

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

**Utilización del grillo *Acheta domesticus* en la elaboración de
productos derivados de cereales: implicaciones nutricionales, funcionales y
tecnológicas**

Proyectos de investigación y desarrollo

Gabriela Tatiana Pilco Romero

**María Gabriela Vernaza Leoro, Ph.D.
Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Quito, mayo del 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**Utilización del grillo *Acheta domestica* en la elaboración de
productos derivados de cereales: implicaciones nutricionales, funcionales
y tecnológicas**

Gabriela Tatiana Pilco Romero

Lucía Ramírez, Ph.D.
Directora del programa de Maestría
en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Eduardo Alba Cabrera, Dr.
Decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería

Hugo Burgos, Ph.D.
Decano del Colegio de Posgrados-

Quito, mayo 2021

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Gabriela Tatiana Pilco Romero

00215111

0604080895

Quito, 6 de mayo del 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following graduation project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

DEDICATORIA

A mi querido José, sé que desde el cielo estas cuidando de mí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la fuerza y la sabiduría para alcanzar mis objetivos.

A mi familia, por su apoyo incondicional. A mis padres por ser siempre mi fuente de inspiración y fortaleza, a mis hermanos por su confianza y cariño.

A la USFQ y su excelente cuerpo docente, especialmente a Gabriela Vernaza y Lucía Ramírez, por creer en nosotros, los estudiantes, y motivarnos con su ejemplo a cada día ser mejores personas y profesionales.

A mis amigos de la maestría, por hacer más divertida esta travesía con sus ocurrencias, por los buenos y malos momentos compartidos y por ser simplemente geniales.

RESUMEN

Existen cerca de 2000 especies de insectos comestibles alrededor del mundo, siendo el grillo común (*Acheta domestica*) una de las más conocidas. Su consumo se impone como una alternativa emergente para cubrir la demanda alimenticia de una población mundial en constante crecimiento, pero que en comparación con la ganadería implica un menor impacto ambiental. No obstante, su utilización como ingrediente alimentario se ve limitada por la falta de información, por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es recopilar datos relativos a su producción, sus características nutricionales y tecnológicas, riesgos potenciales relacionados a su consumo, así como el efecto de su incorporación específicamente en productos derivados de cereales. Este insecto presenta una elevada cantidad y calidad proteica, contenido de ácidos grasos insaturados, minerales y fibra que en combinación con las propiedades funcionales de su proteína (solubilidad, capacidad emulsificante, de gelificación y de retención de agua) lo convierten en una materia prima interesante y prometedora. Su adición en diferentes porcentajes en pastas, productos horneados y extruidos permite mejorar su composición nutricional y modificar sus parámetros de calidad, textura, color, sabor y aroma, influenciando la aceptabilidad del consumidor.

Palabras clave: grillo común, composición nutricional, características funcionales, proteína, sustitución, aceptabilidad

ABSTRACT

There are about 2000 species of edible insects around the world, the house cricket (*Acheta domesticus*) being one of the best known. Its consumption is imposed as an emerging alternative to meet the food demand of a constantly growing world population, but which, compared to cattle raising implies a lower environmental impact. However, its use as a food ingredient is limited by the lack of information, therefore, the objective of this work is to collect data related to its production, its nutritional and technological characteristics, potential risks related to its consumption, as well as the effect of its incorporation specifically in cereal-based products. This insect presents a high quantity and quality protein, content of unsaturated fatty acids, minerals and that in combination with the functional properties of its protein (solubility, emulsifying capacity, gelling and water retention) make it an interesting and promising raw material. Its addition in different percentages in pasta, baked and extruded products allows to improve its nutritional composition and modify its parameters of quality, texture, color, flavor and aroma, influencing the acceptability of the consumer.

Key-words: House cricket, nutritional composition, functional characteristics, protein, substitution, acceptability

TABLA DE CONTENIDO

<i>RESUMEN</i> _____	7
<i>ABSTRACT</i> _____	8
<i>INTRODUCCIÓN</i> _____	11
<i>REVISIÓN DE LA LITERATURA</i> _____	13
Descripción general _____	13
Producción _____	13
Composición nutricional _____	15
Retos relacionados con el uso de insectos como alimento humano _____	21
Riesgo biológico. _____	22
Riesgo químico. _____	22
Alérgeno. _____	23
Propiedades funcionales de los derivados de grillo _____	23
Solubilidad. _____	25
Capacidad de retención de agua y de grasa. _____	26
Capacidad de formación de emulsiones y espumas. _____	27
Capacidad de formación de geles. _____	28
Propiedades derivadas de las grasas. _____	29
El grillo común como ingrediente alimentario _____	30
Productos horneados. _____	30
Pastas. _____	35
Productos extruidos. _____	36
<i>CONCLUSIONES</i> _____	38
<i>REFERENCIAS</i> _____	40

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i>	<i>Composición proximal del grillo <i>Acheta domesticus</i>, en base seca.</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2</i>	<i>Contenido de aminoácidos esenciales de <i>Acheta domesticus</i>.</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3</i>	<i>Composición de ácidos grasos del grillo <i>Acheta domesticus</i></i>	<i>18</i>
<i>Tabla 4</i>	<i>Contenido de minerales en <i>Acheta domesticus</i></i>	<i>19</i>
<i>Tabla 5</i>	<i>Principales vitaminas presentes en <i>Acheta domesticus</i></i>	<i>20</i>
<i>Tabla 6</i>	<i>Rendimiento de extracción y características de los concentrados proteicos</i>	<i>24</i>

INTRODUCCIÓN

Las perspectivas para el 2050 predicen un aumento constante de la población mundial lo que implica una mayor demanda en la producción alimenticia, pero a expensas de los ya explotados y casi exhaustos agro-ecosistemas disponibles y con una mayor presión sobre un medio ambiente profundamente afectado por los cambios climáticos (Berkelaar, 2017). En consecuencia, la producción tradicional de alimentos debe intensificarse en términos de eficiencia de recursos y ampliarse mediante el uso de fuentes alternativas. En este ámbito, la utilización de insectos se impone como una alternativa rentable, nutritiva, ecológicamente amigable y con implicaciones socioeconómicas.

Los insectos se encuentran prácticamente en todas partes, se reproducen de manera rápida y presentan tasas elevadas de crecimiento y conversión en piensos animales (Vantomme, 2013). Generalmente son recolectados de los bosques, sin embargo, varios países han empezado a innovar en sistemas de cría masiva de insectos que incluso utilizan flujo de residuos (principalmente alimenticios) por lo que su impacto ambiental es muy reducido. Por otro lado, en comparación con el ganado bovino y porcino, los insectos producen cantidades significativamente menores de gases de efecto invernadero y amonio, y su crianza implica un menor consumo de agua y ocupación de tierra. Como ejemplo, los grillos necesitan cantidades de alimentos seis veces menores que el ganado vacuno, cuatro veces menores que las ovejas y dos veces menores que los cerdos y gallinas para producir la misma cantidad de proteína (Berkelaar, 2017).

La entomofagia, definida como el consumo de insectos por parte del hombre, es una práctica ancestral y común en muchos países a nivel mundial como Tailandia, China, Japón, México, etc. De hecho, se estima que cerca de 2.000 millones de personas incorporan insectos

en sus dietas (Vantomme, 2013). Pueden ser consumidos crudos, enteros, en combinación con otros alimentos o incorporados en diferentes preparaciones. Arañas, escorpiones, grillos y larvas son algunas de las más de 1900 especies de insectos identificados como comestibles a escala mundial (Berkelaar, 2017).

Los insectos son considerados alimentos altamente nutritivos ya que aportan lípidos, vitaminas, minerales, fibra y proteína, aunque el valor nutricional varía en función de la especie, del estado metamórfico, su hábitat y su dieta. Por ejemplo, la composición de ácidos grasos omega 3 y 6 de los gusanos de la harina es comparable con el presente en el pescado e incluso superior a la correspondiente al cerdo y res, mientras que el contenido de proteínas, vitaminas y minerales es similar a la del pescado y de la res (FAO, 2013). Ya que su crianza involucra una baja inversión y uso de tecnología, ésta se ha convertido en una opción accesible incluso para los sectores más pobres de la sociedad otorgando oportunidades de subsistencia en las zonas urbanas y rurales (Govorushko, 2019).

No obstante, su utilización como ingrediente alimentario se ve limitada por la falta de información, por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es recopilar datos relativos a su producción, sus características nutricionales y tecnológicas, riesgos potenciales relacionados a su consumo, así como el efecto de su incorporación específicamente en productos derivados de cereales.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Descripción general

Conocido típicamente como grillo doméstico o común, *Acheta domestica* es un insecto perteneciente a la superclase Hexápodos, orden Ortóptero. Su ciclo de vida se extiende de 30 a 50 días, siendo su tiempo óptimo de consumo entre el día 40, cuando alcanzan su adultez (Fernandez-Cassi et al., 2019). Presentan un tamaño mediano a grande, su cuerpo es robusto y se divide en 3 partes diferenciables: cabeza, tórax, abdomen. Se caracterizan por presentar patas posteriores alargadas y adaptadas al salto, así como alas membranosas, endurecidas (tegmina) y plegables. Poseen antenas alargadas, un par de ojos laterales grandes y estructuras masticadoras (Padilla&Cuesta, 2003).

Producción

Alrededor del mundo, el 92% de los insectos comestibles son recolectados de la naturaleza, mientras que solo una pequeña cantidad es obtenida mediante crianza intencional. Este hecho constituye un asunto de preocupación ya que, la calidad e inocuidad de los insectos silvestres no pueden ser garantizadas y porque su recolección directa puede causar la extinción de especies. Por otro lado, no todas las especies de insectos pueden ser criados completamente en condiciones artificiales, además, la propagación de patógenos en poblaciones cautivas constituye un problema a considerar (Baiano, 2020). En este aspecto, el grillo *Acheta domestica* es considerado una especie completamente domesticada cuya crianza es simple y no requiere de implementos caros.

Existen dos modelos principales para su crianza, el primero, el modelo tailandés basado en micro granjas donde se producen grillos como materia prima, sin tratamiento

posterior adicional; y, el segundo, el modelo occidental, que implica granjas extensas y especializadas que a partir de los grillos generan productos derivados, principalmente harina (Reverberi, 2020). En ambos modelos los grillos son criados en cautiverio, aislados de sus poblaciones naturales, donde sus condiciones de desarrollo, dieta y calidad de alimentos son controladas. En consecuencia, su desarrollo es más productivo, aunque puede conllevar a desviaciones genéticas debidas a la depresión endogámica, deriva genética, efecto de adaptación al laboratorio, efecto fundador (nuevas generaciones no se asemejan a las poblaciones silvestres), entre otros (Govorushko, 2019). Los grillos son criados en cajas alargadas (de hasta 60cm de profundidad, 160cm de largo y 100cm de ancho) que contienen diversos materiales para aumentar la superficie disponible. Estas unidades de crianza deben incorporar sistemas de provisión de agua que eviten fugas que puedan amenazar la vida de los grillos. El alimento es proporcionado en bandejas poco profundas colocadas sobre el material de relleno al interior de las cajas. Existe disponible en el mercado piensos para grillos, pero generalmente las granjas elaboran sus propias mezclas de alimento cuidando que su composición sea de aproximadamente 20-30% de proteína, 32-47% de carbohidratos y de 3,2 a 5,2% de lípidos para asegurar un óptimo desarrollo de *A. domesticus*, El rango óptimo de temperatura para su crecimiento es de 32-35°C. No existe un valor óptimo de humedad relativa, pero productores de grillos han reportado rango de 33-45% como adecuado (Cortes Ortiz et al., 2016).

Los grillos adultos son transferidos a nuevas unidades para su reproducción, donde se adecúan espacios (generalmente bandejas) poco profundos con un sustrato húmedo, para que las hembras puedan ovopositar. Cáscara de coco, arena, algodón y vermiculita son ejemplos de sustratos usados. Los huevos depositados tardan entre 10-14 días en desarrollarse

y cuando se acerca el momento de la eclosión, las bandejas son retiradas y colocadas en nuevas unidades de crianza. Una vez que la capacidad reproductiva de las hembras declina, los grillos adultos son cosechados (Cortes Ortiz et al., 2016).

Previo a su consumo, los insectos son matados por diferentes técnicas: liofilización, secado al sol, hervido, etc. Una vez muertos, pueden ser ingeridos crudos, fritos, tostados, cocidos, etc. (Baiano, 2020). Por otro lado, el proceso de secado y molienda de los grillos es la primera fase para su conversión en ingredientes fácilmente incorporables en una gran variedad de productos (snacks, pan, pasta, etc.), mejorando su aceptación por el consumidor principalmente en países donde su consumo directo no es tradicional (Baiano, 2020; Castro Delgado et al. 2020; Roma et al. 2020).

Actualmente, la harina del grillo es incorporada en alimentos con bajo contenido proteico para mejorar su calidad nutricional, sin embargo, también es posible incorporar compuestos específicos extraídos de los insectos como proteína, grasas, quitina, etc. (Govorushko, 2019).

Composición nutricional

La composición proximal de los insectos puede variar en una misma especie en función de diversos factores como: etapa de desarrollo, sustrato utilizado en la alimentación, origen, o incluso por el método de medición (Rumpold & Schlüter, 2013a). En términos generales, el grillo *A. domesticus* se caracteriza por su alto contenido de proteína, su significativo aporte de lípidos, vitaminas y minerales (de Castro et al., 2018; Nadeau et al., 2015). De hecho, su aporte nutricional es significativamente superior al correspondiente a la especie de grillo *Gryllus bimaculatus* (Udomsil et al., 2019). La Tabla 1 expone la

composición proximal del grillo *Acheta domesticus* en estado adulto, recopilado por varios autores.

Tabla 1

Composición proximal del grillo Acheta domesticus, en base seca.

Parámetro	Cantidad (%)
Proteína	64,38 – 72,0
Grasa	18.55 – 22.80
Cenizas	3.57 – 5.10
Fibra	4,4 – 4,8
Carbohidratos	1,6

(Brogan, 2018; Rumpold & Schlüter, 2013b; Udomsil et al., 2019)

El grillo *Acheta domesticus* así como otros miembros del orden Orthoptera (saltamontes, langostas, etc.) son particularmente ricos en proteínas y constituyen una fuente alternativa valiosa a la proteína animal y vegetal (Rumpold & Schlüter, 2013a). De hecho, su contenido de proteína es superior al chocho (45,6%) y al de la soya (49,2%) (Piornos et al., 2015) y, tomando en cuenta los requerimientos de la WHO/FAO (2007), puede ser considerado como un alimento alto en proteína.

La calidad proteica de la harina de grillo está determinada por su composición de aminoácidos y digestibilidad (Belluco et al., 2013) y para su evaluación ensayos de alimentación en ratas han sido utilizados. De acuerdo con Finke et al. (1989), las harinas obtenidas de *A. domesticus* y de *Anabrus simplex* son iguales o superiores a la harina de soya como fuente de aminoácidos. La Tabla 2 presenta la composición de aminoácidos esenciales del grillo *A. domesticus*.

Tabla 2

Contenido de aminoácidos esenciales de Acheta domesticus.

Aminoácido	Contenido (mg/g proteína)	RDI* (mg/kg peso / día)
Histidina	22,7 – 23,4	14
Isoleucina	36,4 – 45,9	19
Leucina	66,7 - 100	42
Lisina	51,1 – 55,7	38
Metionina + cisteína	22,9 – 29,3	19
Fenilalanina + tirosina	74,2 – 80,5	33
Treonina	31,1 – 36,1	20
Triptófano	6,3 – 7,6t	5
Valina	48,4 – 52,2	24

*Requerimiento medio estimado (Rumpold & Schlüter, 2013b; Hou & Wu, 2018).

El grillo contiene todos los aminoácidos esenciales en cantidades suficientes para cubrir las necesidades diarias de ingesta. No obstante, como se ha mencionado, diferentes factores influyen sobre la composición nutricional, razón por la que existe discrepancia entre los valores reportados por diferentes autores.

La grasa constituye el segundo componente mayoritario del grillo *A. domesticus*, sin embargo, su porcentaje es bajo en comparación con el correspondiente al de otros insectos como la oruga *Phassus triangularis* (77,00-77,13%) o la avispa *Polistes instabilis* (62,00%) (Rumpold & Schlüter, 2013a). La Tabla 3 detalla los principales ácidos grasos encontrados en el grillo común.

Tabla 3*Composición de ácidos grasos del grillo Acheta domesticus*

Ácido graso	Contenido (g/100g)
Ácido palmítico (16:0)	23,10
Ácido esteárico (18:0)	9,96
Ácido oleico (18:1)	22,02
Ácido linoleico (18:2)	35,19
Ácido linolénico (18:3)	0,61
SFA/(MUFA+PUFA))	0,56

(Brogan, 2018; Rumpold & Schlüter, 2013b)

En términos generales, la cantidad de ácidos grasos insaturados del grillo *A. domesticus* es superior a la correspondiente a los ácidos saturados (SFA, por sus siglas en inglés). De esta proporción, la mayor parte son ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), mientras que su contenido de mono insaturados es menor (Ghosh et al., 2017; Tzompa-Sosa et al., 2014; Rumpold & Schlüter, 2013a). Sin embargo, Udomsil et al. (2019) determinaron que los ácidos grasos saturados son los componentes mayoritarios, seguidos por los mono insaturados y los poliinsaturados en menor proporción. Esto puede deberse a que el perfil de ácidos grasos es dependiente de elementos como la alimentación, factores ambientales, etc., o incluso por el método de extracción utilizado (Tzompa-Sosa et al., 2014; Ghosh et al., 2017).

Otro de los componentes importantes de la fracción lipídica es el colesterol, que para el caso del grillo común se ha reportado como 105mg/100g base húmeda, valor que resulta ser inferior a la cantidad aportada por el huevo de gallina 372 mg/100g, no obstante, en comparación con otros insectos esta cantidad de colesterol es mayor (Rumpold & Schlüter, 2013a). De forma general, el contenido de minerales en los insectos comestibles varía

significativamente por factores como la alimentación, estación del año, lugar de origen, etc. (Montowska et al., 2019; Mark D. Finke, 2002). En la Tabla 4, se presenta el contenido de los minerales más representativos encontrados en el grillo *A. domesticus* y sus valores de ingesta recomendados.

Tabla 4

Contenido de minerales en Acheta domesticus

Minerales	Contenido (mg/100g)	RDA* (mg)
Calcio (Ca)	139 – 218	1000
Potasio (K)	826 – 1224	4700
Magnesio (Mg)	86 – 113	320
Sodio (Na)	283 – 312	1500
Cobre (Cu)	2,33 – 4,51	0,9
Hierro (Fe)	4,06 – 5,99	18
Manganeso (Mn)	4,10 – 12,5	1,8
Zinc (Zn)	12,8 – 21,8	8

*Valores recomendados de ingesta diaria para adultos sanos. (Montowska et al., 2019)

El grillo *A. domesticus* contiene cantidades significativas de minerales necesarios para mantener una dieta saludable, incluso sobrepasando para el caso del Cu, Mn y Zn los valores de RDA (Montowska et al., 2019; Udomsil et al., 2019; Rumpold & Schlüter, 2013a). De hecho, el contenido de ciertos minerales en el grillo es superior al presente en varios cereales y leguminosas como la quinua (Zn: 4,4mg/100g; Cu: 5,1mg/100g), el trigo (Fe: 3,8mg/100g; Zn: 4,7mg/100g; Cu: 0,7mg/100g), el maíz (Fe: 2,1mg/100g; Zn: 2,9mg/100g) (Koziol, 1992) pero sin presentar el inconveniente de compuestos antinutricionales como fitatos, saponinas, etc. (Lazarte et al., 2015).

Pese a que, como se ha mencionado, la cantidad de minerales presentes en el grillo es relevante, existe poca información sobre su biodisponibilidad y las formas químicas en las que se presentan. Conforme crece la tendencia de su incorporación en productos alimenticios procesados, se vuelve más evidente la necesidad de evaluar los efectos de las matrices alimentarias, las posibles interacciones entre inhibidores y potenciadores de la absorción, tamaño de partícula del alimento, su forma de preparación, etc., (Latunde-Dada et al., 2016) sobre la biodisponibilidad de sus componentes en general.

La deficiencia de micronutrientes es uno de los principales problemas nutricionales en países en desarrollo. Particularmente las deficiencias de zinc y hierro perjudican al sistema inmunológico comprometiendo la resistencia del organismo a infecciones y enfermedades (Lazarte et al., 2015). Por lo tanto, una adecuada ingesta de micronutrientes es esencial para asegurar un crecimiento y desarrollo óptimos, mantener una adecuada función cognitiva así como un estado nutricional saludable (Miller, 2006). El contenido de las principales vitaminas encontradas en el grillo *A. domesticus* se expone en la tabla 5.

Tabla 5

Principales vitaminas presentes en Acheta domesticus

Vitaminas	Contenido	RDA*
Retinol ($\mu\text{g}/100\text{ml}$)	24,33	-
α – tocoferol (IU/kg)	63,96 – 81,00	30 IU
Ácido ascórbico (mg/100g)	9,74	60 mg
Tiamina (mg/100g)	0,13	1,5 mg
Riboflavina (mg/100g)	11,07	1,7 mg
Niacina (mg/100g)	12,59	10 mg

Ácido pantoténico (mg/100g)	7,47	10 mg
Biotina (µg/100g)	55,19	300 µg
Ácido fólico (µg/100g)	490	400 µg

*Valores recomendados de ingesta diaria para adultos sanos (Rumpold & Schlüter, 2013b).

La quitina es el principal componente del exoesqueleto de la mayoría de insectos y es considerada como su mayor fuente de fibra pero, presenta propiedades antinutricionales ya que reduce la digestibilidad de las proteínas (Baiano, 2020; Belluco et al., 2013). Adicionalmente, la quitina es considerada como indigerible, sin embargo, se ha demostrado que los seres humanos son capaces de digerirla en pequeñas cantidades debido a la acción de enzimas quitinolíticas producidas por bacterias del tracto gastrointestinal (Rumpold & Schlüter, 2013a). Actualmente, la remoción de la quitina es utilizada para mejorar la calidad proteica de los insectos, y esta fracción de fibra extraída se ha utilizado para remplazar la fibra vegetal en diferentes formulaciones alimenticias, conllevando a una reducción en la carga glicémica (Belluco et al., 2013). De hecho, existe creciente interés sobre las propiedades fisicoquímicas de la fracción de quitina y su posible aplicación industrial como emulsificante (Hirsch et al., 2019). No obstante, más estudios en este aspecto son requeridos.

Retos relacionados con el uso de insectos como alimento humano

La utilización de insectos como fuente de alimento presenta muchas ventajas, sin embargo, no todos los insectos son aptos para el consumo lo cual implica un riesgo para la inocuidad alimentaria. En países en desarrollo poco o nada de información relacionada se encuentra disponible y no existe una legislación específica, lo que constituye una barrera para la promoción de la crianza y consumo de insectos. Su incorporación en dietas humanas debe

considerar riesgos microbiológicos, físicos, químicos, alérgicos, parasitarios y toxicológicos que dependen y varían según el tipo de insecto, su forma de obtención (crianza intencional o natural), estado fisiológico, condiciones de crecimiento (principalmente el sustrato usado, etc.) e incluso su forma de preparación (Govorushko, 2019; Imathiu, 2019). Es por tanto que una producción controlada se propone como la mejor manera de reducir al mínimo el riesgo y asegurar un estado de inocuidad. Para el grillo común, los riesgos identificados son:

Riesgo biológico.

Presenta mayor importancia en insectos que se consumen crudos. De hecho, se han reportado densidades de bacterias aerobias mesófilas elevadas, superiores a 10^7 ufc/g de grillo crudo. Esta realidad refleja la necesidad de incorporar procesos eficientes para reducir la carga bacteriana en la elaboración de alimentos derivados. Adicionalmente, factores antropogénicos durante la crianza, cocción, envasado o el propio consumo pueden generar contaminación cruzada (Fernandez-Cassi et al., 2019). No obstante, la falta de normativa específica sobre los requisitos para insectos y sus productos derivados impide un control y monitoreo adecuado limitando su comercialización.

Riesgo químico.

Relacionado específicamente con la presencia de metales pesados, como cadmio, plomo y mercurio, cuya relevancia radica en la posibilidad de bioacumulación y bioconjugación en insectos. Existe poca información disponible sobre este aspecto, sin embargo, se conoce que mediante el control de las prácticas de crianza de insectos es posible reducir y eliminar su exposición a estos metales, limitando y anulando su posible

bioacumulación (Fernandez-Cassi et al., 2019). Toxinas y compuestos antinutricionales pueden ser encontrados en insectos, sin embargo, ninguno de éstos ha sido reportado en el grillo común.

Alérgeno.

Los insectos pueden causar reacciones alérgicas ya sea por contacto, inhalación o consumo. Sin embargo, una reacción alérgica a un tipo de insecto no necesariamente implica sensibilidad a todos (Baiano, 2020). Para insectos como los saltamontes y el gusano de seda, se ha evidenciado que exposiciones ambientales a sus antígeno a largo plazo (caso de criadores de insectos) puede generar sensibilización respiratoria (Pener, 2014; Baiano, 2020). Pese a que no se ha identificado ningún alérgeno específico en los grillos comunes, cada año se reportan casos de reacciones alérgicas por su consumo, llegando incluso a convertirse en la cuarta causa más común de alergias alimentarias en China entre los años de 1980 a 2007 (Feng et al., 2018). Sin embargo, estudios recientes han sugerido la reactividad cruzada de alérgenos entre grillos y artrópodos. Como medida de control, se ha sugerido la incorporación de la etiqueta de “posible alérgeno” en productos derivados de los grillos comunes.

Propiedades funcionales de los derivados de grillo

La utilización del grillo en la producción de alimentos depende de la funcionalidad de sus macronutrientes, especialmente de la proteína, que es su componente mayoritario. La solubilidad, la capacidad emulsificante, de formación de espuma, de gelificación, de retención de agua, constituyen las propiedades funcionales más relevantes de la proteína de grillo, pero que pueden variar dependiendo de su estructura, tamaño, composición de aminoácidos y método de extracción. Adicionalmente, al incorporarse en matrices

alimentarias (definidas como sistemas complejos de características variables) estas proteínas pueden interactuar con otros componentes y por ende modificar sus propiedades funcionales (Gravel & Doyen, 2020; Foegeding & Davis, 2011).

El proceso de extracción de proteínas a partir de insectos modifica sus propiedades tecnológicas funcionales, calidad y composición de aminoácidos debido, posiblemente, al incremento en su concentración y al cambio en su solubilidad. Existen diferentes métodos que se utilizan con este fin como la sonicación, centrifugación, hidrólisis enzimática, extracción con solventes (agua, hexano, etanol, metanol, etc.), entre otros, siendo el último el más común (Kim et al., 2020). Cada solvente de extracción define la eficiencia del proceso y las características del concentrado obtenido. Ndiritu et al. (2017) evaluaron el rendimiento del proceso de obtención de concentrados proteicos mediante la extracción con hexano y agua a partir de grillo seco y molido, así como las principales características de los mismos, resultados que se exponen en la Tabla 6. Según este estudio, la extracción con hexano genera una mayor cantidad de concentrado, que a su vez contiene la cantidad más alta de proteína cruda. Sin embargo, la digestibilidad de los tres concentrados generados no difiere significativamente.

Tabla 6

Rendimiento de extracción y características de los concentrados proteicos

Concentrado proteico	Rendimiento (%)	Proteína (%)	Digestibilidad (%)
Obtenido de la extracción con hexano	66,35 ± 0,87 ^c	72,63 ± 0,83 ^c	84,23 ± 0,73 ^a

Precipitado de la extracción acuosa	32,72 ± 1,34 ^a	66,66 ± 0,82 ^{ab}	85,28 ± 0,20 ^a
Residuo de la extracción acuosa	48,32 ± 0,92 ^b	65,79 ± 1,30 ^b	84,70 ± 0,23 ^a

Promedios identificados con diferente superíndice difieren significativamente a $p < 0,05$ (Ndiritu et al., 2017)

Las leguminosas constituyen una fuente importante de proteína de calidad para la dieta, siendo la soya la más producida a nivel mundial (Semba et al., 2021). El contenido de proteína cruda del concentrado de soya se ha reportado entre 62-67%, valor equiparable con el correspondiente a los concentrados obtenidos a partir de grillo. Por lo tanto, y sumado a su elevada digestibilidad, la proteína de grillo constituye una adecuada alternativa como suplemento de la proteína de soya en la industria alimentaria (Kim et al., 2016).

Solubilidad.

Factores extrínsecos como la fuerza iónica, pH o temperatura del medio pueden afectar las propiedades de los aminoácidos de superficie expuesta y la carga superficial de las proteínas, limitando su solubilidad (Sathe et al., 2018). Según Ndiritu et al., (2019), la solubilidad de los concentrados proteicos de grillo decrecen en valores de pH de 2 a 8, mientras que presentan una mayor solubilidad a pH 12, siendo de un 19,46% para el residuo obtenido por extracción en fase acuosa y de 10,42% para el obtenido por extracción con hexano. Esto se debe a que mientras más alejado esté el pH del punto isoeléctrico, la carga proteica aumenta y por ende también la solubilidad. Adicionalmente, a valores altos de pH la estructura proteica comienza a fragmentarse en pequeños péptidos, exponiendo sus grupos ionizables y favoreciendo la hidratación de la molécula (Purschke et al., 2018). Por otro lado, la presencia de sales residuales disueltas y de minerales en el medio puede mejorar la

solubilidad proteica (Ebert et al., 2020), sin embargo, cuando la fuerza iónica es alta, la solubilidad decrece debido a que existe una competición por las moléculas de agua libres (Sathe et al., 2018).

Capacidad de retención de agua y de grasa.

Constituyen importantes propiedades de las proteínas ya que intervienen en el desarrollo de la palatabilidad, textura, sensación en boca, retención de sabor, etc. en el producto terminado. La capacidad de retención de agua (WHC, por sus siglas en inglés) permite a las matrices proteicas absorber y retener agua contra la gravedad, propiedad deseada para la elaboración de productos cárnicos procesados y horneados. La capacidad de retención de grasa (OHC) reduce su separación al formar emulsiones, disminuyendo así las pérdidas durante la cocción, que constituye uno de los mayores problemas en la elaboración de productos cárnicos procesados (González-Pérez & Arellano, 2009).

La capacidad de retención de agua y grasa para los concentrados proteicos de *Acheta domesticus* varían entre valores de 2,0-2,7g/g y 3,37-3,53g/g respectivamente, sin existir diferencia significativa por el método de extracción usado (Ndiritu et al., 2017). Este valor de WHC es significativamente menor a los determinados por Zielińska et al., (2018) para los preparados proteicos del gusano *Tenebrio molitor* (3.95 g/g) y del grillo *Gryllodes sigillatus* (3,44 g/g), sin embargo, el valor de OHC si es superior a los de éstos (2,74g/g y 3,3 g/g, respectivamente). Este mismo comportamiento es observado al comparar el concentrado proteico de *A. domesticus* con el asilado proteico de soya (WHC 4,47g/g y OHC 1,54g/g) (Zielińska et al., 2018), no obstante, presenta valores mucho más altos a los correspondientes al asilado de chocho (WHC 1,68g/g, y OHC 1,43g/g) (Piornos et al., 2015).

Diversos factores pueden influir sobre la WHC, como el pH y la fuerza iónica. No se evidencia un cambio significativo en esta propiedad con concentraciones de NaCl entre 0-4%, sin embargo, existe un decline conforme ésta aumenta hasta valores de 12%NaCl. Por el contrario, la mayor WHC se observa con pH de 12, siendo los valores más bajos a pH de 4 (Ndiritu et al., 2019).

Capacidad de formación de emulsiones y espumas.

Las espumas y emulsiones son sistemas coloidales en los que una fase (aire para espumas y grasa para emulsiones O/W) es dispersada en otra. Para su formación y estabilización es indispensable la adsorción de proteínas en la interface aire/agua y grasa/agua y la subsecuente reducción de la tensión superficial (González-Pérez & Arellano, 2009). Factores como la hidrofobicidad de la superficie, la ubicación de los residuos de aminoácidos hidrófobos en la superficie proteica, presencia de aniones, cationes, lípidos, carbohidratos, etc. afectan la formación de estos sistemas (Zielińska et al., 2018).

El sobrenadante proteico obtenido por extracción ácido-acuosa del grillo *A. domesticus* no presenta capacidad de formación de espumas estables a una concentración de 3%p/V a pH entre 3-10, característica que comparte con otras especies de insectos como: *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*, *Alphitobius diaperinus* y *Blaptica dubia* a estas mismas condiciones, según Yi et al. (2013). No obstante, Ndiritu et al. (2017) ha reportado la capacidad de formación de espumas para los concentrados obtenidos por extracción acuosa de *A. domesticus* a una concentración de 9%p/v como 6,39-11,11%, y de 1,42% para el extracto obtenido con hexano. Por lo tanto, el método de extracción usado influye significativamente en esta propiedad. Adicionalmente, se ha demostrado que el pH y la fuerza iónica también constituyen factores decisivos, ya que un pH de 4 y una concentración de

NaCl de 6% permiten obtener los valores más altos de capacidad de formación de espuma (Ndiritu et al., 2019). Sin embargo, estos valores son muy inferiores a los correspondientes de agentes espumantes utilizados en la industria alimentaria (aislado proteico de soya 235,0%, aislado proteico de chocho 89,29%) (Zielińska et al., 2018), por tanto, los concentrados proteicos de *A. domesticus* no presentan aplicabilidad como agentes espumantes.

La capacidad de formación de emulsiones varía dependiendo del método de extracción usado, para *A. domesticus*, el extracto proteico acuoso presentó una capacidad de formación de emulsiones de 35,53-41,70%, mientras que la extracción con hexanos generó un dato de 26,84% (Ndiritu et al., 2017). Estos valores son inferiores a los correspondientes de los concentrados proteicos de las especies de insectos *Tenebrio molitor*, *Grylloides sigillatus* y *Schistocerca gregaria* (66,6%, 72,62% y 67,78% respectivamente), sin embargo, son superiores a los valores de capacidad de formación de emulsiones reportados para la soya (18,00%) y su aislado proteico (25,00%) (Zielińska et al., 2018), por lo que pueden ser utilizados como emulsificantes alternativos en diferentes formulaciones alimentarias.

Capacidad de formación de geles.

La capacidad de formación de geles es una propiedad fundamental para la elaboración de productos como pudines, gelatinas, postres y productos cárnicos procesados. Según Yi et al. (2013) es posible formar geles con el sobrenadante obtenido por extracción acuosa de *A. domesticus* a una concentración del 3% p/v a pH 7 mientras que a un pH de 5 solo se forman agregados. Por otro lado, a una concentración de 30% p/v se forman geles fuertes a pH de 7-10, mientras que a pH de 5 son débiles. Esto puede deberse a que mientras más cercano el pH al punto isoeléctrico (alrededor de 5), las interacciones electroestáticas entre las proteínas se

vuelven más débiles, lo que, después de la desnaturalización, conduce a la formación de agregados densos. Por lo tanto, para formar geles firmes a este pH se requieren concentraciones mucho más elevadas de proteínas. Ndiritu et al. (2019) evaluaron el efecto de la fuerza iónica del medio en la capacidad de formación de geles en los extractos proteicos de *A. domesticus*, y determinaron que es posible formar geles a una concentración de 30% a concentraciones de NaCl de 2-12% y con valores de pH de 4-12. No obstante, si el extracto se obtiene mediante extracción con hexano, se forman geles débiles o fluidos viscosos a valores de pH de 6 y 12.

Propiedades derivadas de las grasas.

Pese a que los insectos son considerados principalmente una fuente de proteína, en la actualidad se extraen de ellos aceites y grasas que pueden ser usados para mejorar la textura, sabor o la digestibilidad de ciertos alimentos o incluso como sucedáneos de las grasas convencionales (Ghosh et al., 2017). No obstante, estos compuestos en su forma cruda mantienen los aromas y sabores característicos de su fuente de extracción, siendo muchas veces demasiado fuertes o desagradables, limitando de esta manera su incorporación (Delicato et al., 2020). Por otro lado, Delicato et al. (2020) demostraron que es posible incorporar grasas desodorizadas de insectos en productos tradicionales y conocidos de panadería (galletas, pasteles y waffles) manteniendo su sabor característico y por ende sin modificar el nivel de agrado o preferencia del consumidor, imponiéndose así la desodorización como una alternativa recomendable para la utilización de este tipo de grasas en proporciones cada vez mayores.

Adicionalmente, las grasas influyen en la estabilidad durante el almacenamiento de harinas y productos derivados, específicamente permiten contrarrestar el efecto del

envejecimiento del pan. Por otro lado, debido a su capacidad de incorporar líquidos y burbujas de aire, mediante la formación de emulsiones, otorga a los productos horneados una textura suave y aumenta su volumen (González et al., 2019).

El grillo común como ingrediente alimentario

Como se ha mencionado, *A. domesticus* puede ser considerado una fuente alternativa de proteína aplicable en la industria alimentaria ya que presenta propiedades funcionales similares a las correspondientes a proteínas convencionales. No obstante, la funcionalidad de la proteína del grillo al ser incorporada en matrices alimentarias necesita aun ser documentada y evaluada para su posible incorporación a escala industrial, manteniendo un compromiso entre rentabilidad, sostenibilidad, calidad, inocuidad y sabor (Gravel & Doyen, 2020).

Productos horneados.

Se ha utilizado harina de grillo *A. domesticus* en diferentes proporciones para la elaboración de masas y panes. González et al. (2019) evaluaron el efecto de la sustitución del 5% de harina de trigo por harina de grillo, observando que, durante el mezclado, la masa presentó una ligera reducción en la capacidad de absorción de agua (58,20%) en comparación con la masa control obtenida solamente con trigo (58,80%). Esta diferencia puede relacionarse con la composición de aminoácidos de la harina de grillo y con la reducción en el contenido de almidón en la masa. En cambio, su tiempo de desarrollo y estabilidad se vieron incrementados en comparación con el control (1,25 y 4,00 veces superior, respectivamente), lo cual sugiere la obtención de masas más fuertes. Entre los panes obtenidos con y sin sustitución no existió diferencia significativa en el volumen específico y

en la textura (dureza, elasticidad, cohesión, masticabilidad y resiliencia). Sin embargo, el color de la miga presentó diferentes tonalidades marrones y una disminución notable de la luminosidad. Con respecto a la composición nutricional, la incorporación de harina de grillo permitió un incremento en el contenido de proteína, fibra, grasa y ceniza (3,5, 15,6, 27,6 y 5,7 veces mayor, respectivamente) y una disminución en el contenido de carbohidratos (40,9 veces menor). Por otro lado, Osimani et al. (2018) estudiaron el efecto del enriquecimiento de panes con harina de grillo en concentraciones de 10% y 30%, donde evidenciaron que no existe diferencia significativa en la consistencia (507 – 518 BU) y, en contraste con lo determinado por González et al. (2019), tampoco en la capacidad de absorción de agua (59,3% - 61.7%) entre la masa control y las enriquecidas en 10% y 30%. No obstante, las propiedades visco elásticas y de mezclado si presentaron divergencias significativas. La masa elaborada con un 30% de adición presentó mayores valores de tiempo de elaboración, valor P/L e índice de tolerancia (siendo estos respectivamente 4,3, 6,8 y 1,7 veces mayor al control), en cambio, los valores del falling number, viscosidad y tenacidad media fueron más bajos en comparación al control (0,40; 0,36 y 0,30 veces menor, respectivamente) y a la masa con 10% de enriquecimiento. El desarrollo de estas características en la masa se relaciona con la menor cantidad de gluten formado y la dificultad de formación de su red durante el mezclado. Una vez horneados, los panes obtenidos con la mayor adición de harina de grillo (30%) presentaron el menor volumen específico (0,95 en relación al control) y la mayor dureza (3,2 veces superior). Adicionalmente, mediante el uso de una prueba hedónica de 9 puntos se determinó que la adición de harina de grillo si ejerce un efecto negativo en el nivel de agrado, obteniéndose valores bajos para el pan con 30% de adición (2,5) y valores medios para el correspondiente al 10% (4,4). Adicionalmente, en comparación con los panes hechos solamente con harina de trigo, los que incorporan harina de grillo presentaron un mayor perfil

nutricional debido a la composición de ácidos grasos (en especial PUFA's), al mayor contenido de proteínas y proporción de aminoácidos esenciales (especialmente la elevada proporción de lisina, tirosina, valina y metionina).

Cappelli et al. (2020) evaluaron las propiedades reológicas y nutricionales de masas de pan obtenidas con 5%, 10% y 15% de sustitución de harina de trigo por harinas de los insectos *Acheta domesticus* y *Tenebrio molitor* demostrando que en comparación con masas control (100% harina de trigo) su utilización mejora las características nutricionales, principalmente por el incremento de proteína. Además, evidenciaron que las propiedades reológicas y tecnológicas desarrolladas fueron mejores al utilizar grillo en comparación con el gusano, lo cual se relaciona con la diferente composición de las harinas, especialmente por el perfil de aminoácidos y la mayor proporción de grasa en la harina de *T. molitor*. Con respecto a la capacidad de absorción de agua, la masa incorporada con harina de gusano presentó valores menores (53,0%-51,7%) que el control (53,4%), mientras que la harina de grillo generó valores mayores (54,3%-55,1%), lo cual concuerda con lo publicado por Osimani et al. (2018). Adicionalmente se evidenció que el tipo de harina afecta significativamente el tiempo de desarrollo de la masa, pero este no depende del porcentaje de sustitución. Con relación a su estabilidad, no existió diferencia significativa entre el control y los diferentes tratamientos. En relación al valor P/L, éste incrementa en función del porcentaje de sustitución, alcanzando valores de 2,19 para *T. molitor* y 1,90 para *A. domesticus*, ambos con 15% de sustitución, mientras que el valor del control fue de 0,87. Se observó que el volumen de pan obtenido decrece conforme aumenta la sustitución con harina de los dos insectos, lo cual se relaciona con la reducción en la extensibilidad de la masa y el debilitamiento de la red de gluten.

Por otro lado, Pauter et al. (2018) evidenciaron que la sustitución de harina de trigo por harina de grillo en cantidades de 2%, 5% y 10% para la elaboración de muffins tiene un efecto significativo en su textura, tanto la dureza como la masticabilidad disminuyen conforme aumenta dicha concentración, mientras que la elasticidad y resiliencia solo se reducen con la concentración más alta. Estas características pueden deberse a que en los productos de panificación la dureza se relaciona principalmente con el contenido de amilosa y amilopectina que en este caso se ven reducidos al incorporar la harina de grillo. Cambios relativos al valor nutricional fueron observados ya que en los muffins con un 10% de sustitución existió un incremento significativo en la cantidad de proteína (5%), grasa (2%) y ceniza (0,1%) y una reducción en el contenido de carbohidratos (10%) en relación con el muffin control. Para la evaluación sensorial se realizó una prueba hedónica de 9 puntos, según la cual Pauter et al. (2018) concluyeron que la sustitución con harina de grillo generó cambios significativos en la apariencia y el color de los muffins, siendo definidos como no atractivos, así como la percepción de un sabor determinado como desagradable, no obstante, la apreciación de la textura y el sabor fue superior a la del control.

Un comportamiento similar fue observado por Castro Delgado et al. (2020) quienes evaluaron el nivel de agrado de galletas de chocolate con 15% y 30% de sustitución con harina de grillos en tres países diferentes. Según ese estudio, en España y México, las galletas con 15% de sustitución presentaron un nivel de agrado general superior al de la galleta control, mientras que, en EEUU, el nivel de agrado fue determinado como igual. En cambio, solamente en México la galleta con la sustitución de 30% presentó un nivel de agrado similar al del control, ya que en los otros países fue definido como inferior.

En términos generales la incorporación de harina de grillo en la formulación de productos horneados permite mejorar su perfil nutricional, al disminuir el contenido de carbohidratos, aumentar la cantidad y calidad proteica, de ácidos grasos, de fibra y de minerales, en comparación con las formulaciones tradicionales basadas completamente en la utilización de harina de trigo (González et al. 2019; Osimani et al. 2018; Pauter et al. 2018). De hecho, la limitada cantidad de aminoácidos esenciales, especialmente lisina, es uno de los mayores inconvenientes en la utilización del trigo, lo cual es compensado con la adición de harina de grillo. Adicionalmente, al ser considerada como una materia prima libre de gluten la harina de grillo puede ser incorporado en formulaciones alimenticias para personas con enfermedad celíaca. Para la mayoría de productos alimenticios, los principales factores decisivos para su aceptación y uso son sus características sensoriales (Castro Delgado et al., 2020). Por tanto, es necesario que los alimentos que incorporen insectos en su formulación satisfagan las expectativas del consumidor con relación al sabor y su textura, igualándolos o de ser posible superándolos. Adicionalmente, existen otros factores externos al producto que influyen en su nivel de aceptación, consumo y posibilidad de compra por parte del consumidor como son: aspectos culturales, ubicación geográfica, características demográficas, etc. Por ejemplo, los países occidentales presentan una menor disponibilidad a la entomofagia debido a su falta de familiaridad con los insectos como alimentos. Se ha evidenciado diferencia en el nivel de aceptación en función del género, además, los consumidores jóvenes están más dispuestos a incorporar insectos como una nueva fuente alimenticia (Caparros Megido et al., 2016; Castro Delgado et al., 2020; Tan et al., 2016).

Como se ha evidenciado, las propiedades sensoriales pueden variar ampliamente dependiendo del tipo de alimento, el método de preparación, la interacción con los demás

ingredientes y las concentraciones de harina de grillo usada. Por lo tanto, son necesarias futuras investigaciones que involucren pruebas de degustación y medición de las propiedades sensoriales para, con base en estos resultados, lograr el desarrollo de nuevos productos con una adecuada aceptabilidad. Para alcanzar un mejor entendimiento del potencial de los insectos como alimentos, también deben evaluarse factores como marketing, precios, contextos sociales o situacionales, entre otros.

Pastas.

El consumo de pastas es común en todo el mundo, debido a su sencilla preparación en corto tiempo, su bajo costo y su facilidad de almacenamiento a largo plazo. Una de las alternativas para mejorar el valor nutricional de este tipo de productos es su fortificación con ingredientes de alto valor proteico, siendo los insectos una opción innovadora.

Duda et al. (2019) demostraron que la fortificación de pasta con harina de grillo en concentraciones de 5%, 10% y 15% afecta significativamente las características nutricionales, propiedades texturales y la aceptación del consumidor. Las pastas fortificadas presentaron un mayor contenido de proteína (12,27% - 16,92%), grasa (2,45% - 4,73%) y cenizas (1,04% - 1,46%) en comparación con la pasta control (9,96%, 1,31% y 0,86% respectivamente). Después de una cocción por 3 minutos, estas pastas presentaron un menor peso (1,61 g/g - 1,86 g/g) y menores pérdidas (1,96% - 3,30%), aunque requirieron un mayor tiempo para alcanzar su cocción óptima (7 min) en comparación con el control (2,74 g/g, 3,94% y 6 min, respectivamente). Por otro lado, la firmeza alcanzada de las pastas fortificadas fue mayor, lo que en combinación con las bajas pérdidas durante la cocción definen a este producto como de alta calidad. A mayores concentraciones de harina de grillo utilizada (10% y 15%), menor aceptación de color y sabor por parte del consumidor. Por el

contrario, el color de la pasta con una adición de 5% fue relacionado con el correspondiente a los productos integrales, generando en el consumidor una impresión de ser saludable. En consecuencia, la adición de harina de grillo en un 5% permite obtener pastas con un mejor aporte nutricional, con mejores propiedades texturales y con una mejor aceptación por el consumidor.

Existen estudios que demuestran que de hecho la adición de insectos en determinados alimentos puede mejorar su perfil del sabor y no solo su valor nutricional. Biró et al. (2019) demostraron que la sustitución con concentraciones elevadas (10%) de harina de gusano de seda *Bombyx mori* enmascara el sabor particular de la pasta de trigo sarraceno mejorando así su aceptabilidad general. No obstante, en discordia con los resultados de Duda et al. (2019), estas pastas presentaron tiempos de cocción óptimo más bajos que la pasta control.

La adición de harina de insectos en este tipo de productos mejora significativamente el contenido nutricional (Duda et al., 2019, Biró et al., 2019). No obstante, las características tecnológicas y sensoriales son dependientes de la materia prima base, del tipo de insecto usado y su concentración, razón por la cual se requiere un mayor estudio en esta área (Çabuk & Yılmaz, 2020).

Productos extruidos.

La extrusión es una tecnología que permite obtener productos alimenticios expandidos, no expandidos y texturizados. Durante su procesamiento, las matrices alimenticias sufren cambios físicos y químicos que son responsables de impartir, modificar o mejorar sus propiedades funcionales (Arora et al., 2020). Para ser utilizadas en la extrusión, las materias primas requieren ser reducidas en tamaño, por lo que el uso de harina de grillo

constituye una forma de incorporar insectos de manera no visible en diferentes tipos de alimentos, asociándolos con preparaciones y sabores familiares (Igual et al., 2020). De esta manera es posible modificar la percepción e incrementar la aceptabilidad de los insectos como alimentos (Castro Delgado et al., 2020; Tan et al., 2016).

Igual et al. (2020) demostraron que es posible utilizar harina de grillo *A. domesticus* en la elaboración de snacks extruidos de maíz, elevando su contenido proteico y manteniendo parámetros adecuados de extrusión. La adición de 12,5% a 15% de harina de grillo, pese a elevar el contenido de proteínas y tener una mayor estabilidad (bajo índice de solubilidad en agua), produce extruidos de baja expansión y menos crujientes. Una adición de 7,5% de harina de grillo permite obtener snacks extruidos que mantienen las propiedades típicas.

Kiiru et al. (2020) demostraron que utilizando cocción por extrusión de alta humedad y mediante el control de las condiciones de temperatura y velocidad del flujo de agua durante el proceso, es posible estructurar mezclas de aislado proteico de soya con harina de grillo *A. domesticus* en productos con características anisotrópicas y textura similar a las fibras cárnicas, considerados análogos. Al aumentar la temperatura de cocción (120°C a 160°C) o al disminuir la velocidad de flujo (de 10 a 9 ml/min) es posible incrementar la resistencia a la torsión, mientras que la incorporación de harina de grillo la reduce. Cuando esta harina es incorporada hasta concentraciones de 30%, mejora la formación de la red fibrosa densa y las propiedades de terneza del extruido.

CONCLUSIONES

El uso de insectos como fuente alimenticia constituye una potencial solución a los problemas relacionados con la cadena convencional de suministro alimentario, incluyendo los déficits mundiales de agua, tierra y energía. Su consumo, aunque es tradicional en varios países de Asia, África, Oceanía y América, actualmente se está abriendo paso en Occidente, no obstante, la neofobia alimentaria, creencias y actitudes afectan negativamente su aceptación e incorporación en la dieta. Con base en todo lo mencionado es posible establecer que el grillo *Acheta domesticus* es una de las especies de insectos comestibles más relevantes, puede ser recolectado directamente de la naturaleza u obtenido de granjas especializadas en su producción. Su consumo se realiza de forma directa o después de sometido a diversas preparaciones (cocido, asado, tostado, etc.) aunque actualmente se lo convierte en harina para su posterior utilización en la elaboración de alimentos procesados o para extraer compuestos específicos de interés industrial como es el caso de su proteína. Como conclusión, desde el punto de vista tecnológico y nutricional, el grillo común tiene potencial para ser utilizado en formulaciones alimentarias debido a su concentración total de proteína, perfil completo de aminoácidos, aporte de ácidos grasos esenciales, contenido de minerales y vitaminas, así como la solubilidad de sus proteínas, su capacidad de formar geles y emulsiones y de retener agua y grasa, no obstante todas estas características son dependientes de factores como el estado fisiológico de los grillos, su alimentación, su método de obtención, etc. Adicionalmente, este trabajo evidenció que la incorporación de harina de grillo en productos derivados de cereales como panes, galletas, pastas, snacks y productos extruidos eleva su valor proteico, sin embargo, se observa que las propiedades típicas de los productos son mantenidas a porcentajes bajos de adición, ya que a concentraciones altas se obtienen

menores volúmenes de expansión, cambios desfavorables de la textura, aparecen aromas y sabores extraños y un color oscuro característico que de forma general reduce su aceptación por parte del consumidor.

En general, la entomofagia contribuye a alcanzar los objetivos globales de Desarrollo Sostenible, por tanto, su divulgación e implementación es un camino para lograr una mejor calidad de vida para todos, siendo este uno de los mayores retos que enfrenta la industria alimentaria. Sin embargo, mucho queda aún por ser investigado, para cada tipo de producto existen cientos de variedades y formulaciones, por lo tanto, los efectos tecnológicos de la incorporación del grillo común y de cualquier insecto alimentario no pueden ser generalizados, aunque su mejoramiento del perfil nutricional sí. Adicionalmente, existe la opción de la utilización de sustancias mejoradoras que podrían contrarrestar y corregir las características no deseadas de los productos elaborados, permitiendo alcanzar porcentajes altos de sustitución con un nivel de aceptabilidad elevado. Por otro lado, el desarrollo de nuevos productos basados en insectos podría ser direccionado a nichos poblacionales específicos como las personas con enfermedad celíaca, malnutrición o déficit de micronutrientes, entre otros.

REFERENCIAS

- Arora, B., Yoon, A., Sriram, M., Singha, P., & Rizvi, S. S. H. (2020). Reactive extrusion: A review of the physicochemical changes in food systems. In *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (Vol. 64). <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102429>
- Baiano, A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science and Technology*, *100*(March), 35–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., & Ricci, A. (2013). Edible insects in a food safety and nutritional perspective: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *12*(3), 296–313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
- Berkelaar, D. (2017). *Insects for food and feed*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/edible-insects/en/>
- Biró, B., Fodor, R., Szedljak, I., Pásztor-Huszár, K., & Gere, A. (2019). Buckwheat-pasta enriched with silkworm powder: Technological analysis and sensory evaluation. *Lwt*, *116*(August), 108542. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108542>
- Brogan, E. N. (2018). *Protein and Lipid Characterization of Acheta domesticus, Bombyx Protein and Lipid Characterization of Acheta domesticus, Bombyx mori, and Locusta migratoria Dry Flours mori, and Locusta migratoria Dry Flours*. <https://researchrepository.wvu.edu/etd/7498>
- Çabuk, B., & Yılmaz, B. (2020). Fortification of traditional egg pasta (erişte) with edible insects: nutritional quality, cooking properties and sensory characteristics evaluation. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(7), 2750–2757. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04315-7>
- Caparros Megido, R., Gierts, C., Blecker, C., Brostaux, Y., Haubruge, É., Alabi, T., & Francis, F. (2016). Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food Quality and Preference*, *52*, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.004>
- Cappelli, A., Oliva, N., Bonaccorsi, G., Lorini, C., & Cini, E. (2020). Assessment of the rheological properties and bread characteristics obtained by innovative protein sources (Cicer arietinum, Acheta domesticus, Tenebrio molitor): Novel food or potential improvers for wheat flour? *Lwt*, *118*(June 2019), 108867. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108867>
- Castro Delgado, M., Chambers, E., Carbonell-Barrachina, A., Noguera Artiaga, L., Vidal Quintanar, R., & Burgos Hernandez, A. (2020). Consumer acceptability in the USA, Mexico, and Spain of chocolate chip cookies made with partial insect powder replacement. *Journal of Food Science*, *85*(6), 1621–1628. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15175>

- 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). Insect Mass Production Technologies. In *Insects as Sustainable Food Ingredients*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802856-8.00006-5>
- de Castro, R. J. S., Ohara, A., Aguilar, J. G. dos S., & Domingues, M. A. F. (2018). Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in Food Science and Technology*, 76(October 2017), 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.006>
- Delicato, C., Schouteten, J. J., Dewettinck, K., Gellynck, X., & Tzompa-Sosa, D. A. (2020). Consumers' perception of bakery products with insect fat as partial butter replacement. *Food Quality and Preference*, 79(March 2019), 103755. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103755>
- Duda, A., Adamczak, J., Chelminska, P., Juskiewicz, J., & Kowalczewski, P. (2019). Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. *Foods*, 8(2), 1–10. <https://doi.org/10.3390/foods8020046>
- Ebert, S., Gibis, M., Terjung, N., & Weiss, J. (2020). Survey of aqueous solubility, appearance, and pH of plant protein powders from carbohydrate and vegetable oil production. In *Lwt* (Vol. 133). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110078>
- FAO. (2013). Edible insects. Future prospects for food and feed security. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Vol. 171).
- Feng, Y., Chen, X. M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C. Y., & Ding, W. F. (2018). Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect Science*, 25(2), 184–198. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12449>
- Fernandez-Cassi, X., Supeanu, A., Vaga, M., Jansson, A., Boqvist, S., & Vagsholm, I. (2019). The house cricket (*Acheta domesticus*) as a novel food: A risk profile. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(2), 137–157. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0021>
- Finke, M. D., DeFoliart, G. R., & Benevenga, N. J. (1989). Use of a four-parameter logistic model to evaluate the quality of the protein from three insect species when fed to rats. *Journal of Nutrition*, 119(6), 864–871. <https://doi.org/10.1093/jn/119.6.864>
- Finke, Mark D. (2002). Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21(3), 269–285. <https://doi.org/10.1002/zoo.10031>
- Foegeding, E. A., & Davis, J. P. (2011). Food protein functionality: A comprehensive approach. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1853–1864. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.05.008>
- Ghosh, S., Lee, S. M., Jung, C., & Meyer-Rochow, V. B. (2017). Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(2), 686–694. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.04.003>
- González-Pérez, S., & Arellano, J. B. (2009). Vegetable protein isolates. *Handbook of Hydrocolloids: Second Edition*, 383–419. <https://doi.org/10.1533/9781845695873.383>

- González, C. M., Garzón, R., & Rosell, C. M. (2019). Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 51(March 2018), 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.021>
- Govorushko, S. (2019). Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 91(July 2018), 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.032>
- Gravel, A., & Doyen, A. (2020). The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 59(December 2019), 102272. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102272>
- Hirsch, A., Cho, Y.-H., Kim, Y. H. B., & Jones, O. G. (2019). Contributions of protein and milled chitin extracted from domestic cricket powder to emulsion stabilization. *Current Research in Food Science*, 1, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2019.09.002>
- Hou, Y., & Wu, G. (2018). Nutritionally essential amino acids. *Advances in Nutrition*, 9(6), 849–851. <https://doi.org/10.1093/ADVANCES/NMY054>
- Igual, M., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. (2020). Effect of *Acheta domestica* (house cricket) addition on protein content, colour, texture, and extrusion parameters of extruded products. *Journal of Food Engineering*, 282(March). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110032>
- Imathiu, S. (2019). Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS Journal*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2019.116544>
- Kiiru, S. M., Kinyuru, J. N., Kiage, B. N., Martin, A., Marel, A. K., & Osen, R. (2020). Extrusion texturization of cricket flour and soy protein isolate: Influence of insect content, extrusion temperature, and moisture-level variation on textural properties. *Food Science and Nutrition*, 8(8), 4112–4120. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1700>
- Kim, H. W., Setyabrata, D., Lee, Y. J., Jones, O. G., & Kim, Y. H. B. (2016). Pre-treated mealworm larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausages. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.09.023>
- Kim, T. K., Yong, H. I., Chun, H. H., Lee, M. A., Kim, Y. B., & Choi, Y. S. (2020). Changes of amino acid composition and protein technical functionality of edible insects by extracting steps. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(2), 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2019.12.017>
- Kim, T. K., Yong, H. I., Jeong, C. H., Han, S. G., Kim, Y. B., Paik, H. D., & Choi, Y. S. (2019). Technical Functional Properties of Water- And Salt-soluble Proteins Extracted from Edible Insects. *Food Science of Animal Resources*, 39(4), 643–654. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e56>
- Koziol, M. J. (1992). Chemical Composition and Nutritional Evaluation of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 5(1), 35–68.

- Latunde-Dada, G. O., Yang, W., & Vera Aviles, M. (2016). In Vitro Iron Availability from Insects and Sirloin Beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*(44), 8420–8424. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03286>
- Lazarte, C. E., Carlsson, N. G., Almgren, A., Sandberg, A. S., & Granfeldt, Y. (2015). Phytate, zinc, iron and calcium content of common Bolivian food, and implications for mineral bioavailability. *Journal of Food Composition and Analysis*, *39*, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.015>
- Miller, S. (2006). Vitamins and minerals. In *Rn* (Vol. 69, Issue 10). <https://doi.org/10.7748/phc.5.8.24.s16>
- Montowska, M., Kowalczewski, P. Ł., Rybicka, I., & Fornal, E. (2019). Nutritional value, protein and peptide composition of edible cricket powders. *Food Chemistry*, *289*(December 2018), 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.062>
- Nadeau, L., Nadeau, I., Franklin, F., & Dunkel, F. (2015). The Potential for Entomophagy to Address Undernutrition. *Ecology of Food and Nutrition*, *54*(3), 200–208. <https://doi.org/10.1080/03670244.2014.930032>
- Ndiritu, A. K., Kinyuru, J. N., Gichuhi, P. N., & Kenji, G. M. (2019). Effects of NaCl and pH on the functional properties of edible crickets (*Acheta domesticus*) protein concentrate. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *13*(3), 1788–1796. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00097-5>
- Ndiritu, A. K., Kinyuru, J. N., Kenji, G. M., & Gichuhi, P. N. (2017). Extraction technique influences the physico-chemical characteristics and functional properties of edible crickets (*Acheta domesticus*) protein concentrate. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *11*(4), 2013–2021. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9584-4>
- Osimani, A., Milanović, V., Cardinali, F., Roncolini, A., Garofalo, C., Clementi, F., Pasquini, M., Mozzon, M., Foligni, R., Raffaelli, N., Zamporlini, F., & Aquilanti, L. (2018). Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *48*(December 2017), 150–163. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.007>
- Pauter, P., Róžańska, M., Wiza, P., Dworzak, S., Grobelna, N., Sarbak, P., & Kowalczewski, P. (2018). Effects of the replacement of wheat flour with cricket powder on the characteristics of muffins. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, *17*(3), 227–233. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.0570>
- Pener, M. P. (2014). Allergy to locusts and acridid grasshoppers: A review. *Journal of Orthoptera Research*, *23*(1), 59–67. <https://doi.org/10.1665/034.023.0105>
- Piornos, J. A., Burgos-Díaz, C., Ogura, T., Morales, E., Rubilar, M., Maureira-Butler, I., & Salvo-Garrido, H. (2015). Functional and physicochemical properties of a protein isolate from AluProt-CGNA: A novel protein-rich lupin variety (*Lupinus luteus*). *Food Research International*, *76*, 719–724. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.013>
- Purschke, B., Meinschmidt, P., Horn, C., Rieder, O., & Jäger, H. (2018). Improvement of techno-functional properties of edible insect protein from migratory locust by enzymatic

- hydrolysis. *European Food Research and Technology*, 244(6), 999–1013. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-3017-9>
- Reverberi, M. (2020). Edible insects: cricket farming and processing as an emerging market. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(2), 211–220. <https://doi.org/10.3920/jiff2019.0052>
- Roma, R., Palmisano, G. O., & De Boni, A. (2020). Insects as novel food: A consumer attitude analysis through the dominance-based rough set approach. *Foods*, 9(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/foods9040387>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013a). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(5), 802–823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013b). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>
- Sathe, S. K., Zaffran, V. D., Gupta, S., & Li, T. (2018). Protein Solubilization. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 95(8), 883–901. <https://doi.org/10.1002/aocs.12058>
- Semba, R. D., Ramsing, R., Rahman, N., Kraemer, K., & Bloem, M. W. (2021). Legumes as a sustainable source of protein in human diets. In *Global Food Security* (Vol. 28). <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100520>
- Tan, H. S. G., van den Berg, E., & Stieger, M. (2016). The influence of product preparation, familiarity and individual traits on the consumer acceptance of insects as food. *Food Quality and Preference*, 52, 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.003>
- Tzompa-Sosa, D. A., Yi, L., van Valenberg, H. J. F., van Boekel, M. A. J. S., & Lakemond, C. M. M. (2014). Insect lipid profile: Aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Research International*, 62, 1087–1094. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.052>
- Udomsil, N., Imsoonthornruksa, S., Gosalawit, C., & Ketudat-Cairns, M. (2019). Nutritional Values and Functional Properties of House Cricket (*Acheta domesticus*) and Field Cricket (*Gryllus bimaculatus*). *Food Science and Technology Research*, 25(4), 597–605. <https://doi.org/10.3136/fstr.25.597>
- Vantomme, P. (2013). La contribución de los insectos a la seguridad alimentaria, los medios de vida y el medio ambiente. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 4.
- WHO/FAO/UNU. (2007). Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. In *WHO Technical Report Series* (Vol. 935).
- Yi, L., Lakemond, C. M. M., Sagis, L. M. C., Eisner-Schadler, V., Huis, A. Van, & Boekel, M. A. J. S. V. (2013). Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*, 141(4), 3341–3348. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.115>

Zielińska, E., Karaś, M., & Baraniak, B. (2018). Comparison of functional properties of edible insects and protein preparations thereof. *LWT - Food Science and Technology*, *91*(January), 168–174. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.058>

Padilla, Á. F., & Cuesta, L. A. E. (2003). *Zoología aplicada*. ProQuest Ebook

Central <https://ebookcentral-proquest-com.ezbiblio.usfq.edu.ec>