



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos
(FoodUPV)

Evaluación de riesgo semicuantitativa de *Bacillus cereus*
en productos elaborados a partir de *Tenebrio molitor*

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Gestión de la Seguridad y Calidad
Alimentaria

AUTOR/A: López Gascueña, Manuel

Tutor/a: Martínez López, Antonio

Director/a Experimental: RODRIGO ALIAGA, MARIA DOLORES

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Título: Evaluación semicuantitativa de riesgo de *Bacillus cereus* en productos elaborados a partir de *Tenebrio molitor*.

Palabras clave: Evaluación de riesgos; Insectos comestibles; Entomofagia; Novel food; Alternativas alimentarias; Inocuidad alimentaria; Peligros microbiológicos; Microorganismos patogénicos; *Bacillus cereus*; *Tenebrio molitor*.

Resumen:

La situación social, medioambiental y económica ha cambiado significativamente en un periodo corto de años. Esta situación resulta cada vez más alarmante debido al crecimiento continuo de la población mundial. En consecuencia, se han buscado alternativas para el aporte proteico de ciertos alimentos especialmente los alimentos cárnicos y sus derivados. La incorporación de los insectos comestibles a las dietas occidentales se enmarca como una de esas alternativas. Puesto que tradicionalmente se ha practicado la entomofagia en diversos lugares del mundo, esta opción parece viable. Los insectos y los productos que los contienen pueden suponer una opción adicional a los productos cárnicos por su alto valor proteico y por los beneficios de sostenibilidad ambiental que representa su producción. Por ello, resulta de especial interés el objeto de este trabajo: estudiar cuales son los posibles peligros que pueden representar los insectos comestibles y estimar el riesgo que puede llegar a suponer el consumo de estos productos en relación con el *Bacillus cereus* como patógeno alimentario. El resultado del estudio indica que el producto que implica un mayor riesgo para el consumidor es el análogo cárnico con un 46%, seguido de las tortillas con un 42% y de la barrita proteica con un 36%. Los resultados también indican que, en el caso de un fallo en la cadena de producción y distribución desde la granja a la mesa, el número de enfermos por 100000 habitantes sería inferior al ocasionado por Salmonella que se estima en 60 cada 100000 habitantes año. Este trabajo se encuentra relacionado con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030: ODS 2 Hambre cero; ODS 3 Salud y bienestar; ODS 9 Industria, innovación e infraestructura; ODS 13 Acción por el clima y ODS 15 Vida de ecosistemas terrestres.

Paraules clau: Avaluació de riscos; Insectes comestibles; Entomofagia; Novel food; Alternatives alimentàries; Inocuitat alimentària; Perills microbiològics; Microorganismes patogènics; *Bacillus cereus*; *Tenebrio molitor*.

Resum:

La situació social, mediambiental i econòmica ha canviat significativament en un període curt d'anys. Aquesta situació resulta cada vegada més alarmant a causa del creixement continuat de la població mundial. En conseqüència, s'han buscat alternatives per a l'aportació proteica d'uns certs aliments, especialment els aliments càrnics i els seus derivats. La incorporació dels insectes comestibles a les dietes occidentals es marca com una d'aquestes alternatives. Com que tradicionalment s'ha practicat la entomofagia en diversos llocs del món, aquesta opció sembla viable. Els insectes i els productes que els contenen poden suposar una opció adicional als productes càrnics pel seu alt valor proteic i els beneficis de sostenibilitat ambiental que representa la seua producció. Per això, resulta d'especial interès l'objecte d'aquest treball: estudiar quins són els possibles perills que poden representar els insectes comestibles i estimar el risc que pot arribar a suposar el consum d'aquests productes en relació al *Bacillus cereus* com a patogen alimentari. El resultat de l'estudi indica que el producte que implica un major risc per al consumidor és

l'anàleg carni amb un 46%, seguit de les truites amb un 42% i de la barreta proteica amb un 36%. Els resultats també indiquen que en el cas d'una fallada en la cadena de producció i distribució des de la granja a la taula, el nombre de malalts per 100000 habitants seria inferior a l'ocasionat per Salmonel·la que s'estima en 60 cada 100000 habitants any. Aquest treball es troba relacionat amb els següents Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) de l'Agenda 2030: ODS 2 Fam zero; ODS 3 Salut i benestar; ODS 9 Indústria, innovació i infraestructura; ODS 13 Acció pel clima i ODS 15 Vida de ecosistemes terrestres.

Key words: Risk assessment; Edible insects; Entomophagy; Novel food; Food alternatives; Food safety; Microbiological hazards; Pathogenic microorganisms; *Bacillus cereus*; *Tenebrio molitor*.

Abstract:

The social, environmental and economic situation has changed significantly in a short period of years. This situation is increasingly alarming due to the continuous growth of the world population. Consequently, alternatives have been sought for the protein intake of certain foods, especially meat foods and their derivatives. The incorporation of edible insects into Western diets is framed as one of those alternatives. Since entomophagy has traditionally been practiced in various parts of the world, this option seems viable. Insects and the products that contain them can be an additional option to meat products due to their high protein value and the benefits of environmental sustainability that their production represents. For this reason, the object of this work is of special interest: to study the possible dangers that edible insects can represent and to estimate the risk that the consumption of these products may entail in relation to *Bacillus cereus* as a food pathogen. The result of the study indicates that the product that implies the greatest risk for the consumer is the meat analogue with 46%, followed by tortillas with 42% and the protein bar with 36%. The results also indicate that in the case of a failure in the production and distribution chain from farm to fork, the number of sick people per 100,000 inhabitants would be lower than that caused by Salmonella, which is estimated at 60 per 100,000 inhabitants per year. This work is related to the following Sustainable Development Goals (SDG) of the 2030 Agenda: SDG 2 Zero Hunger; SDG 3 Health and well-being; SDG 9 Industry, innovation and infrastructure; SDG 13 Climate Action and SDG 15 Life on Land.

1. Introducción:

En el contexto actual, la población mundial está en constante crecimiento, y con ella, también se incrementa la inquietud respecto a la preservación de los recursos finitos del planeta. Además, también existe la preocupación sobre si contando únicamente con esos recursos se podrá satisfacer las necesidades alimentarias de una población que se estima en el año 2050 alcanzará los nueve mil millones de personas (FAO, 2021). Paralelamente, con el aumento de la población, también se ha producido un aumento en la demanda y en el consumo de proteína mayoritariamente proveniente de productos cárnicos. Esta situación, supone para la industria alimentaria y la industria agrícola, tener que afrontar el agotamiento de recursos (como el suelo), la carestía del agua, elevados niveles de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), deforestación, entre otros (Abril et al., 2022).

En la búsqueda de soluciones para asegurar el abastecimiento sostenible de la población en el futuro próximo, se han identificado alternativas potenciales a los productos agroalimentarios producidos y consumidos tradicionalmente. Una de esas alternativas es el consumo de insectos o sus derivados, tanto para la alimentación humana, como para la alimentación animal (FAO, 2021).

La entomofagia se define como el consumo de insectos como alimento para los seres humanos. Esta opción es considerada como una alternativa potencial debido al destacable valor nutricional de los insectos, así como a los beneficios medioambientales que supone su producción, en comparación con la producción convencional de productos cárnicos (Van Huis et al., 2013).

Los insectos presentan un valor nutricional realmente destacable por su elevado contenido en proteínas, vitaminas, fibra y minerales. El contenido nutricional de los insectos comestibles varía mucho en función de la especie, la etapa evolutiva, las condiciones de cría y su dieta. Como ejemplo de este valioso contenido nutricional, los gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*) presentan contenidos de ácidos grasos insaturados similares a los del pescado y superiores a vacuno y porcino. Estos mismos insectos también presentan un contenido proteico, vitamínico y en minerales similares a los de pescados y carnes (Van Huis et al., 2013).

La rentabilidad a nivel medioambiental se basa en la elevada eficiencia de conversión alimentaria de los insectos comestibles. Algunos de estos insectos, como los grillos, necesitan únicamente 2 kilogramos de materia alimentaria para aumentar 1 kilogramo de peso corporal (Van Huis et al., 2013). Además, se estima que la producción de insectos supone menores emisiones de GEI y amoníaco que en la producción del ganado o de los cerdos, y precisan de menos tierra y agua que el ganado (EFSA, 2015). También se destaca la reducción de la contaminación que supone la posibilidad de realizar la cría de insectos en materias orgánicas como son desechos humanos y animales. Tal como indicó Van Huis, (2016) los estudios que demuestran estos beneficios medioambientales aun eran escasos, por lo que se deberían realizar más estudios en esta área para poder comparar adecuadamente la producción cárnica tradicional con la producción de insectos comestibles (Van Huis, 2016).

Desde hace mucho tiempo, se ha practicado la entomofagia por parte de muchas culturas y sociedades humanas en distintas partes de Asia, Oceanía, África y América (FAO, 2021). Sin embargo, los consumidores occidentales muestran reticencia frente al consumo de insectos, ya que la entomofagia se ve como un acto repulsivo y sucio. Por ello, la producción de insectos se ha mantenido alejada de las innovaciones en el sector ganadero (Van Huis et al., 2013). Sin embargo, en los últimos años la producción y consumo de insectos ha evolucionado considerablemente y se espera que se desarrolle mucho más en los años venideros (FAO, 2021). Se está tratando de eliminar la forma del insecto e incorporar harina de insectos en alimentos ampliamente consumidos para mejorar la aceptación de los consumidores (Abril et al., 2022). Cabe señalar que se han registrado aproximadamente 2000 especies de insectos que se consumen actualmente en diferentes partes del mundo (EFSA, 2015). Otra prueba del constante desarrollo de la entomofagia es el reconocimiento (por parte de la EFSA) de 4 especies de insectos como "Novel food",

según el Reglamento (UE) 2015/2283 relativo a los nuevos alimentos (AESAN, 2023). Estas 4 especies son:

- Larvas del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*): Se pueden producir congeladas, desecadas y en polvo. Se autoriza su comercialización por el Reglamento de Ejecución (UE) 2022/169. También se ha autorizado su comercialización en forma deseada específicamente por el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/882 (AESAN, 2023).
- Langosta migratoria (*Locusta migratoria*): Se puede producir congelada, desecada y en polvo. Se autoriza su comercialización por el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/1975 (AESAN, 2023).
- Grillo doméstico (*Acheta domesticus*): Se puede producir congelado, desecado y en polvo. Se autoriza su comercialización por el Reglamento de Ejecución (UE) 2022/188. También se ha autorizado su comercialización en forma de polvo parcialmente desgrasado según el Reglamento de Ejecución (UE) 2023/5 (AESAN, 2023).
- Larvas del escarabajo del estiércol (*Alphitobius diaperinus*): Se pueden producir congeladas, en pasta, desecadas y en polvo. Se autoriza su comercialización por el Reglamento de Ejecución (UE) 2023/58 (AESAN, 2023).

A nivel de inocuidad alimentaria, se debe tener en cuenta que el proceso de producción y almacenamiento de insectos y sus productos debe cumplir con las especificaciones establecidas por la normativa sanitaria de inocuidad alimentaria aplicable a cualquier alimento. En adición, las normativas de salud y bienestar de los animales destinados a producción alimentaria también son aplicables a los insectos comestibles. Sin embargo, con la evolución del consumo de insectos cada vez resulta más necesario un marco legal de consenso internacional sobre la producción de insectos comestibles y sus derivados (Abril et al., 2022). Se debe considerar si la cría de los insectos se ha realizado sobre productos de desecho (estiércol) o subproductos de mataderos ya que estas condiciones presentes durante la cría de los insectos pueden repercutir sobre la inocuidad del producto final y en última instancia sobre la salud de los consumidores (Van Huis et al., 2013). Cabe destacar que los peligros de inocuidad alimentaria más destacables asociados al consumo de insectos son: los peligros microbiológicos (bacterias, virus, parásitos, priones y hongos), químicos (metales pesados y arsénico, toxinas, medicamentos veterinarios y hormonas) y alergénicos (riesgos de reactividad cruzada con otros alérgenos como ácaros del polvo o crustáceos) (EFSA, 2015).

1.1 Consumo

En lo que se refiere al consumo actual de insectos, se han identificado los países que más diversidad de especies de insectos consumen. Estos países son: México, donde se identificaron 549 especies (Ramos Elorduy et al., 2006); China, donde se identificaron 170 especies (Feng et al., 2009); y Tailandia, donde se identificaron 164 especies (Young-Aree y Viwatpanich, 2005). Estos datos, así como la distribución del consumo de especies en el resto de los países, se pueden ver reflejados en la Figura 1.

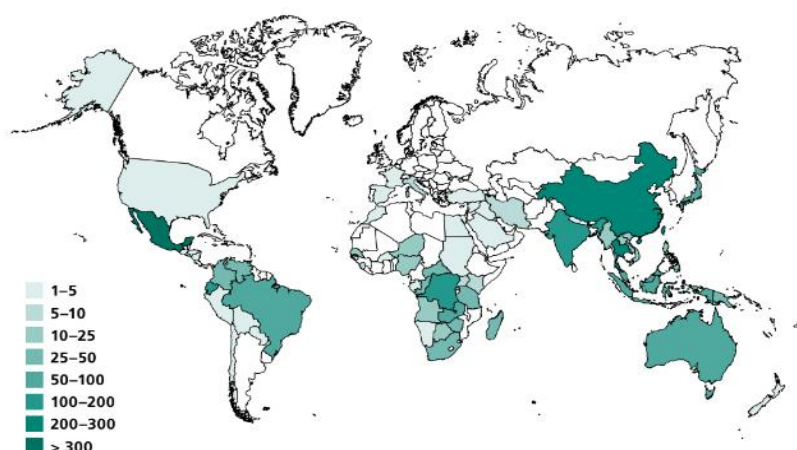


Figura 1. Distribución del consumo de especies de insectos a nivel mundial. Fuente: <https://www.fao.org/fsnforum/resources/reports-and-briefs/edible-insects-future-prospects-food-and-feed-security>

El consumo de un elevado número de especies de insectos en una zona se traduce en una amplia aceptación del consumo de insectos en general y una actitud abierta ante la incorporación de estos en otros productos (Van Huis et al., 2013).

Se debe tener en cuenta que Latinoamérica es de las zonas donde más especies de insectos se consumen a nivel mundial, como se puede ver en la Figura 1. Los países latinoamericanos que más destacan por el consumo de especies de insectos se pueden ver en la Tabla 1.

Países	Nº de especies	Porcentaje (%)
México	415	56,5
Brazil	122	16,6
Ecuador	78	10,6
Colombia	51	6,9
Venezuela	39	5,3
Indias occidentales	6	0,8
Guyana	4	0,5
Nicaragua	4	0,5
Perú	3	0,4

Tabla 1. Distribución del consumo de especies de insectos en Latinoamérica. Fuente: Elaboración propia a partir del estudio de Neto (2015)

Como se puede ver claramente reflejado (en la Figura 1. y en la Tabla 1.), México destaca con diferencia tanto a nivel regional como internacional. Debido a ello, este trabajo sobre el riesgo en el consumo de *Tenebrio molitor* se basa fundamentalmente en tres productos seleccionados considerando la cultura y tradiciones de la población mexicana.

Los productos sobre los que se pretende realizar una evaluación de riesgos semicuantitativa son: Barritas de proteínas, Producto cárnico elaborado con impresión 3D y tortillas, todos ellos con harina de *Tenebrio molitor* en su formulación.

De acuerdo con Abril et al., (2022) ya se están elaborando barritas a partir de proteína de insecto y están siendo comercializadas por la empresa “Ento piruw” en el mercado mexicano. Por lo tanto, se estima que la elaboración de unas barritas basadas específicamente en las proteínas de *Tenebrio molitor*, podría tener una amplia aceptación por parte de la población mexicana.

Dado el avance que se está produciendo en la impresión 3D y la necesidad de generar alimentos específicos para poblaciones concretas, por ejemplo, ancianos, se propone un producto cárnico elaborado mediante impresión 3D partiendo de harina de *Tenebrio molitor*. Estos análogos cárnicos son más fáciles de masticar y, por tanto, impactarían positivamente en el bienestar de la población anciana (Wang et al., 2022).

Por último se propone la producción de tortillas suplementadas con harina de *Tenebrio molitor*, puesto que según lo comentado por Van Huis, (2016) ya se ha comercializado en México un producto muy similar y con muy buena aceptación por parte de la población mexicana.

1.2 Gusano de la harina

A nivel mundial se consumen muchas especies de insectos que varían mucho en función de la zona que se esté evaluando (Raheem et al., 2019). Sin embargo, el Comité Científico de la EFSA en 2015 estableció las especies de insectos comestibles más destacables dentro y fuera de Europa, los cuales se pueden observar en la Tabla 2. Se destacan en rojo las especies reconocidas como “Novel food”.

<u>Nombres científicos</u>	<u>Nombre común</u>	<u>Consumo humano</u>	<u>Alimentación animal</u>
Grillos			
<i>Acheta domestica</i>	Grillo doméstico	X	X
<i>Grylodes sigillatus</i>	Grillo rayado		X
<i>Gryllus assimilis</i>	Grillo de campo		X
Saltamontes y langostas			
<i>Locusta migratoria</i>	Langosta migratoria	X	X
<i>Schistocerca americana</i>	Saltamontes americano	X	X
Gusanos de la harina			
<i>Alphitobius diaperinus</i>	Larvas del escarabajo del estiércol	X	X
<i>Tenebrio molitor</i>	Larvas del gusano de la harina	X	X

Tabla 2. Insectos importantes producidos dentro y fuera de Europa. Fuente: Elaboración propia a partir del estudio de EFSA, (2015).

El presente trabajo se centra en el uso de harina de *Tenebrio molitor* en la elaboración de distintos alimentos que se consumen o tienen potencial para ser consumidos en México, ya que presenta unas propiedades realmente destacables. Las propiedades más significativas desde el punto de vista nutricional son: elevado contenido proteico (17%), elevado contenido de micronutrientes (hierro, vitamina D, A, E y zinc) y elevado contenido de ácidos grasos omega-3. Además, *Tenebrio molitor* es capaz de alimentarse con subproductos alimentarios lo cual supone la oportunidad de cerrar ciclos agroalimentarios dentro del concepto de economía circular (Tzompa-Sosa et al., 2023). También cabe destacar que durante la producción del gusano de la harina se minimiza el uso de la tierra y las emisiones de GEI en comparación con cerdos, aves y ganado, por kg de proteína (Oonincx & De Boer, 2012; Van Huis & Oonincx, 2017). Además, *Tenebrio molitor* ha sido una de las especies de insectos reconocidas como “Novel Food” por la EFSA (AESAN, 2023).

1.3 Descripción del peligro (PARA MAYOR INFORMACION VER ANEXO 2)

Bacillus cereus resulta destacable puesto que se encuentra en el suelo que está en contacto directo constantemente con los insectos y por tanto puede contaminar la harina obtenida de ellos (Kooh et al., 2020). De hecho, se han identificado diferentes especies pertenecientes al género *Bacillus* en insectos comestibles y productos alimentarios elaborados a partir de insectos (Garofalo et al., 2019). En adición, Fasolato et al., (2018) elaboraron un trabajo para detectar esporas de *Bacillus cereus* aisladas en insectos comestibles procesados. En dicho estudio se identificó bacterias de *B. cereus* en muestras de gusano de la harina que presentaban una concentración de *Bacillus spp.* de 10^4 UFC/g (Fasolato et al., 2018). Grabowski y Klein (2017) destacaron la presencia de *B. cereus* en harinas de insectos e insectos secos, que presentaban una concentración de *Bacillus spp.* de 10^3 UFC/g. Conviene destacar que la dosis infectiva de *B. cereus* se encuentra en 10^5 UFC/g (EFSA, 2005). Por lo tanto, las muestras analizadas no supondrían un peligro de salud pública para la población general (Osimani et al., 2017). Sin embargo, por diversos motivos, incluidos los higiénicos, siempre se debe considerar la posibilidad de que la concentración supere el límite crítico. Por ello, las autoridades científicas recomiendan aplicar medidas de control efectivas (tratamientos térmicos o tratamientos equivalentes) en la reducción de *B. cereus* y sus esporas, asegurando de esta manera la inocuidad alimentaria de la harina de insectos que se va a incorporar a un producto alimenticio destinado al consumo humano (AESAN, 2022).

Bacillus cereus es una de las bacterias patógenas que se han considerado en las recomendaciones de higiene para el consumo de insectos desarrolladas por las autoridades holandesas y belgas (Grabowski & Klein, 2017). En 2018, este bacilo supuso un total de 1539 casos distribuidos en 31 brotes alimentarios. Esto se traduce en una incidencia de 0,02 casos/100.000 habitantes (EFSA, 2019). En 2019, *B. cereus* causó 155 brotes de toxiinfección en Europa, con un total de 7 fallecidos (AESAN, 2022). Siguiendo lo establecido por el RASFF (Rapid Alert System Feed and Food), uno de los productos que ha supuesto alertas alimentarias por *Bacillus cereus* en los últimos años, han sido las barritas elaboradas con proteína de insectos (AESAN, 2022).

Las concentraciones a las que *B. cereus* es capaz de producir efectos adversos sobre la salud humana son de 10^5 a 10^8 U.F.C/g de alimento (Sánchez et al., 2016). Una de las enfermedades causadas por *B. cereus* se basa en una intoxicación emética como consecuencia del consumo de una toxina que se forma en los propios alimentos (Kooh et

al., 2020). Esta toxina se traduce en un serio riesgo difícil de controlar en los alimentos debido a la elevada termorresistencia de dicha toxina (Duce et al., 2012). La toxina emética es capaz de resistir a 121°C durante 30 minutos (ELIKA Seguridad Alimentaria, 2021). Además, este bacilo puede producir una infección diarreica como consecuencia del consumo de sus esporas, que al alcanzar el intestino delgado producen enterotoxinas en el mismo. Cabe destacar que las esporas de *Bacillus cereus* pueden permanecer en la harina de *Tenebrio molitor* tras la molienda durante largos periodos de tiempo (Kooh et al., 2020). La temperatura óptima de germinación por calor de las esporas de *B. cereus* es de 65°C-75°C (Schoeni & Wong, 2005), además, se ha visto que algunas cepas de *Bacillus cereus* son psicrotrofas (Van Netten et al., 1990), por tanto, son capaces de proliferar a temperaturas de refrigeración, en torno a los 4 °C. Por otro lado, la pasteurización y cocción convencionales no son métodos efectivos en la inactivación o reducción microbiana de las esporas de *B. cereus*. El tratamiento recomendado como medida de control es la esterilización HTST (Alta temperatura y poco tiempo), con unas condiciones aproximadas de 140°C durante 45 segundos (ELIKA Seguridad Alimentaria, 2021), o equivalentes.

En definitiva, la presencia de esporas de *Bacillus cereus* en suelos e insectos; sus mecanismos de resistencia a tratamientos térmicos; la existencia de cepas psicrotrofas (Kotiranta et al., 2000); y la resistencia a otros tipos de estrés, dificultan el control de esta bacteria en la cadena alimentaria y supone una importante inquietud para el consumo de productos basados en insectos como *Tenebrio molitor* (Kooh et al., 2020).

1.4 Herramientas de evaluación de riesgos

La evaluación de riesgos se realiza con el objetivo de establecer los efectos adversos que pueden producirse como resultado de la exposición de los consumidores a un peligro determinado (en este caso un peligro de origen alimentario). Estos estudios sirven como base científica en la que sustentar las decisiones de gestión de riesgos tomadas por las autoridades sanitarias (AESAN, s.f.).

La evaluación de riesgo puede ser cuantitativa, semicuantitativa o cualitativa. En este trabajo se va a realizar un estudio semicuantitativo, ya que ofrece un enfoque preciso para la evaluación y la comparación de riesgos con unos costos razonablemente menores que una evaluación cuantitativa. Además, el enfoque semicuantitativo no resulta excesivamente complejo ni costoso (Ross y Sumner, 2002).

Para la realización de evaluaciones de riesgos semicuantitativas se han desarrollado ciertas herramientas específicas. EFSA, (2015b) evaluó 8 de estas herramientas entre las que se encontraba *Risk Ranger*. El estudio de EFSA, (2015b) concluyó que los modelos cuantitativos son los más adecuados, por ser los estudios más completos y representativos. No obstante, cuando hay limitaciones de tiempo y/o datos, los estudios semicuantitativos son una opción a tener en cuenta (EFSA, 2015b).

2. Objetivo

Estimar el riesgo que puede suponer la incorporación de harina de insecto en diferentes productos con diferentes condiciones de producción. Para abordarlo se propone una evaluación de riesgos semicuantitativa capaz de estimar el riesgo que supone la presencia

de *B. cereus* en 3 productos diferentes en los que se incluye harina de *Tenebrio molitor* en su formulación, el resultado del estudio puede permitir priorizar riesgos mejorando de esta manera la gestión tanto en la industria como por parte de las autoridades sanitarias.

3. Material y métodos

Para el desarrollo de la introducción del trabajo y conseguir los datos que permitan alcanzar el objetivo propuesto, se han utilizado las bases de datos bibliográficas PubMed y Google Scholar. En dichas bases de datos se consideraron los siguientes términos (en inglés) en la estrategia de búsqueda: Edible insects, Edible insects consumption, *Bacillus cereus*, *Tenebrio molitor*, Entomophagy, 3D-Printed meat, Corn tortilla, etc. También se han consultado datos de los diferentes estudios realizados por entidades de referencia en inocuidad alimentaria como: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN).

Posteriormente, cabe comentar que se han utilizado esos mismos artículos y algunos otros (buscados en las bases de datos mencionadas anteriormente) para llevar a cabo la evaluación de riesgos semicuantitativa y seleccionar los datos que se utilizarán como entrada en la herramienta *Risk Ranger*.

3.1 *Risk Ranger*

Risk Ranger es una herramienta que permite realizar evaluaciones de riesgos semicuantitativas a partir de una hoja de cálculo. Para realizar dichos estudios se deben responder 11 preguntas referentes a la inocuidad alimentaria. Estas preguntas se agrupan en tres clases: Severidad del patógeno y susceptibilidad de los consumidores; Probabilidad de consumo del alimento contaminado (exposición); Probabilidad de que el alimento contenga una dosis infectiva. Partiendo de las respuestas aportadas a estas 11 preguntas, el programa produce 4 resultados (Bevilacqua et al., 2023):

1. Probabilidad de enfermar consumidor/día: Este parámetro se calcula como la multiplicación de la probabilidad de que esté presente una dosis del peligro suficiente para producir la enfermedad en una porción del producto, multiplicado por la probabilidad de exposición al producto por persona y por día (Naivares, 2018).
2. Enfermedad/año previsto en la población de interés (Bevilacqua et al., 2023).
3. Riesgo comparativo en la población de interés: Es un parámetro que se utiliza para calcular la clasificación del riesgo. Si el riesgo comparativo es de 1 indica que cada persona de la población estudiada consume el producto en cuestión diariamente y que cada porción presenta una dosis letal del peligro (Naivares, 2018).
4. Clasificación del riesgo: Es un parámetro fácilmente interpretable debido a la simplificación que hace del valor del riesgo. Por ello este es el parámetro más utilizado para comparar el riesgo que supone el consumo de los diferentes productos. El resultado se basa en la asignación de un valor numérico del 0 al 100, donde 0 quiere decir que no hay riesgo y 100 representa el riesgo máximo de la población de interés por el consumo de un alimento con una dosis letal del patógeno. Este valor representa la gravedad y la probabilidad de las diferentes combinaciones patógeno-producto-procesamiento (Bevilacqua et al, 2023).

3.2 Datos de entrada de la herramienta *Risk Ranger*

Para completar los datos de entrada del *Risk Ranger*, se han consultado numerosos artículos científicos y bases de datos (PubMed y Google Scholar):

3.2.1 Severidad del peligro

Se han consultado datos de los últimos años en Europa en los artículos EFSA, (2019) y AESAN, (2022).

3.2.2 Susceptibilidad de la población

Se contempla una población general que comprende todos los géneros y grupos etarios.

3.2.3 Frecuencia de consumo

Se ha abordado la cuestión partiendo de un razonamiento lógico alrededor de la naturaleza de cada producto y la frecuencia de consumo habitual de dichos productos en México según datos procedentes de CONEVAL, (2010).

3.2.4 Proporción del consumo

Se han consultado los informes elaborados en 2010 por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social de México (CONEVAL, 2010).

3.2.5 Población total

Se ha consultado los datos de la página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI, s.f.).

3.2.6 Probabilidad de contaminación del producto crudo

Se han consultado los datos de AESAN, (2022); Garofalo et al., (2019); Fasolato et al., (2018); y Grabowski y Klein, (2017).

3.2.7 Efecto del procesamiento

Se han consultado los datos aportados por Bußler et al., (2016); Hong et al., (2020); y Selaledi y Mabelebele, (2021) para las condiciones del proceso de la harina de insectos. Se han consultado los datos aportados por Olivera et al., (2012) para las condiciones de proceso de la barrita proteica. Se han consultado los datos aportados por Janve et al., (2015) y Schaarschmidt y Fauhl-Hassek, (2019) para las condiciones de proceso de la tortilla suplementada. Para el análogo cárnico como tal no se han encontrado datos sobre las condiciones de procesamiento durante el proceso de impresión 3D, por lo que se han hecho suposiciones por analogía con otros alimentos que sufren extrusión.

3.2.8 Potencial de recontaminación

Se ha consultado el estudio elaborado por Daelman et al., (2013).

3.2.9 Control post-proceso

Se ha establecido teniendo en cuenta la naturaleza de los productos, su envasado y su método de conservación.

3.2.10 Aumento necesario para causar la enfermedad en la media de consumidores

Se han utilizado los datos suministrados por Grabowski y Klein, (2017); Eglezos et al., (2010); Berthold-Pluta et al., (2019); Tewari et al., (2013); y Sánchez et al., (2016).

3.2.11 Efecto de la preparación anterior al consumo

Se ha abordado la cuestión partiendo de un razonamiento lógico alrededor de la naturaleza de cada producto y las necesidades de preparación de cada uno de ellos y a partir de los datos presentes en Eglezos et al., (2010).

4. Resultados y discusión

Con la información extraída de las bases de datos y artículos científicos se ha elaborado la Figura 2. En dicha figura se pueden ver todos los datos de entrada para la herramienta *Risk Ranger* cumplimentados para el estudio de la tortilla suplementada, para la barrita proteica y para el análogo cárnico que son los productos propuestos para este trabajo. Los datos de entrada se justifican a continuación:

- Severidad del peligro

En 2018, *B. cereus* supuso un total de 1539 casos distribuidos en 31 brotes alimentarios. Esto se traduce en una incidencia de 0,02 casos/100.000 habitantes (EFSA, 2019). En 2019, *B. cereus* causó 155 brotes de toxiinfección en Europa, con un total de 7 fallecidos (AESAN, 2022). Debido a la relevancia de estos datos se establece que *B. cereus* presenta una **severidad moderada**.

- Susceptibilidad de la población

Al tratarse de una población que comprende todos los géneros y grupos etarios, se considera una población general. Además, cualquier persona puede desarrollar la enfermedad.

- Frecuencia de consumo

En el caso de la tortilla es un producto básico de la cultura mexicana por lo que se estima que se consume diariamente, siendo cada ración de 16,25 gramos. La barrita es un producto que consumen generalmente los deportistas cuando realizan actividad física (se considera saludable un mínimo de 3 días a la semana), por tanto, se estima que la frecuencia es de 4 días cada 100 gramos puesto que cada barrita pesa 50 gramos. Para el análogo cárnico, se estima que en las residencias de la tercera edad se consumen 100 gramos de pollo una vez por semana aproximadamente.

- Proporción del consumo

Según lo marcado en los informes de 2010 del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2010), el consumo de tortilla de maíz diario por individuo es de 217,9 g/día en las zonas rurales (Espejel-García et al., 2016). Por lo que en este apartado se ha considerado un consumo elevado del 75% de la población aproximadamente. En esos mismos informes también se muestra el consumo promedio de carne de pollo en las zonas rurales que es de 32,5 g/día (CONEVAL, 2010). Sin embargo, el producto propuesto se consume solo en residencias de la tercera edad y no en todas ellas. Por tanto, se considera que un 5% de la población será potencial consumidora del producto. Dado que no se han encontrado datos específicos del consumo de barritas proteicas en México, no se puede contemplar la dimensión real que supone su consumo en dicha población. No obstante, se puede hacer una estimación considerando el porcentaje de la población mexicana que hace deporte. Teniendo en cuenta esta consideración se estima

un consumo bajo del 25% de la población aproximadamente, teniendo en cuenta también que, entre la población deportista, que ha sido considerada, no todos ellos consumen barritas proteicas, se consumen diferentes alimentos suplementarios.

- Población total

Según indica el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, s.f.), la población mexicana en el año 2020 alcanzó las 126014024 personas.

En el caso de la tortilla se estimó que la población de México en 2021 con una edad entre 0 y 4 años eran 9892513. Se estima que, en el caso del consumo de la tortilla, la población de esa edad no va a consumir tortillas por lo que no se considera en el estudio. Se considera la población del resto de grupos etarios que son 116121511 personas (Datosmacro.com, 2021).

En el caso de las barritas proteicas, El MOPRADEF determinó si la población realiza ejercicio o actividad física en su tiempo libre. De la población joven de México (18 años en adelante) el 57.9 % respondió que no y el 42.1 %, que sí (INEGI, 2023). Este porcentaje son 53051904 personas.

En el caso del análogo cárnico la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo Nueva Edición (ENOEN), para el segundo trimestre de 2022 estimó que en México residían 17958707 personas consideradas adultas mayores (60 años en adelante) (INEGI, 2022).

- Probabilidad de contaminación del producto crudo

Como se ha comentado con anterioridad, uno de los productos que ha supuesto alertas alimentarias por *Bacillus cereus* en los últimos años, han sido las barritas elaboradas con proteína de insectos (AESAN, 2022). Fasolato et al, (2018) elaboraron un trabajo para detectar bacterias de *Bacillus cereus* aisladas en insectos comestibles procesados. En dicho estudio se identificaron bacterias de *B. cereus* en muestras de gusano de la harina que presentaban una concentración de *Bacillus spp.* de 10^4 UFC/g. Grabowski y Klein, (2017) destacaron la presencia de *B. cereus* en harinas de insectos e insectos secos, que presentaban una concentración de *Bacillus spp.* de 10^3 UFC/g. Por ello se estima que en los 3 casos la probabilidad de que el producto crudo esté contaminado con dicho microorganismo es del 100%, ya que los tres productos contienen harina de *Tenebrio molitor*.

- Efecto del procesamiento (PARA MAS INFORMACION VER ANEXO 3)

Según Bußler et al., (2016); Hong et al., (2020); y Selaledi y Mabelebele, (2021) se realiza un escaldado (75°C, 3 min) y un secado (120°C, 1h, calor seco mucho menos efectivo en la destrucción de esporas bacterianas que el calor húmedo de la esterilización comercial) durante el proceso productivo de la harina de *Tenebrio molitor*.

Según Janve et al., (2015) y Schaarschmidt y Fauhl-Hassek, (2019) se realizan una cocción (100°C, 1h), secado (85°C, 30h), horneado (230°C, 60s) y fritura (190°C, 45s) durante el proceso productivo de la tortilla. Por ello se estima que las condiciones son suficientes para la eliminación del peligro en la gran mayoría de los casos (99%).

Según Olivera et al., (2012) se realizan un mezclado (80°C, 10 min) y un secado (105°C, 30 min) durante el proceso productivo de las barritas proteicas. Sin embargo, a su vez se debe realizar una extrusión (90-95°C). Por ello, se considera que se alcanzan las condiciones necesarias para eliminar esporas de *Bacillus cereus* hasta en un 99% de las ocasiones.

Para el análogo cárnico como tal no se han encontrado datos sobre las condiciones de procesamiento durante el proceso de impresión 3D. Sin embargo, se estima que durante el

proceso se va a realizar una extrusión (90-95°C) por lo que se pueden eliminar esporas de *B. cereus* hasta en un 99% de las ocasiones.

- Potencial de recontaminación

La recontaminación del producto intermedio por *B. cereus* es posible y por tanto es un riesgo que hay que tener en cuenta. El estudio realizado por Daelman et al., (2013) demostró la presencia de *Bacillus cereus* en superficies alimentarias, así como en guantes destinados a entrar en contacto con alimentos. Se detectó este patógeno en 6 de las 226 superficies estudiadas y en 2 de los 92 guantes. A su vez, cabe destacar que el producto acabado se envasa lo cual supone una barrera para que exista una recontaminación por que el producto entre en contacto con el suelo. No obstante cabría considerar una mínima recontaminación si el embalaje no se ha almacenado en condiciones higiénicas y tiene algo de contaminación. Para el propósito de este trabajo vamos a considerar que se siguen buenas prácticas de manufactura. Por ello, aunque es poco probable, la recontaminación del producto con *Bacillus cereus* aumenta el riesgo en el producto terminado. Se estima un potencial de recontaminación de menos del 1%.

- Control post proceso

Se considera que la barrita proteica tiene baja aw, no cabe esperar crecimiento microbiano. Solo se alcanzaría la dosis infectiva en caso de que se almacenara en un sitio con humedad y por deterioro del embalaje. Por todo ello se considera que el sistema de control tras el procesamiento no es relevante. En el caso de la tortilla y del análogo cárnico, al ser un producto que se debe conservar en refrigeración, se considera que el producto se encuentra bien controlado tras el proceso.

- Aumento necesario para causar la enfermedad en la media de consumidores (PARA MAS INFORMACIÓN VER ANEXO 4)

Las concentraciones a las que *B. cereus* es capaz de producir efectos adversos sobre la salud humana se estiman en 10^5 a 10^8 U.F.C/gramo de alimento (Sánchez et al., 2016).

Grabowski y Klein, (2017) destacaron la presencia de *B. cereus* en harinas de insectos e insectos secos, que presentaban una concentración de *Bacillus spp.* de 10^3 UFC/g.

Según el estudio realizado por Eglezos et al., (2010) de 70 muestras analizadas de tortillas, con un límite de detección de 10^2 , no se detectó *Bacillus cereus*. Teniendo en cuenta ese límite de detección y poniéndonos en el peor de los casos, se estima una concentración de 10^2 esporas/gramo. Se estima que al incorporar un 20% (3,25 gramos) de harina de insecto con respecto al peso del producto, se introducen 325 esporas. Teniendo en cuenta que durante el proceso se elimina el 99%, tendríamos 3 esporas en la tortilla. Esto significa que sería necesario un incremento de 10^5 para alcanzar la dosis infectiva.

En lo que se refiere a la concentración de *B. cereus* en las barritas, no se han encontrado los datos referentes a la barrita, por lo que se estima que deben ser similares a las concentraciones de *B. cereus* presentes en cereales de desayuno. La concentración de *B. cereus* en los cereales de desayuno oscila entre 10^1 y 10^2 (Berthold-Pluta et al., 2019). Asumiendo una contaminación de 100 esporas/gramo, al incorporar un 20% (10 gramos) de harina de insecto con respecto al peso del producto, se introducen 1000 esporas. Teniendo en cuenta que durante el proceso se elimina el 99%, tendríamos 10 esporas en la barrita. Sin embargo, considerando que la barrita es un producto con una actividad de agua muy baja, el crecimiento del microorganismo es improbable, es decir la concentración de toxina

después del proceso es la que acabará ingiriendo el consumidor. Por todo ello sería necesario un incremento de 10^5 para alcanzar la dosis infectiva en la población general. En el caso del análogo cárnico, cabe destacar que los productos cárnicos pueden llegar a contener entre 10^2 ufc/g y 10^4 ufc/g de *Bacillus cereus* (Tewari et al., 2013). Suponiendo una contaminación de 10^2 esporas/gramo, y teniendo en cuenta que el análogo cárnico pesa 100 gramos aproximadamente e introducimos un 20% de harina de *Tenebrio molitor* en la composición final del producto, el producto presenta 2000 esporas por porción de carne. Considerando que durante el proceso se elimina el 99%, tendríamos 20 esporas en el análogo cárnico. Esto significa que sería necesario un incremento de 10^2 para alcanzar la dosis infectiva.

- Efecto de la preparación anterior al consumo

En el caso de la tortilla es un producto listo para calentar y consumir. Sin embargo, este calentamiento en ningún caso es un proceso controlado y puede ser insuficiente. Por lo que se estima que la preparación anterior al consumo no tiene efecto sobre la eliminación del peligro (Eglezos et al., 2010).

Por su parte, la barrita es un producto preparado para consumir, por tanto, no hay ninguna preparación anterior al consumo.

Por último, el análogo cárnico requiere un proceso de fritura u horneado para poder ser consumido. Suponiendo que el producto queda medio cocinado, se puede aproximar que se eliminan un 50% de las esporas por el efecto de la preparación previa al consumo.

Los datos de salida, del estudio de las tortillas suplementadas con harina de *Tenebrio molitor*, así como los resultados del estudio de las barritas de proteínas elaboradas a partir de harina de *Tenebrio molitor*, y los resultados del estudio de los preparados cárnicos elaborados con harina de *Tenebrio molitor*, se pueden observar en la Figura 2.

Parámetros de entrada			
Preguntas	Tortilla suplementada	Barrita proteica	Análogo cárnico
Severidad del peligro	Moderado	Moderado	Moderado
Susceptibilidad de la población	General	General	General
Frecuencia de consumo	Diariamente	Otro (100 g cada 4 días)	Semanalmente
Proporción del consumo	75%	25%	5%
Población total	126014024	53051904	17958707
Probabilidad de contaminación del producto crudo	Siempre (100%)	Siempre (100%)	Siempre (100%)
Efecto del procesamiento	Normalmente elimina el peligro (99%)	Normalmente elimina el peligro (99%)	Normalmente elimina el peligro (99%)
Potencial de recontaminación	Menos del 1%	Menos del 1%	Menos del 1%
Control post proceso	Irrelevante	Irrelevante	Bien controlado

Aumento necesario para causar la enfermedad en la media de consumidores	Otro (10E5)	Otro (10E5)	Moderado (10E2)
Efecto de la preparación anterior al consumo	No tiene efecto sobre el peligro	No tiene efecto sobre el peligro	Reduce levemente el peligro (50%)
Parámetros de salida			
Resultados	Tortilla suplementada	Barrita proteica	Análogo cárnico
Probabilidad de enfermar consumidor/día	1,00E-07	2,50E-08	7,12E-06
Enfermedad/año previsto en la población de interés	3,18E+03	1,21E+02	2,33E+03
Riesgo comparativo en la población de interés	7,50E-11	6,25E-12	3,56E-10
Clasificación del riesgo	42	36	46

Figura 2. Resumen de los datos de entrada de acuerdo a lo expuesto anteriormente y datos de salida para cada alimento. Elaboración propia.

A la vista de los resultados obtenidos con el programa *Risk Ranger*, se puede observar que en el supuesto en el que se produzca crecimiento de *Bacillus cereus* por fallos en el sistema de producción, transporte o almacenamiento, incluida la manipulación en el hogar, el riesgo que supone la tortilla suplementada es de 42, mientras que en el caso de la barrita proteica suplementada es de 36, y el riesgo del análogo cárnico es de 46. Estos valores se basan en una escala de riesgo ascendente del 0 al 100 que simplifica el riesgo de la población del estudio por consumir un producto alimentario con una dosis infectiva del patógeno. Por tanto, el valor se puede traducir como la representación de la gravedad y la probabilidad que suponen las combinaciones de patógeno-producto-proceso. Por todo ello, cabe destacar que los valores de 42, 36 y 46 que han resultado para la barrita, para la tortilla y para el análogo cárnico respectivamente, suponen un riesgo intermedio para la población mexicana en este caso.

Cabe resaltar que el producto que presenta mayor riesgo para la población es el análogo cárnico elaborado por impresión 3D, lo cual tiene su lógica debido al tipo de matriz que se está manejando. Otro factor determinante es que es el producto con mayor concentración de esporas de *Bacillus cereus* de los tres productos en estudio. Por todo ello, la interpretación de este resultado es que se deben realizar estudios en profundidad sobre los productos relativamente nuevos como este y resulta de interés ver cómo influyen en el riesgo los cambios en la composición del producto, puesto que son productos que se prestan a la incorporación de muchos tipos de materias primas.

Se destaca que la barrita proteica presenta el valor de riesgo más bajo de los tres productos, seguramente al ser el producto con menor actividad de agua es donde el riesgo de crecimiento del patógeno es menor. Tan solo en un ambiente húmedo y con deterioro del envase podríamos considerar ese crecimiento. No obstante, también pueden ocurrir fallos en el sistema de producción e incluso contaminación excesiva en la materia prima.

También, se espera que la contaminación postproceso debería ser muy elevada (10^5) para poder suponer efectos adversos sobre la población general. En el caso de la tortilla y el análogo cárnico, son productos que se deben comercializar refrigerados. Ante ello, pueden surgir dos situaciones para que se dé el crecimiento del microorganismo: Fallos en el mantenimiento de la cadena del frío durante algunas etapas como puede ser el transporte o almacenamiento; condiciones inadecuadas del frigorífico del consumidor. Por tanto, se estima que los resultados del estudio para estos dos productos supondrían una aproximación a la realidad de lo que ocurriría en las dos situaciones planteadas.

Se debe tener en especial consideración la enfermedad/año prevista estimada en la población de interés que se estima en escenarios desfavorables en: $3,18E+03$ enfermedades causadas por año por el consumo de la tortilla en la población en estudio, lo que supone 2,52 infectados por cada 100000 habitantes; $1,21E+02$ enfermedades causadas por año por el consumo de la barrita en la población en estudio, lo que supone 0,23 infectados por cada 100000 habitantes; y $2,33E+03$ enfermedades causadas por año por el consumo del análogo cárnico en la población en estudio, lo que supone 13 infectados por cada 100000 habitantes. En comparación, en México el nivel de infectados por *Salmonella* se estima en 60 por cada 100000 de habitantes (Contreras-Soto et al., 2019). Cabe destacar que *Bacillus cereus* es una de las bacterias patógenas que suponen mayores incidencias dentro de las ETA alrededor del mundo (De Jesús Cortés-Sánchez et al., 2018). En Europa en 2018, *B. cereus* fue el cuarto agente patógeno con mayor número de casos en la misma categoría de alimentos después de *Salmonella* spp, Norovirus y *C. perfringens*, y la quinta causa de hospitalización (ELIKA Seguridad Alimentaria, 2021). Teniendo en cuenta la importancia de *Bacillus cereus* en referencia a las ETA en general, los resultados obtenidos para los tres productos estudiados resultan lógicos y creíbles. Con los resultados se puede estimar que la enfermedad producida por *Bacillus cereus* en estos productos presenta una incidencia mediana con respecto a las ETA en México.

Los resultados del estudio representan una simplificación aproximada de la realidad. Sin embargo, se deben tener en cuenta el aumento del riesgo que suponen las malas prácticas de fabricación, en las cuales no se respeta las condiciones de temperatura, tiempo, etc. A su vez, resulta muy importante preservar las buenas prácticas durante la cría de los insectos y en la producción de la harina para evitar contaminaciones excesivas. En adición, es fundamental implementar tecnologías eficientes de descontaminación de la harina de insectos, como es el uso de plasma frío. Estas medidas tienen una importancia capital, ya que permiten reducir el riesgo que supone *Bacillus cereus* por incorporación de la harina de *Tenebrio molitor*, que es un ingrediente importante en la formulación de los productos en estudio. Siguiendo las recomendaciones propuestas, entre otras, hay que evitar los escenarios en los que se pueda llegar a alcanzar la dosis infectiva de *Bacillus cereus*.

EFSA, (2015b) determinó que los modelos cuantitativos son los que presentan los resultados más sólidos y fiables para poder basar en dichos resultados las medidas de gestión de riesgo pertinentes. Sin embargo, para realizar un estudio cuantitativo, es necesario recopilar datos experimentales (modelos matemáticos predictivos, modelos de dosis-respuesta o modelos de evaluación de la exposición) para caracterizar adecuadamente los parámetros de entrada. Por ello cuando no se dispone de dichos datos (como en el presente trabajo), las herramientas semicuantitativas logran aportar una base

de información considerable a la hora de realizar evaluaciones de riesgos aproximadas a la realidad (EFSA, 2015b).

Se debe tener en cuenta a la hora de la interpretación de los resultados que algunos de los datos de entrada se han tenido que estimar como consecuencia de la falta de información. Por ejemplo, la falta de datos del procesamiento durante la impresión 3D del análogo cárnico, o los datos de consumo y la concentración de *B. cereus* en la barra proteica. Algunos de estos datos se han extrapolado teniendo en cuenta datos de productos similares. Mientras que otros se han tenido que estimar teniendo en cuenta el juicio propio y la lógica. Esta falta de datos supone una incertidumbre significativa frente a los resultados del estudio. Además, aunque la herramienta *Risk Ranger* ha mostrado su utilidad para la priorización del riesgo, está enfocada a la realización de estudios semicuantitativos simplificados, por lo que los resultados de un estudio empleando esta herramienta son orientativos. En adición, algunas de las opciones que presentan los parámetros de entrada de la herramienta *Risk Ranger* son limitadas. En esos casos se han seleccionado los valores que más se asemejan a los datos recogidos, sin embargo, hay que tener en cuenta que dichas limitaciones influyen sobre los resultados finales (EFSA, 2015b). No obstante, este estudio es un buen punto de partida y barato para el gestor en un entorno industrial que le puede permitir tomar decisiones considerando diferentes escenarios. Por todo ello, este estudio se debe considerar como una aproximación a la situación planteada, que sirve de antesala a la elaboración de próximos estudios más desarrollados y específicos (estudios cuantitativos).

5. Conclusión

El estudio realizado con *Risk Ranger* ofrece un enfoque interesante y resalta la importancia de realizar estudios más complejos sobre estos productos, especialmente sobre el análogo cárnico. Se destaca especialmente el análogo cárnico por ser el producto estudiado que supone mayor riesgo, por lo que se recomienda profundizar en su conocimiento y en la relación matriz/patógeno para obtener una aproximación más realista sobre el riesgo que conlleva la incorporación de harina de *Tenebrio molitor* en la formulación de los productos, priorizando los recursos sobre los estudios y las medidas de control referentes al análogo cárnico.

Se destaca la posibilidad de realizar estudios similares teniendo en cuenta la incorporación de otros insectos o su harina a la composición de ciertos productos, ya que resultaría de interés para el futuro próximo por las ventajas comentadas a lo largo del trabajo que supondrían este tipo de innovaciones. Así como, la posibilidad de realizar otros estudios teniendo en cuenta otras zonas de consumo de insectos o de reciente implantación del consumo de insectos.

Se recomienda incrementar las medidas de control sobre los 3 productos, ya que todos ellos presentan un riesgo intermedio. Se pueden implementar medidas como la higienización en la cadena alimentaria, extremar las condiciones en la conservación del producto (refrigeración), emplear tratamientos efectivos para la eliminación de esporas de *Bacillus cereus* de la harina (esterilización HTST, plasma frío, o equivalente).

6. Bibliografía

- Abril, S., Pinzón, M., Hernández-Carrión, M., & Del Pilar Sánchez-Camargo, A. (2022). Edible Insects in Latin America: A Sustainable Alternative for Our Food Security. *Frontiers in Nutrition*, 9. Visto el 11/05/2023, <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.904812>
- Aditya, A., & Kim, N. S. (2022). 3D Printing of Meat Following Supercritical Fluid Extraction. *Foods*, 11(4), 554. Visto el 07/06/2023, <https://doi.org/10.3390/foods11040554>
- AESAN. (2023). Situación de los insectos en alimentación humana. *Notas informativas*. Visto el 14/05/2023, https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_riesgos/insectos_alimentacion.pdf
- AESAN. (s.f.). Evaluación de riesgos. *Notas informativas*. Visto el 05/07/2023, https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subseccion/evaluacion.htm
- AESAN. (2022). Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) on the prospection of biological hazards of interest in food safety in Spain-2. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. Visto el 08/07/2023, <https://doi.org/10.5281/zenodo.7728051>
- Bacillus - ELIKA Seguridad Alimentaria. (2021, 19 febrero). *Bacillus. ELIKA Seguridad Alimentaria*. Visto el 01/07/2023, <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/bacillus/>
- Berthold-Pluta, A., Pluta, A., Garbowska, M., & Stefańska, I. (2019). Prevalence and toxicity characterization of *Bacillus cereus* in food products from Poland. *Foods*, 8(7), 269. Visto el 21/07/2023, <https://doi.org/10.3390/foods8070269>
- Bevilacqua, A., De Santis, A., Sollazzo, G., Speranza, B., Racioppo, A., Sinigaglia, M., & Corbo, M. R. (2023). Microbiological Risk Assessment in Foods: Background and Tools, with a Focus on Risk Ranger. *Foods*, 12(7), 1483. Visto el 16/06/2023, <https://doi.org/10.3390/foods12071483>
- Bußler, S., Rumpold, B. A., Jander, E., Rawel, H. M., & Schlüter, O. (2016). Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Mealworm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon*, 2(12), e00218. Visto el 03/07/2023, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00218>
- Chen, X., Feng, Y., & Chen, Z. (2009). Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research*, 39(5), 299-303. Visto el 22/05/2023, <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2009.00237.x>
- CONEVAL. (2010). Evolución de la Canasta Alimentaria. Visto el 25/06/2023, <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx>
- Contreras-Soto, M. B., Medrano-Félix, J. A., Ibarra-Rodríguez, J. R., Martínez-Urtaza, J., & Campo, N. C. (2019). Los últimos 50 años de Salmonella en México: Fuentes de aislamiento y factores que influyen en su prevalencia y diversidad. *Revista bio ciencias*, 6. Visto el 22/08/2023, <https://doi.org/10.15741/revbio.06.nesp.e540>
- Daelman, J., Jacxsens, L., Lahou, E., Devlieghere, F., & Uyttendaele, M. (2013). Assessment of the microbial safety and quality of cooked chilled foods and their production process. *International Journal of Food Microbiology*, 160(3), 193-200. Visto el 13/07/2023, <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.10.010>
- Dankar, I., Haddarah, A., Omar, F. E., & Pujolà, M. (2018). 3D printing technology: The new era for food customization and elaboration. *Trends in Food Science and Technology*, 75, 231-242. Visto el 14/06/2023, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.018>
- Datosmacro.com. (2021). México - Pirámide de población. *Datosmacro.Expansión.com*. Visto el 21/08/2023, <https://datosmacro.expansion.com/demografia/estructura-poblacion/mexico>
- De Jesús Cortés-Sánchez, A., Díaz-Ramírez, M., & Guzmán-Medina, C. A. (2018). Sobre *Bacillus cereus* y la inocuidad de los alimentos (una revisión). *Revista de ciencias*. Visto el 21/08/2023, <https://doi.org/10.25100/rc.v22i1.7101>
- Dick, A., & Bhandari, B. (2019). 3D printing of meat. *Meat Science*, 153, 35-44. Visto el 07/06/2023, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.005>
- Duce, J. A., Bordenave, S. A., & Ybarra, L. R. (2012). Investigación sobre la presencia de *Bacillus cereus* en Yerba Mate elaborada. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 17, 0. Visto el 29/05/2023, <https://paperity.org/p/207677752/investigacion-sobre-la-presencia-de-bacillus-cereus-en-yerba-mate-elaborada>
- EFSA. (2005). Opinion of the Scientific Panel on Biological Hazards (BIOHAZ) on *Bacillus cereus* and other bacillus spp in foodstuffs. *EFSA Journal*, 3(4), 1-48. Visto el 23/07/23, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2005.175>
- EFSA Scientific Committee (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10), 4257. Visto el 12/05/2023, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257>
- EFSA. (2015b). Scientific Opinion the development of a risk ranking toolbox for the EFSA BIOHAZ Panel. *EFSA Journal*, 13(1), 3939. Visto el 27/07/2023, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.3939>
- EFSA. (2019). The European Union One Health 2018 Zoonoses Report. *EFSA Journal*, 17(12). Visto el 01/07/2023, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5926>

Eglezos, S., Huang, B., Dykes, G. A., & Fegan, N. (2010). The Prevalence and Concentration of *Bacillus cereus* in Retail Food Products in Brisbane, Australia. *Foodborne Pathogens and Disease*, 7(7), 867-870. Visto el 09/07/2023, <https://doi.org/10.1089/fpd.2009.0469>

Espejel-García, M. V., Flores, J. S. M., García-Salazar, J. A., Pérez-Elizalde, S., & García-Mata, R. (2016). Caracterización del consumidor de tortilla en el Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(3), 371. Visto el 22/06/2023, <https://doi.org/10.22231/asyd.v13i3.401>

FAO. (2021). Looking at edible insects from a food safety perspective. *Challenges and opportunities for the sector*. Roma. Visto el 11/05/2023, <https://doi.org/10.4060/cb4094en>

Fasolato, L., Cardazzo, B., Carraro, L., Fontana, F., Novelli, E., & Balzan, S. (2018). Edible processed insects from e-commerce: Food safety with a focus on the *Bacillus cereus* group. *Food Microbiology*, 76, 296-303. Visto el 27/05/2023, <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.06.008>

Gamez, M. J. (2022). Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. *Desarrollo Sostenible*. Visto el 11/06/2023, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Garofalo, C., Milanović, V., Cardinali, F., Aquilanti, L., Clementi, F., & Osimani, A. (2019). Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Research International*, 125, 108527. Visto el 27/05/2023, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108527>

Grabowski, N. T., & Klein, G. (2017). Microbiology of cooked and dried edible Mediterranean field crickets (*Gryllus bimaculatus*) and superworms (*Zophobas atratus*) submitted to four different heating treatments. *Food Science and Technology International*, 23(1), 17-23. Visto el 28/05/2023, <https://doi.org/10.1177/1082013216652994>

Hong, J. S., Han, T. H., & Kim, Y. M. (2020). Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) as an Alternative Protein Source for Monogastric Animal: A Review. *Animals*, 10(11), 2068. Visto el 03/07/2023, <https://doi.org/10.3390/ani10112068>

INEGI. (s. f.). Población. *Demografía y sociedad*. Visto el 21/06/2023, <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>

INEGI. (2022, 30 septiembre). Estadísticas a propósito del día internacional de las personas adultas mayores. Visto el 21/08/2023, https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2022/EAP_ADULMAY2022.pdf

INEGI. (2023, 23 enero). Módulo de práctica deportiva y ejercicio físico (MOPRADEF), 2022. Visto el 21/08/2023, <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/moprade/moprade2022.pdf>

Janve, B., Yang, W., & Sims, C. A. (2015). Sensory and Quality Evaluation of Traditional Compared with Power Ultrasound Processed Corn (*Zea Mays*) tortilla Chips. *Journal of Food Science*, 80(6), S1368-S1376. Visto el 03/06/2023, <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12892>

Kooh, P., Jury, V., Laurent, S., Audiat-Perrin, F., Sanaa, M., Tesson, V., Federighi, M., & Boué, G. (2020). Control of Biological Hazards in Insect Processing: Application of HACCP Method for Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) Powders. *Foods*, 9(11). Visto el 15/05/2023, <https://doi.org/10.3390/foods9111528>

Kotiranta, A., Lounatmaa, K., & Haapasalo, M. (2000). Epidemiology and pathogenesis of *Bacillus cereus* infections. *Microbes and Infection*, 2(2), 189-198. Visto el 29/05/2023, [https://doi.org/10.1016/s1286-4579\(00\)00269-0](https://doi.org/10.1016/s1286-4579(00)00269-0)

Kouzani, A. Z., Adams, S., Whyte, D. J., Oliver, R., Hemsley, B., Palmer, S., & Balandin, S. (2017). 3D Printing of Food for People with Swallowing Difficulties. *KnE engineering*, 2(2), 23. Visto el 14/06/2023, <https://doi.org/10.18502/keg.v2i2.591>

Liu, C., Ho, C., & Wang, J. (2018). The development of 3D food printer for printing fibrous meat materials. *IOP conference series*, 284, 012019. Visto el 14/06/2023, <https://doi.org/10.1088/1757-899x/284/1/012019>

Naivares Ocampo, R. (2018). Evaluación de riesgos semicuantitativa de E.coli O157 en alimentos para alimentación colectiva en Perú. Visto el 31/07/23, <http://hdl.handle.net/10251/110608>

Neto, E. M. C. (2015). Anthro-po-entomophagy in Latin America: an overview of the importance of edible insects to local communities. *Journal of insects as food and feed*, 1(1), 17-23. Visto el 22/05/2023, <https://doi.org/10.3920/jiff2014.0015>

Olivera, C. M., Ferreyra, V., Giacomino, M., Curia, C. A., Pellegrino, G. N., Fournier, U. M., Apro, C. N., & De Farmacia, F. (2012). Desarrollo de barras de cereales nutritivas y efecto del procesado en la calidad proteica Development of nutritive cereal bars and effect of processing on the protein quality. *Revista chilena de nutrición*, 39, 3. Visto el 03/06/2023, <https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000300003>

Oonincx, D., & De Boer, I. (2012). Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. *PLOS ONE*, 7(12), e51145. Visto el 24/05/2023, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>

Osimani, A., Garofalo, C., Milanović, V., Taccari, M., Cardinali, F., Aquilanti, L., Pasquini, M., Mozzon, M., Raffaelli, N., Ruschioni, S., Riolo, P., Isidoro, N., & Clementi, F. (2017). Insight into the proximate composition

and microbial diversity of edible insects marketed in the European Union. *European Food Research and Technology*, 243(7), 1157-1171. Visto el 27/05/2023, <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2828-4>

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 domestica*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 150-163. Visto el 05/07/2023, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.007>

Raheem, D., Carrascosa, C., Oluwole, O., Nieuwland, M., Saraiva, A., Millán, R., & Raposo, A. (2019). Traditional consumption of and rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(14), 2169-2188. Visto el 23/05/2023, <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1440191>

Ramos-Elorduy, J., Landero-Torres, I., Murguía-González, J., & Pino, M. M. J. (2006). Biodiversidad antropoentomofágica de la región de Zongolica, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 56(1). Visto el 22/05/2023, <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i1.5526>

Ramírez, B. D. G., Osorio, M. C. E., & Pinilla, A. (2021). Evaluación de etiquetas de alimentos dirigidos a población vegetariana en Colombia. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 25(4), 403-418. Visto el 31/07/23, <https://doi.org/10.14306/renhyd.25.4.1351>

Schaarschmidt, S., & Faul-Hassek, C. (2019). Mycotoxins during the Processes of Nixtamalization and tortilla Production. *Toxins*, 11(4), 227. Visto el 03/06/2023, <https://doi.org/10.3390/toxins11040227>

Schoeni, J. L., & Wong, A. E. (2005). *Bacillus cereus* Food Poisoning and Its Toxins. *Journal of Food Protection*, 68(3), 636-648. Visto el 29/05/2023, <https://doi.org/10.4315/0362-028x-68.3.636>

Selaledi, L. A., & Mabelebele, M. (2021). The influence of drying methods on the chemical composition and body color of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*, 12(4), 333. Visto el 16/07/2023, <https://doi.org/10.3390/insects12040333>

Sánchez, J., Correa, M. M., & Castañeda-Sandoval, L. M. (2016). *Bacillus cereus*, un patógeno importante en el control microbiológico de los alimentos. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 34(2). Visto el 25/06/2023, <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v34n2a12>

Tewari, A., Singh, S., & Singh, R. (2013). Incidence and enterotoxigenic profile of *Bacillus cereus* in meat and meat products of Uttarakhand, India. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1796-1801. Visto el 21/07/2023, <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1162-0>

Theelen, M., PhD. (s. f.). RISK RANGER TOOL. Visto el 16/06/2023, https://foodsafetyportal.eu/riskranger/rr_riskranger.html

Tzompa-Sosa, D. A., Moruzzo, R., Mancini, S., De Steur, H., Liu, A., Li, J., & Sogari, G. (2023). Consumers' acceptance toward whole and processed mealworms: A cross-country study in Belgium, China, Italy, Mexico, and the US. *PLOS ONE*, 18(1), e0279530. Visto el 24/05/2023, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279530>

Van Huis, A. (2016). Edible insects are the future? *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 294-305. Visto el 18/05/2023, <https://doi.org/10.1017/s0029665116000069>

Van Huis, A., & Oonincx, D. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5). Visto el 24/05/2023, <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>

Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security. *FAO*, 171. Roma. Visto el 11/05/2023, <https://www.lookingforadventure.com/pdf/Edible%20insects.pdf>

Van Netten, P., Van de Moosdijk, A. A. A., Van Hoensel, P., Mossel, D., Perales, I. M. (1990). Psychrotrophic strains of *Bacillus cereus* producing enterotoxin. *Journal of applied bacteriology*, 69(1), 73-79. Visto el 29/05/2023, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1990.tb02913.x>

Victoria, M., Supeanu, A., Vaga, M., Jansson, A., Boqvist, S., & Vågsholm, I. (2019). The house cricket (*Acheta domestica*) as a novel food: a risk profile. *Journal of insects as food and feed*, 5(2), 137-157. Visto el 18/05/2023 <https://doi.org/10.3920/jiff2018.0021>

Walters, P., Huson, D., & Southerland, D. (2011). Edible 3D Printing. *Society for Imaging Science and Technology* (Vol. 27), 819-822. Visto el 14/06/2023, <http://eprints.uwe.ac.uk/15349/>

Wang, M., Li, D., Zang, Z., Sun, X., Tan, H., Si, X., Tian, J., Teng, W., Wang, J., Liang, Q., Bao, Y., Li, B., & Liu, R. H. (2021). 3D food printing: Applications of plant-based materials in extrusion-based food printing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(26), 7184-7198. Visto el 13/06/2023, <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1911929>

Wang, T., Kaur, L., Furuhashi, Y., Aoyama, H., & Singh, J. (2022). 3D Printing of Textured Soft Hybrid Meat Analogues. *Foods*, 11(3), 478. Visto el 25/05/2023, <https://doi.org/10.3390/foods11030478>

Yhoun-Aree, J., & Wiwatpanich, K. (2005). Edible Insects in the Laos PDR, Myanmar, Thailand, and Vietnam. *En CRC Press eBooks*, 429-454. Visto el 22/05/2023, <https://doi.org/10.1201/9781482294439-26>

ANEXOS:

1. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.	X			
ODS 3. Salud y bienestar.	X			
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.			X	
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.			X	
ODS 12. Producción y consumo responsables.				X
ODS 13. Acción por el clima.	X			
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.	X			
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Tabla 3. ODS Relacionados con el trabajo. Fuente: Elaboración propia.

La relación del trabajo con el ODS 2. Hambre cero se basa en la posibilidad de aprovechar los insectos como alimento, lo cual supondría una opción para mejorar el abastecimiento alimentario a nivel internacional.

La relación del trabajo con el ODS 3. Salud y bienestar se basa en que el estudio trata de

establecer el riesgo para la salud de los consumidores frente al consumo de los tres productos propuestos suplementados con *Tenebrio molitor*. Además, cabe destacar las propiedades nutricionales que presentan los insectos comestibles en general y el gusano de la harina en particular.

La relación del trabajo con el ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico se basa en la oportunidad que supone la producción e incorporación de los insectos como alimento para el crecimiento de las economías. La producción de estos insectos puede ser realmente muy rentable por el bajo precio de las materias primas y el bajo coste que supone la cría de los insectos.

La relación del trabajo con el ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras se basa en que la incorporación de estos productos al mercado alimentario resultaría una innovación rompedora en algunos países. A su vez, dicha incorporación supondría un cambio significativo en la industria alimentaria, debido a la posibilidad de producir insectos comestibles e incorporarlos en la formulación de productos ya existentes.

La relación del trabajo con el ODS 13. Acción por el clima se fundamenta en la mejora medioambiental que supone la producción de insectos comestibles frente a la producción de productos cárnicos para abastecer las necesidades de proteína de origen animal de los consumidores. Se destacan especialmente los beneficios medioambientales que presenta la cría de insectos (requieren menos agua, se producen menos emisiones de GEI, etc.) frente a la cría de otros animales destinados al consumo humano.

La relación del trabajo con el ODS 15. Vida de los ecosistemas terrestres se basa en el papel fundamental que representan los insectos en el mantenimiento de la vida de los ecosistemas terrestres. Resulta relevante realizar estudios complejos de cómo puede influir la entomofagia a nivel internacional sobre la diversidad de especies y la cadena trófica de los ecosistemas terrestres.

2. POTENCIALES PELIGROS DEL CONSUMO DE INSECTOS

Tipos de peligros	Peligros	Características
Microbianos	Bacterias	Los patógenos que afectan a seres humanos y animales surgen como consecuencia de las condiciones de las etapas de la crianza y producción. Las bacterias que se han aislado de los insectos son bacterias formadoras de esporas y enterobacterias fundamentalmente (EFSA, 2015). Las bacterias más significativas son <i>C. botulinum</i> , <i>Cronobacter</i> spp., <i>L. monocytogenes</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>B. cereus</i> , <i>S. aureus</i> y STEC (Kooch et al, 2020).
	Virus	No hay evidencias que demuestren que los virus propios de los insectos comestibles sean capaces de superar la barrera entre especies y replicarse en los seres humanos. Sin embargo, sí se ha demostrado el papel que suponen los insectos comestibles como vectores pasivos de enfermedades víricas humanas y ganaderas (EFSA, 2015).
	Parásitos	Se sugiere el posible papel de los insectos como vectores biológicos de transmisión alimentaria de parásitos. Se establece una relación entre el consumo de insectos con los trematodos de las familias <i>Lecithodendridae</i> y <i>Plagiorchiidae</i> (EFSA, 2015).
	Hongos	Los hongos y levaduras que potencialmente portan los insectos pueden llegar a ocasionar efectos adversos en los seres humanos y en animales. Parece que con unas condiciones de producción adecuadas y medidas higiénicas, se podría disminuir significativamente el crecimiento de especies micotoxigénicas (<i>Aspergillus</i> spp., <i>Penicillium</i> spp., etc.) (EFSA, 2015).
	Priones	Los priones propios de los insectos pueden llegar a suponer tres problemas: Enfermedades priónicas específicas de los insectos; insectos como vectores mecánicos de priones propios de animales o humanos; insectos como vectores biológicos de priones. (EFSA, 2105)

Químicos	Metales pesados y arsénico	La concentración depende de las concentraciones de elementos en los sustratos, la especie del insecto y la etapa de desarrollo del mismo. Los estudios destacan la presencia de cadmio en muestras de insectos, que en algunos casos llega a superar el límite máximo de residuos establecido por la UE. También se destaca la presencia de plomo en ciertos insectos como los saltamontes (EFSA, 2015).
	Toxinas	La capacidad de producción de toxinas y la naturaleza de las mismas varía mucho en función de la especie de insecto. En general, se destaca la posible presencia de glucósidos cianogénicos, micotoxinas y deoxinivalenol (como consecuencia de la contaminación con harina de trigo) (EFSA, 2015).
	Medicamentos veterinarios y hormonas	Se utilizan medicamentos veterinarios para prevenir la aparición de enfermedades causadas por patógenos peligrosos para los insectos. Se deben realizar más estudios para estimar la importancia de la presencia de medicamentos en insectos. Aunque se estima que deben ser similares a otros productos alimenticios de origen animal (EFSA, 2015).
Alergénicos	-	Los insectos comestibles pueden presentar riesgos de alergenicidad como consecuencia de alérgenos comunes entre arácnidos, crustáceos, miriápodos e insectos. Además, pueden presentar riesgos de reactividad cruzada con otros alérgenos, como ácaros o ciertos crustáceos (EFSA, 2015).

Tabla 4. Peligros relacionados con el consumo de insectos. Fuente: Elaboración propia. A partir de lo establecido en el Comité Científico de la EFSA, (2015)

3. CONDICIONES DE PROCESAMIENTO DE LOS PRODUCTOS

Condiciones harina de insectos

En todos los productos que se consideran en este trabajo, se pretende incluir en su formulación harina de *Tenebrio molitor*. Por lo tanto, es fundamental conocer las condiciones del proceso productivo de esa harina, para poder tener en cuenta el posible riesgo de presencia de *Bacillus cereus* que puede suponer el producto intermedio al adicionarlo a la formulación de otros productos. Las condiciones y etapas del proceso productivo de la harina de *Tenebrio molitor* se pueden observar en la Figura 3., que está basada en los trabajos elaborados por Bußler et al., (2016); Hong et al., (2020); y Selaledi y Mabelebele, (2021). En la Figura 3., destacan dos etapas en color rojo (Escaldado y Secado) puesto que son aquellas que se deben tener en cuenta especialmente en este estudio, debido a la influencia de las condiciones de dichas etapas sobre la inocuidad del producto al que se le adiciona la harina de insecto.

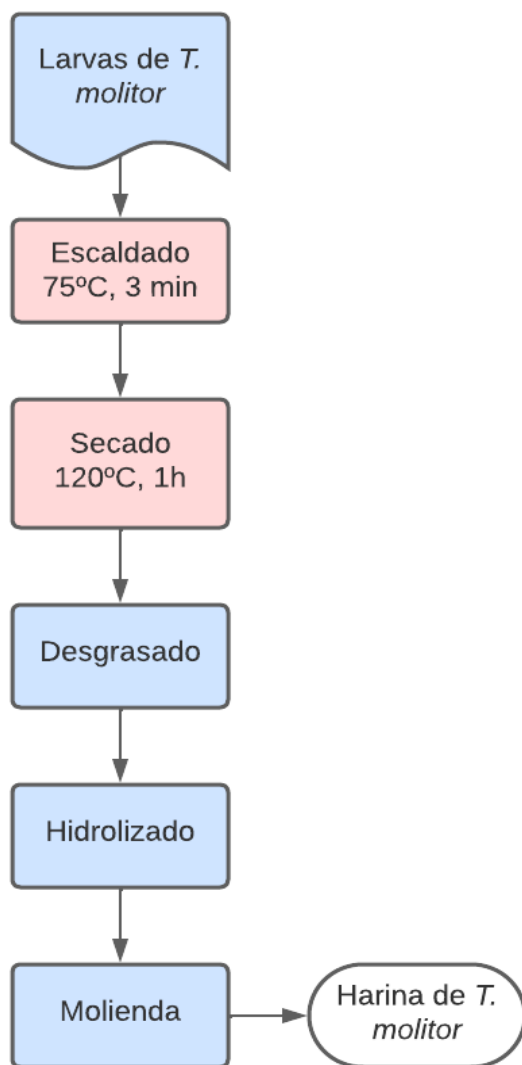


Figura 3. Proceso productivo de la harina de *Tenebrio molitor*. Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios de Bußler et al., (2016); Hong et al., (2020); y Selaledi y Mabelebele, (2021).

Condiciones de producción de la barra de proteína

En el caso de la barra proteica, se propone el uso de las etapas y condiciones de procesado de una barra de proteínas convencional. Se estima que dichas condiciones serían prácticamente las mismas que se utilizarían durante el proceso productivo de las barras de proteínas elaboradas a partir de harina de *Tenebrio molitor*, que son las que se proponen para este trabajo. Las condiciones y etapas del proceso mencionadas se pueden ver claramente en la Figura 4., que está basada en el estudio realizado por Olivera et al., (2012). En la Figura 4., se aprecian dos etapas en color rojo (Mezclado y Secado) puesto que son aquellas que se deben tener en cuenta especialmente en este estudio, debido a la influencia de las condiciones de dichas etapas sobre la inocuidad del producto final.

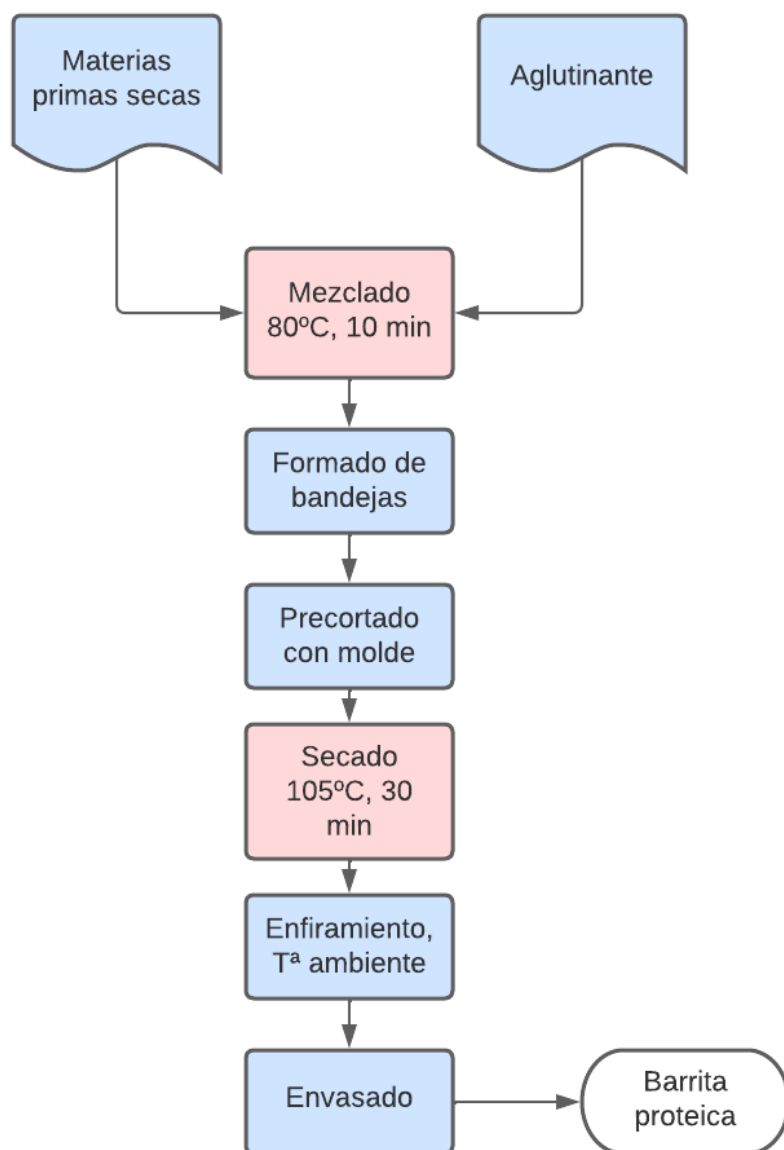


Figura 4. Proceso productivo de las barras de proteínas elaboradas a partir de harina de *Tenebrio molitor*. Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios de Olivera et al., (2012).

Condiciones tortilla suplementada con harina de *Tenebrio molitor*

En el caso de la tortilla suplementada con harina de *Tenebrio molitor*, se sugiere el uso de las etapas y condiciones de procesado de una tortilla de maíz convencional. Se estima que dichas condiciones serían prácticamente las mismas que se usarían durante el proceso productivo de las tortillas suplementadas con harina de *Tenebrio molitor*, que son las que se proponen para este trabajo. Las condiciones y etapas del proceso mencionadas se pueden ver claramente en la Figura 5., que está basada en los estudios realizados por Janve et al., (2015); y Schaarschmidt & Fauhl-Hassek, (2019). En la Figura 5., se destacan cuatro etapas en color rojo (Cocción, Secado, Horneado y Fritura) puesto que son aquellas que se deben

tener en cuenta especialmente en este estudio, debido a la influencia de las condiciones de dichas etapas sobre la inocuidad del producto final.

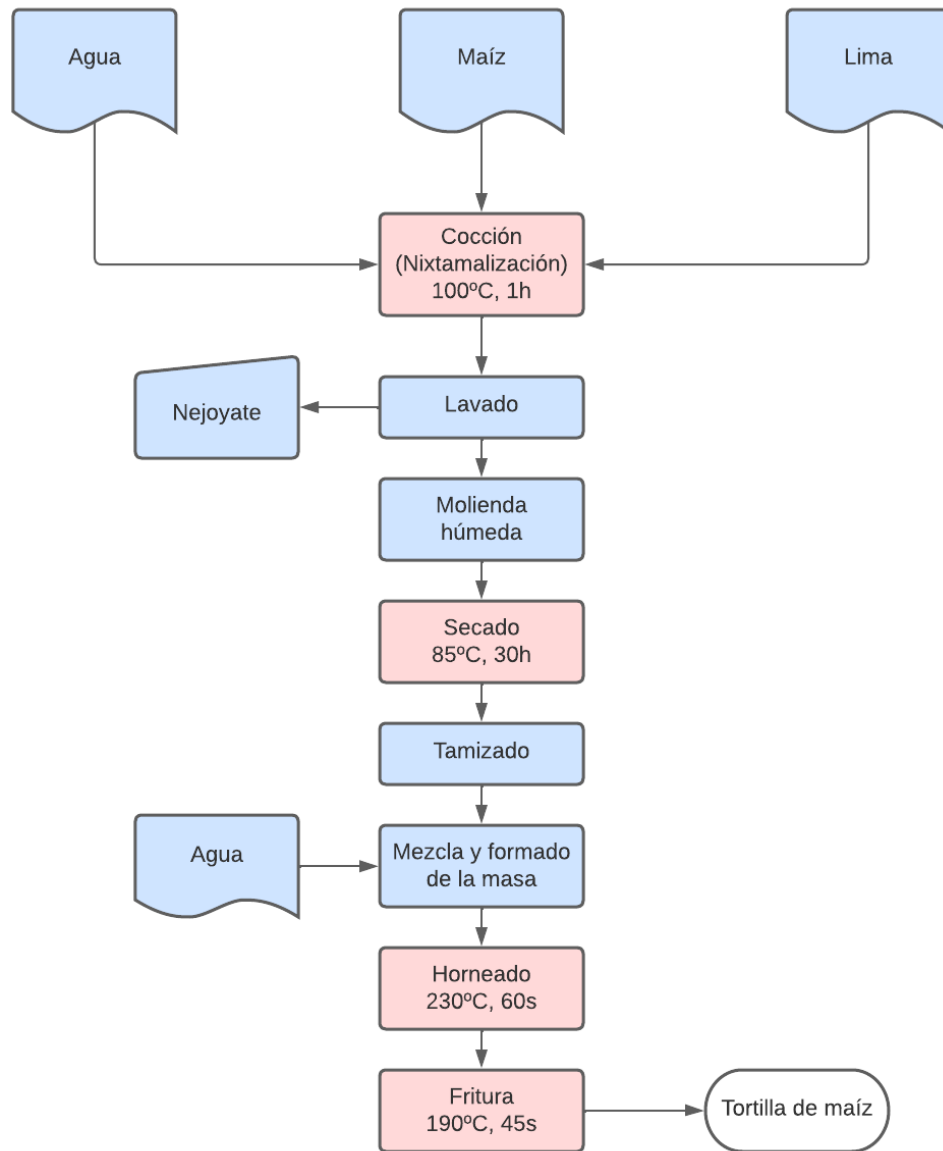


Figura 5. Proceso productivo de las tortillas suplementadas con harina de *Tenebrio molitor*. Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios de Janve et al., (2015); y Schaarschmidt & Fauhl-Hassek, (2019)

Condiciones análogo de carne por impresión 3D

En el caso del análogo de carne fabricado por impresión 3D, se debe tener en cuenta que en la gran mayoría de impresoras 3D utilizadas en la elaboración de alimentos se utilizan cabezales tipo extrusor. En adición, las impresoras con boquilla tipo extrusor son las más convenientes para la impresión de pasta de carne (Dick y Bhandari, 2019).

En los últimos años se han realizado avances y mejoras de la extrusión en la impresión 3D de alimentos. Sin embargo, aún son necesarios más ajustes para alcanzar adecuadamente las condiciones del proceso productivo de los productos cárnicos. En especial, se destaca la necesidad de optimizar el control de las condiciones de tiempo y temperatura, durante la impresión, para asegurar la inocuidad alimentaria (Dick y Bhandari, 2019). Ciertos estudios, como son los de Kouzani et al., (2017), y Liu et al., (2018), señalaron que durante la impresión de productos cárnicos es necesario mantener la temperatura por debajo de 4 °C para prevenir el desarrollo microbiano.

Los ingredientes alternativos son aquellas materias alimentarias que se incorporan por sus propiedades nutricionales (algas, hongos o insectos) (M. Wang et al., 2021). Como se ha podido ver, los insectos se consideran ingredientes alternativos por sus destacables propiedades proteicas (M. Wang et al., 2021). De hecho, Walters et al., (2011) realizaron un proyecto denominado “Insect Au Gratin” en el cual se mezclaron harina de insectos con glaseado y queso blando, para facilitar el proceso de impresión. Este proyecto demuestra el importante papel que puede llegar a tener la harina de insecto en los análogos cárnicos elaborados por impresión 3D.

4. COMPOSICIÓN DE LOS PRODUCTOS

Las barras proteicas presentarían los siguientes ingredientes en su composición por porción (50 gramos): Expandidos de arroz y sémola de maíz, maíz extruido, germen de trigo, ovoalbúmina, leche entera deshidratada y harina de *Tenebrio molitor* (20% del peso total de la barra). La harina de *Tenebrio molitor* se adiciona como sustituta de la proteína en polvo de las barras proteicas convencionales (Olivera et al., 2012).

Por su parte, las tortillas presentarían los siguientes ingredientes en su composición por porción (16,25 gramos): Harina de maíz, harina de *Tenebrio molitor*, agua, almidón de tapioca, goma xantana, ácido cítrico y sal. La proporción de harina de maíz y harina de insectos sería de 70:30 respectivamente (Osimani et al., 2018). La harina de *Tenebrio molitor* supone un 20% del peso total del producto.

Finalmente, los análogos cárnicos presentarían los siguientes ingredientes en su composición por porción (100 gramos): Proteína de soja, harina de *Tenebrio molitor*, agua, aceite de girasol, ácido cítrico y sal. La proporción de proteína de soja y harina de insectos sería de 50:50 respectivamente (Ramírez et al., 2021). La harina de *Tenebrio molitor* supone un 20% del peso total del producto.

En los tres casos propuestos resulta fundamental destacar el porcentaje estimado de harina de *Tenebrio molitor*, para poder estimar el riesgo que supone la adición de dicha harina en las barras, en las tortillas y en los análogos cárnicos.