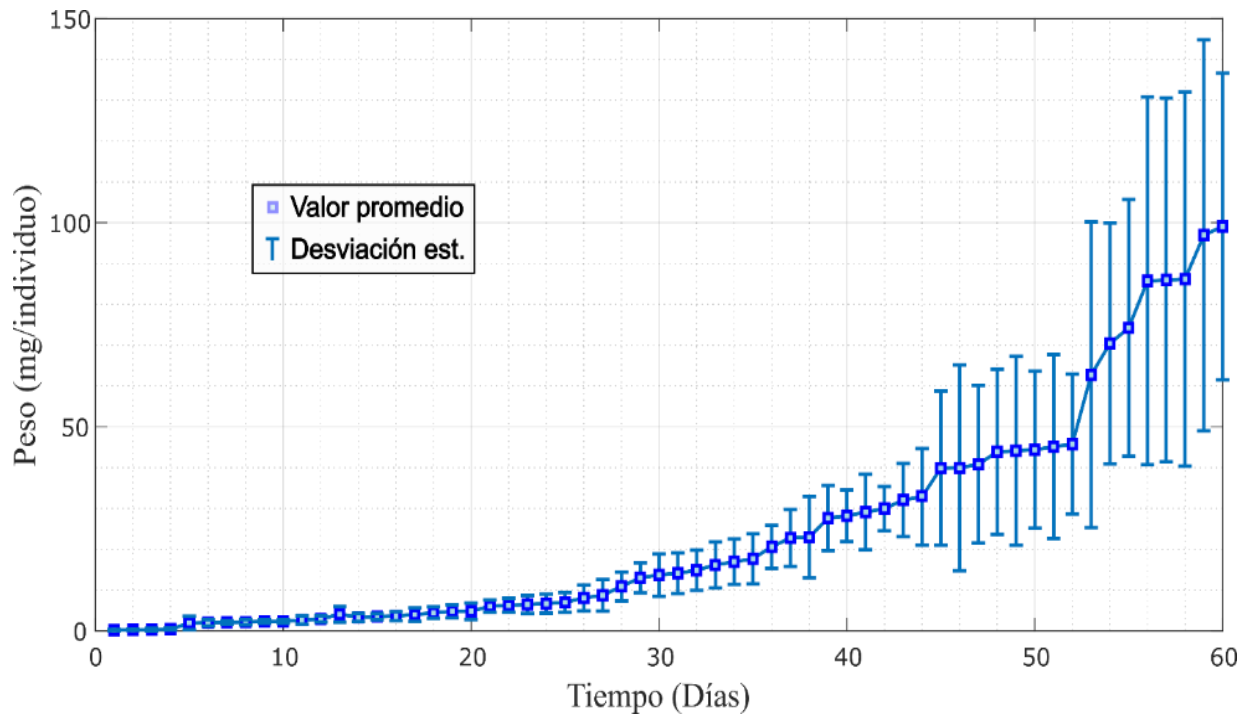


Figura 4

Datos experimentales para los tres tratamientos proteicos implementados en las poblaciones del grillo doméstico estudiadas. Tratamiento 2 con el 32% de proteína

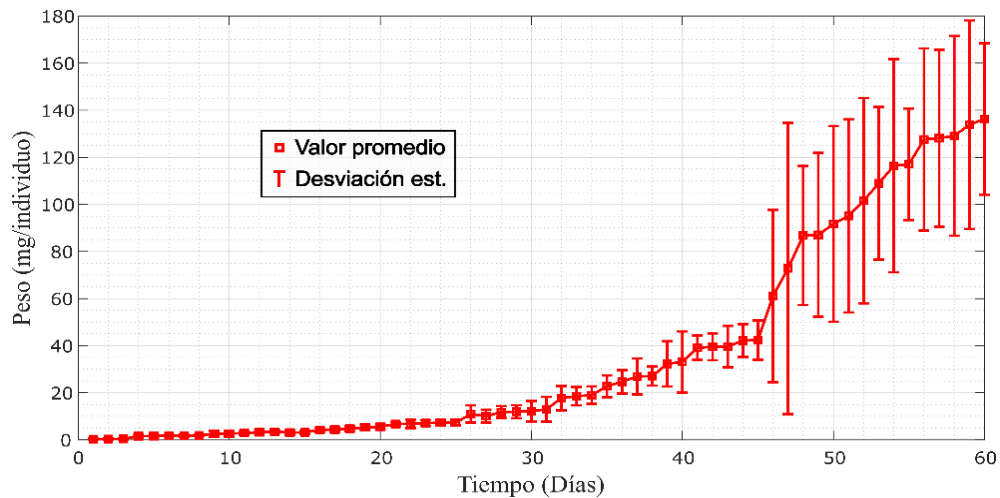
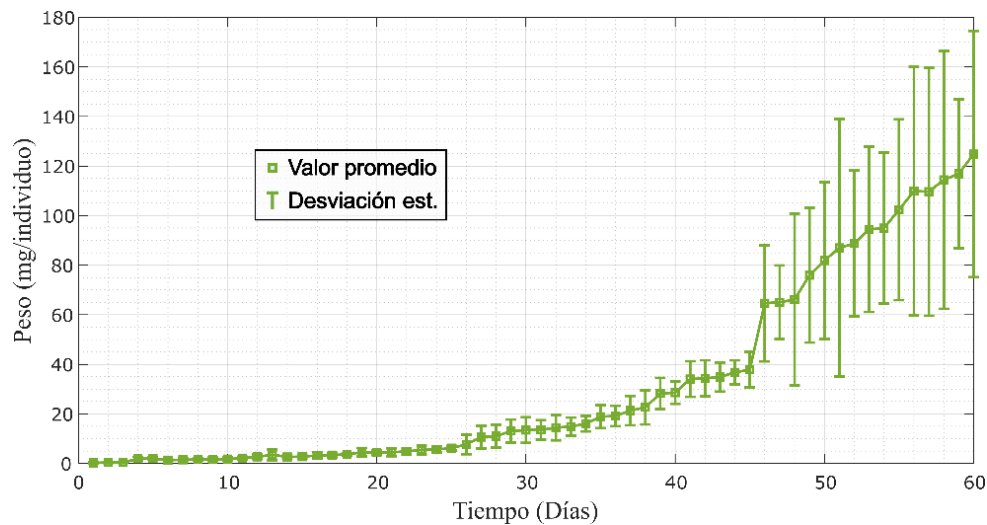


Figura 5

Datos experimentales para los tres tratamientos proteicos implementados en las poblaciones del grillo doméstico estudiadas. Tratamiento 3 con el 36% de proteína.



Para evaluar la ganancia de peso total en los individuos sometidos a los tres tratamientos se aplicaron dos métricas conocidas que son: Ganancia de peso diaria (GDP) y tasa de crecimiento específica (TCE) presentadas a continuación.

4.1 Evaluación de GDP y TCE

En la Tabla 5 se presentan las métricas con las cuales se evaluaron la ganancia de peso diaria y la tasa de crecimiento específica de las tres poblaciones de individuos bajo los tres regímenes dietarios. La GDP promedio para los tratamientos 1, 2 y 3 son: 1.65 mg/día, 2.27 mg/día y 2.08 mg/día, respectivamente. El tratamiento 2 es el que muestra una GDP promedio mayor con un valor de 2.27 mg/día, el cual supera a los tratamientos 1 y 3 en un 27.27% y 8.36%, respectivamente. Con respecto a la TCE, presento una media de $10.38\% \cdot dia^{-1}$, $10.27\% \cdot dia^{-1}$ y $10.54\% \cdot dia^{-1}$, para el tratamiento 1, 2 y 3, respectivamente.

Tabla 5

Métricas de ganancia de peso total sobre las tres poblaciones de grillos domésticos evaluados.

Tratamiento	Replica	Peso inicial (mg/individuo)	Peso final (mg/individuo)	Tiempo (días)	GDP	TCE
1	1	0.15	71.27	60	1.1853	10.27%
1	2	0.33	108.21	60	1.7980	9.65%
1	3	0.14	117.76	60	1.9603	11.22%
2	1	0.18	134.84	60	2.2443	11.03%
2	2	0.33	131.94	60	2.1935	9.99%
2	3	0.4	141.99	60	2.3598	9.79%
3	1	0.17	140.55	60	2.3397	11.20%
3	2	0.16	113.68	60	1.8920	10.94%
3	3	0.41	120.27	60	1.9977	9.47%

Se realizó un análisis de variación empleando la herramienta de Matlab “ANOVA” para estudiar la relevancia estadística entre el tratamiento dietario aplicado y los valores correspondientes de GDP y TCE. Los resultados se presentan en la Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6

Resultados del análisis ANOVA entre la variable tratamiento y la GDP.

	“SumOfSquares”	DF	“MeanSquares”	F	p-Value
Tratamiento	0.60147	2	0.30074	3.9385	0.080831
Error	0.45815	6	0.076359		
Total	1.0596	8			

Como se observa en la tabla anterior, el p-Value se encuentra entre el rango de 0.05 y 0.1. Por lo que asumiendo un intervalo de confianza del 90%, podemos descartar la hipótesis nula que la variable es estadísticamente irrelevante y de esta manera se deduce la relevancia del tipo de tratamiento alimentario en la GDP. Sin embargo, analizando los resultados para la TCE, en la Tabla 7, vemos que el p-Value es mucho mayor que 0.05, por lo que se aceptaría la hipótesis de que el tratamiento es irrelevante estadísticamente y se concluye que la TCE no es una métrica que permita distinguir diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos.

Tabla 7

Resultados del análisis ANOVA entre la variable tratamiento y la TCE.

	“SumOfSquares”	DF	“MeanSquares”	F	p-Value
Tratamiento	1.09×10^{-5}	2	5.43×10^{-6}	0.083842	0.92063
Error	3.88×10^{-4}	6	6.48×10^{-5}		
Total	3.99×10^{-4}	8			

Tomando en cuenta los anteriores resultados, se procedió a realizar el estudio de ajuste de modelos de crecimiento biológico a cada uno de los datos recolectados día a día, para estudiar en detalle las tasas de crecimiento y la ganancia de peso máximo de cada uno de los tratamientos dietarios.

4.2 Modelos de crecimiento

Tomando como referencia estos valores promedios, se procedió a realizar el ajuste de los tres modelos presentados en la sección anterior utilizando el problema de optimización y mínimos cuadrados previamente descrito. Los resultados son presentados en la Figura 6, Figura 7, Figura 8 y Tabla 8, a continuación.

Figura 6

Gráfica de los tres modelos de crecimiento ajustados para los valores promedio de los datos experimentales. Tratamiento 1 con el 28% de proteína.

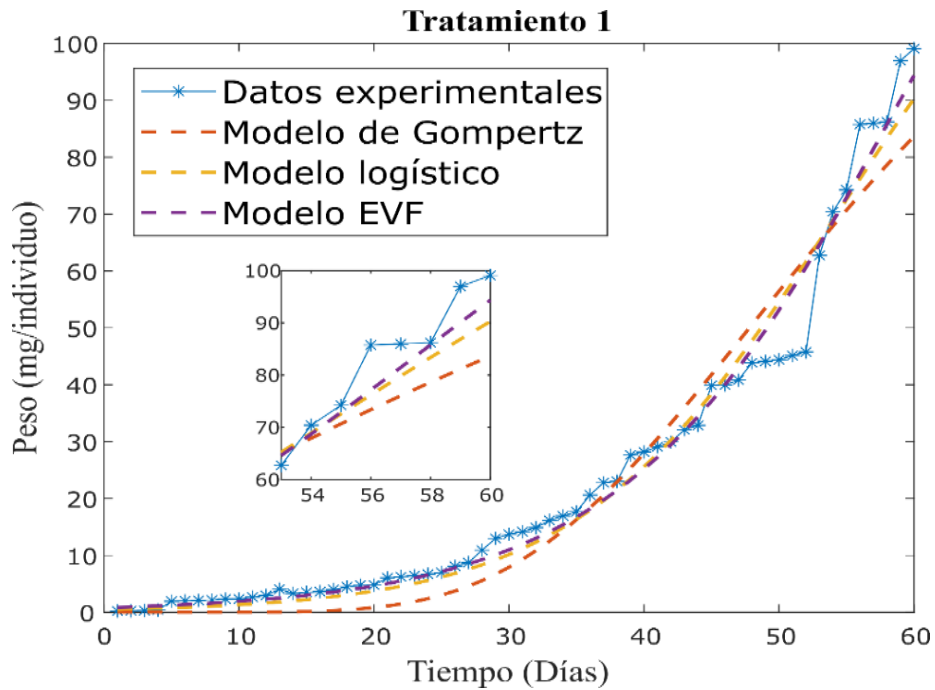


Figura 7

Gráfica de los tres modelos de crecimiento ajustados para los valores promedio de los datos experimentales. Tratamiento 2 con el 32% de proteína

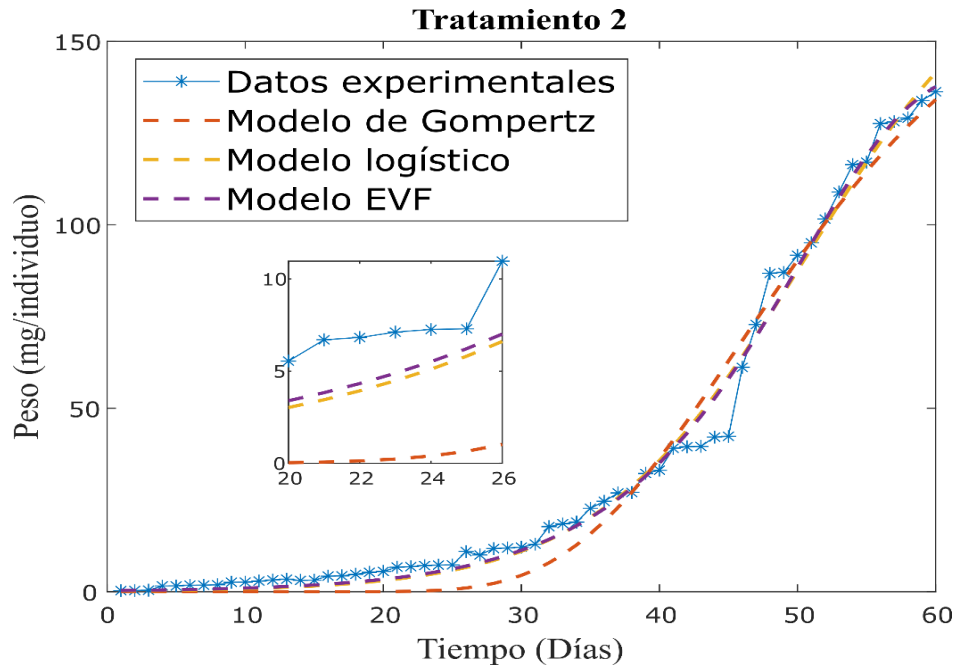
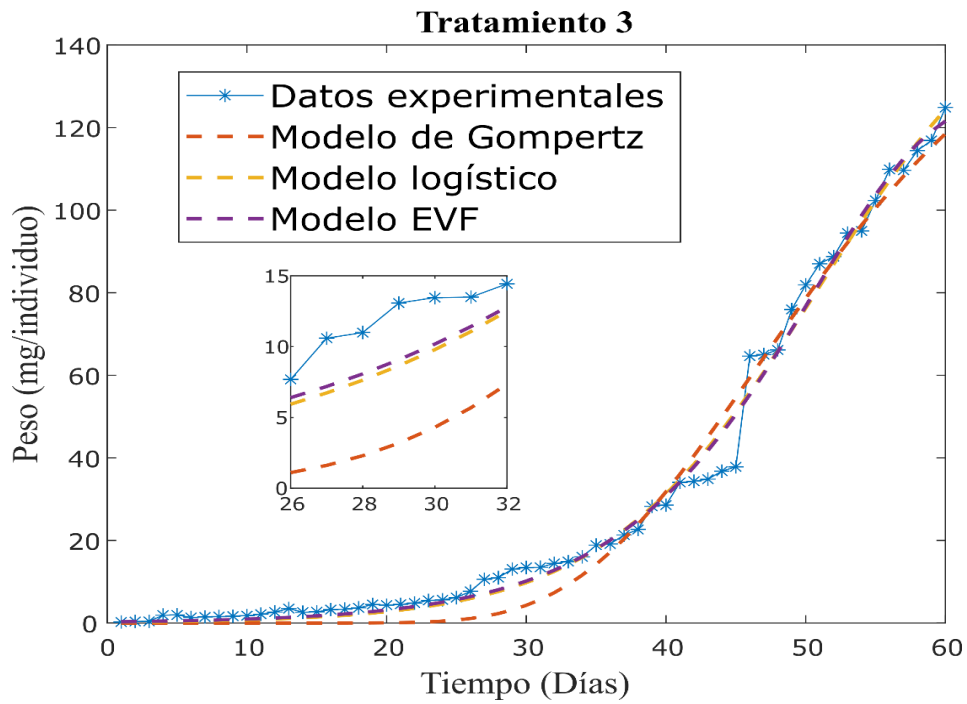


Figura 8

Gráfica de los tres modelos de crecimiento ajustados para los valores promedio de los datos experimentales. Tratamiento 3 con el 36% de proteína.



Como se ilustra en la Figura 4, los modelos logístico y EVF presentan un mejor ajuste a los datos en comparación con el modelo de Gompertz, especialmente en las regiones comprendidas entre el día 20 y 40 del experimento. Vale la pena resaltar que, aunque los modelos pertenecen a la misma familia de funciones, tienen formas predefinidas y no-flexibles que varían según la forma predeterminada de la ecuación, como por ejemplo la ubicación de los puntos de inflexión, y la influencia de las tasas de crecimiento.

Esta influencia en la forma predeterminada de la función y su resultado en una mejor bondad de ajuste de los modelos logístico y EVF, puede verse reflejada en la Tabla 8. Se puede observar como el modelo EVF presenta un valor de R^2 mas cercano a la unidad en comparación con los otros dos modelos para los tres tratamientos. Adicionalmente, el RMSE calculado para el modelo EVF es un 70.37%, 70.39% y 59.11% menor que el modelo de Gompertz para los tres tratamientos, respectivamente. En comparación con el modelo logístico, el modelo EVF presenta un RMSE un 20.05%, 11.11% y un 5.94% menor, respectivamente, para los tres tratamientos.

Tabla 8

Resultados de bondad de ajuste de los tres modelos de crecimiento estudiados para las tres dietas proteicas seleccionadas.

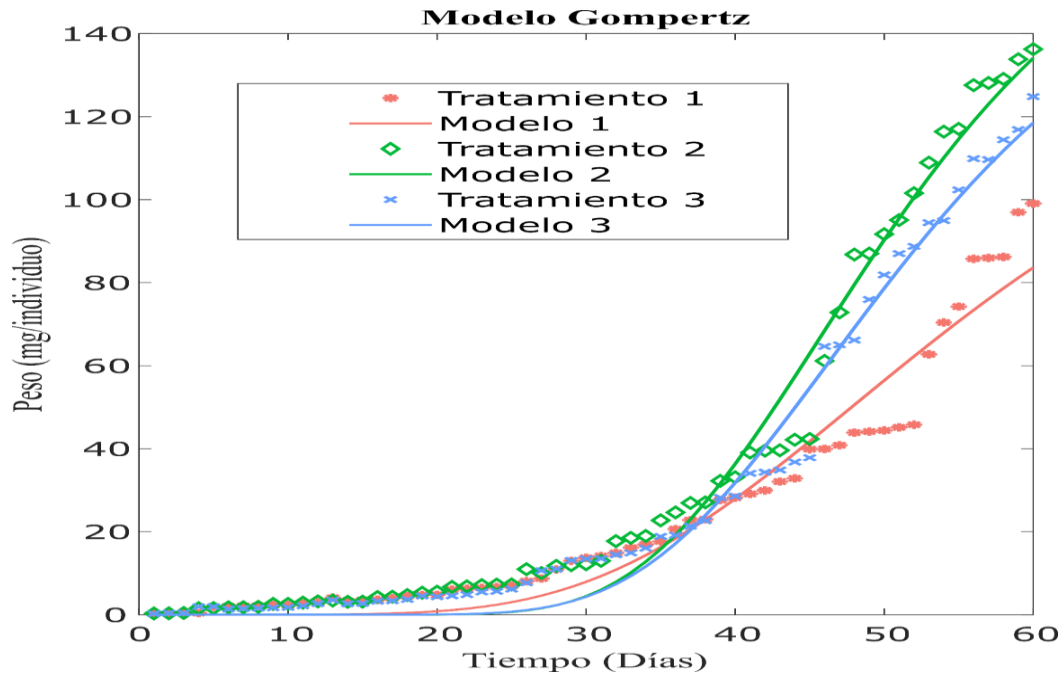
	Modelo	R^2	RSE	RMSE	Parámetros		
					A	k	T_i
Tratamiento 1	Gompertz	0.9546	6.2411	6.0295	137.6142	0.0582	48.0252
	Logístico	0.9761	4.3975	4.2484	139.5524	0.0150	54.2369
	EVF	0.9831	3.6632	3.5390	132.1096	0.0890	57.4727
Tratamiento 2	Gompertz	0.9840	6.4482	6.2296	181.6770	0.0834	45.7096
	Logístico	0.9919	4.2048	4.0622	181.3441	0.1336	50.5124
	EVF	0.9934	3.7843	3.6559	142.9801	0.1230	50.3118
Tratamiento 3	Gompertz	0.9856	5.3398	5.1587	166.4400	0.0792	46.3647
	Logístico	0.9923	3.5555	3.4349	162.0204	0.1314	50.8894
	EVF	0.9930	3.3560	3.2422	127.5554	0.1201	50.6959

No obstante, a pesar de mostrar un menor ajuste, el modelo de Gompertz logra reflejar la tendencia de los datos ya que es un modelo adecuado y ampliamente utilizado para el crecimiento biológico de especies de aprovechamiento animal. Esto se ve reflejado en los valores del coeficiente de determinación (R^2) de 0.9546, 0.9840 y 0.9856, para los tres tratamientos respectivamente. Estos valores son cercanos a la unidad por lo que el ajuste puede considerarse aceptable, y la comparación de los resultados para los tres modelos es presentada en la Figura 5 y la Tabla 9.

Comparando el comportamiento de los tres modelos, podemos concluir que el tratamiento 2 es el que presenta un mayor crecimiento y peso corporal al finalizar el experimento. Esto se ve reflejado en el parámetro A del modelo de Gompertz, relacionado a la asíntota horizontal superior y que tiene un valor de 181.68 mg/individuo para el tratamiento 2, en la Tabla 9. El tratamiento 2 presenta un valor del parámetro A un 24.25% mayor que el tratamiento 1 y un 8.39% mayor en comparación con el tratamiento 3. Por lo anterior se puede concluir que el tratamiento 2 presenta el mayor peso final de los individuos de los tratamientos estudiados.

Figura 9

Gráfica de los tres modelos de Gompertz obtenidos para cada uno de los tratamientos estudiados.



De igual manera, el tratamiento 2 presenta la mayor tasa de crecimiento con un valor del parámetro k un 30.22% y 5.04% mayor que los tratamientos 1 y 3, respectivamente. Por lo que podemos concluir que según los modelos de Gompertz ajustados, el tratamiento dos tendrá la mayor tasa de crecimiento. Similarmente, el tratamiento 2 presenta un desarrollo temprano en la ganancia de peso de los individuos ya que el parámetro T_i indica que el punto de inflexión se encuentra a los 45.71 días comparado con los tratamientos 1 y 3, los cuales presentan el punto de máximo crecimiento a los 48.03 y 46.36 días, respectivamente.

Tabla 9

Parámetros de los modelos de Gompertz ajustados a los valores promedios de los 3 tratamientos estudiados.

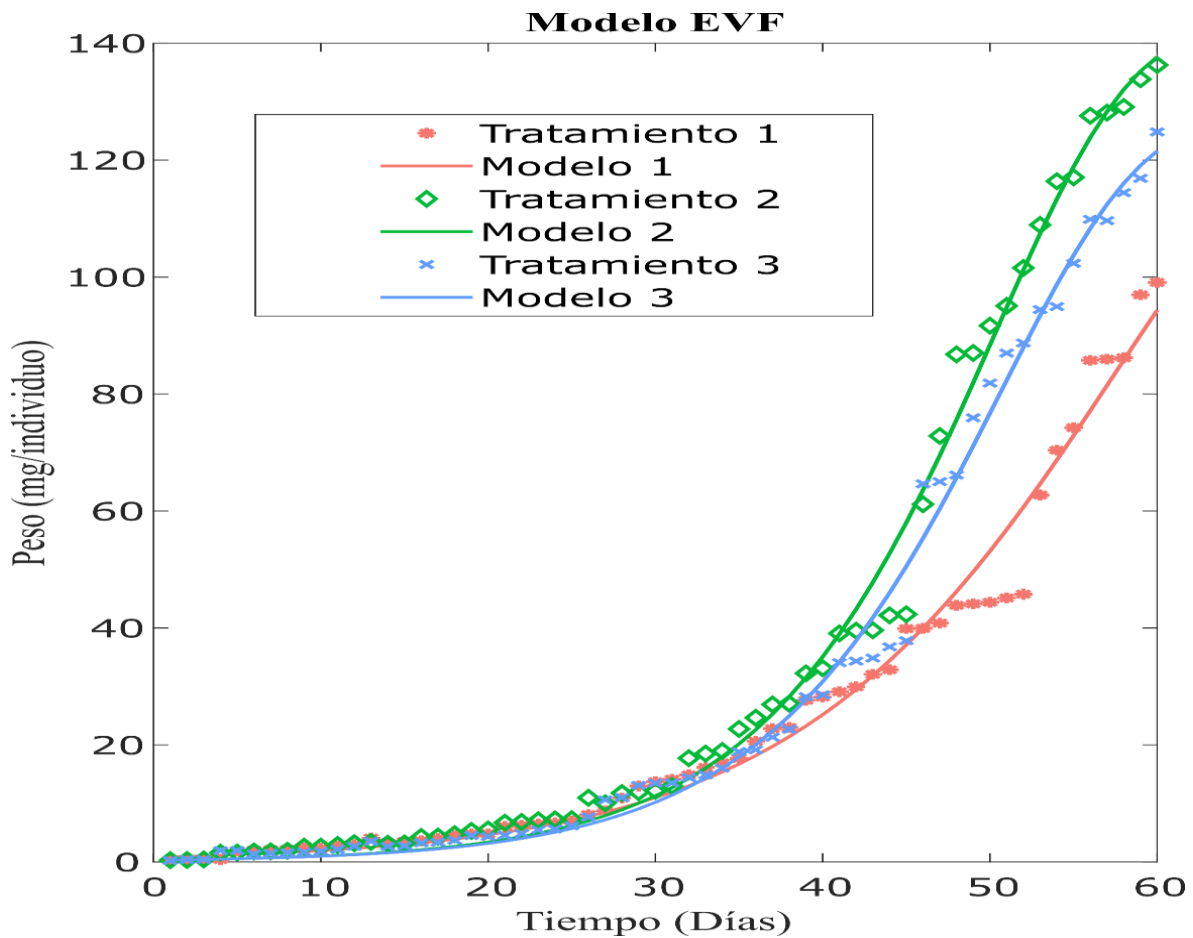
Parámetro		Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
A	Media	137.6142	181.6770	166.4400
	Desviación Estándar	1.00×10^{-12}	1.45×10^{-13}	2.98×10^{-14}
k	Media	0.0582	0.0834	0.0792
	Desviación Estándar	1.06×10^{-10}	9.24×10^{-11}	8.19×10^{-11}
T_i	Media	48.0252	45.7096	46.3647
	Desviación Estándar	1.30×10^{-8}	7.51×10^{-9}	6.66×10^{-9}
RSE	Media	6.2411	6.4482	5.3398
	Desviación Estándar	2.16×10^{-15}	4.09×10^{-15}	2.81×10^{-15}

Sin embargo, el modelo de Gompertz no fue el que presentó un mejor ajuste a los datos experimentales, fue el modelo EVF por lo que sus resultados para los tres tratamientos también son presentados en la Figura 6, Figura 7, Figura 8 y Tabla 10.

En la Figura 6, Figura 7 y Figura 8 puede observarse que el modelo EVF tiene un mejor ajuste de los datos en etapas tempranas y medias del experimento (entre los 10 y 40 días) que el modelo de Gompertz. De igual forma, observamos que el modelo 2 ajustado al tratamiento 2 es el que presenta un mayor peso final de los individuos comparado con los modelos del tratamiento 1 y 3.

Figura 10

Gráfica de los tres modelos de crecimiento EVF obtenidos para cada uno de los tratamientos estudiados.



La Tabla 10 muestra un comportamiento similar a la presentada en la Tabla 9, es decir, el modelo de EVF y el de Gompertz muestran el mismo resultado en comparación con los tratamientos. El tratamiento 2 es el que presenta un mayor valor para el peso máximo alcanzado que se ve reflejado en el parámetro A , el cual tiene un valor un 7.60% mayor que el tratamiento 1 y un 10.79% mayor que el tratamiento 3. Con respecto a la tasa de crecimiento representada en el parámetro k , el tratamiento 2 presenta una tasa de un 27.64% mayor que el tratamiento 1 y un

2.36% mayor que el tratamiento 3. La desviación estándar de los parámetros es muy baja para los tres parámetros por lo que pueden considerarse como un buen ajuste del modelo EVF.

Tabla 10

Parámetros de los modelos de EVF ajustados a los valores promedios de los 3 tratamientos estudiados.

Parámetro		Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
A	Media	132.1096	142.9801	127.5554
	Desviación Estándar	2.89×10^{-14}	1.72×10^{-7}	2.29×10^{-7}
k	Media	0.0890	0.1230	0.1201
	Desviación Estándar	9.54×10^{-11}	2.28×10^{-10}	2.54×10^{-10}
T_i	Media	57.4727	50.3118	50.6959
	Desviación Estándar	1.05×10^{-8}	2.21×10^{-8}	3.38×10^{-8}
RSE	Media	3.6632	3.7843	3.3560
	Desviación Estándar	1.95×10^{-15}	2.36×10^{-15}	1.43×10^{-15}

En cuanto a los límites de confianza y la variación de los datos, el tratamiento 2 continúa mostrando el mejor desempeño en cuanto a tasa de crecimiento y valor de peso máximo con respecto a los límites inferiores, seguido por el tratamiento 3 con valores máximos similares, y por último el tratamiento 1 con un desempeño más bajo en comparación con los tres tratamientos estudiados.

Tabla 11

Límites de confianza de los parámetros estimados con el modelo EVF para los 3 tratamiento.

Parámetro		Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
A	Límite inferior	82.0050	138.8308	100.1813
	Límite superior	152.8040	168.3924	174.5240
k	Límite inferior	0.0860	0.1066	0.0971
	Límite superior	0.1075	0.1267	0.1487
T_i	Límite inferior	49.0092	49.8013	46.9573
	Límite superior	60.0000	53.3067	56.4330

5. Conclusiones

A partir de 12 materias primas disponibles en la zona se logró diseñar tres dietas con diferentes valores proteicos y con igualdad en los niveles de proteína, las cuales son una alternativa para la alimentación de grillos de la especie doméstica *Acheta domesticus* y las cuales representan una oportunidad para reconocer los requerimientos nutricionales de esta especie y aportar al establecimiento de esta como especie productiva.

Los criterios de GDP y TCE fueron analizados con respecto a los diferentes tratamientos dietarios aplicados en la población y se encontró que solo para el GDP, la variable del tratamiento dietario es estadísticamente relevante. Por lo que se aconseja la utilización del GDP como criterio de medición en este tipo de poblaciones, bajo los criterios estudiados en este proyecto. Además, El tratamiento dietético número 2, presenta la mayor GDP promedio en comparación con los otros tratamientos estudiados.

Empleando el modelo de Gompertz el tratamiento 2 mostro un peso máximo final un 24.25% y 8.39% mayor que el tratamiento 1 y 3, respectivamente. Este peso máximo se ve reflejado en el parámetro A del modelo de gompertz. Igualmente, mostro una tasa de crecimiento (parámetro k) un 30.22% mayor que el tratamiento 1 y un 5.04% mayor que el tratamiento 3.

Al emplear el modelo EVF el tratamiento 2 muestra un valor en el parámetro A un 7.60% mayor que el tratamiento 1 y un 10.79% mayor que el tratamiento 3. De manera similar al modelo de Gompertz el parámetro A representa el valor final máximo alcanzado por los individuos.

Igualmente, la tasa de crecimiento k para el tratamiento 2 supera al tratamiento 1 y 3 en un 27.64% y 2.36%, respectivamente.

6. Recomendaciones

Para incentivar el estudio y la investigación sobre el grillo domestico (*A. domesticus*), es transcendental empezar a ver esta especie como una alternativa para la producción, la cual permitiría obtener excelentes aportaciones proteicas en la formulación de piensos para la alimentación animal.

Es importante seguir realizando investigaciones en cuanto al crecimiento y desarrollo del grillo domestico (*A. domesticus*) a partir de una alimentación con bases forrajeras, en la que la aportación proteica venga de fuentes vegetales.

Como trabajo futuro se plantea un estudio de impacto económico y social sobre la producción de piensos para alimentación animal que emplean como fuente principal de proteína la harina de grillo doméstico.

Referencias bibliográficas

- Alves, K. S., & Del Ponte, E. M. (2021). Analysis and simulation of plant disease progress curves in R: introducing the epifitter package. *Phytopathology Research*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s42483-021-00098-7>
- Arango, G. (2005). Los insectos: una materia prima alimenticia promisoría contra la hambruna. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 33–37. www.koleopterologie.de/
- Asadi, M., Di Crescenzo, A., Sajadi, F. A., & Spina, S. (2023). A generalized Gompertz growth model with applications and related birth-death processes. *Ricerche Di Matematica*, 72(2), 1–36. <https://doi.org/10.1007/s11587-020-00548-y>
- Avendaño, C., Sánchez, M., & Valenzuela V., C. (2020a). Insects: An alternative for animal and human feeding. *Revista Chilena de Nutricion*, 47(6), 1029–1037. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029>
- Avendaño, C., Sánchez, M., & Valenzuela V., C. (2020b). Insects: An alternative for animal and human feeding. *Revista Chilena de Nutricion*, 47(6), 1029–1037. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029>
- Barrientos, L., Hunter, D., Ávila, J., García, P., & Hernández, V. (2004). *Control biológico de la langosta voladora (Schistocerca piceifrons, walker) con Metarhizium anisopliae var. Acridum en el noreste de México.*
- Costa, E., & Ramos, J. (2006). Los insectos comestibles de Brasil: etnicidad, diversidad e importancia en la alimentación. In *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*.

- Durán, R., & Saavedra, L. (2022). Entomofagia, ¿Una potencial alternativa para la seguridad alimentaria?: Una revisión narrativa. *Rev. Española Nutr. Comunitaria*, 28–14.
- Durst, P. B., & Hanboonsong, Y. (2015). Small-scale production of edible insects for enhanced food security and rural livelihoods: Experience from Thailand and Lao People's Democratic Republic. In *Journal of Insects as Food and Feed* (Vol. 1, Issue 1, pp. 25–31). Wageningen Academic Publishers. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0019>
- Fabiola Ibjúes Orrala Tutora, J., & Ligia Araceli Solís Lucas, I. (n.d.). *Previo a la obtención del Título de: INGENIERA AGROPECUARIA*.
- Gompertz, B. (1825). XXIV. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. In a letter to Francis Baily, Esq. F. R. S. &c. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 115, 513–583. <https://doi.org/10.1098/rstl.1825.0026>
- Hrnčar, C., Bujko, J., & Widya, P. (2021). The Growth Curve of Gompertz Model in Body Weight of Mixed-sex Goose Breeds in Slovakia. *GABJ*, 5(1), 28–32. <https://doi.org/10.46325/gabj.v5i1.161>
- Koya, P. R., & Goshu, A. T. (2013). Generalized Mathematical Model for Biological Growths. *Open Journal of Modelling and Simulation*, 01(04), 42–53. <https://doi.org/10.4236/ojmsi.2013.14008>
- Laird, A. K. (1964). Dynamics of Tumor Growth. *British Journal of Cancer*, 18(3), 490–502. <https://doi.org/10.1038/bjc.1964.55>

- Martínez, A., Marin, C., Rodrigo, D., Fernández, P., & Rosell, C. (2016). *Los insectos alimentan al mundo*. Asociación Del Cuerpo Nacional Veterinario. <https://www.acnv.es/news/los-insectos-alimentan-al-mundo/>
- Medina, R., & Rivas, A. (2020). *Prototipo agroindustrial de harina de Acheta domesticus (Orthoptera: Gryllidae) para consumo humano*. <https://revistaagrociencia.wordpress.com/>
- Núñez Torres, O. P. (2017). *Los costos de la alimentación en la producción pecuaria*. Journal of the Selva Andina Animal Science. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2311-25812017000200001&script=sci_arttext
- Oonincx, D. G. A. B., van Broekhoven, S., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2019). Correction: Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. In *PLoS ONE* (Vol. 14, Issue 10). Public Library of Science. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222043>
- Quirce, C., Filippini, V., & Micó, E. (2013). *La utilización de los insectos en la gastronomía, un taller nutritivo*.
- Raji, A. O., Alade, N. K., & Duwa, H. (2014). Estimation of model parameters of the Japanese quail growth curve using Gompertz model. *Archivos de Zootecnia*, 63(243), 429–435. <https://doi.org/10.4321/S0004-05922014000300004>
- Raubenheimer, D., & Rothman, J. M. (2013). Nutritional ecology of entomophagy in humans and other primates. *Annual Review of Entomology*, 58, 141–160. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100713>

- Rodriguez, M. (2020). *Propuesta De Alternativas De Producción De Proteína Para Alimentación Animal A Partir De Insectos En Colombia*.
- Soares, P., Almendra-Pegueros, R., Benítez-Brito, N., Fernández-Villa, T., Lozano-Lorca, M., Valera-Gran, D., & Navarrete-Muñoz, E. M. (2020). Sustainable food systems for healthy eating. In *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica* (Vol. 24, Issue 2). Asociacion Espanola de Dietistas-Nutricionistas. <https://doi.org/10.14306/renhyd.24.2.1058>
- Solano, T., Quirós, D., & Barboza, D. (2021). Modelo de costos para la producción de insectos comestibles en Costa Rica, 2021: Grillo doméstico (*Acheta domesticus*) y gusano de harina (*Tenebrio molitor*). *Centro de Investigación En Economía Agrícola y Desarrollo Agroempresarial*.
- Tjørve, K. M. C., & Tjørve, E. (2010). Shapes and functions of bird-growth models: how to characterise chick postnatal growth. *Zoology*, *113*(6), 326–333. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2010.05.003>

Apéndices

Apéndice A.

Composición nutricional de las dietas seleccionadas usando el Solver

Ingr / Nut	PB	ED	FB	EE	AMIDO	Ca	P Disp	Lis	Met	Vit C	Custo
	%	Kcal/kg	%	%	%	%	%	%	%	%	\$
Harina de Peces	54.40	3.700	-	7.50	-	5.90	2.87	3.41	1.37	-	1.700.00
Harina de Soya	45.32	3.430	5.41	1.66	12.38	0.24	0.18	2.77	0.64	-	3.200.00
Avena	9.90	2.400	12.80			0.08	0.09	0.39	0.16		1.200.00
Harina de trigo	15.52	3.056	9.66	3.46	31.35	0.14	0.33	0.62	0.24	-	1.500.00
Harina de Maiz	8.26	3.150	1.73	3.61	62.48	0.03	0.08	0.24	0.17	-	900.00
Arroz	8.47	3.500	0.55	1.22	74.45	0.04	0.05	-	-	-	1.200.00
Aceite de Soya	-	8.700	-	99.00	-	-	-	-	-	-	3.200.00
Premix	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.000.00
sal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	700.00
Fosfato bicalcico	-	-	-	-	-	24.50	18.50	-	-	-	300.00
Cal	-	-	-	-	-	38.40	0.02	-	-	-	200.00
Vita C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35.00	25.000.00

Apéndice B.

Formulación de la dieta al 28% y 3200 kcal/kg de energía.

Ingr / Nut	PESO	PB	ED	FB	EE	AMIDO	Ca	P Disp	Lis	Met	Vit C	Custo	LIMITES		
	(kg)	%	Kcal/kg	%	%	%	%	%	%	%	%	\$	Mínimo	Máximo	
Harina de Peces	0.0700	3.81	259.00	-	0.53	-	0.41	0.20	0.24	0.10	-	119.00		0.0700	Harina de Peces
Harina de Soya	0.4151	18.81	1.423.90	2.25	0.69	5.14	0.10	0.07	1.15	0.27	-	1.328.42			Harina de Soya
Avena	0.1644	1.63	394.55	2.10	-	-	0.01	0.01	0.06	0.03	-	197.27	0.0700		Avena
Harina de trigo	0.1200	1.86	366.72	1.16	0.42	3.76	0.02	0.04	0.07	0.03	-	180.00	0.1200		Harina de trigo
Harina de Maiz	0.1261	1.04	397.13	0.22	0.46	7.88	0.00	0.01	0.03	0.02	-	113.47			Harina de Maiz
Arroz	0.1000	0.85	350.00	0.06	0.12	7.45	0.00	0.01	-	-	-	120.00	0.1000		Arroz
Aceite de Soya	0.0010	-	8.70	-	0.10	-	-	-	-	-	-	3.20	0.0010		Aceite de Soya
Premix	0.0005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.50	0.0005		Premix
sal	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.40	0.0020		sal
Fosfato bicalcico	0.0002	-	-	-	-	-	0.00	0.00	-	-	-	0.06	0.0002		Fosfato bicalcico
Cal	0.0002	-	-	-	-	-	0.01	0.00	-	-	-	0.04	0.0002		Cal
Vita C	0.0005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	12.50	0.0005		Vita C
TOTALES	1	28	3.200	5.78	2.31	24.22	0.56	0.35	1.56	0.44	0.018	2.081.8587			
EXIGENCIAS	1	28	3.200	6.00	4.00	25.00	1.05	0.70	1.95	1.02	0.025				

Apéndice C.

Formulación de la dieta al 32% de proteína y 3200 kcal/kg de energía.

Ingr / Nut	PESO	PB	ED	FB	EE	AMIDO	Ca	P Disp	Lis	Met	Vit C	Custo	LIMITES		
	(kg)	%	Kcal/kg	%	%	%	%	%	%	%	%	\$	Mínimo	Máximo	
Harina de Peces	0.0700	3.81	259.00	-	0.53	-	0.41	0.20	0.24	0.10	-	119.00		0.0700	
Harina de Soya	0.5245	23.77	1.798.90	2.84	0.87	6.49	0.13	0.09	1.45	0.34	-	1.678.27			
Avena	0.1723	1.71	413.53	2.21	-	-	0.01	0.02	0.07	0.03	-	206.77	0.0700		
Harina de trigo	0.1200	1.86	366.72	1.16	0.42	3.76	0.02	0.04	0.07	0.03	-	180.00	0.1200		
Harina de Maiz	0.0010	0.01	3.15	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.90	0.0010		
Arroz	0.1000	0.85	350.00	0.06	0.12	7.45	0.00	0.01	-	-	-	120.00	0.1000		
Aceite de Soya	0.0010	-	8.70	-	0.10	-	-	-	-	-	-	3.20	0.0010		
Premix	0.0005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.50	0.0005		
sal	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.40	0.0020		
Fosfato bicalcico	0.0002	-	-	-	-	-	0.00	0.00	-	-	-	0.06	0.0002		
Cal	0.0002	-	-	-	-	-	0.01	0.00	-	-	-	0.04	0.0002		
Vita C	0.0083	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.29	208.37	0.0005		
TOTALES	1	32	3.200	6.26	2.04	17.76	0.59	0.36	1.83	0.49	0.292	2.524.5081			
EXIGENCIAS	1	32	3.200	6.00	4.00	25.00	1.05	0.70	1.95	1.02	0.025				

Apéndice D.

Formulación de la dieta al 36% de proteína y 3200 kcal/kg de energía.

Ingr / Nut	PESO	PB	ED	FB	EE	AMIDO	Ca	P Disp	Lis	Met	Vit C	Custo	LIMITES	
	(kg)	%	Kcal/kg	%	%	%	%	%	%	%	%	\$	Mínimo	Máximo
Harina de Peces	0.5708	31.05	2.112.14	-	4.28	-	3.37	1.64	1.95	0.78	-	970.44		
Harina de Soya	0.0100	0.45	34.30	0.05	0.02	0.12	0.00	0.00	0.03	0.01	-	32.00	0.0100	
Avena	0.3405	3.37	817.20	4.36	-	-	0.03	0.03	0.13	0.05	-	408.60	0.0200	
Harina de trigo	0.0700	1.09	213.92	0.68	0.24	2.19	0.01	0.02	0.04	0.02	-	105.00	0.0700	
Harina de Maiz	0.0033	0.03	10.24	0.01	0.01	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	-	2.93	0.0000	
Arroz	0.0010	0.01	3.50	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	-	-	-	1.20	0.0010	
Aceite de Soya	0.0010	-	8.70	-	0.10	-	-	-	-	-	-	3.20	0.0010	
Premix	0.0005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.50	0.0005	
sal	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.40	0.0020	
Fosfato bicalcico	0.0002	-	-	-	-	-	0.00	0.00	-	-	-	0.06	0.0002	
Cal	0.0002	-	-	-	-	-	0.01	0.00	-	-	-	0.04	0.0002	
Vita C	0.0005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	12.50	0.0005	
TOTALES	1	36	3.200	5.09	4.65	2.60	3.42	1.70	2.15	0.86	0.018	1.543.8686		
EXIGENCIAS	1	36	3.200	6.00	4.00	25.00	1.05	0.70	1.95	1.02	0.025			