

---

# Elaboración de análogos de carne vía fermentativa.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

*Trabajo Final de Máster*

*Máster Universitario de Nutrición y Salud*

Autor/a: Laura Durán Rodríguez.  
Tutor/a del TFM: Amparo Gamero Lluna.

---

1º semestre curso académico 2021-2022.



Esta obra está bajo una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.es>)

©opyright

Reservados todos los derechos. Está prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la impresión, la reprografía, el microfilm, el tratamiento informático o cualquier otro sistema, así como la distribución de ejemplares mediante alquiler y préstamo, sin la autorización escrita del autor o de los límites que autorice la Ley de Propiedad Intelectual.

## Resumen

Los análogos cárnicos se consideran una alternativa frente al consumo de carne, pero presentan inconvenientes como que el aporte nutricional es escaso pues las proteínas vegetales son consideradas inadecuadas nutricionalmente al ser deficientes en aminoácidos esenciales o la presencia de antinutrientes. El proceso fermentativo parece ser una alternativa al proporcionar una mejora de los atributos sensoriales y nutricionales. En relación con las características sensoriales se evaluó la textura, color, sabor y aceptación global. Los resultados mostraron que el proceso de fermentación produce una tendencia decreciente en la dureza y masticabilidad y un aumento de la elasticidad y cohesión, así como una disminución de la luminosidad y tonos amarillos, aumentándose el enrojecimiento de las muestras. Se produjo una mejora del sabor general al disminuir el sabor a hierba o frijol, aunque algunas muestras se percibieron con un ligero rechazo. Respecto a las características nutricionales se evaluó el contenido de aminoácidos, proteínas, fibra, grasa saturada, vitaminas, antinutrientes y fenoles. Los resultados mostraron una mejora del contenido de aminoácidos, vitaminas y fenoles, a diferencia del contenido en fibra cuyos resultados no fueron significativos. El contenido en grasa saturada se redujo, así como el contenido de antinutrientes producido por la actividad fitasa de las cepas elegidas. Los resultados muestran una tendencia decreciente de enfermedades prevalentes cardiovasculares o colesterol pudiendo ayudar a cumplir determinados ODS, pero son necesarios estudios futuros para optimizar las condiciones de fermentación y las cepas utilizadas.

## Palabras clave

Análogos cárnicos, alternativas cárnicas, fermentación, propiedades nutricionales, propiedades sensoriales.

## Abstract

Analogues' meats are considered an alternative in charge of traditional meat, but these present different disadvantage as the vegetal proteins are nutritionally deficient because they are low in essential aminoacids or the present of antinutrients. Fermentation appears to be an alternative to improve sensory and nutritional attributes. In relation with sensorials properties, the texture, colour, flavor and global acceptance was evaluated. The results showed that the fermentation produce an in-decline tendency in the hardness and masticability, and an increase of elasticity and cohesion. This process produces a declive of luminosity and the yellow tone, also improved the red tone. Regarding to nutritional properties was evaluated the contents of amino acids, proteins, fiber, saturated fat, vitamins, antinutrients and phenols. The result showed an improve in the contents of amino acids, vitamins, and phenols, as opposed to fiber contents, which results were not significative. The saturated fat content was reduced, as well as the antinutrient content produced by the phytase activity of the chosen strains. The results showed an in-decline tendency in prevalent diseases as cardiovascular or cholesterol, which may contribute to achieving the ODS, but future studies are necessary to optimize the fermentation conditions and the strains used.

## Key words

Review Analogues meat, alternative meat, fermentation, sensory and nutritional properties.

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>14</b>
2.1 Preguntas investigables .....	14
<b>3. Metodología</b>	<b>15</b>
<b>4. Resultados</b>	<b>18</b>
4.1 Microorganismos, sustratos y condiciones de fermentación en la síntesis de análogos de carne. ....	18
4.1.1 Microorganismos.....	18
4.1.2 Sustratos .....	18
4.1.3. Condiciones de fermentación.....	19
4.2 Cambios en los atributos sensoriales de los análogos de carne producidos vía fermentativa. ....	20
4.2.1 Textura. ....	20
4.2.2 Color.....	21
4.2.3 Sabor.....	22
4.2.4 Compuestos volátiles/aroma. ....	24
4.2.5 Niveles de aceptación globales de análogos de carne vía fermentativa.....	25
4.3 Cambios nutricionales en análogos de carne producidos por vía fermentativa. ....	27
4.3.1 Aminoácidos y proteínas. ....	27
4.3.2 Fibra. ....	28
4.3.3 Ácidos grasos saturados. ....	29
4.3.4 Polifenoles.....	30
4.3.5 Vitaminas.....	31
4.3.6 Antinutrientes. ....	31

4.3.7 Impacto sobre la salud de los consumidores y comparación con los productos cárnicos tradicionales. ....	32
4.3.8 Comparación análogos de carne y productos cárnicos tradicionales. ....	33
<b>5. Discusión</b>	<b>33</b>
5.1 Atributos sensoriales .....	34
5. 2 Atributos nutricionales .....	35
<b>6. Aplicabilidad y nuevas líneas de investigación</b>	<b>37</b>
Obtención de análogos de carne vía fermentativa .....	38
Estudio clínico de intervención.....	39
<b>7. Conclusiones</b>	<b>40</b>
Conclusiones sensoriales.....	41
Conclusiones nutricionales.....	41
<b>8. Fuentes de financiación y conflicto de intereses.</b>	<b>42</b>
<b>9. Bibliografía</b>	<b>43</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Criterios de inclusión y de exclusión. ....	16
Tabla 2. Resultados bibliográficos. ....	16
Tabla 3. Diagrama resultados búsqueda bibliográfica (PRISMA). ....	17
Tabla 4. Resumen de las condiciones de fermentación en la elaboración de análogos cárnicos. ....	19
Tabla 5. Nutrientes en carne tradicional, SCP y TVP. ....	33
Tabla 6. Variables estudio "Obtención de análogos vía fermentativa" ....	38
Tabla 7. Variables "Estudio clínico" ....	39

## Índice de figuras

Figura 1. Historia de los análogos de carne .....	10
Figura 2. Resultados de textura (dureza, masticabilidad y cohesión) de análogos cárnicos fermentados. ....	21
Figura 3. Contenido en grasas después de la fermentación llevada a cabo por tres cepas de <i>Rhizopus</i> . ....	30
Figura 4. Contenido en polifenoles después de la fermentación por <i>Bacillus subtilis</i> .....	31

## Índice de abreviaturas

**a\***: coordenadas de color rojo-verde.

**AESAN**: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición.

**b\***: coordenadas de color amarillo-azul.

**CPT**: Compuestos fenólicos totales.

**HME**: Extrusión de alta humedad.

**L\***: Luminosidad.

**LAB**: Bacterias del ácido láctico.

**LME**: Extrusión de baja humedad.

**ODS**: Objetivos del Desarrollo Sostenible.

**PA**: Presión Arterial.

**PUFA**: ácidos grasos poliinsaturados.

**SMF**: Fermentación sumergida.

**SCP**: Micoproteínas.

**SSF**: Fermentación en estado sólido.

**TPA**: Análisis de perfil de textura.

**TVP**: Proteína vegetal texturizada.



## 1. Introducción

La principal fuente de proteína de más alta calidad es la carne debido a sus características nutricionales y sensoriales, conteniendo una gran cantidad de aminoácidos esenciales (1). El incremento de la población ha producido un aumento del consumo de carne mundialmente, previendo que el consumo de productos cárnicos se duplique en el año 2050 (2), a pesar de esto, el consumo de carne animal involucra varios desafíos relacionados con la sostenibilidad ambiental, salud humana, razones éticas (3) y creencias religiosas (1). La Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) recomienda el consumo de carne de forma moderada y limitada, pues un exceso se asocia con diferentes patologías como colesterol, obesidad o incluso diferentes tipos de cánceres (4); dados estos factores y la necesidad de garantizar una vida sana y promover el bienestar surge la necesidad de promover una dieta basada en plantas al presentar múltiples beneficios asociados a la prevención de enfermedades, además de altas cantidades de vitaminas y minerales (5). Para ello existe una fuerte demanda de alimentos vegetarianos o veganos que ocupan un espacio en el mercado cada día más grande (1), pudiendo encontrar los denominados análogos de carne, carne de imitación o sustitutos de la carne.

Los **análogos de la carne** son aquellos productos que tienen características estructurales y sensoriales parecidos a los de la carne, generalmente textura, sabor y apariencia (1,3). Estos pueden clasificarse en vegetales texturizados (soja, guisantes, gluten, etc.), celulares (carne *in vitro* o cultivada) y microbianos (micoproteínas, SCP), sin embargo el principal ingrediente utilizado para estos productos es la proteína (Proteína Vegetal Texturizada, TVP), especialmente la de soja y el gluten por su capacidad de reproducir ciertas características de textura, apariencia, funcionalidad y valor nutricional de la carne (6,7).

La TVP es considerada uno de los primeros lanzamientos de análogos de carne obtenidos a partir de harina de soja desgrasada, concentrados de

proteína de soja o gluten de trigo (8) y su utilidad se puede dividir imitando tres tipos de productos: músculo molido, triturado y entero. Actualmente, podemos encontrar gran cantidad de productos análogos de carne como hamburguesas, Nuggets, salchichas, bistec, etc., algunos de ellos realizándose sobre la base de recetas centenarias que incluyen trigo, gluten, arroz, champiñones, legumbres, tempeh o tofu prensado (1).

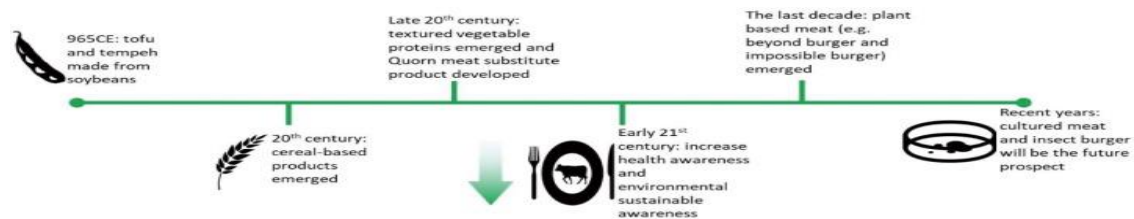


Figura 1. Historia de los análogos de carne (8).

Son diversos los ingredientes que se utilizan para conseguir características nutricionales y sensoriales parecidas a las de la carne, entre ellos se encuentra la **soja**, que es rica en carbohidratos, grasas, fibras, macro y micronutrientes y vitaminas, siendo capaz de imitar las fibras cárnicas, aumentando la dureza fibrosa y masticabilidad; **cereales**, como puede ser el trigo, cebada, arroz y avena, especialmente el gluten de trigo por su capacidad viscoelástica; **legumbres**, como guisantes, lentejas, altramuces, garbanzos y frijoles por sus aminoácidos esenciales, sin embargo, presenta bajos niveles de metionina y son difíciles de digerir; **lípidos o grasas** que actúan como aglutinantes, aportando jugosidad, ternura y un sabor particular; y **algas** incluyendo macro y microalgas que son grandes fuentes de proteínas. Otros ingredientes utilizados pueden ser los hongos, albúmina de huevo, carbohidratos, gomas de mascar, saborizantes, fibra, caseinato o carragenina (5).

El proceso de fabricación de análogos de carne consiste en una cocción por extrusión, que es una técnica llevada a cabo mediante una alta temperatura, precisión y cizallamiento produciendo una fusión molecular, mezcla y formación estructural de las proteínas, transformando así los alimentos en una pasta capaz de moldearse con una determinada textura después de la expansión (7,9). El proceso puede ser con una baja o alta humedad. En el caso de la baja humedad (LME, Low Moisture Extrusion) o extrusión seca, los productos

resultantes no tienen un contenido en fibra definido y necesitan una hidratación antes de su consumo, presentando una vida útil larga. Por el contrario, la alta humedad (HME, High Moisture Extrusion), da como resultado análogos de carne frescos y de primera calidad con una estructura fibrosa definida, al presentar una apariencia visual y sensación de sabor mejorada. Esto se produce gracias a que el enfriamiento durante la extrusión es capaz de evitar la expansión del producto, sin embargo, la vida útil es más corta (7,9).

A pesar de esto, la calidad nutricional de las proteínas depende de varios factores como son la biodisponibilidad, digestibilidad, aminoácidos, antinutrientes y otros factores, siendo uno de los grandes problemas la presencia de antinutrientes como ácido fítico, lectinas, saponinas e inhibidores de enzimas, pudiendo afectar a la biodisponibilidad del mineral y digestibilidad de proteínas y carbohidratos (3). Además, existen inconvenientes como pueden ser que estos productos pueden no recordar a las características sensoriales de la carne, pudiendo ser un factor limitante de su aceptación o que en el caso de usar proteínas vegetales pueden tener un sabor extraño a plantas debido a las lipooxigenasas, saponinas e isoflavonas, o incluso que pueden provocar reacciones alérgicas o intolerancias como consecuencia del gluten que se incorpora para texturizar el producto (8, 10).

Como consecuencia del aumento de la demanda de análogos de carne, se deben estudiar métodos alternativos que reduzcan la presencia de los antinutrientes y que optimicen el sabor y la funcionalidad de estos, ayudando a recordar las características nutricionales y sensoriales de la carne (4).

La **fermentación** consiste en llevar a cabo un crecimiento microbiano controlado en el alimento convirtiendo los componentes de los productos por medio de enzimas que descomponen las moléculas orgánicas en otras más simples. En la actualidad existe una alta demanda de estos productos al estar relacionados algunos de ellos con efectos beneficiosos para la salud por tener un efecto probiótico o contener péptidos bioactivos. La fermentación además ocasiona la conversión de compuestos fenólicos en compuestos

biológicamente activos, así como una reducción de la presencia de antinutrientes y la aparición de sabores y aromas mejorados como consecuencia de cambios bioquímicos deseables responsables de la modificación del alimento (11,12).

Entre las **ventajas** de los alimentos fermentados podemos encontrar una vida útil más larga, una mejora de las propiedades organolépticas y sensoriales, la eliminación de compuestos no deseables, reducciones del tiempo de cocción y una mayor capacidad antioxidante. No obstante, se deben tener en cuenta los factores que influyen en el proceso fermentativo, la composición de los sustratos y los microorganismos usados en la fermentación, entre otros (12).

En el caso de los análogos de carne, dado que las proteínas vegetales se consideran inadecuadas desde el punto de vista nutricional por ser deficientes en aminoácidos esenciales, se ha demostrado que este tratamiento es capaz de potenciar el perfil nutricional y aportar una vida útil más larga (5,13). Esta fermentación puede ser producida mediante dos técnicas: la fermentación en estado sólido (SSF) y la fermentación sumergida (SMF). La SSF se produce en ausencia o en una cantidad muy limitada de agua; mientras que SMF se lleva a cabo con un alto volumen de agua, siendo importante establecer que los resultados de la fermentación dependerán de las proteínas y microorganismos utilizados (13).

La fermentación puede ser producida por bacterias o por hongos; en el caso de la fermentación producida por **hongos** se suele utilizar como una alternativa al uso de proteínas vegetales por sus problemas asociados a los antinutrientes y alergenicidad (14), estos son ricos en proteínas y ha sido frecuente el uso de ciertas SCP que parecen ser capaces de aportar una textura fibrosa parecida a la de la carne; para ello se han utilizado hongos filamentosos como *Fusarium graminearum* (aunque se caracteriza por su percepción por parte de los consumidores como un “moho patógeno”), *Rhizopus oligosporum* (utilizado para la producción de tempeh desde hace años) (15), *Agraricus bisporus* o *Pleurotus sapidus* (16). Por otro lado, en el caso de la fermentación por **bacterias**, se está estudiando si este tratamiento se puede utilizar para

degradar el ácido fólico gracias a la producción de fitasas, aunque esto depende del sustrato y los microorganismos (3) o el uso de ciertas bacterias lácticas (LAB) o del género *Bacillus*, como *Bacillus subtilis*, para observar si son capaces de mejorar la textura o el color del sustituto de la carne (17). Por lo tanto, la fermentación puede ser capaz de optimizar los valores nutricionales, propiedades organolépticas y aumentar la vida útil, inhibiendo el crecimiento de microorganismos patógenos como consecuencia del metabolismo microbiano. Los microorganismos son capaces de sintetizar enzimas que hidrolizan ingredientes y aportan buenas características nutricionales y organolépticas al producto, además de disminuir antinutrientes.

De aquí surge la necesidad de seguir estudiando el uso de este proceso en la industria alimentaria para conseguir análogos de carne que además de ser seguros, presenten el aporte y la calidad proteicos de la carne y así poder reducir el impacto ambiental que esta genera, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030. Las alternativas cárnicas podrían proporcionar una ayuda para efectuar diversos cambios relacionados con algunos ODS como “Hambre cero” (ODS 2) o “Salud y Bienestar” (ODS 3). Respecto al hambre, es sabido que puede deberse a conflictos producidos por humanos, cambio climático y la economía (19), por lo que el uso de estos nuevos productos podrían ayudar ya que son capaces de evitar contaminaciones climáticas o deforestaciones al reducir el impacto ambiental producido por la carne; en relación a la salud y bienestar, los productos cárnicos se han asociado con enfermedades crónicas, cáncer colorrectal, enfermedades cardiovasculares, etc. (20), por lo que los sustitutos de la carne podrían ser una alternativa más saludable, promoviendo la salud pública y el bienestar social.

Esta revisión bibliográfica se realiza con el objetivo de evaluar si el uso de la fermentación podría ayudar no sólo a mejorar las características sensoriales de los análogos de carne, sino también a mejorar sus valores nutricionales gracias a vías metabólicas complejas y actividades proteolíticas y lipolíticas de origen microbiano (18). El fin es determinar si este proceso sería capaz producir

alimentos seguros con diferentes características fisicoquímicas (sabor, textura, color), ayudando a recordar a los productos cárnicos tradicionales.

## 2. Objetivos

### Objetivo general

Evaluar si la fermentación microbiana puede desencadenar efectos beneficiosos sobre las propiedades nutritivas y sensoriales de los análogos de carne.

### Objetivos específicos

- Determinar qué tipo de fermentación, incluyendo cultivos, tiempos y tipo de fermentación, pueden ser los más adecuados y pueden ayudar a mejorar las características nutritivas y sensoriales de los análogos de carne.
- Establecer beneficios asociados a la fermentación en relación con las características sensoriales (textura, sabor, color y aroma) de los análogos de carne.
- Establecer beneficios para la salud del consumo de análogos de carne fermentados en comparación con los productos cárnicos tradicionales.

### 2.1 Preguntas investigables

- ¿Puede la fermentación conseguir una mejora en las características sensoriales y nutritivas en análogos de carne para conseguir una mayor aceptación de los sustitutos de carne en comparación con los productos cárnicos tradicionales?
- ¿Es capaz la fermentación en análogos de carne de disminuir la presencia de antinutrientes (como el ácido fítico) de las proteínas vegetales para mejorar la salud en personas veganas, vegetarianas o flexitarianas?
- ¿Los análogos de carne producidos por vía fermentativa pueden tener efectos beneficiosos sobre la salud de los consumidores en comparación con los productos cárnicos?

### 3. Metodología

El trabajo realizado consistió en una revisión bibliográfica, por lo que se llevó a cabo una investigación cualitativa sobre los diferentes efectos de la fermentación en productos análogos de carne. Esta revisión bibliográfica se llevó a cabo siguiendo la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (21). La búsqueda bibliográfica comenzó el 22 de octubre de 2021 y finalizó el 1 de diciembre de 2021.

Las búsquedas se llevaron a cabo en bases de datos rigurosas científicas tales como MENDELAY, PubMed, Google Académico, Web of Science y Foods.

Para obtener las palabras claves o MeSH y así poder centrar la búsqueda se utilizó la página web de DeCS, ofreciéndonos los Medical Headings (MeSH) y mediante PubMed. Se utilizaron sinónimos y palabras claves:

- Palabras clave idioma inglés: “ANALOGUES MEAT”, “ANALOGS MEAT”, “MEAT SUBSTITUTES”, “ALTERNATIVE MEAT”, “FERMENTATION”, “FERMENT”, “VEGETAL PROTEINS”, “ALTERNATIVE PROTEINS”, “MYCELIUM”, “NUTRIENTS ANALOGS MEAT”, “VEGETARIAN DIET”, “NUTRITION”, “PROPERTIES SENSORIAL”, “PROPIERTIES NUTRICIONAL’S”, “MYCOPROTEINS”, “MUSHROOM”, “FUNGUS”, “QUORN”.
- Palabras clave idioma español: “ANÁLOGOS DE CARNE”, “ANÁLOGOS CÁRNICOS”, “SUSTITUTOS DE LA CARNE”, “ALTERNATIVAS PROTEICAS”, “FERMENTACION MICROBIANA”, “MICELIO”, “NUTRIENTES EN ANÁLOGOS DE CARNE”, “DIETA VEGETARIANA”, “NUTRICION”, “PROPIEDADES SENSORIALES”, “PROPIEDADES NUTRICIONALES”, “MICOPROTEÍNAS”, “HONGOS”, “QUORN”.

Para hacer la búsqueda bibliográfica se utilizaron los siguientes operadores lógicos: “AND/Y” (intersección), “OR/O” (unión) y “NOT/NO” (exclusión). La gestión y organización del material bibliográfico se llevó a cabo mediante la aplicación Zotero, en la cual se exportaron los artículos encontrados en todas las bases de datos y se eliminaron aquellos duplicados. Se seleccionaron los



artículos de interés mediante el uso de las palabras clave y a continuación se aplicaron los criterios de inclusión y de exclusión, mostrados en la **Tabla 1**, leyendo los títulos y resúmenes. Los resultados de la búsqueda bibliográfica aparecen en la **Tabla 2**.

**Tabla 1. Criterios de inclusión y de exclusión.**

<b>CRITERIOS DE INCLUSIÓN:</b>	<b>CRITERIOS DE EXCLUSIÓN:</b>
Publicaciones de los últimos 5 años (2016-2021)	Publicaciones con fecha anterior al año 2016.
Publicaciones con lengua inglesa o española.	Artículos con lengua diferente a la inglesa o española.
Publicaciones, con suficiente evidencia científica, que incluyesen información sobre análogos de carne relacionados con la nutrición y salud, seguridad alimentaria, fermentación microbiana, cultivos, microorganismos, micelios, propiedades nutritivas y sensoriales, sostenibilidad, medio ambiente y tendencias futuras.	Artículos que incluyesen información sobre los análogos de carne relacionados con aspectos tecnológicos, económicos, encuestas o que no presentasen información sobre análogos de carne elaborados por vía fermentativa. Aquellos artículos que presentasen información repetida.

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 2. Resultados bibliográficos.**

<b>PubMed</b>	6
<b>Web of Science</b>	
<b>Science Direct</b>	9
<b>Foods</b>	2
<b>Google Académico</b>	6
<b>MENDELEY</b>	0

*Fuente: Elaboración propia.*

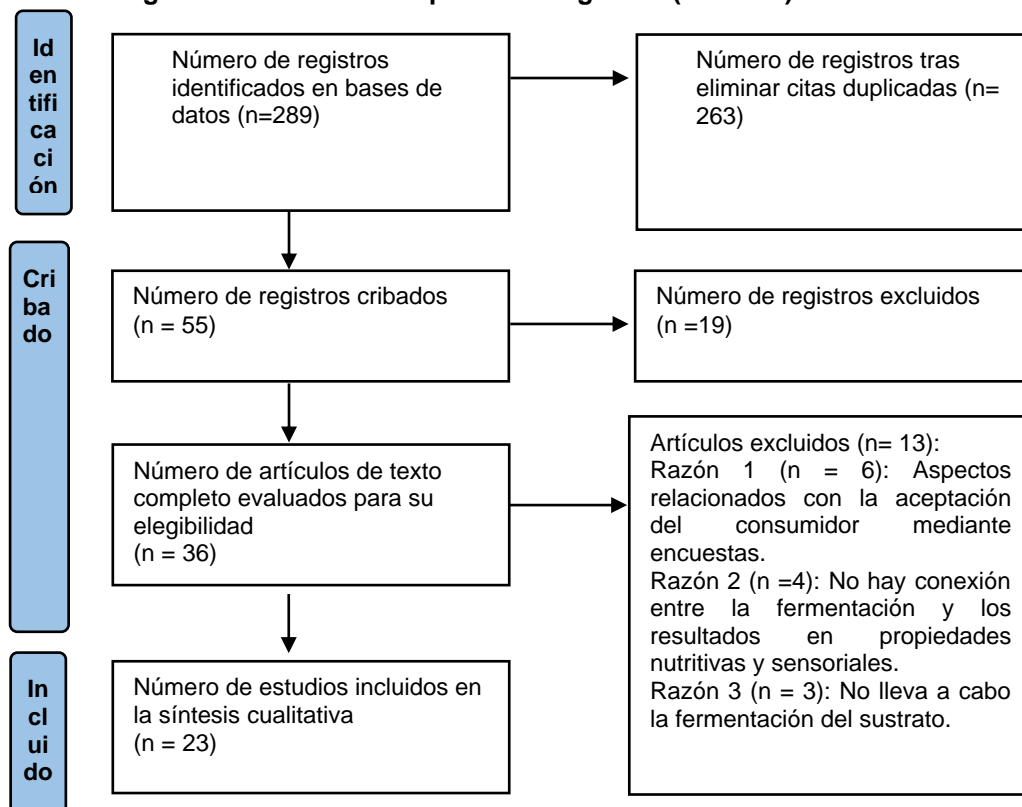
En el **Anexo 1**, se encuentra un resumen de los artículos seleccionados. No se llevó a cabo la evaluación del riesgo de sesgo de los estudios seleccionados.



- **PubMed:** Los resultados fueron 83 artículos, 63 relacionados con análogos de carne por vía fermentativa bacteriana y el resto fermentados mediante hongos. 4 de ellos fueron eliminados por no poder acceder al texto completo.
- **Science Direct:** Se encontraron 85 resultados, de los ellos 2 eran repetidos y 71 no fueron seleccionados tras la lectura del resumen por no cumplir con los criterios de inclusión. El total de artículos seleccionados fue de 10.
- **Foods:** Se encontraron 14 resultados, de los cuales 1 era repetido y 4 no cumplían con los criterios, los resultados obtenidos fueron de 2 artículos.
- **Google Académico:** Tras el filtrado de artículos, se obtuvieron 85. En total, se seleccionaron 6 artículos, al no cumplir el resto los criterios establecidos.
- **MENDELEY:** Se buscó “analogues meat AND fermentation” y “analogous meat and mushroom”, obteniendo 22 artículos. Al eliminar duplicados y aplicar los criterios de selección no se usó ningún artículo.

En la **Tabla 3** se muestran los resultados de la búsqueda bibliográfica mediante el diagrama de flujo PRISMA.

**Tabla 3. Diagrama resultados búsqueda bibliográfica (PRISMA).**



Fuente: Elaboración propia

## 4. Resultados

### 4.1 Microorganismos, sustratos y condiciones de fermentación en la síntesis de análogos de carne.

#### 4.1.1 Microorganismos

La fermentación en análogos cárnicos puede llevarse a cabo mediante mohos, bacterias y levaduras. Es frecuente el uso de bacterias como *Bacillus subtilis* (17), aunque especialmente de LAB (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Bifidobacterium lactis* (3, 22, 23)), mientras que se han utilizado una gran cantidad de hongos para la producción de micelios (*Rhizopus oligosporus* (24-27), *Agaricus spp.* (24), *Aspergillus oryzae* (28), *Agaricus bisporus* (29), *Fusarium venenatum* (30), *Pleurotus sapidus* (16), incluyendo levaduras como *Kluyveromyces lactis*, *Kluyveromyces marxianus* y *Torulasporea delbrueckii*) (31).

#### 4.1.2 Sustratos

Son diversos los ingredientes de origen vegetal utilizados como sustratos en la elaboración de análogos de carne como son las proteínas de la soja y de guisante, el gluten de trigo y las proteínas de maní. La más utilizada es la proteína de soja puesto que se ha visto que presenta todos los aminoácidos esenciales, características nutricionales adecuadas, disponibilidad y bajos costes, sin embargo presenta algunas desventajas como el sabor a hierba y frijol o amargor (22).

Por otra parte, la SCP basada en micelios de hongos filamentosos se está estudiando al constituir una estrategia con mucho potencial para la elaboración de análogos de carne. Esto es debido a determinados atributos como el sabor carnoso aportado por la presencia de azufre y ácido glutámico, la presencia de fibra dietética, la textura similar a la carne y su masticabilidad (22). Además, según la investigación de Zhang et al. (32), la utilización de micelios de hongos es factible para el proceso de elaboración de análogos cárnicos pues son fáciles de cultivar y cosechar.

#### 4.1.3. Condiciones de fermentación

La fermentación es un proceso que habitualmente se ha utilizado para llevar a cabo una reducción del pH y la actividad de agua para evitar el crecimiento de patógenos. En los últimos años están surgiendo estudios donde este proceso parece mejorar algunas características nutricionales y sensoriales (22).

En la **Tabla 4** se muestra un resumen de las condiciones de fermentación de diversos estudios relacionados con la síntesis de análogos cárnicos.

**Tabla 4. Resumen de las condiciones de fermentación en la elaboración de análogos cárnicos.**

<b>Microorganismos.</b>	<b>Condiciones de fermentación.</b>	<b>Referencia</b>
<i>Bacillus subtilis.</i>	Temperatura: 37°C. Tiempo: 0, 12, 24, 36, 48 y 60h.	(17)
LAB	Temperatura:30-40°C. Tiempo: 22 horas.	(3)
<i>Lactobacillus plantarum.</i> <i>Lactobacillus acidophilus.</i>	<b><i>L. plantarum:</i></b> Temperatura: 30°C. Tiempo: 24 horas. <b><i>L. acidophilus:</i></b> Temperatura: 37°C. Tiempo: 24 horas.	(22)
<i>Rhizopus oligosporus.</i>	Temperatura: 32°C. Tiempo: 30 días.	(24)
<i>Rhizopus microsporus,</i> <i>Rhizopus oligosporus.</i>	Temperatura: 32°C. Tiempo: 30-48 horas.	(25)
<i>Lactobacillus plantarum.</i>	Temperatura: 37°C. Tiempo: 15 horas.	(23)
<i>Aspergillus oryzae.</i>	Temperatura: 50, 60, 70, 80 y 90°C.	(28)
<i>Pediococcus pentosaceus,</i> <i>Pediococcus acidilactici</i>	Temperatura: 37°C. Tiempo: 24 horas.	(33)
<i>Rhizopus oligosporus</i>	Temperatura: 37°C. Tiempo: 48 horas.	(26)
<i>Rhizopus oligosporus</i>	Temperatura: 32°C. Tiempo: 6 días.	(27)

**Fuente:** Elaboración propia.

## 4.2 Cambios en los atributos sensoriales de los análogos de carne producidos vía fermentativa.

Las propiedades sensoriales son aquellos atributos que pueden detectarse por medio de los sentidos: color, sabor, aroma y textura. El desarrollo de los análogos de carne presenta varios desafíos, entre ellos tecnológicos, con el fin de imitar la textura, el sabor y la apariencia general de la carne (6) y así aumentar su consumo y promover buenos hábitos alimentarios en la población.

### 4.2.1 Textura.

Los parámetros de textura pueden dividirse en elasticidad (capacidad del alimento para volver a su tamaño inicial), cohesión (capacidad de excitación de enlaces internos que forman el alimento), masticabilidad (facilidad para masticar el alimento) y dureza (fuerza requerida para desintegrar el alimento).

Maung et al. (17) llevaron a cabo un estudio de la fermentación de TVP con *Bacillus subtilis* y diferentes contenidos de humedad (40% o 50%), en este analizaron los parámetros de textura teniendo en cuenta la elasticidad, cohesión, masticabilidad y la dureza, los cuales se vieron significativamente afectados por el tiempo de fermentación establecido. La fermentación modificó la dureza y masticabilidad con una tendencia decreciente conforme aumentaba el tiempo de fermentación de 0 a 60 horas. Respecto a la elasticidad y la cohesión, aumentaron con el tiempo de fermentación. A pesar de los resultados mostrados en este trabajo, se establece que el contenido de humedad utilizado puede afectar al análisis de perfil de textura (TPA), pues se concluye que el TVP con un 50% de humedad obtuvo una masticabilidad y dureza mayor que los TVP con 40% de humedad. Los resultados de este estudio coinciden con el de Razavizadeh et al. (34) en el cual también se produce una disminución de la dureza y masticabilidad de los análogos de carne elaborados a partir de la fermentación de okara llevada a cabo por *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus acidophilus*. La mejora de la textura se produjo especialmente con el cultivo iniciador *Lactobacillus plantarum* produciéndose una mayor aceptación en cuanto a textura de los productos fermentados respecto a las

muestras control. En la **Figura 2**, se muestran los resultados del TPA en las diferentes condiciones de fermentación de dicho estudio.

Condiciones de fermentación	Cantidad de okara, %	Temperatura de maduración de la masa, ° C	Dureza, N	Masticabilidad	Cohesión
Control	3	4	19,56 ± 0,14	17,61 ± 0,18	0,716 ± 0,004
		18	19,76 ± 0,43	14,27 ± 0,11	0,751 ± 0,018
	6	4	19,65 ± 0,11	16,48 ± 0,08	0,735 ± 0,009
		18	21,5 ± 0,04	14,90 ± 0,08	0,749 ± 0,014
<i>L. plantarum</i> P1	3	4	13,54 ± 0,15	4,36 ± 0,06	0,769 ± 0,008
		18	14,03 ± 0,20	6,11 ± 0,13	0,738 ± 0,006
	6	4	10,55 ± 0,10	3,30 ± 0,04	0,666 ± 0,001
		18	15,38 ± 0,08	6,12 ± 0,04	0,744 ± 0,008
<i>L. acidophilus</i> 308	3	4	16,63 ± 0,06	11,31 ± 0,08	0,762 ± 0,004
		18	21,63 ± 0,14	11,42 ± 0,14	0,676 ± 0,006
	6	4	20,00 ± 0,20	7,80 ± 0,56	0,769 ± 0,011
		18	22,75 ± 0,0	10,88 ± 0,11	0,745 ± 0,008
Interpretación estadística			P- valor		

**Figura 2. Resultados de textura (dureza, masticabilidad y cohesión) de análogos cárnicos fermentados (34).**

Kaleda et al. (3) desarrollaron un estudio sobre el impacto de la fermentación en proteínas de avena y guisante para la formación de análogos de carne. En lo que respecta al TPA, se concluyó que el producto resultante de la fermentación fue un 40% más duro y un 25% más masticable, sin embargo fue menos cohesivo. Los autores afirman que se necesita una mayor optimización en la elaboración de los sustitutos de la carne para que se asemejen más a los productos cárnicos.

Rousta et al. (28), llevaron a cabo una investigación sobre el uso de *Aspergillus oryzae* para la elaboración de hamburguesas fúngicas y, para determinar la textura llevó a cabo una evaluación sensorial. En los resultados se puede observar que la textura podía ser demasiado suave y tersa, mientras que algunos participantes comentaron que la textura era idónea.

#### 4.2.2 Color

El color puede determinarse mediante la escala CIELab: L\*: luminosidad, del negro al blanco, a\*: enrojecimiento y b\*: amarillez.

Maung et al. (17), determinaron los valores de color en TVP control y fermentados, concluyéndose que el tiempo de fermentación afecta significativamente a la luminosidad, enrojecimiento, amarilleo y la diferencia de color;  $L^*$  y  $b^*$  disminuyeron con el tiempo de fermentación, mientras que el  $a^*$  aumentó conforme se aumentaba el tiempo de fermentación. Estos resultados coinciden con los encontrados por Kaleda et al. (3), quienes midieron el color en muestras de proteínas de avena y guisante fermentadas y establecieron diferencias significativas, especialmente al producirse una disminución en la  $L^*$ . Sin embargo, este estudio determina que el color de los análogos de carne dependerá del proceso de elaboración, especialmente de la temperatura y de la humedad de extrusión.

No obstante, los resultados de los estudios anteriores no coinciden con el estudio realizado por Razavizadeh et al. (34), en el cual se establece que no se encontraron diferencias significativas atribuidas al color entre las muestras fermentadas y no fermentadas de análogos cárnicos, aunque si se pudo observar una ligera tendencia a una disminución de  $L^*$  del análogo cárnico en comparación con un producto cárnico tradicional.

#### 4.2.3 Sabor

Uno de los inconvenientes de los análogos cárnicos es la presencia de sabores desagradables a hierba o frijol. En las proteínas de soja, el mal sabor a hierba o frijol se debe a la oxidación de lípidos, la presencia de saponinas, la presencia de fotoquímicos y ácidos fenólicos, así como a la presencia de hexanal, 2-4-decadienal y 2-4-nonadienal (10). Para eliminar estos sabores indeseables se utilizan técnicas como el desengrasado, la eliminación de lipooxigenasas e incluso el proceso fermentativo (35).

En el estudio de Kaleda et al. (3), se realizó un análisis sensorial para estudiar muestras sin fermentar extruidas y muestras fermentadas con LAB. Los resultados obtenidos se relacionaron con una mejora del flavor general, aunque en algunos casos se obtuvieron atributos desagradables. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Razavizadeh et al. (34) donde se llevó a

cabo la fermentación de okara mediante LAB (*L. plantarum* y *L. acidophilus*) para elaborar análogos cárnicos. Las muestras control fueron clasificadas por los panelistas como intensas, amargas y con sabor atípico, por el contrario, las muestras fermentadas, especialmente por la cepa *L. plantarum*, se percibieron con cierta acidez, dulzor leve, frescas y con un sabor equilibrado.

Estos resultados de mejora en las propiedades de sabor de análogos de carne fermentados quedan recopilados en la revisión realizada por Flores et al. (10). En esta se afirma que gracias a la fermentación se pueden eliminar sabores desagradables y potenciar el sabor umami en salchichas vegetales mediante proteínas de origen vegetal, debido a la mejora de la solubilidad de las proteínas y el incremento de la cantidad de aminoácidos.

Youssef et al. (31) llevaron a cabo una investigación sobre el uso de LAB y levaduras, *K. lactis*, *K. marxianus* y *T. delbrueckii*, en una solución de proteínas de guisante para elaborar alternativas cárnicas. Los resultados mostraron una reducción significativa del sabor a hierba y una mayor intensidad global del aroma en presencia de levaduras y LAB, aunque se obtuvo un ligero aroma a “cerveza/levadura” mayor que en las muestras control.

En el caso de la fermentación de proteínas vegetales con hongos filamentosos, Rousta et al. (28), realizaron un estudio sobre la fermentación sumergida de *A. oryzae* utilizando como sustrato harina de avena para hamburguesas vegetales. Los resultados mostraron que la hamburguesa vegetal tenía un sabor ligeramente salado, amargo y ácido, y se estableció que el sabor depende del sustrato, los compuestos químicos generados y los enzimas presentes. A pesar de esto, algunos panelistas destacaron el sabor umami de la hamburguesa fúngica. Por lo tanto, los productos vegetales a base de hongos tienen un sabor más agradable que los elaborados a base de soja u otras legumbres que presentan sabores amargos. Los resultados de dicho estudio se relacionan con los datos obtenidos por Rathore et al. (29), donde se estableció la relación entre el sabor umami de los hongos y el ácido glutámico, afirmándose que la tecnología de fermentación de análogos cárnicos



elaborados con hongos puede ser una aplicación innovadora y prometedora para potenciar el sabor. De esta forma, el estudio de Clark et al. (36), estableció que la fermentación de proteínas vegetales con el hongo shiitake mejoró el sabor y la aceptación general por parte de los consumidores (36).

#### 4.2.4 Compuestos volátiles/aroma.

Los compuestos volátiles son sustancias que provocan sensaciones olfativas que afectan a la aceptación por parte de los consumidores (22).

Kaleda et al. (3), aplicaron la fermentación a proteínas de guisante mezcladas con avena para elaborar análogos cárnicos y relacionaron el proceso fermentativo con el aumento de compuestos volátiles al producirse un incremento de pirazinas como consecuencia del aumento de aminoácidos libres y el pH más bajo. Además, la muestra extruida fermentada contenía mayor cantidad de ácidos carboxílicos, alcoholes, acetoína y 2,4- decadienal. Estos compuestos se relacionaron con las LAB utilizadas para la fermentación.

En el estudio de Yuan et al. (22), donde se investigan los perfiles aromáticos de embutidos de carne fermentada a base de sustitutos de carne a partir de proteínas de soja y *Coprinus comatus*, se identificaron 157 compuestos diferentes (alcoholes y fenoles, cetonas, aldehídos, ésteres, hidrocarburos y otros), evidenciándose un número más elevado de ellos en las salchichas fermentadas sustitutivas de la carne. Los principales compuestos carboxílicos identificados fueron los aldehídos y cetonas, siendo el contenido en aldehídos mucho mayor que en el caso de muestras sin fermentar, aunque las concentraciones de 2-octenal, 2-heptenal, nonanal y 2-decenal fueron más bajas en las salchichas fermentadas. El acetaldehído y la acetoína fueron significativamente más elevadas en las muestras fermentadas y las cetonas solo representaron el 0,5% de todos los compuestos volátiles. Respecto al ácido acético, su concentración fue significativamente mayor en todas las muestras fermentadas. En las salchichas veganas fermentadas también se detectó ácido benzoico, debido a la presencia de este hongo comestible. Los niveles de ésteres fueron mayores en las salchichas fermentadas, siendo casi



el doble que en las muestras control. Sin embargo, los resultados indicaron que el proceso de fermentación redujo el contenido de hidrocarburos.

En el estudio de Shi et al. (37), donde se lleva a cabo la fermentación de proteínas de guisante mediante LAB, se muestra que el contenido de aldehídos y cetonas disminuyeron con el tiempo. Sin embargo, las cetonas finalmente aumentaron. La concentración de alcohol se mantuvo constante durante la fermentación.

En el estudio de Clark et al. (36), donde se lleva a cabo el estudio de la fermentación mediante el hongo shiitake en proteínas del guisante, el análisis indica cambios en los compuestos volátiles en las muestras fermentadas, especialmente los compuestos capaces de aportar notas extrañas como metionales, metil mecarptano, bergamoteno, etc., los cuales se redujeron en las proteínas fermentadas en un 40%, 78% y 99%, respectivamente, por lo que la fermentación podría mejorar el sabor y aroma y reducir los aromas extraños.

Además, según Das et al. (38), los péptidos producidos por la hidrólisis de proteínas al producirse la fermentación de proteínas vegetales mediante el hongo shiitake pueden proporcionar un sabor umami e incluso interactuar con los volátiles para influir en el flavor.

#### 4.2.5 Niveles de aceptación globales de análogos de carne vía fermentativa.

El uso de alternativas de carne está incrementándose, sin embargo, es importante tener en cuenta los niveles de aceptación de los análogos de carne por parte del consumidor, ya que estos deben ser parecidos a los productos cárnicos tradicionales no sólo en el aspecto nutricional sino también en el sensorial.

En el estudio de Kaleda et al. (3), donde se aplicó el proceso fermentativo a proteínas de guisante mezcladas con avena para elaborar análogos cárnicos, se realizó un análisis sensorial de muestras fermentadas y muestras sin

fermentar. Los resultados mostraron una mayor intensidad de sabor general y una mejor masticabilidad en las muestras fermentadas, sin embargo, estas presentaron aromas y sabores agrios, a cereales, a legumbres y regustos intensos.

En el estudio de Razavizadeh et al. (34), se llevó a cabo una prueba de aceptabilidad por diez panelistas. Se evaluó la apariencia, el olor, el sabor, y la textura, así como la aceptabilidad general de análogos de carne elaborados mediante la fermentación de okara a partir de LAB. Los resultados mostraron una reducción de la dureza, un aumento de la jugosidad, y una aceptabilidad significativa de la textura por parte de los consumidores. Las propiedades gustativas fueron descritas como intensas y con un leve sabor atípico, produciéndose una mayor aceptabilidad del sabor de los productos fermentados que la de los controles.

En el estudio de Rousta et al. (28), se llevó a cabo el análisis sensorial de hamburguesas elaboradas con harina de avena fermentada con *A. oryzae*. La mayoría de los panelistas mostraron que no les gustaba ni les disgustaba el sabor de la hamburguesa de hongos, mientras que algunos participantes mostraron que les gustó “extremadamente” el sabor. Algunos atributos que se percibieron en el sabor de la hamburguesa vegana fue que podía presentar sabor salado, amargo, ácido o rancio, aunque algunos panelistas mostraron que mostraba sabor a carne. En canto a la textura, a la mitad de los panelistas no les gustó la textura de la hamburguesa, sin embargo, otros mostraron que estaba bien para ellos y el resto que era demasiado tersa y que deseaban una textura más dura.

Youssef et al. (31) estudiaron la fermentación de proteínas de guisante mediante LAB y levaduras, con el objetivo de elaborar productos a base de plantas. En este estudio, la fermentación mejoró la percepción sensorial, disminuyendo los sabores y olores vegetales desagradables. La intensidad global del aroma en presencia de levaduras fue significativamente mayor que con el cultivo LAB.

En el estudio de Hashempour-Baltork et al. (39), se llevó a cabo una comparación de los productos elaborados a base de micoproteínas fermentadas y otros análogos cárnicos tradicionales como el tofu. Los resultados mostraron que el agrado de SCP fue mayor que en otras alternativas cárnicas más tradicionales.

En el caso de la elaboración de análogos con hongos, en el estudio de Stephan et al. (16), donde se elaboraron salchichas veganas con micelios de hongos de *P. sapidus*, el análisis sensorial se llevó a cabo por 15 panelistas y mostró que este producto es capaz de ofrecer características similares a las de las salchichas tradicionales elaboradas a base de carne.

### 4.3 Cambios nutricionales en análogos de carne producidos por vía fermentativa.

#### 4.3.1 Aminoácidos y proteínas.

Los aminoácidos esenciales definen la calidad nutricional de la proteína. Para la elaboración de análogos cárnicos, las proteínas vegetales se consideran nutricionalmente incompletas pues los cereales suelen ser deficientes en lisina y las legumbres son bajas en metionina y cisteína.

En el estudio de Kaleda et al. (3), donde se estudia la fermentación y el tratamiento con fitasas en una mezcla de proteínas de avena y guisante se muestran resultados positivos, al encontrarse diferencias significativas en el perfil de aminoácidos de muestras fermentadas en comparación con muestras control. En este estudio, el tratamiento fermentativo fue capaz de duplicar los aminoácidos libres en comparación con el control ( $1,77 \pm 0,12$  y  $0,85 \pm 0,08$  mg g<sup>-1</sup>). En concreto, se aumentó el contenido de Ala, Cys, His, Ile, Lys, Leu, Phe, Pro, Ser, Tyr y Val, aunque disminuyó el contenido de Arg, Asn y Asp. Estos resultados son confirmados por el estudio de Razavizadeh et al. (34) donde se afirma que el tratamiento fermentativo de okara mediante LAB para elaborar análogos cárnicos lleva a la producción de una gran cantidad de aminoácidos esenciales, especialmente isoleucina y triptófano.

En relación con los micelios, el estudio de Rathore et al. (29), afirma que el micelio de hongos fermentado contiene un alto contenido de aminoácidos y proteínas (entre 20-30%) por lo que es una buena fuente para la formulación de análogos cárnicos.

Respecto al contenido en proteínas, Rousta et al. (28), investigaron la fermentación de harina de avena por parte del hongo *A. oryzae* para la elaboración de hamburguesas sin carne. Tras 48 horas de fermentación se incrementó el contenido proteico en un 11%, lo que demuestra que el tratamiento fermentativo sería eficaz para aumentar el contenido en proteínas y por ende, el valor nutricional del análogo de carne.

Hashempour-Baltork et al. (39), afirmaron que el consumo de SCP producidas mediante fermentación contiene un elevado contenido de proteínas, por lo que puede ser beneficioso para elaborar análogos cárnicos, aunque el contenido proteico es menor si se compara con los productos cárnicos tradicionales.

En el estudio de Lee et al. (26), donde se realizaron fermentaciones con *Bacillus subtilis* sobre el tofu, el contenido de péptidos aumentó de 6,5 a 18,3 mg/L, a partir de las 12 horas de fermentación.

#### 4.3.2 Fibra.

El bajo contenido en fibra de los alimentos se relaciona con la aparición de determinadas enfermedades como obesidad, diabetes y presión arterial alta, por lo que es importante la presencia de fibra en la elaboración de sustitutos de la carne.

En el estudio de Nayak et al. (24), se llevó a cabo un experimento en relación con el perfil de textura fermentado utilizando *Rhizopus oligosporus* y el hongo *Agraricus*, donde se concluye que este podría utilizarse como un buen análogo de carne por sus resultados sensoriales y nutricionales. En este artículo se determinó el contenido de fibra cruda y dietética, donde se confirma que los alimentos fermentados contienen una mayor cantidad de fibra. En concreto, el

contenido en fibra cruda fue de 2,58%, mientras que el contenido en fibra dietética fue de 12,54%.

En los resultados del estudio de Lucke et al. (25), donde se estudia la fermentación llevada a cabo por *Rhizopus* sobre la torta prensada de colza para elaborar alternativas cárnicas, el contenido en fibra se vio aumentado, aunque mínimamente. En sus conclusiones se puede observar que el contenido en fibra antes de la fermentación fue de 10,8%, mientras que tras la fermentación el contenido fue de 11,9%.

#### 4.3.3 Ácidos grasos saturados.

El consumo de grasas saturadas en los alimentos eleva el contenido de colesterol LDL y este contribuye al riesgo de enfermedades cardíacas y otras enfermedades prevalentes como diabetes, presión arterial elevada, etc.

En el estudio de Nayak et al. (24), se demuestra que aquellos alimentos fermentados como la proteína de soja para la elaboración de análogos de carne presentan un menor contenido en grasas saturadas pues la grasa total fue de 8,54%, mientras que la grasa saturada fue de 0,54%.

Además, se establece que el valor energético de productos vegetales fermentados es de 212,10 Kcal/100g, que se corresponde con la mitad del contenido energético de la soja sin fermentar (24).

Hashempour-Baltork et al. (39), investigaron sobre el consumo de SCP fermentadas para elaborar sustitutos de carne y sus resultados mostraron que las grasas se componen principalmente de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), ácidos linolénicos y ácido linoleico.

En un estudio de Polanowska et al. (27), se investigó la fermentación llevada a cabo por tres cepas de *Rhizopus oligosporus*, demostrándose que este proceso es capaz de reducir el contenido total de ácidos grasos, resultados coincidentes con los de Hashempour-Baltork et al. (39), y Nayak et al. (24). Sin embargo,

existieron diferencias significativas al comparar los resultados de las tres cepas.

Fatty acid	Fatty acid content mg/100 g DW						
	0 <sup>th</sup> day	ATCC 48012		ATCC 42222		ATCC 22959	
		1st day	6th day	1st day	6th day	1st day	6th day
C14:0	2.2 ± 0.2 <sup>a</sup>	1.0 ± 0.0 <sup>c</sup>	1.0 ± 0.0 <sup>c</sup>	1.2 ± 0.0 <sup>b</sup>	2.2 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.9 ± 0.0 <sup>c</sup>	0.5 ± 0.0 <sup>d</sup>
C15:0	1.7 ± 0.1 <sup>a</sup>	1.4 ± 0.1 <sup>ab</sup>	1.1 ± 0.0 <sup>bc</sup>	1.4 ± 0.2 <sup>ab</sup>	1.2 ± 0.1 <sup>bc</sup>	0.9 ± 0.0 <sup>cd</sup>	0.7 ± 0.0 <sup>d</sup>
C16:0	84.0 ± 1.4 <sup>a</sup>	52.5 ± 1.9 <sup>c</sup>	40.6 ± 1.3 <sup>d</sup>	61.0 ± 0.5 <sup>b</sup>	64.4 ± 4.0 <sup>b</sup>	82.7 ± 1.1 <sup>a</sup>	21.9 ± 0.4 <sup>e</sup>
C16:1	0.0 ± 0.0 <sup>d</sup>	0.7 ± 0.1 <sup>cd</sup>	3.0 ± 0.0 <sup>b</sup>	2.9 ± 0.3 <sup>b</sup>	7.9 ± 0.6 <sup>a</sup>	1.1 ± 0.0 <sup>c</sup>	1.0 ± 0.0 <sup>cd</sup>
C18:0	18.3 ± 1.2 <sup>a</sup>	13.9 ± 0.2 <sup>b</sup>	7.4 ± 0.2 <sup>c</sup>	14.1 ± 0.4 <sup>b</sup>	14.1 ± 0.9 <sup>b</sup>	14.5 ± 0.8 <sup>b</sup>	5.5 ± 0.5 <sup>c</sup>
C18:1	181.9 ± 8.6 <sup>a</sup>	114.6 ± 1.5 <sup>b</sup>	59.4 ± 3.7 <sup>c</sup>	121.0 ± 6.0 <sup>b</sup>	108.4 ± 5.9 <sup>b</sup>	177.5 ± 6.6 <sup>a</sup>	33.2 ± 0.7 <sup>d</sup>
C18:2 (n6)	307.5 ± 19.0 <sup>a</sup>	187.2 ± 2.8 <sup>c</sup>	120.8 ± 6.6 <sup>e</sup>	182.6 ± 2.6 <sup>c</sup>	153.5 ± 10.7 <sup>d</sup>	271.0 ± 13.9 <sup>b</sup>	66.6 ± 2.2 <sup>f</sup>
C18:3 (n6)	0.0 ± 0.0 <sup>f</sup>	5.0 ± 0.7 <sup>e</sup>	12.0 ± 0.1 <sup>c</sup>	15.5 ± 0.3 <sup>b</sup>	32.2 ± 1.8 <sup>a</sup>	8.7 ± 0.0 <sup>d</sup>	6.3 ± 0.1 <sup>de</sup>
C18:3 (n3)	23.7 ± 1.5 <sup>a</sup>	10.7 ± 0.0 <sup>c</sup>	3.2 ± 0.1 <sup>e</sup>	7.6 ± 0.0 <sup>d</sup>	3.1 ± 0.0 <sup>e</sup>	16.1 ± 0.1 <sup>b</sup>	1.5 ± 0.0 <sup>f</sup>
C20:0	8.5 ± 0.9 <sup>a</sup>	4.2 ± 0.2 <sup>c</sup>	1.3 ± 0.1 <sup>e</sup>	2.6 ± 0.1 <sup>d</sup>	1.2 ± 0.1 <sup>e</sup>	6.3 ± 0.5 <sup>b</sup>	0.0 ± 0.0 <sup>f</sup>
C20:1	1.4 ± 0.9 <sup>ab</sup>	0.9 ± 0.0 <sup>c</sup>	0.8 ± 0.0 <sup>c</sup>	1.5 ± 0.0 <sup>a</sup>	1.4 ± 0.1 <sup>ab</sup>	1.3 ± 0.0 <sup>b</sup>	0.0 ± 0.0 <sup>d</sup>
C22:0	3.5 ± 0.7 <sup>a</sup>	1.5 ± 0.2 <sup>c</sup>	0.6 ± 0.1 <sup>d</sup>	1.5 ± 0.0 <sup>c</sup>	1.5 ± 0.0 <sup>c</sup>	3.2 ± 0.0 <sup>b</sup>	0.4 ± 0.0 <sup>d</sup>
N6/n3 ratio	13.0	18	41.5	26.1	60	17.4	71.0
Sum	632.6	393.5	251.0	413.0	391.1	584.0	137.7

DW-dry weight; ( ± ) Standard deviations (n = 2). Different letters next the values in the same row show statistically significant differences during fermentation at p < 0.05.

**Figura 3. Contenido en grasas después de la fermentación llevada a cabo por tres cepas de *Rhizopus* (27).**

#### 4.3.4 Polifenoles.

La presencia de compuestos fenólicos contribuye a una mayor actividad antioxidante. Xing et al. (33), llevaron a cabo un estudio para determinar si la fermentación puede producir cambios en un concentrado de proteínas de garbanzo elaborado para alternativas cárnicas. Se observó que después de la fermentación todas las muestras tuvieron un aumento de compuestos fenólicos totales (CPT). Sin embargo, en el estudio de Polanowska et al. (27), donde se investigó la fermentación llevada a cabo por tres cepas de *Rhizopus oligosporus*, se puede observar que el contenido fenólico disminuyó al inicio de la fermentación, a pesar de esto, a partir del día 20 de fermentación se produjo un aumento de CPT y se redujeron los radicales libres. Durante el proceso fermentativo, todas las cepas produjeron un aumento de quercetina y kaempferol, sin embargo, el contenido de apigenina y ácido cumárico se vio aumentado solo por una de las cepas. El contenido de catequina y ácido p-hidroxibenzoico disminuyó en todas las cepas.

Se establece que una fermentación prolongada puede ser beneficiosa desde el punto de vista de compuestos fenólicos, pero una fermentación tan prolongada puede ser capaz de crear aromas y sabores desagradables.

Tiempos de fermentación (h)	Contenido fenólico total ( $\mu\text{g} / \text{ml}$ )
0	96,26 $\pm$ 6,36 días
3	77,96 $\pm$ 1,17 días
6	76,70 $\pm$ 4,00 días
9	88,30 $\pm$ 4,05 días
12	121,41 $\pm$ 21,38 c
18	208,56 $\pm$ 18,04 b
24	223,89 $\pm$ 10,42 ab
36	242,67 $\pm$ 2,73 a
48	240,96 $\pm$ 6,86 a
Valor F	144,24 ***

En el estudio de Lee et al. (26), donde se investiga el efecto de la fermentación llevada a cabo con *Bacillus subtilis* sobre el tofu, el contenido fenólico total fue de 96,3 mg/ml durante las primeras horas de la fermentación pero el contenido aumentó a partir de las 9 horas de fermentación, alcanzando el nivel más alto a las 36 horas con 242,7 mg/mL.

**Figura 4. Contenido en polifenoles después de la fermentación por *Bacillus subtilis* (26).**

#### 4.3.5 Vitaminas.

Según el estudio de Rathore et al. (29), el uso de micelios de hongos se considera una buena fuente de compuestos bioactivos como ergosterol que es un precursor de la vitamina D. Existen SCP con un elevado contenido de vitaminas (*A. bisporus*, *Ganoderma lucidum*, *Lentinula edodes*).

Sin embargo, en el estudio SCP de Hashempour-Baltork et al. (39), se afirma que el contenido de B12 es menor que en las carnes rojas.

#### 4.3.6 Antinutrientes.

Los productos vegetales pueden presentar antinutrientes que interfieren en la digestibilidad de proteínas y carbohidratos y biodisponibilidad mineral. Los antinutrientes más frecuentes son el ácido fítico, las saponinas y las lecitinas (28).

→ **Ácido fítico:** principal forma de almacenamiento de fosfato e inositol de las plantas. Este es considerado un antinutrientes por su capacidad de afinidad de unión a los iones Ca, Fe, Zn, Na, K, Cu, Co, Mg (3), disminuyendo su absorción.

→ **Lecitinas:** son glicoproteínas encontradas en las leguminosas y cereales siendo capaces de adsorber nutrientes durante la digestión (3), disminuyendo su absorción.



Para disminuir los antinutrientes se está estudiando la fermentación mediante bacterias, mohos y levaduras productoras de fitasas (17).

Xing et al. (33), determinaron que los factores antinutricionales pueden eliminarse o reducirse mediante el descascarado, remojo, tratamiento térmico o la conversión bioquímica como la fermentación. Llevaron a cabo un estudio donde se utilizó *Pediococcus spp.* para fermentar un concentrado de proteína de garbanzo; los resultados mostraron que el proceso fermentativo puede reducir el contenido en ácido fítico como consecuencia de la actividad enzimática de los microorganismos utilizados.

En un estudio de Clark et al. (36), para determinar la efectividad del hongo shiitake sobre una mezcla de proteínas de guisante y arroz para la elaboración de análogos de carne, se mostró una reducción de los niveles de ácido fítico a 0,68% frente a los valores iniciales que fueron de 1,25%.

#### 4.3.7 Impacto sobre la salud de los consumidores y comparación con los productos cárnicos tradicionales.

Las SCP son capaces de producir una disminución de LDL y colesterol sérico, y por tanto del riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares. Los resultados beneficiosos del consumo de SCP coinciden con Finnigan et al. (40), donde se confirma que estas contribuyen a una dieta saludable y poseen características beneficiosas como promover la síntesis muscular, controlar los niveles de glucosa e insulina y aumentar la saciedad. En el estudio de Hashempour-Baltork et al. (39), se relacionó el consumo de SCP con una reducción del colesterol total y del colesterol LDL, un aumento de HDL, así como efectos sobre la saciedad y sobre las respuestas glucémicas. Resultados coincidentes con los de Thavamini et al. (30), donde se confirma que el uso de SCP elaborada por *Fusarium venenatum* puede provocar una reducción del colesterol y al ser bajo en sodio, ayuda a reducir la prevalencia de enfermedades cardiovasculares.



En un estudio de Sasikumar et al. (23), se fermenta un aislado de proteína de las semillas del fruto de sangre para la elaboración de alternativas vegetales. En este estudio se observó que la presencia de péptidos bioactivos en los productos resultantes presentaba propiedades antimicrobianas, anticancerígenas (cáncer colorrectal, tumores), antidiabéticas y con capacidad de reducir la prevalencia de enfermedades cardiacas.

#### 4.3.8 Comparación análogos de carne y productos cárnicos tradicionales.

Si se comparan los valores de la carne tradicional con la SCP y TVP se observa un aumento de carbohidratos y fibra respecto a productos cárnicos tradicionales. No obstante, la energía aumenta únicamente en TVP y la grasa en las SCP. Sin embargo, aunque los valores de proteína se vieron aumentados en los TVP y en la SCP, el valor de la carne tradicional sigue conteniendo un valor proteico más elevado (24,39).

**Tabla 5. Nutrientes en carne tradicional, SCP y TVP por 100g.**

	<b>CARNE TRADICIONAL</b>	<b>SCP</b>	<b>TVP</b>
<b>ENERGÍA (Kcal)</b>	191,3	85	212,10
<b>GRASA TOTAL (g)</b>	2,8	3,25	0,54
<b>PROTEÍNAS(g)</b>	23,2	11,25	17,40
<b>CARBOHIDRATOS (g)</b>	0	3	16,59
<b>FIBRA (g)</b>	0	6,25	12,54
<b>REFERENCIA</b>	(39)	(39)	(24)

**Fuente:** Elaboración propia.

## 5. Discusión

La elaboración de análogos cárnicos se utiliza desde hace siglos. Estos análogos pueden elaborarse mediante LME o HME (7,9), sin embargo, presentan algunos inconvenientes como la presencia de antinutrientes, déficits de aminoácidos o que sensorialmente no son similares a la carne, llegando a

presentar sabores extraños a frijol o hierba. Como consecuencia, los investigadores se plantean el uso del proceso fermentativo para mejorar atributos nutricionales y sensoriales.

### 5.1 Atributos sensoriales

En relación con la **textura**, la dureza y la masticabilidad decrecieron, al contrario que la elasticidad y la cohesión. Los resultados se asocian a la proteólisis de las TVP como consecuencia de las proteasas neutras, alcalinas y esterases. No obstante, estos resultados no fueron coincidentes en todos los artículos encontrados pues las modificaciones de los parámetros de textura dependerán del tamaño y tipo del sustrato, de los microorganismos utilizados, la humedad y las condiciones de fermentación (3, 17, 28, 34). Por lo tanto, dados los resultados y las escasas investigaciones, son necesarios una mayor cantidad de estudios que indaguen sobre las condiciones de fermentación, los microorganismos, los sustratos, etc., capaces de producir mejoras texturales.

Los atributos de **color** mostraron una disminución de  $L^*$  y un aumento de  $a^*$  (3, 17, 34). Estos resultados se asocian a que la fermentación produce la hidrólisis de las proteínas, produciéndose reacciones de Maillard y afectando al color de las muestras (17). No obstante, una de las limitaciones de la revisión es que son pocos los estudios encontrados y que algunos de ellos no son coincidentes, necesitándose una mayor cantidad de experimentos que respondan cuáles son las condiciones de fermentación para producir colores similares a la carne.

Uno de las mayores inconvenientes de los TVP es su **flavor** a frijol o hierba. En las investigaciones referenciadas se produjo una mejora del flavor general, aunque no en todos los estudios encontrados (3, 10, 28, 31, 34, 36). Esta mejora en el flavor se produce por el aumento de compuestos volátiles como consecuencia del tratamiento fermentativo. Durante la formación de flavor se genera una molécula capaz de transformarse en un compuesto aromático mediante proteínas, carbohidratos o lípidos. Por lo tanto, la mejora de flavor se puede relacionar con la degradación de los aminoácidos mediante la activación de las peptidasas y proteasas exógenas y así, generar alcoholes, aldehídos,

ésteres y compuestos azufrados (10). El aumento de aminoácidos tras la fermentación aumenta la percepción del sabor dulce, así como los oligopéptidos contribuyen al amargor del alimento, mientras que los ácidos proporcionan una mayor acidez y son responsables de los sabores desagradables (3, 37). Así mismo, una fermentación no controlada también puede causar la aparición de sabores extraños (27).

Por lo tanto, dadas las mejoras en el sabor, los **compuestos volátiles** se vieron aumentados en todos los estudios encontrados, especialmente las cetonas y aldehídos, por lo que hay suficientes investigaciones capaces de demostrar el aumento de estas sustancias mediante el tratamiento fermentativo y por consiguiente, su relación con el sabor percibido (3, 22, 36, 37, 38).

Los parámetros sensoriales analizados en la revisión parecen contribuir a una mayor aceptación de los análogos de carne fermentados en comparación con los no fermentados. No obstante, dada la pequeña cantidad de estudios son necesarios una mayor cantidad de investigaciones que respondan algunas preguntas como: ¿cuáles son las condiciones óptimas de fermentación para mejorar las propiedades texturales de los análogos?, ¿la elección del sustrato influye en la dureza del análogo?, ¿las diferentes cepas pueden afectar de forma distinta a los atributos de textura y color?, ¿cuáles son las condiciones óptimas del proceso fermentativo para disminuir sabores a hierba o frijol?

## 5. 2 Atributos nutricionales

La fermentación mejora el contenido en **aminoácidos y péptidos** coincidiendo estos resultados en todos los artículos encontrados y existiendo suficiente evidencia de estos beneficios (3, 26, 28, 29, 34). Este efecto se debe a la proteólisis y la formación de péptidos por la hidrólisis de las enzimas microbianas como consecuencia de la fermentación (26). Así mismo, las **grasas saturadas** se vieron reducidas, llegando a la principal conclusión de que la disminución puede asociarse a las cepas, aunque también a que el proceso fermentativo es capaz de producir enzimas microbianas, especialmente lipasas, capaces de degradar las grasas del alimento (24,27).

Durante el tratamiento fermentativo, las cepas liberan enzimas que digieren los macronutrientes y afectan al contenido **en fibra y vitaminas** (12). A pesar de ello, son necesarios una mayor cantidad de investigaciones que estudien la asociación fermentación-fibra y el aumento de vitaminas; pues en relación con la fibra, en algunos estudios se aumentaba el contenido (24), en cambio en otros no se establecieron diferencias significativas (25); mientras que el contenido en vitaminas aumenta, aunque sigue siendo menor que en productos cárnicos tradicionales (29, 39) dando lugar a nuevas preguntas de investigación como ¿pueden los análogos cárnicos, gracias al proceso fermentativo, igualar o superar el contenido en vitaminas en comparación con los productos cárnicos?

El contenido en **antinutrientes como el ácido fítico** es otro de los grandes inconvenientes de los TVP al quelar minerales reduciendo su absorción (36). En la revisión se muestra que el proceso fermentativo disminuye el contenido en ácido fítico como consecuencia de la actividad fitasa de los microorganismos utilizados (33,36). A pesar de los beneficios asociados, el número de artículos encontrados establece la necesidad de una mayor cantidad de indagaciones que no sólo establezcan los beneficios, sino también la optimización del proceso (41).

Respecto al contenido de **CPT**, se produjo un aumento en el contenido de fenoles en la revisión, existiendo evidencias de la relación beneficiosa entre la fermentación y el aumento de CPT (26, 27, 33). Estos resultados pueden explicarse por las conversiones microbianas o enzimáticas producidas durante la fermentación. Uno de los desencadenantes del aumento de CPT, es la liberación de  $\beta$ -glucosidasas durante la fermentación, que son capaces de liberar agliconas o quercetinas (26, 40).

Las mejoras producidas durante la fermentación influyen directamente sobre la **salud de los consumidores**. En todas las publicaciones encontradas, el consumo de análogos fermentados ocasionó mejoras en parámetros como LDL, HDL, colesterol o marcadores tumorales (23, 30, 39, 40). Estos resultados se asocian a una mejora en el contenido de aminoácidos y minerales.

Esta mejora de salud en los consumidores, así como la mayor aceptación de los análogos cárnicos fermentados pueden ser considerados una fortaleza; por el contrario una de las limitaciones de la revisión es que las **condiciones de fermentación**, así como las cepas utilizadas, son muy variables, necesitando una optimización del proceso fermentativo.

Tras investigaciones futuras, el consumo de análogos cárnicos podría demostrar ser una buena fuente de proteínas para reemplazar la carne y ayudar a cumplir determinados ODS. La producción de carne tradicional produce emisiones en mayor cantidad que los productos de origen vegetal (20). Por lo tanto, el reemplazo de productos cárnicos tradicionales puede ayudar a cumplir el ODS 13 “Acción por el clima”, pues la fuente de carbono es entre cuatro y diez veces menor que la de la carne de vacuno y de pollo, desempeñando un papel en la disminución de los desafíos en los sistemas de producción de alimentos y sus efecto sobre los gases de efecto invernadero (39). Las mejoras proporcionadas por análogos de carne respecto a atributos nutricionales puede ser un desencadenante para cumplir el ODS 3 “Salud y bienestar” pues estos son capaces de disminuir enfermedades prevalentes como cardiovasculares, colesterol e incluso efectos sobre las respuestas glucémicas. El papel de los análogos cárnicos también puede ayudar a cumplir el ODS 2 “Hambre cero” pues se prevé que en el año 2050 se duplique el consumo de carne, pudiendo existir falta de alimentos de este tipo. Si se reemplazan estos productos por análogos cárnicos se podría evitar la falta de alimentos proteicos.

## 6. Aplicabilidad y nuevas líneas de investigación

Esta revisión ha tenido como objetivo establecer las mejoras nutricionales y sensoriales en análogos cárnicos producidos mediante la fermentación. Por lo tanto, este TFM puede servir de punto de partida para diseñar y optimizar la obtención de análogos de carne vía fermentativa y así, conseguir análogos con características sensoriales semejantes a los productos cárnicos tradicionales incrementando su aceptación en el mercado.

En los diferentes estudios encontrados se ha investigado sobre la fermentación de análogos cárnicos mediante el uso de diferentes cepas y se han obtenido resultados beneficiosos en cuanto a atributos nutricionales y sensoriales pero también surgen una gran cantidad de preguntas de investigación en relación con las cepas y condiciones de fermentación utilizadas. Por lo tanto, se divide la nueva línea de investigación en dos: **Obtención de análogos de carne vía fermentativa y estudio clínico de intervención.**

### Obtención de análogos de carne vía fermentativa

Se propone un proyecto de investigación de análogos cárnicos fermentados teniendo en cuenta mayor cantidad de cepas microbianas con el objetivo de comparar resultados nutricionales y obtener cuál es la cepa más beneficiosa capaz de producir más mejoras nutricionales y sensoriales.

La investigación se llevaría a cabo con LAB (*L. plantarum*, *L. acidophilus*, *Bifidobacterias*, *Pediococcus*) y *B. subtilis*.

En la **Tabla 6** se encuentran las variables del estudio de obtención de análogos de carne vía fermentativa.

**Tabla 6. Variables estudio “Obtención de análogos vía fermentativa”**

<b>VARIABLES DEL ESTUDIO</b>	
<b>Características nutricionales</b>	Aminoácidos, péptidos, proteínas, compuestos fenólicos, fibra, péptidos, grasa, antinutrientes.
<b>Características sensoriales</b>	Sabor, olor, textura y color.

- *Sistema de recogida de datos y estrategia de análisis de datos.*

Características nutricionales: se elaborarán análogos cárnicos mediante las cepas microbianas *L. plantarum*, *L. acidophilus*, *Bifidobacterias*, *Pediococcus* y *B. subtilis* y mediante unas condiciones de fermentación definidas. Se medirán los aminoácidos, péptidos, proteínas, compuestos fenólicos, fibra, péptidos,

grasa y antinutrientes mediante los métodos *AOAC Official Methods of Analysis* y se compararán los resultados entre cepas y con análogos cárnicos sin fermentar para concluir si existieron diferencias significativas entre cepas o entre fermentados y sin fermentar. Para ello se necesitará un programa estadístico como SPSS, R o JASP.

Medidas sensoriales: Se realizará una cata con panelistas expertos. A cada uno de los participantes se le entregará una ficha de cata en relación con los productos probados (análogo de carne fermentado con *L. plantarum*, *L. acidophilus*, *Bifidobacterias*, *Pediococcus*, *B. subtilis* o grupo control). En las fichas se aportará información sobre el análogo en relación con sabor, olor, color y textura mediante el uso de escalas numéricas con el objetivo de poder cuantificar los resultados mediante programas estadísticos como SPSS, R o JASP.

### Estudio clínico de intervención

Se propone un estudio clínico de intervención con el objetivo de determinar si los análogos cárnicos elaborados por vía fermentativa son capaces de influir sobre determinados marcadores bioquímicos en comparación con personas con normodieta.

La **población diana** serán personas de entre 20 y 30 años sin ninguna patología previa que han sustituido la carne por análogos. Para la comparación de los resultados obtenidos, se utilizará un grupo control, el cuál estará formado por personas con normodieta entre 20 y 30 años sin ninguna patología previa.

En la **Tabla 7** se encuentran las variables del estudio clínico de intervención.

**Tabla 7. Variables "Estudio clínico"**

VARIABLES DEL ESTUDIO	
<b>Marcadores bioquímicos</b>	LDL, HDL, colesterol total, colesterol sérico, presión arterial ( <b>PA</b> ).



- *Sistema de recogida de datos y estrategia de análisis de datos.*

Medidas variables patológicas: Al inicio del estudio se dividirá a los participantes en grupos, incluyendo a personas que consumen análogos cárnicos y con normodieta, y se realizará un examen médico para determinar sus valores de LDL, HDL, colesterol total, colesterol sérico y PA.

Al finalizar el estudio se deberán obtener resultados sobre si los análogos cárnicos son capaces de mejorar todas o alguna de las variables patológicas establecidas. Para ello, se realizará un análisis médico tras finalizar el estudio y se evaluará si existen diferencias significativas entre personas que consumen análogos cárnicos y personas con normodieta. Para ello será necesario un programa estadístico como JASP, R o SPSS.

- *Consideraciones éticas*

Para la elaboración de la investigación se tendrán en cuenta las normas éticas y científicas, habiéndose realizado cálculos de riesgo previsible, siendo mayores los beneficios del proyecto que los riesgos. La participación en el proyecto será libre, voluntaria y con el aporte de la información suficiente a los participantes, incluyendo los posibles riesgos asociados, pudiendo retirarse en cualquier momento de la investigación. Se garantizará el derecho de a la intimidad de los participantes en todo momento (42).

## 7. Conclusiones

Los análogos cárnicos fermentados son considerados una alternativa frente a los productos cárnicos tradicionales. El proceso fermentativo se está estudiando para mejorar los atributos nutricionales y sensoriales de estos productos. La revisión aporta estudios relacionados con la elaboración de análogos cárnicos producidos por vía fermentativa y cómo el proceso puede modificar nutrientes y propiedades organolépticas.



### Conclusiones sensoriales.

- Disminución de la dureza de los análogos de carne elaborados por vía fermentativa.
- Reducción de la luminosidad de los análogos cárnicos fermentados, así como un aumento del enrojecimiento.
- Mejora del sabor general y una mayor aceptación global al producirse una disminución de sabores desagradables a hierba o frijol. Sin embargo, en algunos casos se produjeron notas desagradables. La mejora del sabor se relaciona con el aumento de compuestos volátiles de las muestras fermentadas.
- Reducción de antinutrientes como el ácido fítico como consecuencia de la actividad fitasa o inhibidores del ácido fítico de las cepas utilizadas en la fermentación.

### Conclusiones nutricionales

- Aumento del contenido de aminoácidos y péptidos al producirse una degradación de las proteínas por proteólisis.
- El contenido de fibra y vitaminas se vio aumentado aunque mínimamente, no encontrándose diferencias significativas respecto a análogos de carne no fermentados.
- Aumento del contenido de compuestos fenólicos tras la fermentación.
- Reducción del contenido de grasas saturadas como consecuencia del contenido de lipasas producido por el proceso fermentativo.
- Los análogos de carne fermentados pueden ayudar a disminuir enfermedades prevalentes como obesidad, colesterol o hipertensión pudiendo ser participes del cumplimiento de determinados ODS, como el ODS 13 “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”, ODS 3 “Salud y bienestar” y ODS 2 “Hambre cero”.

Como conclusión general, la elaboración de análogos cárnicos por vía fermentativa disminuye la dureza, la luminosidad, los antinutrientes y las grasas saturadas, mientras que aumenta el enrojecimiento, el sabor general, los aminoácidos y los péptidos. Sin embargo, parece no afectar al contenido de fibra y vitaminas del producto final.

A pesar de los resultados mostrados, los estudios no muestran una optimización del proceso ni una fermentación controlada, siendo necesarias investigaciones futuras para determinar las condiciones óptimas del proceso y la efectividad de las cepas. En resumen, los análogos cárnicos elaborados mediante fermentación parecen tener algunas mejoras en las características nutricionales y sensoriales. No obstante, la comparación de estos análogos fermentados con productos cárnicos tradicionales, a pesar de mejorar valores nutricionales, presentan algunos parámetros como el contenido en proteínas, vitaminas o fibra que continúa siendo menor en análogos cárnicos, por lo que se establece la necesidad de llevar a cabo más estudios de optimización.

## 8. Fuentes de financiación y conflicto de intereses.

La revisión bibliográfica no está sujeta a ninguna fuente de financiación u otros tipos de apoyo.

La autora declara no tener conflicto de intereses.

## 9. Bibliografía

(1) Kumar S. Meat Analogs “Plant based alternatives to meat products: Their production technology and applications”. Crit Rev Food Sci Nutr [internet]. 2017 [consultado el 22 de octubre de 2021];1-26. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27438539/>

(2) Kim T, Miller R, Laird H, Riaz M.N. Beef flavor vegetable hamburger patties with high moisture meat analogs (HMMA) with pulse proteins-peas, lentils, and faba beans. Food Sci Nutr [internet]. 2021 [consultado el 10 de noviembre de 2021]; 9 (8): 4048-4056. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8358357/>

(3) Kaleda A, Talvistu K, Tamm M, Viirma M, Rosend J, Tanilas K, et al. Impact of Fermentation and Phytase Treatment of Pea-Oat Protein Blend on Physicochemical, Sensory, and Nutritional Properties of extruded Meat Analogs. Foods [internet]. 2020 [consultado el 22 de octubre de 2021]; 9 (1059): 1-18. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/8/1059/htm>

(4) AESAN [internet]. 2015 [consultado el 23 de octubre de 2021]. Disponible en: [https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/noticias\\_y\\_actualizaciones/noticias/2015/AECOSAN\\_carne.htm](https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/noticias_y_actualizaciones/noticias/2015/AECOSAN_carne.htm)

(5) Sinhg M, Trivedi N, Enamala M.K, Kuppam C, Parikh P, Nikolova M.P, et al. Plant-based meat analogues (PBMA) as a sustainable food: a concise review. European Food Research and Technology [internet]. 2021 [consultado el 22 de octubre de 2021]; 247: 2499-2526. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-021-03810-1#ref-CR95>

(6) Sha L, Xiong Y.L. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. Trends in Food Science and Technology [internet]. 2020 [consultado el 1 de noviembre de 2021]; 102: 51-61. Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224420304830#bib25>

(7) Samard S, Gu B, Rye G. Effects of extrusion types, screw speed and addition of wheat gluten on physicochemical characteristics and cooking stability of meat analogues. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [internet]. 2019 [consultado el 25 de octubre de 2021]; 99 (11): 4922-4931. Disponible en:

[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jsfa.9722?\\_cf\\_chl\\_jschl\\_tk=\\_pmd\\_2KU5rJ2KxtJe9rbtv\\_yeCU3RmDvpnaETBnn8eDsgN3I-1635257970-0-gqNtZGzNAiWjcnBszQ5R?saml\\_referrer](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jsfa.9722?_cf_chl_jschl_tk=_pmd_2KU5rJ2KxtJe9rbtv_yeCU3RmDvpnaETBnn8eDsgN3I-1635257970-0-gqNtZGzNAiWjcnBszQ5R?saml_referrer)

(8) Ismail I, Hwang Y, Joo S. Meat analogs as futuro food: a review. *J Anim Sci Technol* [internet]. 2020 [consultado el 25 de octubre de 2021]; 62 (2): 111-120. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7142285/>

(9) Tehrani M.M, Ehtiati A, Azghandi S.S. Application of genetic algorithm to optimize extrusión condition for soy-based meat analogue texturization. *J Food Sci Technol* [internet]. 2017 [consultado el 3 de noviembre de 2021]; 54 (5): 1119-1125. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5380617/>

(10) Flores M, Piornos J.A. Fermented meat sausages and the challenge of their plant-based alternatives: A comparative review on aroma-related aspects. *Meat Science* [internet]. 2021 [consultado el 1 de noviembre de octubre de 2021]; 182: 2-8. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174021002126?via%3DiHub>

(11) Dimidi E, Cox S.R, Rossi M, Whelan K. Fermented Foods: Definitions and Characteristics, Impact on the Gut Microbiota and Effects on Gastrointestinal Health and Disease. *Nutrients* [internet]. 2019 [consultado el 30 de octubre de 2021]; 11 (8). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31387262/>

(12) Sharma R, Garg P, Kumar P, Bhatia K.S, Kulshrestha S. Microbial Fermentation and Its Role in Quality Improvement of Fermented Foods. Fermentation [internet]. 2020 [consultado el 5 de noviembre de 2021]; 6 (4): 106. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2311-5637/6/4/106/htm>

(13) Akharume F.U, Aluko R.E, Adedeji A.A. Modification of plant proteins for improved functionality: a review. Comprehensive reviews in Food Safety [internet]. 2021 [consultado el 17 de noviembre de 2021]; 20 (1): 198-224. Disponible en: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12688>

(14) Rathore H, Prasad S, Kapri M, Tiwari A, Sharma S. Medicinal importance of mushroom mycelium: Mechanisms and applications. Journal of Functional Foods [internet]. 2019 [consultado el 30 de octubre de 2021]; 56: 182-193. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464619301355>

(15) Erkan B.S, Duygu H.N, Bilgin G, Germen M, Turhan I. Production and characterization of tempehs from different sources of legume by *Rhizopus oligosporus*. LWT [internet]. 2020 [consultado el 31 de octubre de 2021]; 119. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819312228>

(16) Stephan A, Ahlborn J, Zajul M, Zorn H. Edible mushroom mycelia of *Pleurotus sapidus* as novel protein sources in a vegan boiled sausage analog system: functionality and sensory test in comparison to commercial proteins and meat sausages. European Food Research and Technology [internet]. 2018 [consultado el 27 de octubre de 2021]; 244: 913-924. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-017-3012-1>

(17) Maung T.T, Gu B.Y, Kim M.H, Ryu G.H. Fermentation of texturized vegetable proteins extruded at different moisture contents: effect on physicochemical, structural, and microbial properties. Food Sci Biotechnol [internet]. 2020 [consultado el 26 de octubre de 2021]; 29 (7): 897-907. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7297872/>

(18) Dreher J, König M, Terjung N, Gibis M, Weiss J. Varying the amount of solid fat in animal fat mimetics for plant-based salami analogues influences textures, appearance and sensory characteristics. Food Science and Technology [internet]. 2021 [consultado el 31 de octubre de 2021]; 143. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821002930>

(19) Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [internet]. Naciones Unidas; [consultado el 27 de octubre de 2021]. Disponible en:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

(20) Godfray H.C.J, Aveyard P, Garnett T, Hall J.H, Lorimer J, PierreHumbert R.T, et al. Meat consumption, health, and environment. Science [internet]. 2018 [consultado el 28 de octubre de 2021]; 361 (6399). Disponible en:

[https://www.science.org/doi/10.1126/science.aam5324?url\\_ver=Z39.88-2003&rfr\\_id=ori:rid:crossref.org&rfr\\_dat=cr\\_pub%20%20pubmed](https://www.science.org/doi/10.1126/science.aam5324?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed)

(21) Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman G.D, Grupo PRISMA. Ítems de referencia para publicar revisiones sistemáticas y metaanálisis: la declaración PRISMA. Revista Española de Nutrición Humana y Dietética [internet]. 2014 [consultado el 29 de octubre de 2021]; 18 (3): 172-181. Disponible en:

<https://www.renhyd.org/index.php/renhyd/article/view/114>

(22) Yuan X, Zhu X, Sun R, Jiang W, Liu H, Sun B. Sensory attributes and characterization of aroma profiles of fermented sausages based on fibrous like meat substitute from soybean protein and Coprinus comatus. Food chemistry [internet]. 2021 [consultado el 26 de octubre de 2021]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621025437#>

(23) Sasikumar R, Vivek K, Jaiswal A.K. Effect of spray drying conditions on the physical characteristics, amino acid profile, and bioactivity of blood fruit (Haematocarpus validus Bakh. F. Ex Forman) seed protein isolate. Institute of Food Science Technology [internet]. 2021 [consultado el 15 de noviembre de

2021]; 45 (6). Disponible en:  
<https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.15568>

(24) Nayak B, Panda P.B. Modelling and optimization of texture profile of fermented soybean using response Surface methodology. AIMS Agriculture and Food [internet]. 2016 [consultado el 12 de noviembre de 2021]; 1 (4): 409-428. Disponible en: <http://www.aimspress.com/article/10.3934/agrfood.2016.4.409>

(25) Lucke F, Fritz V, Tannhauser K, Arya A. Controlled fermentation of rapessed presscake by *Rhizopus*, and its effect on some components with relevance to human nutrition. Food Research International [internet]. 2019 [consultado el 20 de noviembre de 2021]; 120: 726-732. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996918309165>

(26) Lee M, Kim J, Lee S. Effects of fermentation on SDS-PAGE patterns, total peptide, isoflavone contents and antioxidant activity of freeze-thawed tofu fermented with *Bacillus subtilis*. Food Chemistry [internet]. 2018 [consultado el 15 de noviembre de 2021]; 249: 60-65. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617320071>

(27) Polanowska K, Grygier A, Kuligowski M, Rudzinska M, Nowak J. Effect of tempe fermentation by three different strains of *Rhizopus oligosporus* on nutritional characteristics of faba beans. LWT [internet]. 2020 [consultado el 20 de noviembre de 2021]; 122. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820300128>

(28) Rousta N, Hellwing C, Wainaina S, Lukitawesa L, Argnihotri S, Rousta K, et al. Filamentous fungus *Aspergillus oryzae* for Food: From Submerged cultivation to fungal burgers and their sensory evaluation-a pilot study. Foods [internet]. 2021 [consultado el 21 de noviembre de 2021]; 10 (11): 2774. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/11/2774/htm>

(29) Rathore H, Prasad S, Kapri M, Tiwari A, Sharma S. Medicinal importance of mushroom mycelium: Mechanisms and applications. Journal of Functional

Foods [internet]. 2019 [consultado el 12 de noviembre de 2021]; 56: 182-193.  
Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464619301355>

(30) Thavamani A, Sferra J.T, Sankararaman S. Meet the Meat Alternatives: The value of alternative protein sources. Curr Nutr Rep [internet]. 2020 [consultado el 30 de octubre de 2021]; 9 (4): 364-355. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33151486/>

(31) Youssef C, Bonnarne P, Fraud S, Péron A.C, Helinck S, Landaud S. Sensory Improvement of a Pea Protein Based Product Using Microbial Co-cultures of Lactic Acid Bacteria and Yeast. Foods [internet]. 2020 [consultado el 26 de noviembre de 2021]; 9 (3): 349. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7143830/>

(32) Zhang C, Guan X, Yu S, Zhou J, Chen J. Production of meat alternatives using live cells, cultures and plant proteins. Curren Opinion in Food Science [internet]. 2022 [consultado el 29 de octubre de 2021]; 43: 43-52. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799321001429>

(33) Xing Q, Dekker S, Kyriakopoulou K, Boom R.M, Smid E.J, Schutyser A.I. Enhanced nutritional value of chickpea protein concéntrate by dry separation and solid-state fermentation. Innovate Food Science and Emerginf Technologies [internet]. 2020 [consultado el 17 de octubre de 2021]; 59. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856419307775>

(34) Razavizadeh S, Alencikiene G, Salaseviciene A, Vaiciulyte-Funk L, Ertbjerg P, Zabulione A. Impact of fermentation of okara on physicochemical, technofunctional, and Sensory proprieties of meat analogues. European Food Research and Technology [internet]. 2021 [consultado el 11 de noviembre de 2021]; 247: 2379-2389. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-021-03798-8>



(35) Kyriakopolou K, Keppler J.K, Goot A.J. Functionality of Ingredients and Additives in Plant-Based Meat Analogues. Foods [internet]. 2021 [consultado el 12 de noviembre de 2021]; 10 (3): 600. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7999387>

(36) Clark A, Soni K.B, Sharkey B, Acree T, Lavin E, Bailey M.H, et al. Shiitake mycelium fermentation improves digestibility, nutritional value, flavor and functionality of plant proteins. Cold Spring Harbor Laboratory [internet]. 2021 [consultado el 13 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2021.10.07.463529v1>

(37) Shi Y, Singh A, Kitts D.D, Pratap-Singh A. Lactic acid fermentation: A novel approach to eliminate unpleasant aroma in pea protein isolates. ResearchGate [internet]. 2021 [consultado el 13 de noviembre de 2021]; 150 (12). Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/352416872\\_Lactic\\_acid\\_fermentation\\_A\\_novel\\_approach\\_to\\_eliminate\\_unpleasant\\_aroma\\_in\\_pea\\_protein\\_isolates](https://www.researchgate.net/publication/352416872_Lactic_acid_fermentation_A_novel_approach_to_eliminate_unpleasant_aroma_in_pea_protein_isolates)

(38) Das A.K, Nanda P.K, Dandapat P, Bandyopadhyay S, Gullón P, Sivaraman G.K, McClements D.J, et al. Edible Mushrooms as functional ingredients for development of healthier and more sustainable muscle foods: a flexitarian approach. Molecules [internet]. 2021 [consultado el 1 de Diciembre de 2021]; 26 (9): 2463. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8122938/>

(39) Hashempour-Baltork F, Khosravi-Darani K, Hosseini H., Farshi P., Reihani S.F.S. Mycoproteins as safe meat substitutes. Journal of Cleaner Production [internet]. 2020 [consultado el 1 de noviembre de 2021]; 253. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620300056>

(40) Finnigan T.J.A, Wall B.T, Wilde P.J, Stephens F.B, Taylor S.L, Freedman M.R. Mycoprotein: The Future of Nutritious Nonmeat protein, a Symposium Review. Curr Dev Nutr [internet]. 2019 [consultado el 11 de noviembre de

2021]; 3 (6). Disponible en:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6554455/>

(41) Sharma N, Angural S, Rana M, Puri N, Kondepudi K.K, Gupta N. Phytase producing lactic acid bacteria: Cell factories for enhancing micronutrient bioavailability of phytate rich foods. Elsevier [internet]. 2020 [consultado el 11 de noviembre de 2021]; 96: 1-2. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224419302705>

(42) Comité ético de experimentación de la Universidad de Sevilla. Principios éticos que deben regir la experimentación con sujetos humanos. Universidad de Sevilla [internet]. [consultado el 19 de diciembre de 2021]. Disponible en:  
[https://research.uoc.edu/portal/resources/CA/documents/recerca/Principios\\_eticos\\_USevilla.pdf](https://research.uoc.edu/portal/resources/CA/documents/recerca/Principios_eticos_USevilla.pdf)

## ANEXO I. ARTÍCULOS SELECCIONADOS:

<b>Referencia</b>	<b>Año</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Conclusiones</b>
(3) <i>Kaleda et al.</i>	2020	Aplicar la fermentación de proteínas de guisante mezcladas con avena para establecer cambios en las propiedades nutricionales, físicas y sensoriales de análogos cárnicos.	La fermentación ocasionó una intensificación del sabor, aunque no se redujo el ácido fítico. Aumentaron los aminoácidos libres (Ala, His, Ile, Leu, Lys Phe, Pro, Ser, Tyr y Val) pero disminuyeron Arg, Asn y Asp. La menor luminosidad se detectó en el extruido fermentado.
(10) <i>Flores et al.</i>	2021	Estudio de los compuestos aromáticos e ingredientes en salchichas vegetales fermentadas.	La fermentación fue capaz de reducir o eliminar sabores en las proteínas vegetales, por lo que puede considerarse una estrategia para reproducir el aroma de salchichas cárnicas tradicionales, controlando la formación de compuestos aromáticos y la formación de olores rancios responsables de sabores extraños. La fermentación de cereales produce compuestos aromáticos agradables. Esto podría ayudar a aumentar la aceptación de los análogos cárnicos y la salud de los consumidores.
(16) <i>Stephan et al.</i>	2017	Uso de <i>P. Sapidus</i> para la elaboración de análogos de	Respecto al <u>color</u> , la fermentación disminuyó L* y la coordenada b*, ligeramente amarillenta. Respecto a la

		carne y su <u>textura</u> , se produjo un aumento de comparación con dureza, adhesividad y una disminución otras proteínas de cohesión y masticabilidad tras el vegetales y proceso fermentativo. productos cárnicos tradicionales.
(17) Maung et al.	2020	<p>Establecer el efecto de la fermentación de <i>Bacillus subtilis</i> sobre propiedades físicas, estructurales, químicas y microbianas de TVP.</p> <p>La fermentación de TVP puede ayudar a la industria a producir una textura deseable. Se produce una disminución de la dureza de las muestras; el color se vio afectado por la fermentación, produciendo una disminución de los valores de claridad y L*, aunque se aumentó el a* y el cambio de color total; el índice de solubilidad de nitrógeno aumentó gradualmente con la fermentación; el pH se redujo a las 24 horas de fermentación, aumento a las 36h y obtuvo su valor máximo a las 60h. Se establece que los resultados de la fermentación van a depender del contenido de humedad aplicado.</p>
(22) Yuan et al.	2021	<p>Evaluar los atributos sensoriales y el sabor de una salchicha fermentada a base de sustitutos de carne preparados a partir de proteína de soja y hongos</p> <p>Los hongos comestibles son nuevas fuentes de formulación de productos cárnicos vegetales por el elevado contenido en azufre y ácido glutámico ayudando a presentar un sabor carnosos. La presencia de fibra facilita la retención de agua, textura similar a la carne y la masticabilidad, mejorando el sabor y la sensación en boca. Mezclar</p>

		comestibles.	la proteína de soja con hongos comestibles tiene un gran potencial para mejorar la calidad nutricional y el sabor. Diferencias en la dureza como consecuencia de la pérdida de agua y el aumento de la acidez, como lo demuestra una reducción de la humedad y del pH. <u>Compuestos volátiles</u> : el número de compuestos volátiles exhibió una notable variabilidad para los ácidos, cetonas e hidrocarburos, diferencias para alcoholes y fenoles, cetonas y ácidos. <u>La fermentación mejoró las propiedades fisicoquímicas y texturales, sabor y aroma.</u>
(23) Sasikumar et al.	2021	Fermentación de fruta de sangre mediante <i>L. plantarum</i> para elaborar análogos cárnicos.	Fermentación por <i>L. plantarum</i> en frutas de sangre, se encontraron diferencias en las muestras fermentadas y no fermentadas: las fermentadas tuvieron una menor cantidad de humedad; las fermentadas tuvieron una mayor cantidad de aminoácidos y fueron de mejor calidad que las de las muestras no fermentadas.
(24) Nayak et al.	2016	Elaborar soja con textura carnosa similar a la carne mediante la fermentación en	Los resultados muestran que podría ser un buen análogo de carne porque recuerda las características texturales de la carne de ave: masticabilidad, dureza y elasticidad. Respecto al ámbito

		estado sólido de	nutricional, se muestra que los
		<i>Rhizopus</i>	alimentos fermentados son una buena
		<i>oligosporus</i> y el	fuelle de diadzeína con alta actividad
		hongo <i>Agraricus</i> .	antioxidante y fibra dietética, menos
			grasas saturadas; el valor energético
			aumentó siendo el doble que el de la
			soja sin fermentar como consecuencia
			de la reducción de grasas totales
			después de la fermentación.
(25) Lucke et al.	2019	Determinar las condiciones óptimas de fermentación de <i>Rhizopus</i> en tempeh.	Reducción de los niveles de constituyentes no deseados, reducción de los niveles de glucosinolato. Reducción del contenido de polifenoles, disminución del contenido de ácido fólico y vitamina B12 puesto que deben añadirse bacterias productoras de vitaminas.
(26) Lee et al.	2018	Fermentación de tempeh mediante <i>B. subtilis</i> .	Los resultados de la fermentación muestran un aumento en el contenido de isoflavonas agliconas (diadzeína y genisteína), una mejora del contenido fenólico y la eliminación de radicales DPPH.
(27) Polanowska et al.	2020	Evaluar la influencia de la fermentación en estado sólido por tres cepas de <i>Rhizopus oligosporus</i> sobre la	La fermentación mostró una disminución del contenido total de ácidos grasos. Todas las cepas contribuyeron a un aumento de la relación n6/n3 durante la fermentación. Aumento significativo en el contenido

		composición química.	total de esteroides. Aumento de aminoácidos libres. Posibilidad de obtener tempeh enriquecido en ácido y-linolénico y GABA.
(28) Roustae <i>et al.</i>	2021	Fermentación de <i>A. oryzae</i> en harina de avena para la elaboración de hamburguesa sin carne.	El hongo produce proteínas de naturaleza funcional, aportando micronutrientes como la fibra dietética, aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales. <u>Análisis sensorial:</u> a la mayoría de los participantes les gustó el sabor de la hamburguesa, al igual que la textura, aunque algunos de ellos establecieron que no tenía una textura similar a la de la carne.
(29) Rathore <i>et al.</i>	2021	Micelio <i>A. bisporus</i> para elaborar análogos de carne.	Los análogos de carne con micelio fermentado por <i>A. bisporus</i> presentan mejores características texturales, siendo más alta la dureza, elasticidad y masticabilidad y con características umamis preferibles si se comparan con los análogos de carne elaborados a partir de TVP.
(30) Thavamani <i>et al.</i>	2020	Fermentación de <i>Fusarium venenatum</i> para disminuir el consumo de carne.	SCP derivada de la fermentación de <i>Fusarium venenatum</i> . Puede aportar valores nutricionales pues el citoplasma es rico en proteínas de calidad y las paredes celulares de las hifas son ricas en fibras y ácidos grasos poliinsaturados. Ensayos controlados aleatorios cegados y ensayos cruzados

			han demostrado propiedades beneficiosas como una reducción del colesterol. Buena fuente de oligoelementos y bajo en sodio, ayudando a reducir la prevalencia de enfermedades cardiovasculares.
(31) <i>El Youssef et al.</i>	2020	Evaluar el impacto de la adición de levaduras sobre la acidificación de LAB y comparar los sabores de productos fermentados y no fermentados.	La evaluación sensorial mostró una reducción significativa en los atributos verdes de proteínas del guisante, produciéndose una reducción de sabor desagradable y desencadenando la generación de ésteres. El proceso de fermentación utilizando LAB y levaduras puede compensar los defectos sensoriales en una matriz vegetal sin necesidad de añadir aromas artificiales.
(32) <i>Zhang et al.</i>	2022	Análisis de los diferentes estudios e investigaciones sobre análogos cárnicos.	Los hongos comestibles son alternativas debido a su alto contenido de proteínas y fibra dietética y bajo contenido de grasa. El alto contenido de aminoácidos que contienen azufre en algunos hongos comestibles permite la producción de un sabor a carne: <i>Lentinus edodes</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Agaricus bisporus</i> , <i>Flammulina velutipes</i> y <i>Pleurotus eryngii</i>
(33) <i>Xing et al.</i>	2020	Mejorar el valor nutricional del concentrado de proteínas	El olor fue diferente en fermentados y no fermentados, las no fermentadas olían a frijol, mientras que las otras tenían un sabor más ácido y suave.



		<p>garbanzo mediante fermentación en estado sólido.</p>	<p>Masas de garbanzos no fermentados con el tiempo se volvieron oscuras debido al cambio de contenido de humedad, pH, polifenoles y oxidación. La fermentación aumentó las propiedades tecno funcionales (WHC y capacidad antiespumante). La fermentación redujo el contenido de ácido fítico debido a la actividad enzimática de las fitasas; disminución del contenido de rafinosa y esteaquirosa. La fermentación aumentó el contenido fenólico y puede conducir a un aumento de las modificaciones de las proteínas estructurales y mejorar la accesibilidad de las enzimas digestivas al sustrato; aumento de grupos amino libres.</p>
(34)	2021	<p>Fermentación de okara mediante LAB (<i>L. plantarum</i> y <i>L. acidophilus</i>) para la formación de análogos de carne.</p>	<p>Aumentaron los valores de WHC y OHC, especialmente por la fermentación de <i>L. plantarum</i>. Se tuvo un efecto significativo sobre las propiedades <u>texturales</u>, siendo óptimo una temperatura de 4°C con <i>L. plantarum</i>. En el <u>color</u> no se obtuvieron resultados significativos. Respecto al análisis <u>sensorial</u>, se tuvo un efecto significativo sobre la dureza, fuerza, fibra, jugosidad, sabor general (dulzura, amargor, acidez), aceptación general del producto. Las propiedades olfativas no se vieron afectadas.</p>

Razavizadeh  
et al.

(35) <i>Kyriakopolou et al.</i>	2021 Análogos de carne producidos mediante diferentes tecnologías.	Las propiedades funcionales de los ingredientes ricos en proteínas fácilmente disponibles no son óptimas para las aplicaciones de análogos de la carne. Esto se desprende de la necesidad de utilizar aditivos para mejorar la textura de los productos u otras técnicas como la fermentación.
(36) <i>Clark et al.</i>	2021 Fermentar mediante shiitake (hongo filamentoso) las proteínas del guisante para formular TVP.	Se establecen beneficios de la fermentación sobre el sabor y el aroma de la proteína del guisante. Este proceso puede cambiar la estructura de las proteínas y hacerlas más digeribles, se aumenta el valor de las proteínas. La presencia de un péptido en el extremo N-terminal de la mayoría de las fitasas, sugiere que el shiitake secreta fitasas capaces de degradar el ácido fólico. Se mejoraron las propiedades organolépticas al disminuir los sabores y aromas extraños.
(37) <i>Shi et al.</i>	2021 Fermentación de la proteína de guisante sobre <i>L. plantarum</i> .	Disminución del pH y de aldehídos, mientras que la concentración de cetonas disminuyó y luego aumentó con el progreso de la fermentación. La concentración de alcohol aumenta con el tiempo de fermentación. La muestra tratada con LAB le dio un aspecto más rojo y amarillo. Muestras LAB tenían una intensidad con menores olores verdes y herbáceos.

(38) <i>Das et al.</i>	2021	Análisis de los atributos nutricionales de los productos elaborados a base de hongos.	Los hongos son una fuente de nutrientes y componentes bioactivos (proteínas, fibras, vitaminas, minerales y nutracéuticos) además de ser bajos en calorías, sodio, grasas y colesterol. Atributos de sabor y textura que son compatibles con los productos cárnicos.
(39) <i>Hashempour-Baltork et al.</i>	2020	Determinar los atributos sensoriales, aceptación, aplicación, formulación y aspectos ambientales, de marketing, salud y seguridad de las SCP.	<u>Valores nutricionales:</u> bajas en grasa, ricas en proteína y fibras, ácidos grasos polinsaturados, ácido linolénico, cantidades de zinc y selenio, pero bajas en sodio. <u>Aceptación consumidor:</u> mayor aceptación que los tradicionales.
(40) <i>Finnigan et al.</i>	2019	Describir la fuente, procesamiento, atributos nutricionales y examinar áreas de investigación de SCP en todo el mundo.	La fermentación de <i>F. Venenatum</i> da como resultado un alimento rico en proteínas y fibra con elevado grado de fibrosidad, con una textura similar a la de la pechuga de pollo. Es rica en aminoácidos esenciales. La fibra dietética es de origen natural, compuesta por un tercio de quitina, dos tercios de B-glucano. Efectos positivos sobre la glucemia, insulinemia, lipidemia y la ingesta energética a corto plazo. Aumenta la saciedad.