



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**



TRABAJO FIN DE GRADO

INGENIERIA AGROALIMENTARIA

**ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO SOBRE LAS PROTEÍNAS
PROCEDENTES DEL GUISANTE PARA LA ELABORACIÓN
DE TEXTURIZADOS Y ANÁLOGOS DE CARNE**

AREA:

Construcción y agronomía

DEPARTAMENTO:

Tecnología de alimentos

ALUMNO

Gonzalo Gómez Riesco

TUTOR

Ana María Vivar Quintana

COTUTOR

Isabel Revilla Martin

FECHA DE ADJUDICACIÓN: Febrero 2020

FECHA DE PRESENTACIÓN: Febrero 2021

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
I. Objetivos	8
1. El guisante. Definición vegetal y cultivo	9
1.1. Origen	9
1.2. Clasificación taxonómica	9
1.3. Descripción botánica	10
1.4. Requerimientos ambientales	11
1.5. Sistema de cultivo	11
1.6. Simbiosis leguminosa-rhizobium.....	12
1.7. Producción de guisante	13
1.8. Destino del cultivo del guisante	16
2. VALORES Y PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL GUISANTE	17
2.1. Hidratos de carbono	19
2.1.1. Azúcares simples y oligosacáridos	19
2.1.2. Almidón.....	19
2.2. Lípidos.....	20
2.3. Fibra dietética	21
2.4. Vitaminas	23
2.5. Minerales	23
2.6. Proteínas.....	24
2.6.1. Fracciones de proteínas	25
2.6.2. Perfil aminoacídico	26
2.7. Factores no nutritivos.....	28
3. Concentrados de proteínas.....	32
3.1. Métodos de obtención	32

3.1.1. Obtención por el método alcalino y ácido	32
3.1.5. Obtención por molienda y clasificación por aire.....	35
3.2. Propiedades funcionales de los concentrados de proteína.....	36
3.2.1. Solubilidad.....	37
3.2.2. Capacidad de absorción y retención de agua	37
3.2.3. Capacidad de absorción y retención de aceite.....	38
3.2.4. Propiedades para formar espumas	39
3.2.5. Capacidad emulsionante.....	40
3.2.6. Capacidad de gelificación.....	41
3.3. Concentrados de proteína más usados en la industria alimentaria.....	42
3.3.1. Concentrados de proteína de origen animal.....	42
3.3.2. Concentrados de proteína vegetales	44
3.4. Concentrados de proteína de guisante	46
3.4.1. Propiedades funcionales de las proteínas de guisante.....	48
4. Texturización de proteínas	53
4.1. La extrusión.....	53
4.1.1. Clasificación de los extrusores	54
4.1.2. Componentes del extrusor.....	56
4.1.3. Zonas de procesado en la extrusión	58
4.1.4. Variables del proceso de extrusión	59
4.1.6. Cambios en los mayores componentes nutricionales de las materias primas	60
4.1.7. Efecto de la extrusión en compuestos antinutricionales.....	64
4.2. Texturización de las proteínas mediante la extrusión.....	67
4.2.1. Extrusión de baja humedad	67
4.2.2. Extrusión de alta humedad	68
4.3. Propiedades funcionales de los texturizados vegetales.....	76
4.3.1. Solubilidad de los extruidos	76

4.3.2. Captación de agua y aceites	77
4.3.3. Propiedades de textura de los extruidos	78
5. Análogos cárnicos.....	80
5.1. Motivos del auge en el mercado	80
5.2. Principales consumidores de análogos cárnicos	82
5.3. Estudio de mercado.....	83
6. Experiencia real	87
7. CONCLUSIONES	113
Bibliografía.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la planta de guisante.....	11
Figura 2. Principales países productores de guisantes desde el año 2000 hasta el 2018.....	14
Figura 3. Evolución de producciones y hectáreas dedicadas al cultivo del guisante seco producido en Europa (2000-2018).....	15
Figura 4. Evolución de superficie dedicada a cultivo del guisante en España (2012-2019).....	15
Figura 5. Distribución por Comunidades de producción de guisantes en España (2019), expresado en (%)	16
Figura 6. Comparación del contenido en fibra (g/100g de producto).....	22
Figura 7. Comparación del contenido en proteínas (g/100g de producto).....	25
Figura 8. Comparación de factores antinutricionales entre legumbres.....	31
Figura 9. Comparación de solubilidad de proteína de guisante con distintos métodos de extracción de proteínas.....	48
Figura 10. Disposición de los tornillos en extrusoras de tornillos gemelos.....	56
Figura 11. Componentes de un extrusor de tornillo.....	58
Figura 12. Texturizado de guisante elaborado por extrusión de baja humedad.....	68
Figura 13. Texturizado de guisante elaborado por extrusión de alta humedad.....	69
Figura 14. Comparación de solubilidad entre aislados y texturizados de guisante y soja.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional del guisante seco por cada 100g de producto.....	18
Tabla 2. Contenido de aminoácidos del guisante (g/Kg de sustancia seca).....	27
Tabla 3. Composición de harina y concentrados de guisante mediante diferentes métodos de extracción de proteína.....	47
Tabla 4. Variables del proceso de extrusión.....	59
Tabla 5. Propiedades de textura de texturizados de proteína vegetal y carnes cocinadas.....	79
Tabla 6. Ingredientes y precio de los principales análogos cárnicos del mercado.....	83

I. Objetivos

Gracias al avance de la tecnología y a las nuevas tendencias dietéticas, cada vez es más frecuente en nuestra sociedad el consumo de análogos cárnicos, particularmente los que están elaborados a partir de proteínas vegetales. La innovación en la industria alimentaria ha permitido ofrecer cada vez nuevos y mejores productos de este tipo, lo que ha provocado la atracción de un gran número de consumidores que quieren encontrar alternativas a los alimentos tradicionales.

El guisante seco es una leguminosa que está compuesto fundamentalmente por carbohidratos, proteínas, fibra, agua y lípidos. El guisante destaca por el contenido y calidad de sus proteínas, que, además, poseen numerosas propiedades funcionales. En cuanto a vitaminas y minerales los guisantes aportan buenas cantidades de vitaminas del grupo B, hierro y calcio.

El objetivo principal de este trabajo es la evaluación del uso de las proteínas del guisante como materia prima para la elaboración de texturizados proteicos mediante la extrusión, y su aplicación como análogos cárnicos.

Para lograr este objetivo se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Conocer la composición química del guisante
- Conocer las propiedades funcionales de las proteínas del guisante
- Conocer el efecto de la extrusión en la elaboración de los texturizados
- Conocer el mercado actual de los análogos cárnicos

1. El guisante. Definición vegetal y cultivo

1.1. Origen

En la actualidad se desconoce la localización de surgimiento del guisante como cultivo, y la planta silvestre predecesora de la que derivó. Algunos autores estiman que las zonas próximas podrían ser las comprendidas entre el mediterráneo, pasando por medio oriente extendiéndose hasta el sureste asiático. El guisante es una de las plantas que más años lleva entre nuestra agricultura, se han hallado indicios de su utilización en pueblos del neolítico en los años 6000-7000 antes de Cristo. A partir de ahí, su utilización se extendió por todas las zonas templadas y altos trópicos del mundo (Tirilli y Bourgeois, 2002).

Las evidencias del cultivo del guisante en Europa se remontan hasta la edad de piedra, en zonas del centro de Europa (1000-2000 años a.C.). Durante la edad media el cultivo del guisante ya fue un buen recurso económico. En tiempos modernos se usa el guisante como hortaliza, recolectando el fruto en verde (Wehner y Gritton, 1981; Maroto, 2002).

1.2. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del guisante es (Castroviejo, 1999):

- División: *Spermatophyta*
- Subdivisión: *Angiospermaphytina*
- Clase: *Magnoliopsida*
- Subclase: *Dicotyledones*
- Orden: *Rosales*
- Familia: *Leguminosae*
- Subfamilia: *Papilionoideae*
- Género: *Pisum*
- Especie: *Pisum sativum* Linneo.

Básicamente, en la actualidad, existen dos tipos de variedades que más se cultivan (Maroto, 2002):

- Guisante de jardín (*Pisum sativum. Ssp. hortens*): El uso que se le da a este vegetal es para su consumo fresco a modo de verdura, sobre todo para consumo humano. Sus semillas se recolectan jóvenes, verdes, y pueden ser lisas o arrugadas.
- Guisante de campo (*Pisum sativum. Ssp. arvens*): En este caso las semillas son pequeñas y redondas, ya que se recolecta en un estado de madurez avanzado y ha perdido la mayoría del agua, quedando el guisante seco. Los colores de la semilla van desde colores blancos a amarillos.

1.3. Descripción botánica

La planta del guisante completa su ciclo vegetativo en el periodo de un año. Es una planta herbácea ya que no posee tallo leñoso. Su raíz es pobre y pivotante, ya que de una raíz principal se desarrollan sus ramificaciones. En cuanto a la parte que queda en la superficie, se compone de un tallo herbáceo fino, y puede llegar a tener alturas de entre 90 y 150 cm. Posee hojas compuestas, las cuales pueden tener entre 1 y 4 folíolos, que son de color verde, y su terminación, generalmente, es en zarcillo; además en la base de las hojas suele haber un par de estipulas. En cuanto a las inflorescencias de la planta, puede tener entre 1 y 3 flores que se auto fecundan. Las flores pueden disponer de varios sépalos y pétalos, que forman una corola, la cual suele tener un color blanco o morado. El número de estambres puede llegar hasta 10. El aparato reproductor femenino de la planta está formado por un carpelo con un ovario que queda en la parte superior, con estilo y estigma. El fruto del guisante es la legumbre y queda envuelto por una vaina, las semillas son esféricas, que pueden ser rugosas o lisas, y el número de ellas puede estar entre 4 y 12 (Maroto, 2002).



Figura1: Morfología de la planta de guisante (Azpilicueta, 2011)

1.4. Requerimientos ambientales.

Clima.

La temperatura biológica del guisante está entre 4 y 5°C, por debajo de estas temperaturas se detiene su crecimiento. La planta está habituada a temperaturas templadas, siendo las óptimas entre 14 y 26°C (Maroto, 2002). Aunque son sensibles a temperaturas bajo cero, permiten cierta tolerancia en temperaturas de entre -2 y -3°C; así mismo, a temperaturas muy altas se reduce su rendimiento. Dependiendo de la variedad, su integral térmica varia, va desde 650°C a 1050°C por día. Además, existen variedades que se pueden dividir en verano o invierno, dependiendo de su tolerancia al frío. Los ambientes muy húmedos no son beneficiosos para el cultivo. (Nadal et al., 2004).

Suelo

En cuanto al suelo, el guisante soporta una banda de pH entre 5.5 y 8. Aunque pueden aparecer problemas de clorosis férricas en suelos con niveles altos de caliza activa. (COAG, 2011)

1.5. Sistema de cultivo

Preparación del terreno

Una buena preparación del terreno es fundamental para el desarrollo del guisante. Se necesitan una labor que entierre el cultivo anterior si lo hubiere, además de proporcionar

un drenaje y un esponjamiento del terreno que favorezca el desarrollo de la raíz. Se suelen realizar una labor profunda y una labor superficial antes del sembrado (COAG, 2011)

Siembra

La siembra en nuestras latitudes debe ser entre octubre y noviembre para aprovechar las lluvias otoñales y las temperaturas templadas, para el desarrollo inicial de la planta. La densidad de siembra suele ser de 60-70 semillas por metro cuadrado, y una separación de líneas de 25-40 cm (Ballarín Val, 2012).

Fertilización

El guisante es una leguminosa y por tanto fija nitrógeno atmosférico al suelo mediante la simbiosis con la bacteria *Rhizobium*; por lo tanto, gracias a esta característica no necesita abonado de nitrógeno.

En nuestro país los suelos suelen tener deficiencias de fósforo, por lo tanto, las necesidades de cultivo de estos elementos suelen estar entre 40-70 unidades de P_2O_5 .

Por último las necesidades de potasio suelen ser 22 unidades/ha de K_2O . (Ballarín Val, 2012)

1.6. Simbiosis leguminosa-rhizobium

Fijación del nitrógeno al suelo

La acción de fijar nitrógeno atmosférico al suelo es un proceso biológico que es debido a la existencia de unos organismos como son los diazotrofos, conocidos como fijadores de nitrógeno, los cuales están presentes en el suelo. Estos organismos poseen nitrogenasa, la cual es una enzima que cataliza la reacción por la cual el nitrógeno atmosférico pasa a amonio, y queda retenido en el suelo. (Muñoz Azcárate, 2014).

La interacción *Rhizobium*-Leguminosa

La familia *Rhizobiaceae* son un conjunto de bacterias que pueden formar una asociación mutualista con las raíces de algunas plantas. Las bacterias se unen a la raíz de la planta y se nutre de ella; a cambio estas bacterias fijan el nitrógeno atmosférico y por medio de reacciones catalíticas se transforma en amonio. Esta forma de nitrógeno es asimilable por

las plantas y sirve como fertilizante para ellas (Taiz and Zeiger, 2002; Muñoz Azcárate, 2014).

La interacción Rhizobium con las raíces de las legumbres empieza con unas señales químicas específicas, y a partir de ahí empiezan a formarse los nódulos, que sirven como barrera protectora para estas bacterias. Dentro del nódulo es donde se lleva a cabo la reducción de nitrógeno atmosférico, ya que dentro de él se dan las condiciones ideales para el funcionamiento de sus enzimas catalíticas. (Atlas and Bartha, 2002; Muñoz Azcárate, 2014).

Formación del nódulo en la raíz de la leguminosa

Los nódulos se forman debido a las modificaciones que se producen en las extensiones que tienen las raíces de las leguminosas, que sirven a la planta para una mayor absorción de nutrientes y agua (Taiz and Zeiger, 2002).

El amonio fijado durante la interacción mutualista es utilizado por las plantas como nutriente, y sirve como elemento de formación de los compuestos de la planta como son las proteínas y los ácidos nucleicos, ya que estos están formados por más del 50% de nitrógeno, por lo cual esta simbiosis tiene gran importancia para las leguminosas. (Bonilla, 2003; Muñoz Azcárate, 2014).

1.7. Producción de guisante

Durante los últimos años en Europa, se ha producido un descenso del consumo de legumbres, y por tanto su producción ha disminuido. En los años '60 se consumían de media 13 Kg/persona/año, mientras que en la actualidad no se superan los 3Kg/persona/año, comparado con el consumo medio mundial que es de 7kg/persona/año. Este descenso general en Europa es debido al aumento del nivel adquisitivo de los países desarrollados, y esto ha llevado a un aumento del consumo de carne y proteínas de origen animal en general, las cuales son más caras, pero de mayor calidad que las vegetales (Gonzalez-Bernal y Rubiales, 2016).

En la figura 2 se muestran los países productores de guisante, y la cantidad aproximada que producen en miles de toneladas. El país más productor en los últimos años ha sido, con diferencia, Canadá (2775,772 mil. Tn), seguido por Francia y China. Los europeos somos grandes importadores de legumbres como guisantes, o judías. Canadá es el principal país productor de guisantes, y es de el del que importamos la mayoría de los guisantes, aproximadamente el 40% (FAO, 2010)

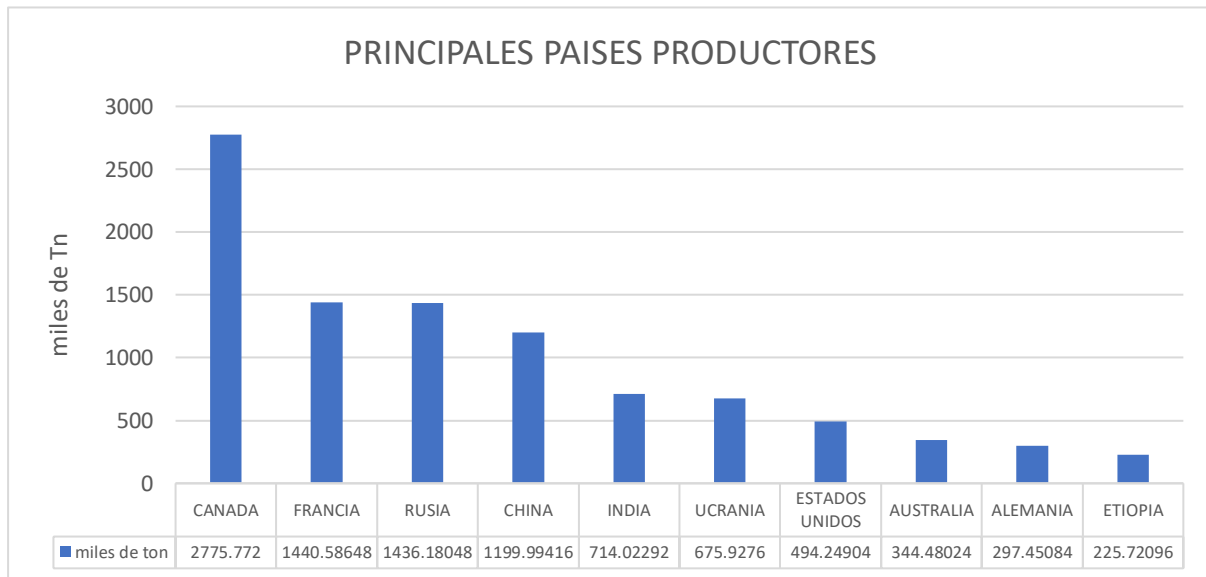


Figura 2. Principales países productores de guisantes desde el año 2000 hasta el 2018. Fuente: FAOSTAT

Debido a las bajadas en el consumo de las leguminosas, se empezó a dar alternativas para dar salida a este producto y que se siguieran cultivando más hectáreas, por ello se empezaron a utilizar las leguminosas para la producción de pienso. Además, en los últimos años la UE ha propuesto ayudas económicas en la PAC, llamadas “Pago verde”, a aquellos que cultiven leguminosas, ya que ayudan al medio ambiente gracias a la simbiosis con *Rhizobium* comentada anteriormente, ya que reducen el uso de fertilizantes nitrogenados artificiales que son contaminantes. Todo ello ha llevado al aumento de las producciones de guisantes y leguminosas en general en Europa, en los años más recientes. (Gonzalez-Bernal y Rubiales, 2016).

En la figura 3 se muestra las producciones y hectareas dedicadas al cultivo del guisante en Europa desde el año 2000 hasta el año 2018. Se puede observar como desde el año

2015 se ha producido un incremento notable de producción de guisante, coincidiendo con el resto del mundo.

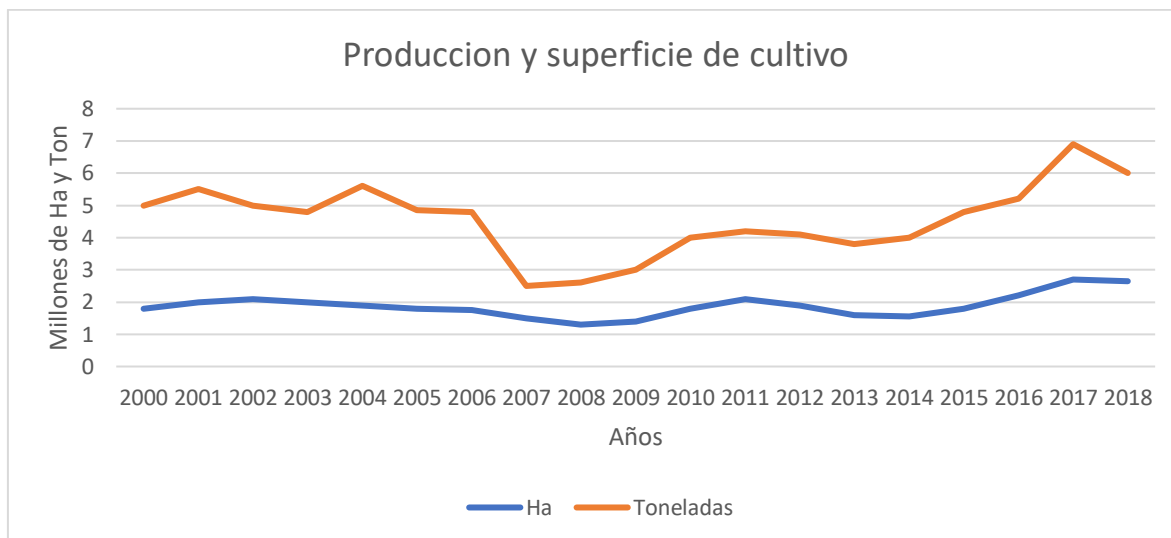


Figura 3. Evolución de producciones y hectáreas dedicadas al cultivo del guisante seco producido en Europa (2000-2018). Fuente: FAOSTAT

En España nos encontramos con que la leguminosa a la que más superficie de cultivo se dedica es al guisante seco (60%). Cabe destacar de este cultivo que es el único de entre las leguminosas que ha aumentado durante los últimos años. (Gonzalez-Bernal y Rubiales, 2016). La figura 4 se muestra la evolución de las hectáreas dedicadas al cultivo de guisante seco a nivel nacional, MAPAMA (2020) desde 2012 a 2019. Además, en cuanto a producción, de entre las leguminosas de grano, el guisante es una de las legumbres que más se produce en España con 178.000 toneladas.



Figura4. Evolución de superficie dedicada a cultivo de guisantes en España (2012-2019), en miles de ha. MAPAMA (2020)

La figura 5 muestra la distribución por Comunidades Autónomas de superficie dedicadas al cultivo de guisante en el año 2019 (MAPAMA, 2020). Las dos comunidades que más guisante producen son Castilla y León, y Castilla la Mancha; debido a que son dos comunidades de gran extensión superficial y que la agricultura juega un papel importante en su economía. Además, los climas que poseen estas comunidades hacen óptimo el cultivo de guisante.

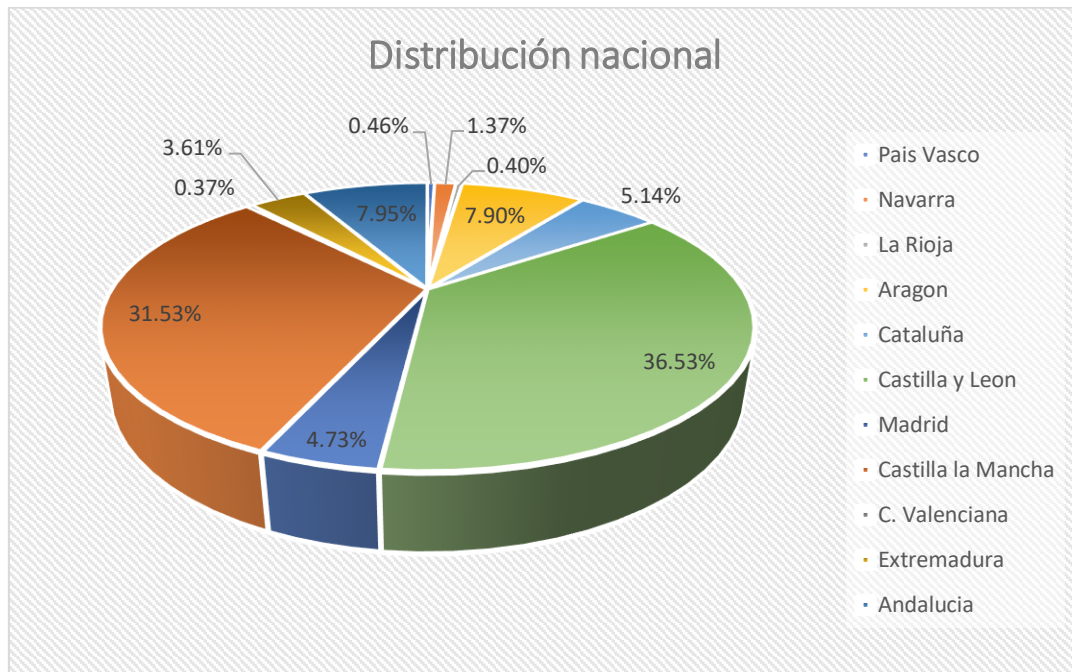


Figura 5. Distribución por Comunidades de producción de guisantes en España (2019), expresado en (%). Fuente: MAPAMA.

1.8. Destino del cultivo del guisante

El destino de las producciones de guisante es tanto para consumo animal, como para consumo humano. En muchas partes del mundo las semillas de legumbres son la base de la dieta, ya que sus nutrientes, como las proteínas, son mucho más baratas que las de origen animal (Ndidi, et al., 2014). Los guisantes verdes se utilizan principalmente para alimentación humana, se consumen como verdura, ya que se recolectan con un estado de maduración muy temprano. Los guisantes secos tienen utilización tanto para consumo animal, en la elaboración de piensos, como para humano, aunque para este último el porcentaje es muy pequeño, más del 90 % se dedica a alimentación animal por el gran valor energético, la cantidad de proteínas que poseen, y su bajo valor económico.

Aproximadamente entre un 10% y un 12% de toda la producción de guisantes es destinado a semilla. Se dedica mucha producción a ser semilla ya que se requieren un gran número de semillas por unidad de superficie para lograr una buena siembra.

En la industria alimentaria el uso del guisante tiene diversos usos, como fabricación de pastas, productos dietéticos, como aditivo fibroso, e incluso en los últimos usos ha sido utilizada para la fabricación de plástico biodegradable. (Laguna, 1997)

2. VALORES Y PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL GUISANTE

El guisante, como la mayoría de las legumbres, son ricos en nutrientes como proteínas, hidratos de carbono y ciertos minerales, como se observa en la Tabla 1. El macronutriente en mayor proporción son los hidratos de carbono (57,97%), seguidos de proteína (22,36%), fibra total (16,7%), y finalmente un bajo contenido en grasa (2,38%).

La semilla del guisante está constituida por tres partes diferenciadas, las cuales difieren entre sí en los valores nutricionales que contienen. El 89% de la semilla la constituye el cotiledón, en el cual están en forma de reserva la mayoría de las proteínas, grasas, hidratos de carbono y minerales. En la cubierta de la semilla, que constituye el 10% de la semilla, nos encontramos la mayoría de la fibra alimentaria y ciertos minerales como fósforo y calcio. Y finalmente, el embrión, que constituye el 1% de la semilla, este posee en proporción gran cantidad de proteínas y minerales, pero al ser un porcentaje tan pequeño no son valores relevantes (Rodrigo et al., 1979; Villalba, 2005).

Tabla 1. Composición nutricional del guisante seco por cada 100g de producto. Fuente: BEDCA.

*A.G.: Ácidos grasos

Componente	Valor
Proximales	
Energía total	1404 KJ (337 Kcal)
lípidos totales	2,3 g
Proteína total	21,6 g
Agua (humedad)	3,4 g
Hidratos de carbono	
Fibra dietética total	16,7 g
Carbohidratos	56 g
Grasas	
A.G. 22:6 n-3 (docohexaneico)	0 g
A.G. monoinsaturados totales	0,66 g
A.G. poliinsaturados totales	0,23 g
A.G. saturados totales	0,77 g
A.G. 12:0 (láurico)	0 g
A.G. 14:0 (ácido mirístico)	0 g
A.G. 16:0 (ácido palmítico)	0,064 g
A.G. 18:0 (ácido esteárico)	0,007 g
A.G. 18:1 n-9 cis (ácido oleico)	0,035 g
A.G. 18:2	0,152 g
A.G. 18:3	0,035 g
A.G. 20:4 n-6 (Ácido araquidónico)	0 g
A.G. 20:5 (Ácido eicosapentanoico)	0 g
Vitaminas	
Vitamina A (Equivalentes de retinol de actividades de retinos y carotenoides)	42µg
Vitamina D	0 µg
Vitamina E (Equivalentes de alfa tocoferol)	0,3 mg
Folato, total	42 µg
Equivalentes de niacina, totales	5,2 mg
Riboflavina	0,2 mg
Tiamina	0,7 mg
Vitamina B-12	0 µg
Vitamina B-6, total	0,13 mg
Vitamina C (ácido ascórbico)	2 mg
Minerales	
Calcio	72 mg
Hierro, total	5.3 mg
Potasio	900 mg
Magnesio	123 mg
Sodio	40 mg
Fosforo	330 mg
Ioduro	2 µg
Selenio, total	1,6 µg
Zinc (cinc)	3,5 mg

2.1. Hidratos de carbono

Uno de los grandes componentes que constituyen los guisantes son los hidratos de carbono (Tabla 1), estos se dividen en mono- y disacáridos, oligosacáridos, almidón y otros polisacáridos.

2.1.1. Azúcares simples y oligosacáridos

Los carbohidratos más simples que se encontraron en el guisante en mayor proporción fueron la sacarosa y los α -galactósidos (Rafinosa, Estaquiosa, y Verbascosa) (Vose et al., 1976; Robert y Samuel, 1982). Los α -galactósidos son derivaciones de la sacarosa, y contienen entre 1 y 4 galactosas, unidas con enlaces α -1,6 (Guillón y Champ, 2002), Este tipo de oligosacáridos son característicos en las legumbres en general, y dependerá del tipo de legumbre el que predomine uno u otro α -galactosido. Se pueden considerar factores antinutricionales, ya que producen reacciones en el sistema digestivo, como la flatulencia, ya que se producen fermentaciones en nuestro intestino. La razón por la que no digerimos estos compuestos es porque nuestro cuerpo carece de galactosidasa, la enzima capaz de degradar estos compuestos. (Ferket, 1991).

Según Robert y Samuel (2002) las cantidades de α -galactósidos y de sacarosa están relacionados con el contenido en proteínas del producto. De este modo, cuanto mayor es el contenido de proteínas, más altos son los valores de α -galactósidos totales y verbascosa. A su vez el contenido en sacarosa es inversamente proporcional al contenido de proteínas, a más proteínas más bajos son los valores de sacarosa (Villalba, 2005)

2.1.2. Almidón

Dentro de los carbohidratos, el almidón, es el que está en mayor proporción en el guisante. El almidón es un polisacárido, constituido por cadenas largas de glucosa, y se presenta como una mezcla de amilosa y amilopectina. La amilosa es una forma no ramificada, y es soluble en agua. Mientras que en la amilopectina las uniones de glucosa sufren ramificaciones en su estructura química (Villalba, 2005).

Dentro del grupo de las leguminosas, hay un gran rango de proporción de amilosa que constituye el almidón pudiendo variar desde el 10% al 66% (Guillon y Champ, 2002). Que tenga más o menos proporción de amilosa frente a amilopectina puede tener importancia en factores como la solubilidad, la unión de grasas y otras propiedades

funcionales, como la digestibilidad del almidón y la rapidez con la que se absorben los azúcares de la digestión del almidón (Wendy J. Dahl, 2011).

El almidón en los guisantes puede ser muy variable dependiendo de la variedad de guisante de la que se trate. Podemos encontrarnos almidones con bajo porcentaje de amilosa del 29% al 31%, como es el caso de los guisantes lisos, a valores de amilosa de entre el 66% y el 99% como son los guisantes arrugados. Guillon y champ (2002), establecieron la relación directa entre la temperatura de gelatinización y el porcentaje de amilosa, así en los guisantes lisos esta temperatura va de 55 a 65°C mientras que en los arrugados va de 55 a 125°C. Que los guisantes tengan estos valores de amilosa en su composición de almidón, que son más altos que si los comparamos con los cereales o las patatas, provoca que la digestión del almidón sea mucho más lenta, esto trae numerosos beneficios para la salud como prevención de obesidad, prevención de diabetes tipo II etc.

2.2. Lípidos

Si nos referimos al contenido en lípidos podemos observar en la tabla 1 su bajo contenido en grasa (2.3g/100 g de producto). En el guisante, como las demás proteaginosas, la cantidad de lípidos no destacan nutricionalmente debido a su bajo contenido

Como en los demás nutrientes, la cantidad de lípidos depende de la zona de la semilla en la que estén. En la cubierta de la semilla los valores de lípidos son muy bajos, ya que la mayoría de su contenido es fibra (Griffiths, 1981). Mas del 90% de los lípidos se encuentran en los cotiledones (Reichert y Mackeinze, 1982; Villalobos, 2013).

Las semillas de los guisantes están formadas por diez tipos diferentes de lípidos neutros, que pueden llegar a constituir entre el 50% y el 60% del total, entre los cuales están los triglicéridos. Otros tipos de lípidos, como son los monoglicéridos, pigmentos o ceras están en proporciones minoritarias.

En cuanto a los ácidos grasos, el guisante está constituido por: ácidos grasos monoinsaturados (0.66g/100g de producto), ácidos grasos poliinsaturados (0.23g/100g de producto), y ácidos grasos saturados (0.77g/100g de producto) ver Tabla 1.

Alrededor del 60% de los ácidos grasos del guisante son insaturados, lo cual tiene una gran importancia nutricional, debido a los beneficios a la salud que estos tienen. Entre los

insaturados, el ácido oleico que es un monoinsaturado tiene importancia ya que pueden suponer el 35% de todos los insaturados, y son importantes nutricionalmente ya que mejoran la salud cardiovascular.

El ácido linoleico (C18:2) es el ácido graso más abundante en los guisantes, se trata de un ácido graso poliinsaturado, con dos insaturaciones, y tiene una gran importancia, ya que es esencial para el crecimiento del cuerpo humano. El otro ácido graso poliinsaturado importante en la composición del guisante es el α -linolénico (C18:3). Este posee tres insaturaciones, y sus niveles en el guisante están próximos a los valores del oleico, aunque dependiendo de la especie de guisante suelen ser valores más bajos. Gracias a su estructura de omega 3 son importantes para reducir el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (Villalobos, 2013)

Dentro de los ácidos grasos saturados, el que más se detecta es el ácido palmítico, y dependiendo de la variedad de guisante de la que se trate nos podemos encontrar valores más o menos altos de ácido esteárico, aunque en general son valores muy bajos (Balogun y Fetuga, 1985).

Según Murcia y Rincon (1992) la composición de ácidos grasos del guisante depende mucho de las condiciones edafo-climáticas en las que se encuentre la planta durante su crecimiento.

2.3. Fibra dietética

En los alimentos de origen vegetal, como cereales o leguminosas, la fibra es un componente nutritivo muy importante en su composición. En las legumbres la fibra se encuentra fundamentalmente en la cubierta de la semilla. Las partes que componen la fibra alimentaria de las legumbres son: celulosa, hemicelulosa, carragenatos, ligninas, alginatos, gomas, y mucílagos. Aunque la mayoría de las legumbres tienen altos contenido en fibra, el guisante es especialmente rico en este nutriente como se observa en la figura 6.

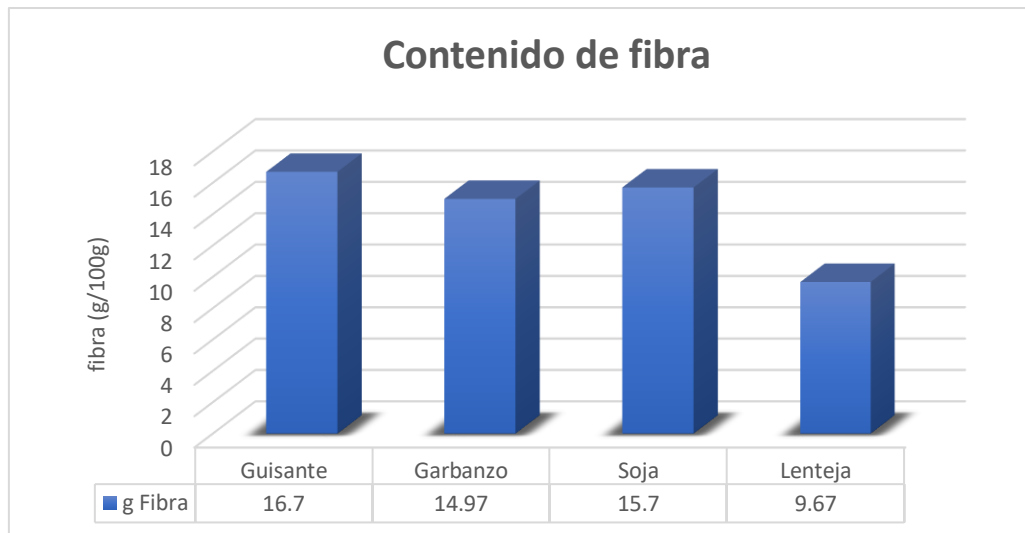


Figura 6. Comparación del contenido en fibra (g/100g de producto). Fuente. BEDCA

Existen numerosas maneras de clasificar la fibra de los alimentos. Dependiendo de si son solubles en disoluciones acidas o neutras tenemos (Van Soest, 1980; Dodevska, 2014):

- Fibra detergente neutra, en la que está la celulosa, hemicelulosa, lignina, y almidón resistente
- Fibra detergente acida, parte de celulosa y lignina.

Por otra parte, tenemos la clasificación por solubilidad en agua. La fibra soluble en agua tiene la peculiaridad de fermentar en el intestino grueso, aportando numerosos beneficios saludables, y en ella se incluyen pectinas, gomas, y mucílagos. En cuanto a la insoluble en agua están la celulosa, lignina, y otras partes de hemicelulosa. Este tipo de fibra tiene efectos reguladores en el tracto intestinal (Martin-Cabrejas et al, 2003).

Los beneficios para la salud que aporta el consumo de fibra procedente de las leguminosas son muchos, como reducción de niveles de colesterol, prevención de cáncer de colon, y mayor aumento de absorción de minerales como calcio, magnesio, cinc y hierro (Remsey y col, 1993; Dodevska, 2013).

El componente más alto de la fibra de las leguminosas en general es la celulosa, que puede llegar a suponer entre el 30% y el 40% de la fibra total. Otra parte importante de la fibra

de las legumbres es el almidón resistente, que en el caso de los guisantes puede llegar a valores del 30% del total de la fibra.

2.4. Vitaminas

Los guisantes nos aportan buenas cantidades de tiamina, riboflavina, y niacina, en general, vitaminas del grupo B.

El contenido de vitamina C no es muy relevante, ya que, aunque la cantidad es importante, estas son muy volátiles e inestables, como las demás vitaminas hidrosolubles, ya que cualquier tipo de procesado o un periodo de almacenamiento prolongado, produce en estas vitaminas una reducción drástica (Edipala, 1980; Prodanov et al., 2003).

Debido al bajo contenido en grasa que tienen los guisantes los niveles de vitaminas liposolubles (A, D, E, K) son muy bajos, ya que solo se encuentran en la fracción grasa de los alimentos.

2.5. Minerales

Dentro de los minerales que nos aportan los guisantes, destacan las cantidades que contienen en algunos como potasio (900mg/100g), fósforo (330mg/100g), magnesio (123mg/100g), o calcio (72mg/100g); (Ver tabla 1). Del total del contenido en nutrientes, los minerales pueden llegar a suponer el 2,5%.

Los valores de hierro (5.3mg/100g) y calcio (72mg/100g) son destacables en los guisantes y legumbres ya que son más altos que en otros alimentos vegetales como los cereales.

Aunque los valores de minerales que contienen los guisantes son altos, no hay que olvidar que provienen de vegetales y existen ciertos factores que pueden afectar a su disponibilidad y asimilación (Sandberg, 2002; Villalba, 2005). Por ejemplo, algunos de los factores antinutricionales que poseen como el ácido fítico, oxalatos o polifenoles afectan a la absorción de muchos minerales como el cinc, hierro o calcio ya que forman complejos insolubles con ellos y provocan que no sean asimilados.

Además, según House (1999) la concentración de otros nutrientes afecta a la absorción de minerales, o pueden potenciar su asimilación, como pueden ser la concentración de

grasa y proteína que contenga el alimento, o el balance de aminoácidos. También el procesado que haya sufrido el alimento, ya que se pueden eliminar alguno de estos factores que afectan a su disponibilidad.

2.6. Proteínas

En cantidad, las leguminosas en general nos aportan gran cantidad de proteínas, además desde un punto de vista económico las proteínas que nos aportan las leguminosas son mucho más baratas que las de origen animal. Es por eso por lo que en muchas partes del mundo las legumbres y cereales son la base del aporte de proteínas de la dieta (Ndidi, et al., 2014). No podemos considerar de igual valor biológico a las proteínas de origen animal y a las de origen vegetal, ya que la biodisponibilidad de estas últimas se ve reducida por compuestos como los factores antinutricionales que están presentes en los vegetales y provocan reducciones de nutrientes como los aminoácidos azufrados; o interacción de otros nutrientes, como la reducción de digestibilidad de las proteínas debido a la presencia de fibra (Gatel, 1994; Periago et al., 1998).

A pesar de que el valor biológico de las proteínas procedentes de las leguminosas no es tan alto como el de las proteínas de origen animal, el consumo de estas proteínas vegetales tiene grandes beneficios para la salud como la ayuda al control de peso, ya que hay un gran aporte de proteínas con bajos consumos de grasa. Además, la degradación de las proteínas durante la digestión, libera péptidos bioactivos, los cuales forman parte de la estructura de estas proteínas. Estos tienen propiedades antihipertensivas, además de proporcionar actividad antioxidante (Villalba, 2005).

Los guisantes secos tienen de media unos valores entre el 23% y el 30% de proteínas. Si comparamos con otras leguminosas (Figura 7) el guisante no tiene unos valores tan altos como por ejemplo la soja, que es la leguminosa que más proteínas contiene. Pero en cuanto a su digestibilidad las proteínas de guisante (73.5%) (Habiba, 2002) son mejores que las proteínas de soja (61%) (Hoffman, 2013); esto entre otras cosas es debido a que la soja tiene grandes cantidades de unidades inhibitorias de proteasas. (Figura 8)

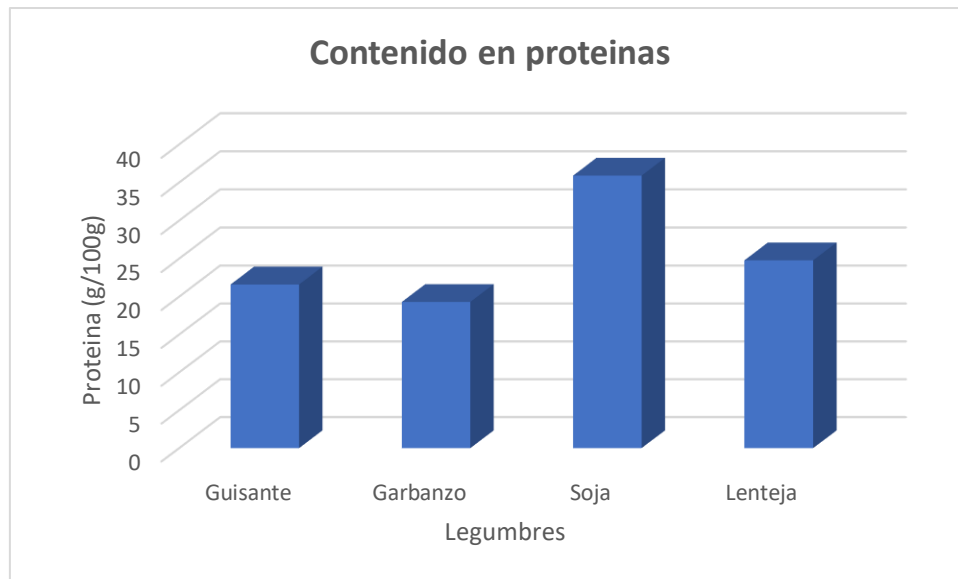


Figura 7. Comparación del contenido en proteínas (g/100g de producto). Fuente: BEDCA

2.6.1. Fracciones de proteínas

La mayoría de estas proteínas se encuentra en forma de proteínas de almacenamiento, siendo principalmente globulinas (Rubio et al., 2004), las cuales son insolubles en agua. Estas proteínas no tienen función catalítica y tienen un papel no estructural en los tejidos cotiledóneos. Dentro de las globulinas, se clasifican según su coeficiente de sedimentación, de esta manera nos encontramos las “7S” llamadas vicilinas, y las “11S” llamadas leguminas. Un 60% corresponde a vicilinas y un 40% corresponde a leguminas, del contenido total de globulinas. (Rubio et al., 2013).

Las leguminas forman estructuras hexaméricas, y poseen una estructura cuaternaria compacta que hace que sean estables en temperaturas altas, pero es sensible al pH y a las concentraciones de sal (Barac, 2015). Los pesos moleculares de las leguminas están entre 320 y 380 KDa. Las subunidades de las leguminas consisten en una subunidad ácida de 40KDa, y una subunidad básica de 20KDa unidas por un enlace disulfuro. Además, las leguminas están compuestas por diferentes polipéptidos, α y β , de pesos moleculares entre 38-40 KDa y 19-22 KDa respectivamente.

Las vicilinas se consideran proteínas trimericas con pesos moleculares de entre 150 y 200 KDa. Estas son más heterogéneas y complejas que las leguminas, debido a los

polipéptidos que poseen y los procesos proteolíticos que se dan en ellas. Debido a su heterogeneidad, las subunidades que las conforman varían mucho, y tienen pesos moleculares de 47, 50, 34 y 30 KDa.

Otra fracción de las proteínas de almacenamiento son la convicilinas, muchos autores la consideran otra fracción distinta de legumina y vicilina, aunque O'Kane, (2004) la considera como una subunidad α de las vicilinas, ya que presenta muchas similitudes en la composición de aminoácidos a estas. La convicilina tiene un peso molecular aproximado de 70 KDa (Barac, 2015).

La ratio legumina-vicilina varía entre 0.2 y 1.5. Las diferencias en contenido, composición y estructura entre vicilinas y leguminas van a determinar las propiedades nutricionales y funcionales que vayan a presentar las proteínas (Barac, 2010).

En menor proporción se encuentran las albuminas (solubles en agua), que tienen función catalítica, representadas por miles de enzimas diferentes, necesarias para el metabolismo de las células cotiledóneas (Duranti y gius,1997). En esta fracción se encuentran grandes cantidades de inhibidores de proteasas, que son sustancias de naturaleza proteica que se unen al sitio activo de las enzimas proteolíticas, impidiendo la acción catalítica de estas sobre las proteínas, impidiendo, consecuentemente, la digestión de estas (Rubio, 2013).

2.6.2. Perfil aminoacídico

Los guisantes poseen suficientes cantidades de aminoácidos esenciales para cumplir con los requisitos de la nutrición humana, pero con la excepción del contenido en aminoácidos sulfurados, lo que provoca que el valor biológico de las proteínas no sea tan bueno como en otros alimentos (W.Sosuloski, 1979)

Aunque como en todas las legumbres los contenidos de aminoácidos azufrados cisteína y metionina están en niveles muy bajos del mismo modo que el triptófano, cabe destacar de los guisantes que estos valores son un poco más altos que en el resto de las legumbres (Evans y Bouter, 1980).

Tabla 2. Contenido de aminoácidos del guisante (g/Kg de sustancia seca) (Urbano y col, 2003; W.Sosuloski, 1979; Villalba, 2005)

Aminoácidos esenciales	
Arginina	11.13-28.24
Histidina	4.20-6.67
Lisina	13.00-19.87
Fenilamina	9.70-13.18
Leucina	13.40-21.10
Isoleucina	6.20-12.50
Valina	9.10-13.90
Metionina	1.60-3.70
Treonina	7.20-10.90
Triptófano	1.80-3.60
Aminoácidos no esenciales	
Acido aspártico	16.60-30.56
Acido glutámico	30.90-53.16
Serina	7.30-13.00
Prolina	6.40-11.66
Glicina	8.00-14.50
Alanina	8.80-14.90
Cisteína	2.40-5.00
Tirosina	6.10-9.31

Generalmente, la arginina, leucina, lisina y los ácidos glutámico y aspártico han sido hallados en grandes proporciones y pueden llegar a suponer el 50% de los aminoácidos. A su vez, los niveles de histidina, metionina, treonina, triptófano y cisteína tienen valores mucho más bajos, que suponen menos del 11% de los aminoácidos.

Dentro de la fracción proteica del guisante los distintos aminoácidos se concentran en unas partes u otras, ya sea en la legumina, las vicilinas, o la albumina. Según Mc Curdy (1991) la parte de las leguminas contienen más aminoácidos sulfurados y arginina. En las vicilinas se encuentran grandes proporciones de isoleucina, leucina, fenilamina, y lisina; esta parte es importante ya que se trata de aminoácidos esenciales.

En cuanto a la parte de la albumina, presenta altos valores de ácido glutámico y aspártico, alanina, valina, y arginina. Cabe destacar que en la fracción de la albumina los valores de metionina fueron el doble que los encontrados en legumina y vicilina. (Rubio, 2013).

Holt y Sosulski (1979) estudiaron la composición aminoacídica de 16 variedades distintas de guisantes, y su relación con el contenido total proteico, y establecieron que la cisteína, glicina, alanina, metionina y lisina, tienen relación directa con el contenido proteico, ya

que cuanto mayor es el contenido en proteínas en menor proporción se encontraban estos aminoácidos. El caso contrario ocurre con la arginina y el ácido glutámico, ya que estos aminoácidos aumentan su cantidad cuanto mayor sea el porcentaje de proteínas, el estudio de Evans y Bouter (1980) lo confirma.

Los aminoácidos que mejor se digieren con valores de entre el 85% y el 93% de digestibilidad son la arginina, la histidina, y la lisina; mientras que los menos digeribles son la treonina y el triptófano. (Leterme et al., 1990).

2.7. Factores no nutritivos

Aunque los guisantes, como el resto de las legumbres, poseen gran cantidad de nutrientes que nos aportan numerosos beneficios, existe en estas semillas una serie de sustancias denominadas factores antinutricionales. Estos factores le sirven naturalmente a la semilla para proteger su desarrollo vegetativo. Algunos de estos factores como lecitinas o alcaloides proporcionan a la planta una defensa contra enfermedades, pueden actuar como insecticida, y proporcionar resistencia a los cambios térmicos (Riemer y Whittaker, 1989), otros factores ayudan a la planta aportando nutrientes a la semilla para realizar la germinación.

Podemos clasificar los factores antinutricionales según su resistencia a la temperatura. De este modo tenemos, los que resisten a la temperatura como galactosidos, fitatos, saponinas y algunos taninos. Y los que son sensibles a la temperatura como inhibidores enzimáticos y lecitinas.

Los factores antinutricionales están de forma natural presentes en las semillas de las leguminosas, y cuando son ingeridas pueden afectar a la absorción de nutrientes como las proteínas, las vitaminas, y los minerales (Soetan, 2009). La presencia de estos limita su aplicación, ya que provocan un descenso en la calidad de sus nutrientes, tanto de ingesta como la aplicación en la industria alimentaria (Siddharaju et al., 2002).

Los factores antinutricionales que se encuentran en las legumbres son:

Ácido fítico.

Este compuesto está de forma natural en cereales oleaginosos y legumbres. A la semilla le sirve como componente de reserva de fósforo, para el crecimiento y nacimiento de la planta (Cosgrove, 1980). En el caso del guisante, el fitato ocupa más o menos el 45% del total del fósforo que posee (Gopalan et al., 1982). El fitato con seis grupos fosfato actúa como un agente quelante en la naturaleza, por esta razón al estar presente en las legumbres forma complejos insolubles con minerales como el hierro, magnesio, o calcio, provocando la no absorción de los mismos, reduciendo su biodisponibilidad (Nikmaram et al., 2017).

Además, debido a que se forman complejos en la que inhiben la degradación proteolítica, la absorción de proteínas también se ve reducida, del mismo modo que pasa con ciertos lípidos y el almidón (Knucks et al, 1986; Yoon et al, 1983). Estudios como el de Camus y Laporte (1976) demuestran la capacidad del ácido fítico para inhibir enzimas como la tripsina, amilasa y pepsina.

Taninos

Estos compuestos son polifenólicos. Se encuentran en cereales, vino y legumbres entre otros. Dentro de los taninos nos encontramos los condensados y los hidrosolubles. (Kummer, 1992). Estos provocan la interacción con minerales y proteínas. Los taninos tienen tendencia a formar enlaces con proteínas digeribles y ciertas enzimas, lo que provoca la formación de complejos que no son digeribles (Aletor, 1993; Nikmaram et al., 2017)

Hemaglutininas

Las lecitinas están muy presentes en leguminosas y otros vegetales (Gemedé y Ratta, 2014). Las lecitinas pueden impedir el crecimiento ya que impiden la absorción de nutrientes, y tienen la capacidad de aglutinar los glóbulos rojos. Pero según Roy et al (2010) las lecitinas tienen propiedades que benefician a la salud, como propiedades anticancerígenas y de refuerzo inmunológico.

Saponinas

Estos compuestos son glucósidos anfipáticos y están presentes en muchos vegetales. Aunque estos compuestos mejoran la mucosa intestinal ayudando a la absorción de nutrientes (Bora, 2014), poseen efectos antinutricionales ya que reducen la absorción de hierro, y pueden inhibir enzimas digestivas como la tripsina (Shimoyamda, 1998; Nikmaram et al., 2017)

Inhibidores enzimáticos

Son responsables de reducir o inhibir las reacciones catalíticas de las enzimas que se encargan de procesos digestivos. Están en muchos vegetales como los cereales, aunque en menor medida en las legumbres. Los inhibidores de tripsina y α amilasa son muy abundantes e importantes en los guisantes (Nikmaram et al., 2017)

Los inhibidores de tripsina causan interferencia de digestión con las proteínas, pudiendo causar trastornos metabólicos (Adeyeno y Oniluche, 2013). La unión con las proteínas y aminoácidos y su no digestión provoca que sean excretadas del cuerpo. Cuanto mayor es el contenido de inhibidores enzimáticos proteicos mayor es la reducción de la digestión del nitrógeno y aminoácidos (Leterne et al., 1990). Estudios como el de Liener y Kakade, (1980) y Mc phee y Mueblam (2002) revelan que la mayor presencia de estos compuestos provoca una reducción notable en la absorción de aminoácidos, sobre todo los azufrados, metionina y cisteína, esto explica el bajo contenido de estos aminoácidos en las legumbres. Los inhibidores de proteasas son los responsables de pérdidas de digestibilidad de proteína en el alimento, es por eso por lo que los alimentos como las legumbres que contienen este tipo de factores antinutricionales la digestibilidad de las proteínas es más baja (Hugemeister y Barth, 1993)

La α amilasa es responsable de romper oligo y disacáridos, la inhibición de esta enzima anula esta función dejando estos carbohidratos en formas más complejas retrasando a la absorción rápida de glucosa (Bhutren y Bhise, 2012)

Oxalato

El oxalato tiende a formar uniones con cationes como los del calcio, magnesio o hierro interfiriendo en la digestión de estos compuestos, y puede llegar a provocar problemas renales (Nikmaram et al., 2017).

En la figura 8 se observa la comparación de factores antinutricionales que contienen el guisante, las habas, y la soja. En cuanto al contenido en fitatos, en todas las legumbres se encuentra en valores altos, en el caso del guisante es en el que mayor proporción se encuentra, y es el responsable de que en las legumbres la biodisponibilidad de micronutrientes como los minerales sea menor. Los valores de taninos no son muy altos en las legumbres, y el haba es en el que destaca un poco. Destaca los valores de inhibición de tripsina que contiene la soja con las otras legumbres, y dentro de ellas el guisante es el que menor valor tiene. Este factor provoca la no degradación de las proteínas, y por tanto se reduce drásticamente su absorción. Por eso, aunque la soja sea la legumbre que más proteína contiene, no tienen la misma digestibilidad que por ejemplo las proteínas del guisante. En el contenido en lecitinas, se encontraron valores un poco más altos en el guisante que en otras legumbres (Nikmaram et al., 2017)

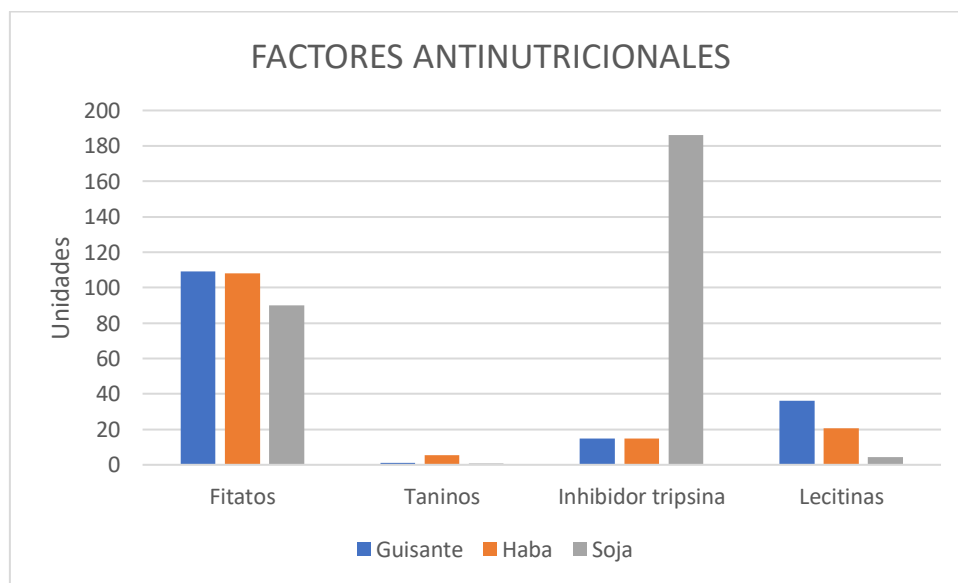


Figura 8. Comparación de factores antinutricionales entre legumbres. (Nikmaram et al., 2017)

-Fitatos (mg fitato/g proteína) -Tanino (mg equivalente catequina/g proteína) -Inhibidor tripsina (unidades de inhibidor tripsina/mg proteína) -Lecitina (Unidades de hemaglutinación/mg proteína)

3. Concentrados de proteínas

Un concentrado proteico es un producto alimenticio cuyo contenido en proteína es mayor que el recurso a partir del cual se elaboró. La concentración se lleva a cabo mediante la separación de los demás componentes nutricionales como lípidos, carbohidratos etc. Para ser considerado concentrado proteico debe tener más de un 40% de proteína en su composición. En cuanto a los aislados proteicos, son la forma en la que obtenemos las mayores concentraciones de proteínas. Se logran mediante la purificación de las proteínas por métodos que permiten la máxima separación de otros componentes. Para que se considere aislado proteico la purificación tiene que dar un producto final con más del 90% de proteínas (Jaimes et al., 2012).

Los concentrados proteicos generalmente no contienen ni olor, ni sabor y son usados frecuentemente para la producción de análogos de carne, para su consumo como productos dietéticos o para la formulación de productos infantiles. Su utilización también está extendida en la industria alimentaria para mejorar las características fisicoquímicas de los productos que se elaboran, ya que muchos de los alimentos procesados que están actualmente en el mercado están constituidos por un gel, una espuma o una emulsión. (Boye et al., 2010).

Las técnicas de extracción de las proteínas van a influir notablemente en las propiedades nutricionales y las propiedades funcionales que va a tener el concentrado proteico final (Boye et al., 2009). Por eso la industria selecciona la tecnología y las condiciones exactas de extracción de las proteínas para obtener un producto final con unas propiedades funcionales concretas para cada aplicación específica.

3.1. Métodos de obtención

3.1.1. Obtención por el método alcalino y ácido

Estas técnicas húmedas son muy usadas para la extracción de proteínas, tanto de origen animal como de origen vegetal. La gran ventaja de esta técnica, por lo que es muy usada, es la gran solubilización de las proteínas a pH básicos (8-11), y la solubilidad es bastante alta a pH ácidos (< 4). A pH entre 4 y 5 la solubilidad de las proteínas es muy baja, ya

que en esos valores está el punto isoeléctrico de las proteínas, provocando la precipitación de las proteínas y haciendo que separarlas de este modo sea sencillo.

El proceso de esta técnica no es complejo. Generalmente, se comienza con el producto molido, en forma de harina, y se dispersa en agua con una proporción 1:5 o 1:20 harina/agua. A esta mezcla se le ajusta el pH entre 8 y 10 y se deja un tiempo en reposo para conseguir la máxima solubilización de las proteínas. Durante este tiempo la temperatura se mantiene a unos 55-65°C con el fin de facilitar la solubilización. Finalmente se ajusta el pH al punto isoeléctrico de las proteínas (4-5) para inducir la precipitación de las proteínas. Finalmente, para separar y recuperar estas proteínas se realiza una centrifugación o una filtración por membranas. Por último, se lava para quitar las sales, se neutraliza, y se le somete a un proceso de secado para obtener el producto final (Boye et al., 2010).

La pureza y el rendimiento obtenidos mediante esta técnica son muy variables, ya que tiene numerosos condicionantes que le pueden afectar como la temperatura, el tiempo de reposo, relación harina/agua, el equipo usado, las fuerzas de centrifugación, etc. De este modo se obtienen concentrados y aislados proteicos con porcentajes de proteínas desde 46% hasta 94%. (Boye et al., 2009).

En cuanto a la extracción ácida, el procedimiento se basa en la extracción alcalina, pero la solubilización de las proteínas se produce en condiciones ácidas, ya que las proteínas tienen buena solubilidad a $\text{pH} < 4$ también. Del mismo modo que en el método alcalino, las condiciones de proceso afectan al rendimiento de la extracción de proteínas. Generalmente, esta técnica es menos usada que el método alcalino (Boye et al., 2010).

Estos métodos de extracción conllevan algunos inconvenientes, ya que los cambios bruscos de pH y los procesos de secado provocan la pérdida de propiedades funcionales de las proteínas, se inactivan ciertos aminoácidos por cambios en su estructura química, se forman compuestos tóxicos para el riñón, se reduce la digestibilidad, se pierden ciertos aminoácidos como cisteína y lisina, e incluso ciertas proteínas insolubles que tienen propiedades específicas. Además, la aplicación industrial de este proceso tiene unos gastos energéticos y de agua muy elevados (Schutyser et al., 2015).

3.1.2. Extracción de proteínas mediante solubilización en agua

Esta técnica se basa en la solubilización de la harina en agua, pero sin modificar el pH que inicialmente tenga el agua. Según Martin et al, (1995) que estudió esta técnica, se mezcla la harina en agua con una proporción 1:10 con un tiempo de reposo de unas 16 horas, durante este tiempo la temperatura se mantiene entre 1 y 4°C, y más tarde se lleva a centrifugación para su separación. Este proceso se lleva a cabo 2 o más veces para mejorar la solubilización de las proteínas. Esta técnica no da altos rendimientos de extracción, ya que se favorece poco la extracción y precipitación de las proteínas, y ha dado resultados en algunas legumbres de hasta el 65% de extracción. Es una técnica muy poco usada ya que los resultados de extracción no son buenos, pero es importante ya que es una técnica muy económica (Boye et al., 2010).

3.1.3. Extracción por método salino

El proceso de extracción de proteínas por este método se basa en la característica que tienen las proteínas de incrementar la solubilización cuanto mayor es la concentración de sal, y la precipitación de estas cuando esta concentración baja. Las globulinas, que es una fracción de proteínas que puede estar en proporciones altas en algunos alimentos, son solubles cuando están en soluciones con cierta concentración de sal, por eso esta técnica sería una buena solución para aplicar en alimentos con proporción alta de globulinas. Una vez que se han extraído las proteínas ajustando la concentración de sal, la solución se diluye, induciendo a la precipitación de las proteínas, y se recuperan mediante centrifugación o filtración y un proceso de secado. Usando esta técnica más un proceso de ultrafiltración se llegan a valores de concentrado proteico de 75% de proteínas para algunas legumbres (Liu, 2009; Tanger et al., 2020)

3.1.4. Procesos de filtración por membranas

La técnica de separación por membranas consiste en hacer pasar un líquido por una membrana semipermeable con distintas aperturas de poro, separando así los componentes por pesos moleculares y tamaños de las partículas. La parte que no logra pasar y queda en la membrana se denomina retenido, y la parte que sí logra pasar la membrana se

denomina permeado. Para ayudar a la filtración se aplica una presión que puede ser variable para mantener el flujo de filtrado (Boye et al., 2010).

En la ultrafiltración, la membrana usada tiene unos poros muy finos (0.015-0.10 μm), esto consigue lograr que en el retenido queden moléculas de pesos moleculares de entre 1 y 200 KDa. Gracias a la presión que se aplica, los componentes de bajo peso molecular como carbohidratos simples, oligosacáridos, o agua logran pasar la membrana. Para aumentar el grado de purificación del concentrado se aplica la diafiltración, que consiste en diluir en agua el producto retenido para volver a filtrarlo nuevamente (Belleville, 2015).

Esta técnica se empezó a usar para la extracción de proteínas en productos lácteos como el lactosuero, ya que las proteínas de este subproducto son muy valoradas, y la aplicación a este es directa, ya que es líquido. En las legumbres, la ultrafiltración es una técnica que se usa como alternativa a la precipitación isoelectrica. Se usa para filtrar el sobrenadante de las extracciones húmedas de legumbres. Estas membranas se pueden ajustar para retener las proteínas, ya que los pesos moleculares de las globulinas y albuminas van desde 8 a 600 KDa. Se pueden obtener concentrados que van desde 89 a 94% de proteínas para legumbres como el guisante (Boye et al., 2010).

3.1.5. Obtención por molienda y clasificación por aire

El fraccionamiento seco con una fina molienda y la separación por aire, es una gran alternativa a la extracción de proteínas por métodos húmedos sobre todo para las legumbres, ya que su diámetro y su uniformidad en la distribución de los gránulos de almidón lo hacen optimo (Schutyser et al., 2015).

Es una técnica que se basa en la molienda del producto para la obtención de una harina que está compuesta por partículas de distinto tamaño y densidad; en esta harina nos encontramos dos fracciones diferenciadas, la fracción gruesa que pertenece al almidón (20 μm), y la fracción fina que es la proteica (1-3 μm), y grandes fragmentos de restos celulares (40 μm) (Pascalle et al., 2013).

La harina molida se dispersa en una gran corriente de aire dentro del clasificador. Esta entra desde abajo y asciende hacia arriba impulsada por una corriente de aire por el

recipiente cónico. Desde la parte de arriba se crea un contraflujo de aire que crea una zona de separación de las partículas grandes de las pequeñas. Las fuerzas de arrastre que provoca el flujo de aire y las fuerzas centrifugas creadas, determinaran el tamaño de partícula de la fracción fina (Schutyser et al., 2015).

Durante la clasificación por aire, hay factores que afectan a la separación de la proteína del almidón. Uno es el punto de corte, que es el tamaño de partícula a la cual tiene la misma probabilidad de separarse en la fracción gruesa de la fina. Este punto de corte se puede modificar, cambiando el flujo de aire del clasificador. Para una separación óptima el punto de corte se establece a 10 μm , el cual está por debajo del tamaño de partícula del almidón, pero si el punto de corte es demasiado bajo las partículas demasiado finas de las proteínas se pueden adherir a la fracción gruesa del almidón, decreciendo su pureza y rendimiento de extracción. Este proceso se puede repetir varias veces para mejorar la eficiencia del proceso, ya que hay parte proteica que se puede adherir a la parte del almidón. La molienda debe ser capaz de producir una harina fina, pero debe ser un proceso muy controlado ya que no puede dañar demasiado los gránulos de almidón (Pascalle et al., 2013).

La pureza y los rendimientos de obtención de proteína no son tan eficientes como con el método húmedo. Las concentraciones de proteínas para las legumbres mediante la aplicación de esta técnica van de un 49 a un 70% (Schutyser et al., 2015)

3.2. Propiedades funcionales de los concentrados de proteína

Las propiedades funcionales son las propiedades físicas y químicas que derivan del comportamiento de las proteínas dentro del sistema alimentario durante la consumición, preparación o almacenamiento, afectando a la calidad y propiedades organolépticas de los alimentos. En el caso de los concentrados proteicos, sus propiedades funcionales son especialmente importantes, ya que condicionaran la utilización industrial de los mismos (Boye et al., 2010).

Las propiedades funcionales dependen de factores intrínsecos, como el tamaño de las partículas, la composición y secuencia de los aminoácidos, la ratio entre hidrofobicidad e hidrofiliidad, las estructuras de las proteínas (primaria, secundaria, terciaria, y

cuaternaria), y a su vez de la capacidad de las proteínas para interactuar con otros componentes del alimento (Wang, 2012).

Y también dependen de factores extrínsecos; esto se refiere a las condiciones de los procesos a los que se someta el alimento como pH, temperaturas, humedad, aditivos usados o los procesos de extracción de las proteínas (Soderberg, 2013).

3.2.1. Solubilidad

Esta característica de las proteínas es una de las más importantes, ya que suele ser un requisito esencial para su aplicación a la industria. La solubilidad va a afectar a la textura, propiedades sensoriales, y, además, de ella van a depender otras propiedades funcionales como la capacidad de emulsificación, capacidad espumante o la gelificación. (Vaclavic y Christian, 2003).

Para que haya una buena solubilización de las proteínas, debe existir un equilibrio entre las interacciones hidrofílicas e hidrofóbicas; además hay factores extrínsecos que afectan a esta propiedad como la temperatura, las fuerzas iónicas, procesos que hayan sufrido para la extracción de proteínas y sobre todo el pH (Bolontrade, 2013).

El pH es el factor que más afecta a la solubilidad de las proteínas. Visualizando una gráfica con el perfil de solubilidad a distintos pH, la gráfica adopta forma de “U”, Los valores más bajos de solubilidad se dan cuando el pH se sitúa en el punto isoeléctrico de las proteínas, que suele estar en torno a $\text{pH}=5$. Por debajo de estos valores las proteínas son bastante solubles. Pero cuando las proteínas suelen alcanzar su máxima solubilización es a pH básicos (8-9). Cuando el pH es constante, la solubilidad de las proteínas suele aumentar conforme se aumenta la temperatura hasta unos 40°C . Por encima de esta temperatura, ciertas proteínas empiezan a desnaturalizarse y a formar agregados que disminuyen la solubilidad (Badui, 2006).

3.2.2. Capacidad de absorción y retención de agua

La capacidad de absorción de agua de las proteínas es la característica que tienen las proteínas de acumular agua absorbida por gramo de proteína, mientras que la capacidad de retención de agua está relacionada con la capacidad de las proteínas de retener el agua absorbida en su estructura. Estas características son muy valoradas para su aplicación en

la industria, ya que puede aumentar el rendimiento en los productos a los que se aplique y soportar mejor las condiciones de almacenamiento (Boye et al., 2010).

Esta propiedad de las proteínas dependerá del tipo de aminoácidos que las compongan, ya que los aminoácidos polares con carga neta tienen mayor capacidad de hidratación que los no polares (Damodaran, 2008). A su vez esta característica tiene relación directa con la solubilización, ya que las proteínas nativas tienen menos capacidad de captación de agua en valores de pH en el punto isoeléctrico. Aunque las proteínas desnaturalizadas, tienen en general mejores capacidades de captación de agua, siendo su solubilidad baja. Lo que indica que no es necesario una relación directa entre solubilidad y captación de agua (Badui, 2006)

Obatolu et al, (2007) realizaron un estudio de la capacidad de absorción de agua en varios concentrados de legumbres, de las cuales, había algunas sin procesar, y otras a las que se le había aplicado tratamientos de calor como tostados o hervidos, y determinaron, que los tratamientos por calor aumentan la capacidad de absorción de agua. Esto es explicado por Mc Curdy, (1991) ya que el tratamiento por calor produce la desnaturalización de las proteínas e induce a la gelatinización del almidón lo que lleva a un aumento de la capacidad de absorción de agua.

Por otra parte, Damodaran, (2008) observó que, de algunos concentrados proteicos de legumbre, los que menos porcentaje de proteínas contenía presentaban una mayor capacidad de absorción de agua. Este efecto probablemente sea debido a que, al contener menos porcentaje de proteínas, tenían más concentración de almidón, y este, tiene una gran capacidad para absorber agua.

La capacidad de absorción y retención de agua permite su aplicación en la elaboración de productos cárnicos, ya que proporciona a los productos en los que se aplique mejor adhesión y consistencia, mejorando su textura. También su aplicación en productos de panadería y repostería mejora la textura, reteniendo la humedad, y aportando suavidad (Gutiérrez, 2015)

3.2.3. Capacidad de absorción y retención de aceite

La propiedad de absorción de aceites se considera como el peso de aceite absorbido por peso de proteína. Dentro de los factores que afectan a las interacciones entre grasa y

proteínas, están la conformación de las proteínas y el número de grupos no polares que dispongan (Boye et al., 2010). Los enlaces hidrofóbicos juegan un papel muy importante en la estabilización de las uniones proteína-lípido, por eso las proteínas con mayores superficies hidrofóbicas tienen mejor capacidad de absorber y retener aceites, gracias a la atracción capilar (Boye et al., 2010).

Las diferencias de los valores encontrados en la capacidad de absorción de aceite son debidas a múltiples factores, como el tipo de legumbre que se use, y sobre todo el método de extracción de las proteínas (Gutiérrez, 2015)

Esta característica que poseen las proteínas es interesante para su aplicación en la industria cárnica, y en la elaboración de productos relacionados con la bollería, ya que la absorción y retención de grasas, permite la retención a su vez de sabores y olores, además de aumentar la vida útil del alimento (Chel-Guerrero et al., 2007).

3.2.4. Propiedades para formar espumas

La capacidad para la formación de espumas, la expansión de las espumas y la estabilización de estas, son formas de medir la capacidad espumante de las proteínas. Las espumas se forman cuando las proteínas se despliegan para formar una capa alrededor de las burbujas que retienen el aire, actuando como tensioactivo, evitando que colapsen. Que las proteínas tengan una buena solubilidad, viscosidad, y conformación, es esencial para la formación de espumas (Boye et al., 2010).

Para poder medir la expansión y la capacidad de las espumas se necesita homogeneizar el producto a altas velocidades para inducir la formación de la espuma. La expansión se expresa como el porcentaje que aumenta la espuma, mientras que la estabilización de la espuma es el tiempo que tarda en desaparecer o reducirse. (Boye et al., 2010).

La capacidad para la formación de espumas se da con más facilidad en regiones de pH alcalinas y ácidas, mientras que a valores de pH cercanos al punto isoeléctrico (4-5) no se favorecen. Este hecho explica que la capacidad para la formación de espumas está muy relacionada con la solubilización de las proteínas. Además, esta característica aumenta cuanto mayor es el contenido en proteínas (Wang, 2012). Al contrario, ocurre con la estabilidad de las espumas, ya que al estar en el punto isoeléctrico las repulsiones

electrostáticas son mínimas, y la adsorción de la proteína con la interfaz es máxima, induciendo a la formación de un film resistente (Boye et al., 2009). Una pequeña desnaturalización de las proteínas puede ser beneficioso para la formación de espumas. Pero si se sobrecalientan las proteínas pueden llegar a formar agregados, aumentando su peso molecular, e impidiendo la adsorción de la interfase aire-agua (Badui, 2006).

La capacidad de formar espumas es una propiedad que permite su uso en la elaboración de numerosos productos relacionados con los postres y dulces (Singh, 2001). Esta propiedad que está en muchas legumbres, y destacan la gran capacidad de estabilización de espumas en algunas como en la del guisante, lo que hace que sean perfectamente aplicables en la industria, sustituyendo total o parcialmente a las que tradicionalmente se venían usando como las proteínas de la clara de huevo o de origen lácteo.

3.2.5. Capacidad emulsionante

Una emulsión es la unión homogénea de dos líquidos que son inmiscibles; se encuentran en dos fases, la fase dispersa, cuando uno está disperso en forma de gotas en otro, que es la fase continua. Los emulsificantes tienen una composición química en la que tienen partes hidrofílicas e hidrofóbicas que permiten la mezcla de los líquidos inmiscibles (Mc Clements, 1995).

Las proteínas actúan como emulsificantes formando una capa alrededor de las gotas de aceite dispersas en el medio acuoso, evitando la coalescencia, floculación, o sedimentación. La capacidad emulsificante se ve afectada por la estructura y la ratio hidrofiliidad / hidrofobicidad que presenten las proteínas, que facilitaran o no la formación de la película en las gotas de aceite.

Existen dos parámetros para medir las propiedades emulsionantes de las proteínas (Liu et al., 2008).

- Actividad emulsionante: Esta medida establece la cantidad de grasa que es capaz de emulsionar por unidad de proteína.
- Estabilidad emulsionante: Medida de la habilidad de las proteínas de dar fuerza a la emulsión y resistir a los cambios de estructura en un periodo de tiempo.

En general las propiedades emulsificantes tienen relación directa con la solubilización, ya que la relación que existe entre pH y solubilización es la misma que entre pH y capacidad emulsificante (Badui, 2006).

Muchos estudios observados concuerdan en que las proteínas de soja tienen mejores capacidades de emulsificación que otras legumbres (Wang et al., 2008); aunque no todos los autores coinciden, ya que se encuentran muchas diferencias en los resultados obtenidos para estos parámetros, ya que se ven afectados por muchos factores durante las condiciones de proceso, sobre todo del método de extracción de proteínas. Los valores de capacidad emulsificante más altos para las legumbres se obtienen por el método de ultrafiltración, seguidos por la precipitación isoelectrica, y finalmente por el método de extracción salina (Boye et al., 2010; Zeidanloo et al., 2019).

Debido a esta característica su uso está muy extendido en diversos productos como carnes emulsificadas (salchichas) o salsas, sobre todo si estas se realizan a pH ácidos, ya que la solubilidad de estas proteínas será mayor, y consecuentemente la capacidad de formar y estabilizar la emulsión será mayor, pudiendo llegar a sustituir a otras proteínas que tienen grandes capacidades de emulsión, como las proteínas procedentes de la yema de huevo (Gutiérrez, 2015).

3.2.6. Capacidad de gelificación

Esta propiedad es muy importante para tener en cuenta en las proteínas ya que su uso puede modificar la estructura y textura de los alimentos en los que se use (Ikeda, 2001).

La formación del gel es un proceso complicado, en el que intervienen muchos factores como la concentración de proteína inicial, el origen de las proteínas, la estructura de estas proteínas, la humedad o el pH. Wang (2007), encontró que la formación de geles para algunas legumbres como el garbanzo, se da mejor a pH en torno a 7. Así mismo, la adición de alguna sal aumenta las fuerzas iónicas ayudando a formar geles más firmes.

La formación del gel está asociado a las reacciones de agregación y asociación de las proteínas después de un proceso de desnaturalización, provocado por el calentamiento de

la solución proteica (Raikos, 2007). La gelificación se forma cuando las proteínas son capaces de formar una red tridimensional, en el proceso de enfriamiento, que resiste a condiciones de presión más o menos elevadas, lo que dará la firmeza del gel, que estará determinada por las interacciones electrostáticas e hidrofóbicas, así como los enlaces covalentes y de hidrogeno que se den (Boye et al., 2010; Adebayi et al., 2011).

La capacidad de gelificación de las proteínas se mide mediante la concentración mínima para la gelificación, que consiste en la concentración mínima de proteínas a la cual se alcanza la máxima gelificación (Boye et al., 2010).

Las propiedades gelificantes no solo tienen interés en la formación de geles por la textura que estos aportan, si no que esta propiedad mejora la capacidad de captación de agua, tiene efectos de espesamiento, y estabiliza emulsiones y espumas (Badui, 2006).

3.3. Concentrados de proteína más usados en la industria alimentaria

3.3.1. Concentrados de proteína de origen animal

Existen numerosas razones por las que los concentrados de proteínas de origen animal son muy usados en la industria. Las proteínas animales son muy valoradas nutricionalmente debido a su composición en aminoácidos esenciales, y su digestibilidad, haciendo que el valor biológico de estas proteínas sea elevado. Además de sus características nutricionales, poseen numerosas propiedades funcionales, como solubilización, captación y retención de agua y aceite, propiedades espumantes, etc.; que permiten su aplicación como ingrediente para la elaboración de muchos productos procesados.

Huevo

Los concentrados de proteína derivados del huevo son usados frecuentemente como ingrediente clave en muchos alimentos. En el huevo existen dos fracciones diferenciadas, que son la yema y la clara, en las cuales existen distintos tipos de proteínas que tienen unas propiedades funcionales u otras. Las proteínas del huevo son muy apreciadas, por su gran valor biológico, y la cantidad de propiedades funcionales que poseen (Kissehlow, 2003; Soderberg, 2013).

La solubilidad de estas proteínas está afectada por el pH, ya que en su punto isoeléctrico (5.5) son menos solubles, y en valores de pH básico se encuentran los valores más altos de solubilización. Las proteínas de la clara tienen menos solubilización a altas temperaturas debido a su coagulación (Gaonkar, 2010).

Las propiedades emulsionantes que tienen las proteínas de la yema de huevo son muy reconocidas, ya que entre sus proteínas se encuentran las lipoproteínas, con gran capacidad emulsionante (American egg board, 2013; Soderberg, 2013).

Las capacidades espumantes que tienen las proteínas de la clara de huevo como la ovoalbúmina son muy importantes, ya que se produce una desnaturalización rápida, y unido a la capacidad de interacción con otras proteínas, tiene facilidad para la formación de espumas; además contiene lisozima la cual ayuda a aumentar el volumen de espumado (Soderberg, 2013). Esta característica de desnaturalización y reagrupamiento de la albumina, induce a la gelificación rápida, característica interesante para su aplicación en la industria.

Gracias a sus numerosas propiedades funcionales, el uso de los concentrados proteicos de huevo está muy extendidos en la industria alimentaria. Debido a sus propiedades de formar espumas relacionado con su contenido en ovoalbúmina, está muy extendida su aplicación en productos de repostería; y sus propiedades emulsionantes y de formación de geles que permite su aplicación para la elaboración y fortificación de reestructurados cárnicos, o productos de bollería.

Derivados lácteos

La utilización de las proteínas del lactosuero es muy común en la industria. El lactosuero es un subproducto de la industria quesera, el cual se genera en grandes cantidades. Está compuesto fundamentalmente por agua, pero contiene, además, una serie de proteínas, las cuales tienen un gran valor nutritivo, y poseen muchas propiedades funcionales.

La capacidad de solubilización de las proteínas del lactosuero es muy alta en varios valores de pH, llegando a valores de más del 90% de solubilización. Gracias a su gran capacidad de solubilizar, tienen grandes capacidades espumante, emulsionantes, y buena formación de geles por calentamiento (Diaz et al., 2009).

Debido a todas estas propiedades funcionales, la aplicación de concentrados proteicos de lactosuero está muy extendido en la industria. Su aplicación en la elaboración de productos lácteos como yogures, mejora su textura dando suavidad, por sus capacidades gelificante; gracias a su solubilidad se puede aplicar a bebidas mejorando sus características nutricionales. Su aplicación en la industria cárnica también es común, ya que su retención de agua y formación y estabilización de emulsiones permite la elaboración de productos como reestructurados de carne, aumentando su rendimiento y valores nutricionales. Además, se aplican en productos de repostería, gracias a sus propiedades espumantes, y permite sustituir a otros concentrados proteicos como los del huevo. (Keaton, 1999).

Pescado

Las proteínas de pescado contienen una gran variedad de aminoácidos, son fácilmente digeribles, y poseen una estructura y unas propiedades funcionales que permiten su aplicación en numerosos productos. Las proteínas se extraen de especies de pescado como el abadejo o el jurel, que son de bajo valor económico, o de subproductos de la industria pesquera, lo que las convierte en un buen recurso económico (Damodaran, 1994).

Dentro de sus propiedades funcionales, las proteínas de pescado destacan por poseer gran capacidad aglutinante y emulsionante. Gracias a las proteínas miofibrilares, asociadas a los músculos de los animales que poseen, tienen una gran capacidad para formar geles firmes y elásticos, debido a que este tipo de proteínas forman enlaces de hidrógeno y provocan interacciones hidrofóbicas. (Sankar, 2009).

Los concentrados proteicos derivados del pescado se usan frecuentemente para la elaboración de análogos de pescado como el surimi, o reestructurados cárnicos, como hamburguesas o salchichas (Domodaran, 1994).

3.3.2. Concentrados de proteína vegetales

En la actualidad el uso de las proteínas vegetales cada vez es más frecuente en la industria alimentaria. Las proteínas vegetales ofrecen una gran variedad de propiedades

funcionales, y su precio suele ser más reducido que el de las proteínas animales, por lo que resulta muy interesante sustituir las proteínas animales por las vegetales. Existen numerosas fuentes vegetales de las cuales extraer las proteínas para su concentración. Dentro de los cereales las proteínas más usadas son las del gluten de trigo, pero también se usan las proteínas de arroz o maíz. Las legumbres son la especie vegetal con más proporción de proteínas en su composición, además, estas tienen una gran calidad biológica. Por eso muchos concentrados de proteínas están elaborados a partir de legumbres como el garbanzo, lentejas, guisantes, y, sobre todo, soja.

Soja

Dentro de las proteínas vegetales, las proteínas de la soja son las más valoradas. La fama de la soja no solo viene por ser una gran fuente de proteínas, sino que, además, estas proteínas tienen una gran calidad. Presentan un buen balance de aminoácidos, y aunque no llegan a tener el valor biológico de las proteínas animales, poseen todos los aminoácidos esenciales. Estas proteínas, como otras procedentes de otras legumbres, contienen péptidos bioactivos que tienen propiedades beneficiosas para la salud, como la prevención de enfermedades cardiovasculares. Gracias a sus excelentes propiedades funcionales como la solubilidad, gelificación, emulsificación, o la captación de agua, su uso en la industria está muy extendido (Nishinari et al., 2014).

Estas propiedades funcionales se ven afectadas por las fracciones proteicas de la soja. Mas del 75% de las proteínas de la soja están compuestas por la parte de las globulinas, que se dividen según sus coeficientes de sedimentación en β -conglucina (7S), y glicina (11S). Y la ratio de estas fracciones que presente la soja determinara su funcionalidad (Nishinari et al., 2014).

La solubilidad de las proteínas de soja sigue el mismo patrón que la mayoría de las proteínas según en el pH al que se encuentren. Las menores solubilidades se dan en el punto isoeléctrico, que en el caso de la soja se da aproximadamente a pH 4,5. Sin embargo, a pH básicos entre 8 y 9, se alcanza la mayor solubilidad, que en el caso de la soja puede ser mayor del 90%. Su gran capacidad para solubilizar hace que las proteínas de soja sean comparables tecnológicamente a las proteínas del lactosuero (Nishinari et al., 2014).

La gran cantidad de cadenas polares que poseen las proteínas de soja, hacen que sea una proteína bastante hidrofílica. Debido a esto, estas proteínas tienen una gran capacidad de captación de agua, pudiendo llegar a unir entre 3 y 5 gramos de agua por gramo de proteína (Gutiérrez, 2015).

La capacidad emulsificante es una propiedad en la que las proteínas de soja destacan, ya que juegan un papel importante como tensioactivo en la estabilización de las emulsiones de aceite en agua. La fracción proteica de la β -conglucina presenta una estructura hidrófoba y un menor peso molecular que la glicina, lo que hace que tenga mejor capacidad emulsificante ya que se adsorbe rápidamente en la interfaz aceite-agua (Nishinari et al., 2014).

Una de las grandes propiedades de las proteínas de soja es su capacidad para formar geles. La fracción proteica de la glicina se conoce por presentar una estructura muy compacta, estabilizada por enlaces disulfuro, gracias a esto los geles formados por las proteínas de soja son muy estables, elásticos, y resistentes (Hua et al., 2005).

Debido a la gran variedad de propiedades funcionales que presentan las proteínas de soja se aplican en muchos ámbitos de la industria alimentaria, pudiendo sustituir a muchas de las proteínas animales. Su aplicación en bebidas es muy común gracias a la solubilidad que presentan. La gran capacidad para formar emulsiones permite su aplicación en la elaboración de salsas, cremas, o en la elaboración de productos cárnicos. Y la formación de geles firmes y estables, tiene interés en la aplicación en productos de repostería, y productos cárnicos. Además de estas aplicaciones, las propiedades funcionales permiten la elaboración de nuevos productos, como los análogos cárnicos, ya que la texturización de estas proteínas forma texturas similares al músculo cárnico (Jiménez, 2006).

3.4. Concentrados de proteína de guisante

La preocupación por la salud y el medio ambiente, y las reacciones alérgicas que pueden ocasionar el consumo de proteínas que hoy en día se usan frecuentemente en la industria agroalimentaria, como pueden ser las de huevo y las de origen lácteo, ha llevado a la sustitución de estas por proteínas de origen vegetal, como las proteínas de las legumbres, ya que tienen unas propiedades funcionales que satisfacen los requisitos tecnológicos que

se necesitan hoy en día para la elaboración de nuevos productos, o reforzar los alimentos procesados (Levan et al., 2006).

Las proteínas de soja son las que se vienen aplicando frecuentemente en la industria agroalimentaria para mejorar o fortalecer características de los productos que se elaboran, o fabricar nuevos productos como los análogos de carne. Hace tiempo que se intenta sustituir la proteína de soja por otras proteínas procedentes de legumbres, y la proteína de guisante, gracias a las propiedades funcionales que posee, parece perfecta para ello (O’Kane et al., 2004). Una de las razones por la que se intenta sustituir por el guisante es la baja probabilidad que tienen estos de producir reacciones alérgicas en los humanos.

La composición de los concentrados proteicos del guisante varía mucho dependiendo de la variedad que se use, y la composición inicial de la semilla. Además, el método de extracción de la proteína va a afectar en su composición final (Tabla 3). Este es un aspecto importante, ya que, dependiendo de la composición del concentrado, dependerán las propiedades funcionales, pudiendo seleccionar el método de extracción adecuando a las propiedades funcionales que se deseen.

Tabla 3. Composición de harina y concentrados de guisante mediante diferentes métodos de extracción de proteína. (Adaptado de Zeidanloo et al., 2019)

	HARINA	CPG-PIE	CPG-ES	CPG-UF
Proteína (%)	19.17	80.08	77.87	90.49
Rendimiento extracción (%)	-	47.75	42.49	50.09
Humedad (%)	11.79	8.02	10.11	1.28
Lípidos (%)	2.08	0.87	0.85	0.91
Carbohidratos (%)	64.8	7.89	8.29	6.03
Cenizas (%)	2.16	3.19	2.88	1.29

*CPG: Concentrado de proteína de guisante *PIE: Precipitación isoelectrica *UF: Ultrafiltración *ES: Extracción salina

3.4.1. Propiedades funcionales de las proteínas de guisante

Solubilidad

La fracción mayoritaria de las proteínas de guisante son las globulinas, las cuales presentan una mínima solubilidad en su punto isoelectrico (pH=4.5), mientras que por encima y por debajo de este valor tienen una gran solubilidad. Solo menos del 20% de composición de las proteínas es soluble a valores de punto isoelectrico. Por esta razón el perfil de la gráfica de solubilidad tiene forma de “U” (Barac et al., 2010, 2015). Pueden existir cambios en los valores de solubilidad de los asilados proteicos de guisante debido al método de extracción de las proteínas. Barac et al. (2015) comprobaron que los cambios de pH que se llevan a cabo mediante la precipitación isoelectrica pueden inducir a la formación de agregados, lo que puede suponer una reducción de la solubilidad de entre un 1% y un 5%, con respecto a las proteínas nativas.

Boye et al. (2009) estudio la solubilidad de las proteínas de guisante en rangos de pH de entre 1 y 10 y diferentes métodos de extracción de proteína (Figura 9). Los resultados que obtuvieron fue que las mayores solubilidades fueron en pH ácidos (1-3) y pH básicos (7-11); a pH entre 4 y 5 se encontraron las menores solubilidades, ya que en estos valores de pH se encuentra el punto isoelectrico de las proteínas. La mayor solubilidad encontrada en este estudio se dio con un pH=1 y para la extracción de proteínas precipitación isoelectrica, resultando una solubilidad del 90%.

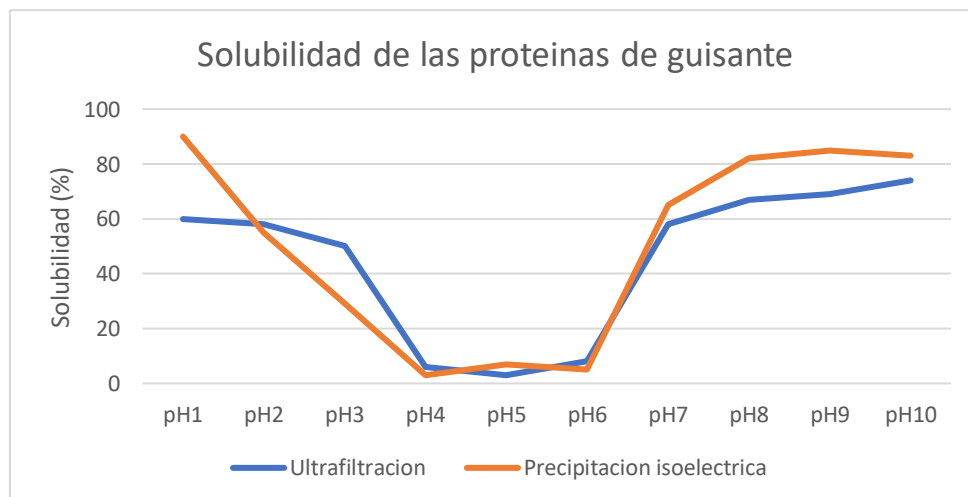


Figura 9. Comparación de solubilidad de proteína de guisante con distintos métodos de extracción de proteínas. (Boye et al, 2009)

Fernández Quíntela (1997), estudio la solubilidad de legumbres comparando habas, soja, y guisantes. Los resultados obtenidos confirman la importancia del pH en cuanto a la solubilidad, y además encontró que a pH básicos la solubilidad del guisante (80-85%), no llega a valores tan altos como la soja (>90%).

Capacidad de absorción de agua

Según Zeidanloo et al., (2019) el método de extracción afecta a esta característica, encontrando que los valores más altos de captación de agua se encontraron cuando se extrajeron las proteínas mediante ultrafiltración, y los valores más bajos mediante precipitación isoeléctrica, siendo estos valores para el guisante de 2,83 y 2,24 (g agua/g proteína), respectivamente. Estos valores son muy similares a los encontrados en lentejas y garbanzos (Boye et al., 2010). Que el método de precipitación isoeléctrica tenga los menores valores de captación de agua es debido a que la superficie hidrófoba que queda expuesta es mayor que en otros métodos. Stone et al., (2015) encontraron que los aislados de proteínas de guisante, en los cuales el método de extracción fue mediante extracción salina, tienen altos valores de captación de agua, debido a que mediante este método se exponen grupos polares que forman enlaces de hidrógeno.

Capacidad de absorción de aceites

La composición de aminoácidos va a ser el parámetro más influyente en esta propiedad, ya que cuanto más contenido en aminoácidos hidrófobos haya, mayores son los valores de capacidad de absorción de aceites. Que haya más o menos contenido en aminoácidos hidrófobos va a depender del método de extracción de las proteínas (Zeidanloo et al., 2019).

Los valores encontrados por Zeidanloo et al. (2019), varían entre 0.67 y 2.21 g/g dependiendo del método de extracción utilizado. Los máximos valores encontrados fueron para los métodos de ultrafiltración y extracción por sal, mientras que utilizando el método de precipitación isoeléctrica se encuentran los valores más bajos.

Boye et al. (2010) realizaron un estudio comparando esta propiedad en distintas legumbres mediante los métodos de ultrafiltración y precipitación isoelectrica. La absorción de aceite fue mayor en las legumbres en las que el método de extracción fue mediante ultrafiltración, encontrándose valores para concentrados de guisante de 1.7 g/g, mientras que por el método de precipitación isoelectrica dio valores de 1.2 g/g. Los valores de esta propiedad para los concentrados de proteínas de guisante extraídas mediante precipitación isoelectrica expuestos por Fernández Quíntela (1997), fueron de 1.2 g/g, los cuales no difieren mucho de otras legumbres como las habas (1.6 g/g) y soja (1.1 g/g).

Capacidad emulsionante

Las propiedades emulsificantes que tienen las proteínas de guisante son debidas a su naturaleza anfipática. Poseen un buen balance hidrofiliicidad/hidrofobicidad, que permite que tengan una buena adsorción en la interfaz entre las fases de agua y aceite.

Las capacidades emulsificantes de cada fracción proteica del guisante fueron comparadas por Adebayi et al., (2011), las albúminas fueron las que menos capacidad de formar emulsiones tenían. En la parte de las globulinas, las vicilinas, son las fracciones que más estabilidad proporcionan a la emulsión, gracias a su estructura menos compacta y rígida; mientras que las leguminas tienen gran capacidad para formar la emulsión (Burguer, 2019). Del mismo modo, Cserhalmi, (1998) confirma este hecho estudiando esta capacidad en 5 variedades de guisantes, y concluye que en general, la parte de las globulinas tienen mejores capacidades emulsificantes. Gracias al gran contenido en globulinas que presentan los guisantes, estos poseen buenas capacidades emulsionantes. Las leguminas y vicilinas son dependientes del pH en cuanto a sus propiedades emulsionantes debido a los cambios que sufren. A valores cercanos del punto isoelectrico presentan peores condiciones de formar emulsiones, pero por encima y por debajo de este valor, las propiedades emulsionantes se incrementan debido a su disociación. Por todo esto la ratio legumina/vicilina tiene gran importancia en las propiedades emulsificantes (Barac et al., 2015).

Gharsallaoui et al., (2009) investigaron las capacidades emulsionantes de aislados de guisante, y observó que estos aislados adsorben más rápido en la interfaz agua-aceite a

pH 7, mientras que en condiciones ácidas, pH 2.4, se adsorbía más lentamente. La rápida adsorción da como resultado una emulsión poco homogénea, en comparación con la adsorción lenta que resultaba ser más homogénea. Por esta razón, las proteínas de guisante forman emulsiones más estables y regulares, con una distribución de partículas más homogénea en condiciones ácidas (Barac et al., 2015).

Vose (1980) y Tomoskoz (2001), afirman que los aislados de proteína de guisante tienen propiedades emulsionantes iguales o mejores que los aislados de proteínas de soja, aunque la mayoría de los estudios actuales desmienten esta afirmación. Pero, aunque tengan menores capacidades emulsionantes que la soja, ambos aislados proteicos son perfectamente aplicables a la industria alimentaria (Barac et al., 2014, 2015)

Capacidad de formar espumas

Los diversos autores que han investigado las propiedades espumantes de los aislados proteicos de guisante concuerdan en que estas propiedades dependen del pH y de la concentración de proteínas que posean. Además, existe mucha controversia entre los diferentes estudios, ya que estas propiedades dependen también del método de extracción de las proteínas, y la variedad de guisante de la que se trate (Boye et al., 2010; Barac et al., 2010; 2015).

Barac et al. (2010), investigaron las propiedades espumantes de las proteínas de soja y guisante que fueron extraídas bajo las mismas condiciones. Encontraron que los aislados de guisante siempre tuvieron menores capacidades espumantes que los aislados de soja en rangos de pH de entre 3 y 8, pero la estabilidad de las espumas siempre fue mayor en los aislados de guisante.

Del mismo modo el estudio de Fernández Quíntela (1997) informa de los valores encontrados de expansión de espumas para guisante (15%) son más bajos que los de la soja (22%), y bastante más bajos que los encontrados por Paredes et al, (1991) para el garbanzo con un 43%. En cuanto a la estabilidad de las espumas, el guisante destaca por tener una gran estabilidad espumante con un 94%.

Propiedades gelificantes

Las diferentes fracciones proteicas de los guisantes pueden tener efectos distintos en la formación de geles. Shand et al. (2007), observaron que tanto las globulinas como las albúminas contribuyen a la formación del gel. Pero la parte de las globulinas tienen un papel más importante en la estructura del gel. O'kane et al. (2004) establecieron la relación directa que existe entre la concentración de globulinas y la fuerza del gel. Además, observa que la contribución de las leguminas a la formación del gel depende de la variedad de guisante de la que se trate. Según estos autores la fracción de la convicilina puede obstaculizar la formación del gel cuando se encuentra en concentraciones suficientes, sobre todo a valores neutros de pH (Barac et al., 2015).

Sun (2010), muestra que las condiciones de extracción de las proteínas del guisante tienen un efecto notable en las propiedades gelificantes. Este autor investigo esta propiedad en aislados en los que la extracción de proteína fue mediante el método salino. En comparación con el método de extracción de la precipitación isoelectrica, se necesitan mayores concentraciones de proteína (14.5%) para la formación del gel. De esta manera Zeidanloo et al. (2019), encontraron valores en guisantes de 10% de concentración mínima cuando el método de extracción fue mediante ultrafiltración, mientras que encontró valores de 12% y 14%, cuando se extrajeron las proteínas mediante precipitación isoelectrica y extracción mediante sal respectivamente. Demostrando así, que los geles que tenían interacciones moleculares más fuertes, y una estructura más estable fueron obtenidos con proteínas extraídas mediante el proceso de ultrafiltración.

Según Fernandez-Quintela, (1997) el guisante no tiene un poder gelificante tan alto como el de las habas o la soja. Las concentraciones mínimas para la gelificación obtenidas en su estudio fueron del 18% para el guisante, mientras que para las habas y la soja se encontraron unos valores del 14% y 16%, respectivamente. Los demás autores que han comparado la capacidad gelificante de soja y guisantes encuentran que los geles formados por las proteínas de soja son más fuertes, más estables, y más elásticos (Barac et al., 2015).

Nunes et al, (2006) ensayaron la utilización de las proteínas de guisante para sustituir las proteínas de huevo y origen lácteo en productos de repostería, obteniendo resultados satisfactorios.

4. Texturización de proteínas

La texturización de las proteínas consiste en la transformación de un agregado de proteínas en una estructura fibrosa, y se puede lograr mediante la extrusión aplicándola bajo unas condiciones específicas. El proceso de texturización requiere llevar a la proteína a unas condiciones de estrés, hasta provocar su desnaturalización, y seguidamente favorece su reorganización, de modo que las proteínas interaccionan entre ellas y se forman nuevos enlaces cruzados provocando una reacción irreversible que da como resultado una nueva estructura fibrosa. El objetivo es obtener un producto final con una textura fibrosa lo más parecida posible a la textura del músculo animal (Samard y Ryu, 2019).

4.1. La extrusión

La extrusión consiste en dar forma a una sustancia blanda o plástica mediante la aplicación de fuerzas de cizalla y calor, forzándola a pasar por una apertura estrecha con una forma específica para conseguir un producto con unas características concretas (Riaz, 2000).

La extrusión tiene numerosas ventajas, y cada vez es más frecuente su uso en la industria, ya que es muy versátil. Los productos que se obtienen garantizan la seguridad alimentaria, y se evita la pérdida de las propiedades nutricionales que tenía la materia prima, ya que esta técnica emplea altas temperaturas en espacios cortos de tiempo (Leonard et al., 2019)

Dependiendo de la materia prima utilizada y las características deseadas en el producto final, se pueden aplicar distintos parámetros en la extrusión, con bajas, medias, o altas intensidades de fuerzas de cizalla. Para productos cárnicos como salchichas, se usan bajas intensidades de fuerzas de cizalla, lo que se denomina extrusión en frío. Mientras que para productos como proteínas texturizadas vegetales o productos de snack se usan altas fuerzas de cizalla para conseguir una extrusión termoplástica (Steel et al., 2012).

Durante la extrusión en caliente se pueden alcanzar temperaturas de cocción de hasta 200°C aplicadas en intervalos de tiempo de unos segundos, por esta razón esta técnica se denomina “High temperature/short time”, alta temperatura en espacios cortos de tiempo. La aplicación de esta técnica permite maximizar los beneficios de aplicar un tratamiento térmico elevado, minimizando los daños que las altas temperaturas pueden provocar en las propiedades del alimento (Kadan, 2002; Steel et al., 2012).

4.1.1. Clasificación de los extrusores

Extrusores según la generación de calor:

-Adiabáticos: El extrusor genera el calor por las fuerzas de fricción, es decir transformando la energía mecánica que aporta el extrusor en calor. Este tipo de extrusor tiene que operar a bajas humedades, para lograr mayores fricciones.

-Isotermos: La temperatura a la que se opera es constante a lo largo del extrusor. Sirven para moldeado del producto.

-Politrópicos: Están provistos de mecanismos que pueden añadir calor o quitarlo. Son los que más se usan debido a su versatilidad.

Tipos de tornillo de los extrusores:

El tornillo es una de las partes más importantes del extrusor, ya que determinara el grado de cocción, la gelatinización del almidón o la desnaturalización de las proteínas. Los elementos y la configuración del tornillo variarán dependiendo de la zona del extrusor en la que se encuentre para poder llevar a cabo las diferentes acciones, como amasado, transporte, generación de calor o fuerzas de cizalla (Steel et al., 2012).

Las características que pueden variar son: la longitud del tornillo, el diámetro del tornillo, la distancia entre el tornillo y el barril, la distancia del paso de rosca, la anchura y el ángulo de la hélice y la profundidad del canal entre el tonillo y el barril (Huber, 2001; Steel et al., 2012).

Dependiendo del número de tornillos nos encontramos el extrusor de tornillo simple, o el extrusor de tornillo doble o tornillos gemelos.

Tornillo simple

Los extrusores de tornillo único son los más usado en la industria. Se puede tratar de un tornillo continuo, o puede estar segmentado en diferentes partes con distintas configuraciones, las cuales pueden ser: 1) Paso de rosca constante, y distinta profundidad de canal. 2) Paso de rosca variable, y profundidad de canal variable. 3) Paso de rosca

constante, y profundidad constante, con el barril en forma cónica. 4) Paso de rosca constante, y profundidad constante, con el barril en forma recta (Riaz, 2000; Steel et al., 2012).

Normalmente, el largo del tronillo se divide en 5 secciones en las que se llevan a cabo diferentes etapas. En la primera sección se lleva a cabo el transporte y homogeneización de las materias primas, por lo cual el tornillo presenta una buena profundidad de canal, y gran paso de rosca, ya que no se necesitan presiones elevadas. Durante la segunda sección se van reduciendo los pasos de rosca y la profundidad de canal, lo que induce a un mayor mezclado y el comienzo de las fuerzas de cizallamiento. En la siguiente sección se incrementan las fuerzas de cizalla y la presión, lo que conlleva un mayor aumento de la temperatura, formando un material viscoelástico. En la cuarta sección, el material dispone de muy poco espacio debido a la configuración del tornillo, creándose una masa fundida, debido a la cocción provocada por las altas temperaturas. En la última sección se da la cocción final, se alcanzan las máximas temperaturas debido a la transformación de la energía mecánica que aportan las intensas fuerzas de cizalla del tornillo (Steel et al., 2012).

Tornillos gemelos

Los extrusores de doble tornillo o tornillos gemelos, se componen de dos tornillos que actúan dentro de un único barril. Generalmente, este tipo de extrusores tiene las paredes del barril lisas. Dependiendo del tipo de tornillo nos encontramos: 1) Tornillos en co-rotación entrelazados. 2) Tornillos en co-rotación tangenciales. 3) Tornillos en contra rotación entrelazados. 4) Tornillos en contra rotación tangenciales. También nos podemos encontrar con extrusores con el ensamblaje del barril cónico (Figura 10) (Riaz, 2000).

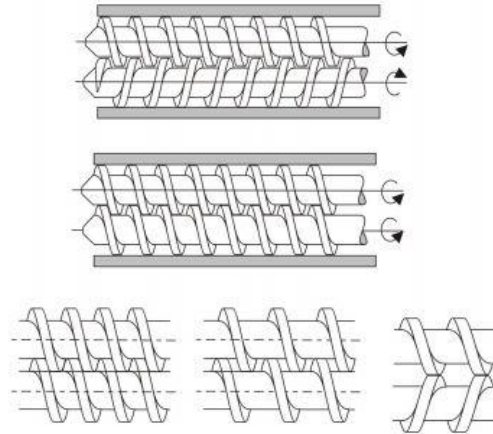


Figura 10. Disposición de los tornillos en extrusoras de tornillos gemelos (Beltrán, 2015)

Cuando los tornillos gemelos están entrecruzados, el material puede estar más tiempo en el interior del extrusor y el transporte es más eficiente, ya que este tipo de configuración actúa como una bomba de flujo positivo, reduciendo el deslizamiento y haciendo que sea muy eficaz. Mientras que una configuración tangencial de los tornillos genera más fuerzas de cizalla sobre todo si giran en contra rotación.

Al entrar en el barril, el material sufre un proceso de mezclado antes de continuar. En este primer paso, el tornillo tiene gran profundidad de canal para tener suficiente espacio para realizar un buen mezclado, incluso se puede invertir el sentido de los tornillos para mejorar este proceso. Durante el avance del proceso la profundidad de canal se va reduciendo y el diámetro del tronillo va aumentando. Como consecuencia se aumenta la presión que, junto al calor externo que se aporta, provoca la cocción del producto. Es posible que algunos extrusores lleven una válvula al final para despresurizar el interior. En el punto de salida se reduce al máximo el espacio, para un aumento de presión y provocar un flujo de arrastre. (Steel et al., 2012).

4.1.2. Componentes del extrusor

Los elementos de los que consta un extrusor son (Riaz, 2000):

-Depósito de mantenimiento: En el que se pueden cargar los ingredientes secos que se vayan a utilizar.

-Dispositivo de alimentación. Sirve para que se mantenga la alimentación de producto continua a la velocidad deseada. Suele constar de un tornillo vertical que puede operar a distintas velocidades.

-Preacondicionador: Este es un paso que se suele aplicar cuando se necesita un alto contenido en humedad y un producto más homogéneo. En esta etapa se le pueden añadir a los ingredientes líquidos o vapor para lograr las características deseadas. En el preacondicionamiento se aumenta la humedad y comienza el proceso de cocción, ya que el aporte de vapor puede aumentar la temperatura hasta 100°C. Además, en esta etapa se pueden añadir aditivos, colorantes y los aromas deseados para que se mezclen adecuadamente todos los ingredientes.

-Barril del extrusor: Se compone de un cilindro en el que se encuentran los tornillos giratorios y está configurado de la manera deseada para que se den unas condiciones de amasado y mezclado requeridas. La superficie puede ser lisa o contener ranuras. Puede disponer de sistemas de encamisado para aportar calor externo. El diámetro del barril puede ser uniforme o puede estrecharse al principio o al final. Esta es la parte más importante del extrusor puesto que aquí se proporciona el grado de cocción de la extrusión, que provocará los mayores cambios en los productos

-Troquel: Es la parte final del extrusor y está compuesto por una o más aberturas por las que debe fluir el producto fundido. Esta parte es muy variable dependiendo de las características finales deseadas para el producto, ya que en esta zona se moldeará el producto y se adquirirán características estructurales.

-Dispositivo de cortado: Los extrusores pueden disponer de un sistema que corte unido al troquel para dividir el producto en tamaños deseados.



Figura 11. Componentes de un extrusor de tornillo. (Moscicki, 2011)

4.1.3. Zonas de procesado en la extrusión

Existen tres zonas a lo largo del extrusor donde se llevan a cabo las diferentes operaciones del proceso (Riaz, 2000):

-Zona de alimentación: Esta es la zona donde las partículas de baja densidad de las materias primas se van introduciendo en el barril. Normalmente, las materias primas han sufrido un preacondicionamiento y durante su avance hacia la salida se va incrementando la presión, expulsando el aire atrapado y llenando cada vez más el barril. En esta etapa se puede añadir agua para bajar la viscosidad y mejorar la transferencia de calor.

-Zona de amasado: Las fuerzas de compresión siguen aumentando. En este apartado, el grado de inclinación del tornillo se reduce, provocando un aumento del volumen de producto en el barril. El producto empieza a aumentar su densidad y en estas condiciones se empiezan a dar las fuerzas de cizallamiento. Durante el inicio de esta etapa la presión no es muy alta, lo que permite la adición de vapor si es necesario para aumentar la humedad y la temperatura. En estas condiciones de altas temperaturas y presiones, fuerzas de cizalla, y transporte, se empiezan a formar agregados, que dan como resultado la formación de una masa fundida que va fluyendo por el extrusor.

-Zona final de cocción: Esta es la zona final donde se produce la texturización o la formación de la estructura amorfa del producto. En esta parte, las temperaturas y la

presión se incrementan rápidamente, alcanzándose la compresión máxima debido a la configuración del tornillo. El resultado final es un fluido viscoso que, debido a las presiones es expulsado desde el troquel hacia la salida.

4.1.4. Variables del proceso de extrusión

El control de las variables durante la extrusión es crucial para obtener un producto final con unas características deseadas. Existen las variables independientes, que son las que se pueden controlar directamente manipulando el extrusor, y las variables dependientes, que dependerán de las independientes (Tabla 4).

Tabla 4. Variables del proceso de extrusión. (Riaz, 2000)

Variables independientes	Variables dependientes
Fórmula y velocidad de secado	Temperatura, humedad y tiempo de retención en preacondicionador
Agua y vapor inyectados en el preacondicionador	Temperatura, humedad, presión, y tiempo de retención en el extrusor
Agua y vapor inyectados en el extrusor	Energía mecánica específica del extrusor
Configuración del extrusor	Viscosidad de la masa
Velocidad de tronillo	Fuerzas de cizalla
Aporte de calor externo	
Configuración del troquel	

La combinación de todos estos parámetros tendrá un papel importante en la transformación molecular y las reacciones químicas que forman la estructura del producto final. Las características de textura, tamaño o humedad del producto están determinadas por el resultado de las variables dependientes (Osen, 2017).

La energía mecánica específica es el trabajo mecánico que produce el motor del extrusor y se transforma en calor que se acumula en el material. Cuanto más alta sea la energía específica mecánica más calor se genera. Este parámetro influirá en la calidad de producto final, ya que condiciona la expansión, densidad y textura de los productos. Esta energía

mecánica también es un reflejo de la degradación de los componentes durante el procesado, y es dependiente de parámetros como la velocidad de tornillo la temperatura o la humedad. Un aumento de la velocidad de tornillo incrementa las fuerzas de cizalla y las presiones dentro del extrusor, que tiene como resultado un aumento de la energía mecánica específica. Al aumentar la temperatura y la humedad se produce el efecto contrario, debido a que el aumento de temperatura y humedad reduce la viscosidad del producto, haciendo que la masa fluya mejor, reduciendo las fricciones y la energía mecánica específica (Leonard et al., 2019).

La longitud y diámetro del extrusor son dos parámetros que determinan su configuración y tienen gran influencia en el proceso de extrusión. Los extrusores con mayores longitudes tienen mejores capacidades para mezclar, homogeneizar, y fundir el material, ya que se dispone de más tiempo para llevar a cabo estas operaciones. El diámetro está relacionado directamente con la capacidad productiva del extrusor. A mayores diámetros mayores son las capacidades productivas. No obstante, cuanto mayor es el diámetro, mayor debería ser la longitud para poder lograr un buen amasado y cocción del producto. Estos dos parámetros son cruciales en la configuración del equipo, y por la relación que guardan, los extrusores se dimensionan por la relación longitud/diámetro (L/D). Los extrusores más utilizados en el mercado tienen una relación entre 16:1 y 32:1 (Moscicki, 2011).

4.1.6. Cambios en los mayores componentes nutricionales de las materias primas

Las materias primas más usadas en la extrusión son productos almidonosos o proteicos. En general, durante la extrusión se dan una serie de cambios fisicoquímicos que incluyen, formación y escisión de enlaces, pérdida de conformaciones nativas, recombinación de fragmentos y degradación térmica. Todos estos cambios se dan en su mayoría en el barril del extrusor, donde se alcanzan altas presiones y temperaturas que provocan, además, la pérdida de algunos volátiles como vitaminas o aromas (Steel et al., 2012).

Almidón

La forma nativa del almidón se encuentra en forma de discretas partículas o gránulos. Estos gránulos están divididos en amilosa y amilopectina. En la extrusión, dependiendo de las condiciones y la composición de la materia prima se rompen en mayor o en menor medida estos gránulos. El calentamiento del almidón en presencia de agua provoca que el almidón se empiece a hidratar y a hinchar, produciéndose la gelatinización del almidón. Si se continúa con el calentamiento se produce una reducción de la viscosidad y una separación de la amilosa y la amilopectina, siendo parcialmente hidrolizadas en maltodextrinas, debido a las fuerzas de cizalla y a las elevadas temperaturas. Dentro del extrusor el almidón pasa por diferentes fases. Primero los gránulos de almidón comienzan a fundirse y a ablandarse. Los polímeros de almidón son degradados y se dispersan por toda la masa viscosa. La consecuencia de la degradación del almidón es la reducción de la expansión.

El almidón gelatinizado es el responsable de la expansión y la estructura porosa de los extruídos. Las mayores expansiones se producen en baja humedad, ya que la humedad alta aumenta la densidad aparente de la materia, reduciendo la energía mecánica específica y la gelatinización del almidón (Moscicki, 2011).

Los extruídos altamente expandidos suelen tener una estructura que se desmorona fácilmente debido a que las paredes celulares del almidón se vuelven vítreas, mientras que los de menos expansión tienen una estructura más dura y densa (Riaz, 2000).

Proteínas

Los concentrados y asilados proteicos de soja, guisantes, gluten de trigo, y otras legumbres son las materias primas más usadas para la elaboración de texturizados vegetales de proteína, ya que para lograr la texturización necesitan concentraciones de proteína superiores al 50%. Además, para producir estos texturizados se necesita que las proteínas de las materias primas posean un índice de dispersabilidad de proteínas (PDI) entre el 50% y el 70%, lo cual se refiere a la solubilidad de las proteínas en agua. En general cuanto más PDI posean mejor calidad poseen los productos (Riaz, 2000).

Dentro de los cambios químicos que sufren las proteínas durante la extrusión, el más importante es la desnaturalización. Esa desnaturalización, conlleva la rotura y la reorientación de los enlaces disulfuro. Además, las interacciones hidrofóbicas y electrostáticas favorecen la formación de agregados insolubles (Steel et al., 2012).

Los mecanismos de formación de la estructura de las proteínas son similares al almidón, en el sentido que las proteínas nativas deben ser dispersadas en la masa continua. La desnaturalización deja abierta la estructura de las proteínas por lo que la hace más accesible para las enzimas digestivas, favoreciendo la digestión de estas. Además, el proceso de extrusión inactiva ciertos compuestos antinutricionales, lo que aumenta la biodisponibilidad de las proteínas (Steel et al., 2012).

Las interacciones entre las proteínas son provocadas por una bajada de las temperaturas y el alineamiento molecular. La agregación cristalina induce la formación de fibras paralelas con distinta longitud. La diversidad de aminoácidos da como resultado muchas posibilidades de entrecruzamiento entre proteínas y otras moléculas (Riaz, 2000).

Lípidos

La cantidad de lípidos tiene gran influencia durante la extrusión, ya que estos actúan como lubricantes y reducen la fricción entre la masa fundida, el tornillo y la superficie del barril. Normalmente, las temperaturas que se alcanzan en la extrusión producen que las grasas estén en estado líquido, dispersándose en pequeñas gotas y mezclándose con el resto del material. Un contenido en lípidos mayor del 5% supone una reducción de la expansión ya que la lubricación impide que se den las presiones suficientes (Riaz, 2000).

En la extrusión de alta humedad es indispensable la presencia de lípidos, ya que la formación de la estructura fibrosa necesita el efecto lubricante de estos para reducir los efectos de la fuerza de cizalla y el alineamiento de las partículas proteicas (Akdogan, 1999; Steel et al., 2012).

Fibra

La extrusión puede originar cambios en la estructura y características de la fibra, producidos por la rotura de enlaces entre carbohidratos y partes asociadas a las fibras, dando como resultado fragmentos moleculares más pequeños que son más solubles.

Varios estudios han observado que, en general, el aporte de la fibra dietética a la extrusión reduce el índice de expansión, y aumenta la densidad de los productos (Sight et al., 2007). Las fracciones fibrosas, como celulosas o hemicelulosas, se mantienen firmes y estables durante el proceso de extrusión. La fibra insoluble tiende a romper la estructura que engloba el aire retenido, reduciendo la expansión, mientras que la fibra soluble ayuda al desarrollo de las burbujas de aire (Riaz, 2000). Además, la fibra tiene una gran capacidad para captar agua, impidiendo su evaporación a la salida del extrusor, por lo cual es otro factor que reduce la expansión (Steel et al., 2012).

Efectos de la extrusión en vitaminas y minerales

Las vitaminas y los minerales representan una proporción muy pequeña de los componentes nutricionales de los productos texturizados y de las materias primas de los que están compuestos. Pero debido a los beneficios nutricionales que tienen estos compuestos, es necesario que los productos texturizados retengan lo máximo posible estos nutrientes que o estaban ya en la materia prima o se han añadido para la fortificación del producto.

En el proceso de extrusión se alcanzan altas temperaturas y presiones, lo cual tiene un efecto perjudicial en la mayoría de las vitaminas. Las vitaminas del grupo B, como la tiamina y riboflavina son de las más estudiadas, ya que son las vitaminas mayoritarias en soja o guisantes, de los cuales se elaboran la mayoría de los productos texturizados proteicos. Las condiciones de alta humedad y temperaturas no demasiado excesivas durante la extrusión son los parámetros que mejor retienen este tipo de proteínas. Estas condiciones reducen la viscosidad de la masa, provocando que la masa fluya mejor, y reduciendo el estrés (Boycci et al., 2012). Bajaj (2019) estudio el efecto que tiene la extrusión sobre la vitamina B12. Las altas temperaturas de extrusión (>180°C), degradaron casi por completo este tipo de vitamina. El ácido ascórbico es un tipo de

vitamina muy volátil, a la cual la temperatura le afecta mucho. La reducción de esta vitamina es casi total durante la extrusión, en especial si se dan condiciones de baja humedad y altas temperaturas. Dentro de las vitaminas liposolubles, las vitaminas D y K son más estables a la temperatura, mientras que las vitaminas A y E, y sus componentes, carotenos y tocoferoles, son menos estables en presencia de altas temperaturas.

En definitiva, la tendencia de las vitaminas durante el proceso de extrusiones es decrecer, sobre todo cuanto más altas sean las temperaturas a las que se opera, y más energía específica aporte el extrusor. Para obtener productos que tengan mayores valores de vitaminas se deben ajustar los parámetros del extrusor para evitar al máximo las pérdidas, o fortificar el producto añadiendo vitaminas para compensar las pérdidas (Sight, 2007; Leonard et al., 2019).

No existen demasiados estudios que examinen el efecto de la extrusión en los componentes minerales, ya que los minerales son un componente minoritario en las materias primas vegetales que se usan para la texturización. Además, los minerales presentan gran estabilidad a altas temperaturas (Leonard et al., 2019).

El estudio de Alonso et al. (2001) no encuentran reducciones significativas de ningún mineral bajo condiciones de extrusión de baja humedad (25%) y temperaturas de 150°C. Cabe destacar ligeros ascensos en el contenido de hierro, lo cual se debe a partículas de este compuesto que se desprenden del tornillo del extrusor. El proceso de extrusión tiene un papel más notable en cuanto a la biodisponibilidad de los minerales. La extrusión es un proceso que mejora la absorción aparente de los minerales, como cobre, hierro, o fósforo, gracias a la reducción de los compuestos antinutricionales que impiden su absorción. (Sight, 2007; Leonard et al., 2019).

4.1.7. Efecto de la extrusión en compuestos antinutricionales

La extrusión es una tecnología que permite la reducción total o parcial de ciertos compuestos antinutricionales que poseen algunos alimentos vegetales como las legumbres o los cereales. Puede llegar a ser un método muy efectivo en la reducción de estos compuestos sin alterar las características nutricionales de las proteínas (Soetan, 2009; Nikmaram et al., 2017).

En general el contenido en humedad, la composición de la materia prima, y parámetros durante la extrusión como la temperatura que se aplique y la velocidad de alimentación del extrusor van a ser los factores más importantes que van a afectar a la reducción de factores antinutricionales (Levic, 2010).

Dependiendo del tipo de producto vegetal del que se trate, los niveles y el tipo de factores antinutricionales variaran mucho. Para asegurar la máxima reducción de los compuestos nutricionales es necesario conocer los niveles de estos compuestos de la materia prima y aplicar el mejor método para lograr reducirlos (Nikmaram et al., 2017). En el estudio de Batista et al (2010) aplica las mismas condiciones operativas de extrusión en dos variedades distintas de habas (150°C y 20% humedad, con velocidad de tornillo de 150 rpm). En el caso de inhibidores de tripsina, se consiguió reducir un 71% en la variedad “BRS prantal” mientras que para la variedad “BRS graffiti” no se lograron reducir tanto estos niveles. Otro estudio como el de Kauret et al, (2015) aplicaron las mismas condiciones de extrusión para trigo, cebada y avena. Observaron que la reducción de fitato se produjo en un 62% y un 64% respectivamente para trigo y cebada, mientras que para la avena solo se redujo un 26%.

Los hallazgos obtenidos en estos estudios evidencian la importancia que tiene la materia prima a la hora de reducir los factores nutricionales mediante la extrusión, ya que bajo las mismas condiciones operativas la reducción de un mismo compuesto nutricional puede variar dependiendo de la variedad o especie vegetal de la que se trate (Nikmaram et al., 2017).

La efectividad de la reducción de factores antinutricionales durante la extrusión también dependerá de la intensidad de los parámetros de extrusión que se apliquen, como la temperatura, la velocidad de tornillo o la humedad.

La velocidad de tornillo es un parámetro que puede influir en la reducción de factores antinutricionales. Nwabueze (2007), estudió la aplicación de distintas velocidades de tornillo comprendidas entre 100 y 180 rpm para la extrusión de harinas de maíz y de soja. Los resultados obtenidos muestran que las velocidades más altas de tornillo reducen notablemente los niveles de taninos, fitatos e inhibidores de tripsina, llegando a reducirlos un 92% y un 91% respectivamente.

La temperatura alcanzada durante la extrusión tiene un papel muy importante en la reducción de factores antinutricionales. Para la reducción de factores antinutricionales termoestables como los inhibidores de tripsina, se requieren altas temperaturas de extrusión para lograr una reducción notable. Kaur et al. (2015) estudiaron la reducción de inhibidor tripsina con temperaturas de extrusión de variables, obteniendo que a temperaturas de 140°C se logra una reducción significativa de este factor, mientras que por debajo de esta temperatura no tiene efectos notables. Aunque hay otros compuestos como las lecitinas que se pueden reducir más de un 90% con bajas temperaturas de extrusión.

La humedad a la que se opera en la extrusión puede afectar a la reducción de los factores antinutricionales. Según Rathod et al. (2016) un aumento de la humedad del 14 al 22% redujo más cantidad de fitatos taninos y polifenoles en lentejas. Mientras que Grela (2001) estudio el efecto de un aumento de la humedad de extrusión de un 14% a un 30% en guisantes, consiguiendo aumentar la reducción de inhibidor tripsina y taninos de un 62% a un 85%.

La velocidad de tornillo, la temperatura, y las humedades aplicadas durante la extrusión van a ser los parámetros más influyentes en la reducción de compuestos antinutricionales. Combinando estos parámetros se puede optimizar la extrusión para reducir al máximo estas sustancias, para cada materia prima específica. Hay que tener en cuenta en la aplicación de los parámetros de extrusión, que estos no deben ser excesivos para no dañar las características nutricionales de las materias primas (Nikamaram et al., 2017).

Hay métodos que pueden apoyar o mejorar la reducción de factores antinutricionales durante la extrusión. En el estudio de Adamidou et al. (2011), aplicaron una etapa de preacondicionación en guisantes, habas, y garbanzos antes de la cocción por extrusión. Durante la precocción se alcanzaron temperaturas de hasta 100°C y se aumentó la humedad. Gracias a este pretratamiento la reducción de inhibidor tripsina fue de un 92%, sin aplicar temperaturas de extrusión demasiado altas (150°C). Además, un tratamiento de secado posterior a la extrusión permite mejorar la reducción de taninos y fitatos, sin modificar las características iniciales de la materia prima.

4.2. Texturización de las proteínas mediante la extrusión

La texturización de las proteínas vegetales se consigue mediante la aplicación de un proceso de extrusión. En la extrusión la humedad es un parámetro crítico en el proceso, ya que influye notablemente en las características que va a tener el producto final. La humedad es necesaria para la texturización de las proteínas y la gelatinización del almidón. Además, la humedad tiene influencia en otros parámetros, dado que una humedad alta puede actuar como lubricante, reduciendo la viscosidad y la energía mecánica específica del extrusor (Steel et al., 2012).

Se pueden utilizar dos técnicas de extrusión para lograr la texturización de las proteínas, La extrusión de baja humedad y la extrusión de alta humedad. Dependiendo de la técnica obtendremos un producto final con unas características u otras.

4.2.1. Extrusión de baja humedad

El método convencional de texturización de proteínas ha sido la extrusión de baja humedad. Es una extrusión termoplástica, en la cual la humedad a la que se opera es menor del 40%, normalmente se opera en torno al 20%. En este método el tipo de extrusor que se suele usar es adiabático y de tornillo único, el cual puede ejercer grandes fricciones por las fuerzas de cizallamiento, debido a la baja humedad y a la baja cantidad de lípidos, lo que evita la lubricación, gracias a lo cual se pueden alcanzar grandes presiones (>200 Bar), y altas temperaturas (>200°C), por lo que no requiere de una fuente de calor externo (Moscicki, 2011; Osen, 2017). No obstante, los extrusores suelen poseer un preacondicionador, en el cual se puede añadir vapor o agua cuando se requiere productos más uniformes (Riaz, 2000).

Los productos que se obtendrán no serán tan homogéneos como con la extrusión de alta humedad (Figura 11). En este modelo de extrusión la masa fundida pasa a través del troquel con una alta temperatura, esto combinado con el cambio de presión a la salida, provoca una evaporación repentina del agua contenida, lo que consecuentemente conlleva a una expansión del producto (Beck, 2017). Esta expansión dará lugar a la formación de burbujas en el producto creando una estructura alveolar (Guy, 2001; Osen, 2017). Gracias

a su estructura esponjosa y baja humedad, tiene una gran capacidad de absorción de agua lo que permite que se rehidraten fácilmente, lo cual es necesario para su consumición.



Figura 12. Texturizado de guisante elaborado por extrusión de baja humedad. (Blanco, 2020)

Durante la extrusión de baja humedad se producen intensas fuerzas de cizalla debido a la baja humedad a la que se opera. Esto conlleva a altas temperaturas que pueden provocar reacciones de Maillard. Este tipo de reacción se da cuando en un proceso de cocción las altas temperaturas provocan reacciones entre los grupos amino de las proteínas y los fragmentos de almidón o fibra. Cuanto más altos sean las temperaturas, las fuerzas de cizalla, y el tiempo que el producto este en el interior del extrusor más se acentuaran este tipo de reacciones. La lisina es más sensible a este tipo de reacción ya que su grupo ϵ -amino reacciona fácilmente, induciendo a la pérdida entre un 12 y un 49% en condiciones de baja humedad (Steel et al., 2012).

4.2.2. Extrusión de alta humedad

El proceso de extrusión de alta humedad es una tecnología muy prometedora para la texturización de proteínas vegetales. Tiene grandes ventajas frente a la extrusión de baja humedad que se venía aplicando tradicionalmente. Gracias a la aplicación de esta técnica se pueden obtener unas texturas fibrosas de producto final únicas (Cheftel, 1992, Riaz, 2000).

Para la aplicación de la extrusión de alta humedad se requiere que la materia prima se ajuste a una humedad de alimentación este entorno al 60-70%. La gran humedad durante la extrusión tiene un papel fundamental ya que actúa como lubricante y plastificante,

ayudando a formar una masa fundida homogénea. Además, para lograr la texturización se necesita que el contenido inicial en proteína de la materia prima sea alto, más del 50%, por lo tanto, se usan concentrados o aislados proteicos.

Dentro del sistema de extrusión de alta humedad, cambiando parámetros del extrusor, regulando la entrada de materia prima y caudal de agua, podemos obtener distintas texturas, ya que se obtienen distintas reorganizaciones de las proteínas (Navale, 2015).

Para la extrusión de alimentos proteicos en alta humedad, los extrusores que comúnmente se usan son los de doble tornillo. Este tipo de extrusores son mucho más eficientes y versátiles para la texturización de las proteínas. Permiten la extrusión de una amplia gama de productos con alta humedad y con más contenido en grasa. El transporte, la mezcla, y la fusión de la masa que realizan los dos tornillos es más eficiente, produciendo un menor desgaste de los tornillos y menos fuerzas de fricción. La principal característica que van a tener estos extrusores es la disposición de un sistema de enfriamiento para bajar la temperatura, a lo largo de un canal. Este enfriamiento va a provocar la formación de enlaces covalentes y no covalentes. El producto se va solidificando progresivamente a lo largo del canal, aumentando su viscosidad hasta que da resultado la formación de la estructura fibrosa (Figura 12) (Osen et al., 2014; Pietech et al., 2019).



Figura 13. Texturizado de guisante elaborado por extrusión de alta humedad. (Blanco, 2020)

4.2.2.1. Formación de la estructura fibrosa

La extrusión de alta humedad requiere de un canal de enfriamiento para prevenir la expansión del producto. Gracias a la bajada de temperatura durante el paso por el canal se facilita la formación de la estructura fibrosa de este tipo de productos extruidos. Para que se dé la formación de la estructura fibrosa durante la extrusión se necesita que las proteínas sean fundidas creando una larga masa proteica que fluirá a lo largo del extrusor. Esta masa proteica es estirada en la dirección longitudinal del extrusor (Osen, 2015).

Estudios recientes sobre la formación de estructuras anisotrópicas formadas por proteína vegetales, aclaran que la formación de las fibras es inducida por las fuerzas de cizallamiento que se producen durante la extrusión. Los tornillos del extrusor inician un desplazamiento laminar de la masa proteica. La alineación de las partículas durante este desplazamiento dependerá de las interacciones entre las partículas proteicas, así como de la intensidad de las fuerzas de cizalla (Krintiras, 2015; Osen, 2017)

El enfriamiento del producto durante su paso por el troquel de salida es el paso más importante para la formación de la estructura proteica. Los fluidos newtonianos generan un perfil de velocidad parabólico, este perfil de velocidad durante el paso a través del canal dependerá de la reología del polímero, la velocidad de tornillo del extrusor, y la temperatura del fluido. La información de cómo estará distribuida la temperatura en la masa mientras fluye por el canal es crucial para saber cómo se desplazará la masa fundida y obtener una formación de fibras coherente, ya que la temperatura afecta a la viscosidad del material y a la velocidad de flujo. El gradiente de velocidad y las fuerzas de cizalla permite la obtener la orientación y alineación de la masa proteica en la dirección de flujo. El enfriamiento de la mezcla fundida viscosa reduce la viscosidad y se produce una fase de transición de líquido a gel, dando como consecuencia la formación de un extruido con estructura fibrosa (Bouvier, 2014; Osen, 2015)

Cuantificación de la formación de las fibras

Los texturizados vegetales extruidos mediante condiciones de alta humedad tienen el potencial de formar una estructura fibrosa similar al músculo animal. Para extraer información sobre la complejidad de formación de estas estructuras fibrosas, se realizan ensayos para determinar el grado de formación de fibras, como análisis de textura,

microscopía óptica bajo la luz, o microscopía de escaneo electrónico (Krintiras et al 2014, Osen, 2015).

Los análisis de textura proporcionan información sobre la formación de las fibras mediante una serie de medidas. Aplicando fuerzas de compresión, y midiendo cuanto puede soportar la estructura del producto a la deformación, obtenemos valores aproximados, pero no es una técnica que refleje exactamente la cantidad de fibra formada. Mediante la aplicación de fuerzas de tensión, y midiendo la resistencia al estrés y la ruptura, o aplicando fuerzas de corte que imiten la mordida, se pueden obtener valores más aproximados. Estos análisis de textura se deben aplicar longitudinal y transversalmente para poder medir la calidad de las fibras formadas (Fang et al 2014; Osen et al., 2014).

El grado de formación de las fibras se puede observar utilizando la microscopía, para poder visualizar su estructura interna. Esta evaluación será de tipo visual, y no requiere de un índice numérico. Este método requiere un disgregamiento de la muestra para poder visualizar la estructura interna (Lin et al., 2008).

Otro método visual que no conlleva la destrucción de la muestra es la espectroscopía de fluorescencia. Este método relaciona la luz fluorescente emitida con la orientación de las fibras del producto. El grado de polarización se determina por la intensidad de luz emitida paralela o perpendicularmente (Yao et al., 2004).

4.2.2.2. Reacciones de las proteínas durante la extrusión de alta humedad

Durante la cocción en la extrusión las proteínas sufren cambios químicos y estructurales, que afectan a las características que va a tener el producto final.

La estructura nativa de las proteínas es desnaturalizada, las fuerzas que conforman las estructuras terciaria y cuaternaria de las proteínas se debilitan por la aplicación de altas temperaturas y fuerzas de cizalla del extrusor. Las moléculas de las proteínas se despliegan y se alinean en dirección al sentido en el que fluye el material en el extrusor. Se producen alteraciones en los enlaces covalentes (peptídicos y disulfuro) y no covalentes (interacciones hidrofóbicas, iónicas, y de hidrógeno). Estas alteraciones

pueden afectar a las propiedades funcionales de las proteínas. (Osen, 2017; Leonard et al., 2019).

Existe mucha controversia entre los diferentes estudios que intentan comprender el tipo de reacciones e interacciones que se dan entre las proteínas durante la extrusión debido a la complejidad de estudio en el extrusor. La manera de estudio en la que más información aproximada se puede obtener sobre las reacciones de las proteínas se basa en la solubilización de las proteínas en agentes selectivos. El perfil de solubilidad de las proteínas usando estos reactivos en muestras antes y después de la extrusión permite estimar las interacciones más importantes que se dan entre las proteínas durante la texturización (Liu et al., 2008; Osen, 2017).

El primer reactivo selectivo se trata de una sal con efecto tampón que tiene como función extraer las proteínas en estado nativo que no forman parte de la red estructural formada durante la texturización. El segundo reactivo se encarga de romper las interacciones no covalentes como las hidrófobas o las de hidrogeno. El tercer reactivo es un agente reductor que escinde los enlaces disulfuro. La utilización de estos reactivos individualmente o en combinación, permite conocer los tipos de enlaces que se dan durante la texturización.

Osen, (2017), utilizo esta técnica para observar los tipos de interacciones que se daban durante la texturización de aislados de proteína de guisante, mediante la extrusión de alta humedad. Cuando se solubilizó en el primer reactivo, que extrae las proteínas en estado nativo, la solubilidad del extruido era muy baja. Esta baja solubilidad era esperable ya que durante la texturización se ha producido la desnaturalización de la mayoría de las proteínas. En la solubilización en los reactivos que rompen los enlaces disulfuro y no covalentes, la solubilidad se incrementa en los extruidos hasta valores de entre el 80% y el 100%. Esto se debe a que los enlaces químicos que forman la estructura rígida de los texturizados están formados básicamente por enlaces disulfuro y no covalentes. Durante la solubilización en el reactivo que rompe los enlaces disulfuro la solubilidad decreció hasta valores del 20% sin observarse diferencias entre los aislados proteicos y los extruidos. Por lo tanto, esto no explica la estabilización de la estructura formada durante la texturización. La cantidad de proteína soluble después de romper los enlaces disulfuro fue menor comparándola con la cantidad de proteína soluble cuando se rompen las

interacciones no covalentes. Cuando se solubilizo en el reactivo que rompía los enlaces no covalentes se produjo un descenso de solubilidad de los extruidos comparándolo con los aislados proteicos. Este descenso de solubilidad después de la extrusión explica el entrecruzamiento de enlaces disulfuro que se da durante el proceso, lo que concuerda con otros estudios que observan que los enlaces disulfuro superan a las interacciones no covalentes en la formación de la estructura rígida de los extruidos de soja por alta humedad. (Liu y Hsieh, 2008; Osen, 2017)

El contenido alto de humedad no favorece la formación de enlaces peptídicos. Esto se basa en la observación de extrusión de alta humedad de aislados de soja, los cuales eran solubles completamente en agentes extractivos que rompían enlaces de hidrogeno e hidrofóbicos, en combinación con agentes que rompían enlaces disulfuro, lo que indica que los únicos enlaces covalentes que se formaban son los disulfuros (Liu y Hsieh, 2008; Chen et al., 2011).

A diferencia de la estructura esponjosa y expandida de los productos extruidos por extrusión de baja humedad, cuando se aplica la extrusión de alta humedad los productos tienen una estructura densa y gomosa, en forma de gel. Esto indica que los enlaces que se dan en la gelificación de las proteínas son los mismos que se dan en la formación de las estructuras de los extruidos. Lo que diferencia unas estructuras de otras es la proporción de cada enlace. Los enlaces más importantes de formación de la estructura fibrosa son los no covalentes y los enlaces disulfuro. (Liu et al., 2008; Osen, 2015).

La mayoría de los estudios concuerdan en que después de un proceso de extrusión se mejora la digestibilidad de las proteínas. La desnaturalización de las proteínas y la exposición de grupos hidrofóbicos proporciona una gran superficie disponible de las proteínas para ser digeridas enzimáticamente (Alonso et al., 2000; Arêas, 2016). No obstante, la digestibilidad de las proteínas está influenciada por los parámetros de la extrusión. Zhang et al, (2017) encontraron en su estudio que la digestibilidad de las proteínas aumentaba cuando se aplican mayores humedades a la extrusión (>30%). Además, la reducción de compuestos antinutricionales como fitatos o inhibidores de proteasas aumentan la digestibilidad, ya que estos compuestos limitan su biodisponibilidad.

Composición de aminoácidos

Un análisis del perfil aminoacídico de los productos extruidos comparados con la materia prima indicara cómo de efectivo ha sido el proceso de extrusión al retener la calidad proteica original. Las condiciones de extrusión afectan notablemente a la retención o la pérdida de aminoácidos. En diversos estudios se ha visto que los aminoácidos más susceptibles de reducirse durante la extrusión son la lisina, cisteína, y arginina (Leonard et al., 2019).

Aplicando la extrusión de alta humedad, las reacciones de Maillard que aparecían en la extrusión de baja humedad se atenúan o desaparecen, ya que la humedad actúa como lubricante, reduciendo las fuerzas de cizalla, y bajando la viscosidad de la masa, por lo que la lisina no se ve tan afectada por el proceso (Osen, 2017; Leonard et al., 2019). En general el proceso en extrusión por alta humedad no tiene efectos en la reducción de aminoácidos. Osen, (2017) evaluó varias muestras de texturizados fabricados a partir de aislados de guisante, en condiciones de extrusión de 55% de humedad y temperaturas máximas de 140°C, sin obtener resultados de reducciones significativas de ningún aminoácido. El mismo estudio lo aplicó para texturizados fabricados con temperatura de cocción de hasta 160°C, obteniendo que el único aminoácido reducido fue la glicina.

Distribución de fracciones proteicas

Osen (2015) estudió la aplicación de extrusión de alta humedad en distintos aislados proteicos de guisante, y evaluó el efecto de la extrusión en las distintas fracciones proteicas del guisante. Para la medición de las distintas fracciones proteicas antes y después del proceso de extrusión usó la electroforesis.

El proceso de extrusión tiene diferentes efectos en las distintas subunidades polipépticas. Después del proceso de extrusión en aislados de proteína de guisante la fracción de las leguminas desaparece. Este hecho se puede atribuir a su precipitación, formando una red macromolecular formada por enlaces disulfuro. Cabe destacar que la extrusión no tiene efecto en vicilinas y convicilinas. Por lo que se supone que estas fracciones proteicas no contribuyen en la formación de la red tridimensional que se forma durante la texturización. Que estas fracciones proteicas no puedan formar parte de esta red es debido

a que estas carecen de cantidades suficientes de cisteína, lo cual es necesario para el entrecruzamiento de enlaces covalentes que se dan durante la texturización (Osen, 2017).

Se evaluó la aplicación de distintas temperaturas (100-120°C) de extrusión para comprobar cómo afecta la temperatura a las fracciones de proteínas. Cuando se aplicaron temperaturas iguales o superior a 105°C la fracción de las leguminas desaparecía, lo que significa que han precipitado. Por lo tanto, se establece que para ese estudio la temperatura mínima de texturización era 105°C (Osen, 2017)

Grado de hidrólisis

El grado de hidrólisis de las proteínas se define como la rotura de enlaces peptídicos y el contenido de grupos amino que quedan libres (Nielsen et al., 2001).

Los distintos autores que estudian este parámetro antes y después de aplicar extrusión en aislados proteicos de soja y guisante, establecen que el grado de hidrolisis es similar entre los productos extruidos (aunque se varíen los parámetros de extrusión), y la materia prima a partir del cual se elaboraron. De lo que se supone que durante la texturización no se forman nuevos enlaces peptídicos, ya que esto provocaría un incremento en el grado de hidrolisis (Chen et al, 2011; Osen, 2015).

Efecto de presión y fuerzas de cizalla en las proteínas

En la extrusión de alta humedad las presiones máximas alcanzadas son de 20 Bar. Estudios que simulan la presión del proceso de extrusión afirman que a presiones de entre 20 y 80 Bar no afecta a las reacciones de las proteínas (Noguchi, 1990).

Pero las fuerzas de cizalla sí tienen un gran efecto en las proteínas durante la extrusión. Estas fuerzas de cizalla se pueden monitorizar indirectamente con la energía mecánica específica del extrusor. Fang et al. (2013) estudiaron la aplicación de diferentes fuerzas de cizalla para la texturización de aislados de soja al 50 % de humedad. A las máximas fuerzas de cizalla aplicadas se incrementaban la proporción de moléculas de bajo peso molecular, lo que supone que cuanto más altas son las intensidades de estas fuerzas, más disgregación molecular se produce en los agregados proteicos. Además, cuanto más energía específica había en el proceso más se reduce la viscosidad de la masa en la salida, dando productos con más resistencia a la tracción.

4.3. Propiedades funcionales de los texturizados vegetales

4.3.1. Solubilidad de los extruidos

La solubilidad proteica de los productos extruidos es siempre más baja que la de las materias primas a partir de los que se elaboraron. El descenso de solubilidad es debido a la desnaturalización proteica que se produce durante el tratamiento térmico que conlleva el proceso de extrusión. Como se observa en la figura 13, el patrón en forma de “U” de solubilidad que describe la gráfica de los asilados proteicos debido al descenso de solubilidad, al encontrarse a valores de pH que corresponden con el punto isoeléctrico de las proteínas, desaparece. La solubilidad de las proteínas que han sufrido la texturización no depende tanto del pH, ya que las solubilidades son muy bajas. La solubilidad de los texturizados de proteína de guisante es menor que la de los texturizados de soja, lo que puede influir en la pérdida de funcionalidad (Samard y Ryu, 2019).

Este descenso de solubilidad guarda relación con el índice de integridad, siendo este inversamente proporcional a la solubilidad del texturizado proteico. Con estas propiedades se puede cuantificar el grado de texturización.

La formación de enlaces disulfuro e interacciones no covalentes formados durante la texturización son los causantes de la reducción de solubilización de las proteínas (Beck, 2017). Las altas temperaturas y la intensidad de las fuerzas de cizalla tienen gran impacto en la solubilidad, ya que cuanto más altos sean estos valores más se reducirá la solubilidad. Esto conlleva una reducción de las demás propiedades funcionales debido a la agregación proteica formada.

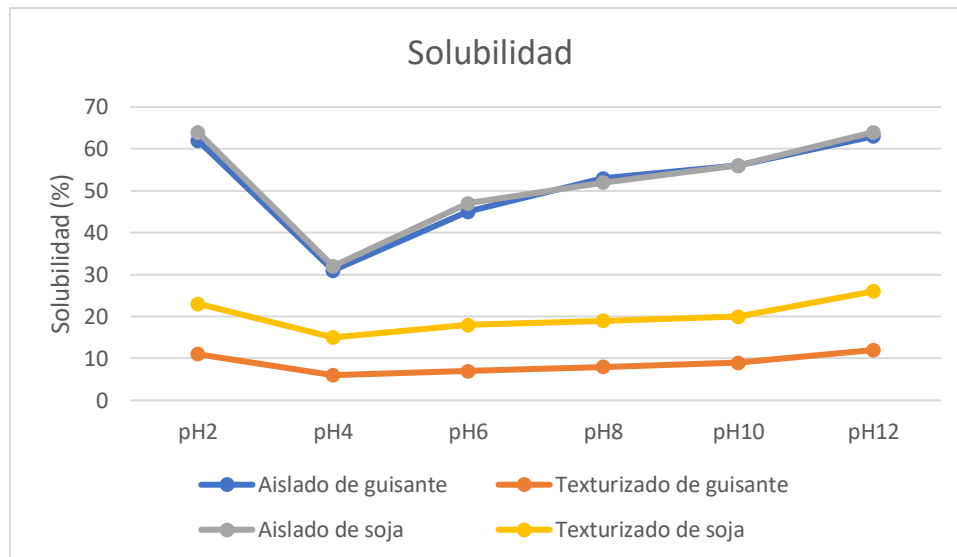


Figura 14. Comparación de solubilidad entre aislados y texturizados de guisante y soja. (Samard y Ryu, 2019)

4.3.2. Captación de agua y aceites

Una de las maneras de cuantificar el grado de texturización de las proteínas es observar las propiedades que poseen de captación y retención de agua después de someter al producto a una rehidratación. El índice de integridad guarda relación con estos parámetros, y se refiere a la permanencia de la textura fibrosa que queda después de someter al producto a hidratación, presión, homogeneización y secado (Leonard, 2019).

Samard y Ryu (2019) estudiaron estas propiedades en aislados de proteína de guisante, soja, cacahuete, y gluten de trigo. Para la texturización de estos aislados se sometieron a una extrusión de alta humedad (50%), con una velocidad de tornillo constante de 250 rpm y una temperatura máxima de cocción de 140°C. Los valores de retención de agua más elevados se encontraron para los texturizados de soja y guisante. Cabe destacar, que los índices de integridad más altos se encontraron en el guisante, junto al gluten de trigo, por lo que las estructuras fibrosas de los texturizados de guisante y de trigo son más estables y difíciles de romper. Debido a esto, estos texturizados adquieren mayor elasticidad y masticabilidad.

En general, las proteínas texturizadas muestran buenas capacidades de captación de agua, mientras que la captación de aceites no es tan elevada, debido al tipo de estructura que forma el agregado de proteínas durante la texturización. La solubilidad proteica y el contenido y dispersión de aminoácidos polares y no polares afectaran a la capacidad de captación de agua y aceites. Cuando el contenido en aminoácidos hidrófobos es bajo y hay gran solubilidad proteica se incrementa la capacidad de captación de agua, mientras que un mayor contenido en aminoácidos hidrófobos permite tener una mejor captación de aceites. De este modo Samard y Ryu (2019) observaron la gran capacidad de absorción de agua de los texturizados de soja (353%) comparado con los texturizados de guisante (250%), esto es debido a la mayor solubilización que tienen los texturizados de soja. En cuanto a la capacidad de captación de aceites los texturizados de guisante tienen los valores más altos (140%), comparado con los de la soja (98%), esto es debido a la gran cantidad de aminoácidos hidrófobos que poseen los guisantes, gracias a lo cual también poseen buenas propiedades emulsionantes.

4.3.3. Propiedades de textura de los extruidos

La textura es un reflejo de la integridad estructural de los productos extruidos, y afectará a la aceptabilidad del producto por el consumidor. Los parámetros como la dureza, elasticidad, cohesividad o adherencia, sirven para evaluar la textura de los productos, y simulan la sensación que provocan en la boca. La conformación de las proteínas y la temperatura de cocinado afectan notablemente a la textura de los productos extruidos (Leonard et al., 2019).

La dureza es un parámetro que cuantifica la fuerza que hay que ejercer para romper el producto y simula la mordida. Existe una relación entre la dureza y la expansión de los extruidos, cuanta menos expansión tienen, más dureza poseen. La dureza está muy influenciada por la humedad, temperatura y velocidad de tornillo. A altas temperaturas y velocidades de tornillo se obtienen productos más suaves. La humedad incrementa la dureza, ya que el agua tiene un efecto plastificante que reduce la viscosidad y la energía mecánica específica, lo que tiene como resultado una reducción en la formación de burbujas de aire, haciendo un producto más denso y duro (Leonard et al., 2019).

Osen (2014) estudio la aplicación de varias temperaturas de extrusión para la elaboración de texturizados a partir de varios aislados de proteína de guisante. Concluyó que a temperaturas de 100°C o inferiores no se llegan a formar la estructura fibrosa, dando productos de baja consistencia. Un aumento de la temperatura aumentaba las fuerzas de tensión de producto, sobre todo en el corte longitudinal, manteniéndose los valores de corte transversal constantes. Esta diferencia entre corte transversal y corte longitudinal, nos indica la formación de la estructura fibrosa. Los valores de fuerza de corte longitudinal aumentaban de 8 newtons para temperaturas de 100°C, mientras que para temperaturas de 160°C se alcanzan valores de 16 newtons. El tipo de proteínas tiene poca relevancia en la formación de la textura, ya que las proteínas durante la extrusión se desnaturalizan, haciendo que las propiedades funcionales que estas posean no intervengan.

Samard y Ryu (2019^b), realizaron un estudio en el que comparaban la textura de texturizados de proteína vegetales elaborados mediante extrusión de alta humedad, con diferentes carnes cocinadas. Todos los valores encontrados fueron diferentes entre las muestras de carne y los texturizados, aunque la carne de pollo tiene unos valores de dureza y chiclosidad que se asemejan más a los texturizados vegetales. Los diferentes valores encontrados entre las carnes son debido a la composición y distribución de las proteínas miofibrilares. El aumento de las fuerzas de corte en la posición transversal indica la formación y la disposición de la estructura fibrosa.

Tabla 5. Propiedades de textura de texturizados de proteína vegetal y carnes cocinadas (Samard y Ryu, 2019^b)

	Elasticidad (%)	Cohesividad (%)	Chiclosidad (Kg)	Fuerzas de corte (g/cm ²)	
				Transversal	Longitudinal
Pollo	57.67	49.35	2.74	1475.02	978.75
Cerdo	71.44	59.20	3.17	1622.07	1534.5
Texturizado de guisante	80.30	72.81	2.58	548.55	505.39
Texturizado de soja	91.14	78.89	2.67	703.35	623.70

5. Análogos cárnicos

Los análogos de carne, también llamados “sustitutos de carne”, “carne falsa”, “imitación a la carne”, son alimentos que no tienen en su composición nada de carne, aunque en apariencia, textura, color, sabor y la forma hacen que sean muy similares a los productos cárnicos comunes. Del mismo modo que la carne, este tipo de productos nos aporta una gran cantidad de proteínas, sin las desventajas que tiene el consumo de carne como los niveles altos de colesterol, o los altos niveles de grasa saturada (Gupta et al., 2015).

Normalmente, los análogos de carne están compuestos por una única fuente de proteínas, o pueden estar combinados con distintas proteínas procedentes de soja, guisante, gluten de trigo; a las cuales se le pueden añadir grasas, carbohidratos, o aditivos, como saborizantes o aromatizantes.

Los análogos cárnicos son muy versátiles, se les pueden encontrar de muchas maneras en las líneas de supermercado, intentando imitar a los productos cárnicos comunes como hamburguesas, Nuggets de pollo, etc. De esta manera los análogos cárnicos se pueden preparar del mismo modo que los productos tradicionales, lo que conlleva a una mayor aceptabilidad por parte del consumidor (Bohrer, 2019).

5.1. Motivos del auge en el mercado

Económicos

El consumo de carne en los países desarrollados es muy elevado, el aporte de proteínas diario mayoritariamente lo obtenemos del consumo de carne. Pero el precio de las proteínas de origen animal es más alto que el de las proteínas vegetales. Por este motivo el consumo de análogos de carne nos permitiría suplementar el aporte de proteínas que necesitamos a un precio más bajo. Además, se pueden obtener diez veces más cantidad de proteínas obteniéndolas directamente de los productos vegetales, que usando estas proteínas para alimentar a los animales de los que obtendremos la carne (Hoek, 2011).

Con la motivación de reducir los costes en alimentación, cada vez son más los consumidores que buscan este tipo de productos.

Salud y bienestar

En los últimos años, cada vez son más las personas que se preocupan por su salud desde una edad temprana, sobre todo por el cuidado de sus hábitos alimenticios. El avance de la tecnología, y las redes sociales ha permitido a la sociedad obtener más información sobre los hábitos saludables, y especialmente sobre los patrones de dieta a seguir para tener una buena salud.

Aunque las proteínas cárnicas poseen un alto valor biológico, el consumo de carne conlleva, muchas veces, ingerir altos niveles de grasas saturadas, colesterol, o sal que pueden llevar a padecer enfermedades coronarias, o problemas de obesidad, sobre todo en personas de avanzada edad.

Las grasas que pueden poseer los análogos cárnicos, por lo general, son más saludables que las de origen animal, ya que este tipo de lípidos procedentes de vegetales suelen tener ácidos grasos tanto monoinsaturados como poliinsaturados. Este tipo de ácidos grasos tiene numerosos beneficios para la salud, como la reducción de colesterol malo (Bohrer, 2019).

Ética

Un importante factor que ha promovido el desarrollo de análogos de carne son las creencias y éticas sociales. Las dietas vegetarianas y veganas llevan muchos años en auge motivadas, sobre todo, por las personas que no están a favor del sacrificio de animales para consumirlos.

Otro motivo que está arraigado en la sociedad desde hace años, y que provoca la reducción del consumo de carne, es el temor de algunas personas a consumir carnes contaminadas. Este miedo viene provocado por distintas crisis alimentarias que han surgido en el pasado. Un ejemplo de esto es la crisis alimentaria que surgió en 1996 en Reino Unido, la denominada crisis de las vacas locas, la cual provocó decenas de muertos y afectados por esta enfermedad.

Existen creencias religiosas, como pueden ser el islam o la Hindú que limitan las opciones de consumir productos cárnicos, ya que entre sus normas religiosas está prohibido el consumo de animales como el cerdo o el vacuno (Gupta et al., 2015).

Cambio Climático

La ganadería, sobre todo la ganadería intensiva, es uno de los mayores productores de gases de efecto invernadero, los cuales son una de las causas del cambio climático, y el aumento de la temperatura media del planeta. Según la Fao, se estima que 7516 millones de toneladas métricas de CO₂ se expulsan desde la ganadería al año, lo que supone un 18% de las todas las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos gases son producidos por la respiración de los animales, y la expulsión de gas metano por parte de estos, además de las enormes cantidades de excrementos contaminantes que producen (Gupta et al., 2015).

5.2. Principales consumidores de análogos cárnicos

No toda la población tiene la misma visión sobre el consumo de sustitutivos cárnicos. La edad de los consumidores es un factor que afecta a la aceptabilidad de este tipo de productos.

Las personas que se encuentran en un rango de edad de entre 18 y 45 años son los mayores consumidores de análogos cárnicos a base de proteínas vegetales. Dentro de este grupo de población, nos encontramos los dos subgrupos más jóvenes. El rango de edad de entre 25 y 34 años son los que más consumen este tipo de productos, del mismo modo, el grupo de edad de entre 18 y 24 años tienen gran aceptabilidad por estos productos, aunque su consumo no es tan alto. Estos grupos jóvenes, tienen una mayor facilidad para obtener información sobre este tipo de productos. La posesión de información genera una gran confianza en el consumidor, motivando su adquisición.

El rango de edad de entre 35 y 44 años son otro grupo de consumidores importantes, pero en menor medida que los grupos anteriores. Los mayores de 65 años son una minoría en el consumo de sustitutos cárnicos. Estos grupos de población tienen muy poca

aceptabilidad de estos productos. La falta de información crea una desconfianza en estos consumidores, y suelen tender a adquirir los productos tradicionales. (Eurocarne, 2019).

5.3. Estudio de mercado

En la tabla 6 se exponen los principales análogos cárnicos que venden algunos de los supermercados más representativos de nuestro país como son “Carrefour, S.A.”, “Lidl, S.A.” “Aldi S.A.”, y “Mercadona S.A.”

Tabla 6. Ingredientes y precio de los principales análogos cárnicos del mercado.

Denominación comercial	Ingredientes	Precio (€/Kg)
Beyond Burger.	Agua, aislado de proteína de guisante (18%), aceite de colza, aceite de coco refinado, aroma, aroma de humo, estabilizantes: celulosa, metilcelulosa, goma arábica; almidón de patata, maltodextrina, extracto de levadura, sal, aceite de girasol, levadura deshidratada, antioxidantes: ácido ascórbico, ácido acético; colorante: concentrado de zumo de remolacha; almidón modificado, extracto de manzana, concentrado de zumo de limón.	30,61
Hamburguesa vegetal al curry Soria Natural.	Tofu natural (agua, habas de soja, cloruro de magnesio (nigari)), zanahoria, arroz integral cocido (agua, arroz integral), cebolla, aceite de oliva virgen, proteína de soja texturizada, almidón de tapioca, gelificante: carragenano, curry (1%) (cilantro, jengibre, comino, hinojo, cúrcuma, pimienta negra, chili), sal marina.	23,75
Hamburguesa Incredible Burger Garden Gourmet.	Agua, concentrado de proteína de soja (18,5%), aceites vegetales (nabina, coco), aromas naturales, gluten de trigo (1,7%), estabilizante (metilcelulosa), vinagre, concentrado de hortalizas y frutas (remolacha, zanahoria, pimiento, grosella negra), sal, extracto de malta de cebada.	23,23
Bocados Mediterráneos Heura.	Agua, concentrado de proteína de soja, aceite de oliva, sal, aromatizantes, especias (pimentón, pimienta negra, jengibre, nuez moscada, macis, cardamomo) y vitamina B12.	22,80

Nuggets de soja Sojasun.	Harina de proteína de soja rehidratada (21%), pan rallado con copos de maíz (18%) (harina de trigo, copos de maíz (3,6%), levadura, sal, especias (cúrcuma, pimentón)), cobertura (17%) (agua, harina de trigo, sal), agua, almidón, aceite de colza, fibra de bambú, saborizantes vegetales naturales, proteínas de patata, sal, jugo concentrado de zanahoria, aceite de girasol, gluten de trigo 7,1%, copos de trigo espelta, cebolla, fibras de soja y de plátano, aroma natural vegano, caldo de verduras, sal, orégano, cebolla en polvo, pimienta.	21,56
Burger Deluxe garden gourmet	Agua, proteína de soja (11,6%), aceites vegetales (nabina, girasol), proteína de trigo (4,2%), clara de huevo en polvo, cebolla deshidratada, harina de trigo, puré de manzana, plantas aromáticas [perejil (0,9%), cilantro (0,7%), almidones (maíz, patata), cebolla, ajo, pimienta negra, vinagre, patata deshidratada, extracto de levadura, sal, proteína de trigo hidrolizada, extracto de malta de cebada, levadura, aroma, extracto de especias.	18,61
Hamburguesas vegetarianas Gutbio	Ingredientes: Agua potable, proteína de trigo (18%), avena cebolla, aceite de girasol, proteína de soja picada (7%), salsa de soja (agua potable, frijol de soja, trigo, sal), tomate concentrado, cebolla tostada (cebolla, aceite vegetal, harina de trigo, sal), tofu (frijol de soja, agua potable, agentes solidificantes: cloruro de magnesio (E-511) y sulfato de calcio (E-516) (2%), azúcar de caña en bruto, levadura, sal marina, ajo en polvo, pimentón dulce, pimienta negra.	17,08
Burger vegetal Sojasun	Harina de proteína de soja rehidratada (36,5%), agua, proteína de trigo (10%), aceite de girasol, harina de trigo (4%), vinagre de alcohol, harina de garbanzo, jugo de manzana concentrado, perejil (1,5%), cebolla en polvo, aromas naturales veganos, cebolla dorado, fibra de soja, sal, gelificante: metilcelulosa, pimienta verde en salmuera (0,4%), comino, extracto de cebolla, pimentón, extracto de malta (cebada), tomillo.	16,50

Burguer vegetal El Pozo	Agua, proteína vegetal (16,5%), aceite de girasol, cebolla, fibra, sal, almidón, azúcar, especias, extracto vegetal, aromas, antioxidantes (ascorbato sódico).	14,57
Nuggets veganos de trigo y cebolla Carrefour Veggie	Agua, pan rallado (22%) (Harina de trigo, levadura, sal), proteínas de trigo deshidratadas (14%), harina de trigo, cebolla (4.2%), aceite de colza, aroma natural, vinagre de alcohol.	14,75
Hamburguesa Next Level Burger	Agua, champiñones en conserva, grasa de coco, (9%) de proteína de guisante, (7,4%) de proteína de trigo, (3,8%) de proteína de soja, harina de soja, emulgente, especias, aromas, almidón de guisante, fibra de bambú, sal, zumo de remolacha, conservantes.	13,17
Wonder Burger Aldi	Agua, concentrado de proteína texturizada de soja (10%), aceite de coco, proteína de soja (9%), aromas, espesante, extracto de remolacha	13,17
Albóndigas Vegreen.	Proteína de soja , cebolla deshidratada, espesante (E-461), fibra de bambú, extractos de levadura, antiaglomerante (E-551), acidulante (E-330), sal, remolacha, calabacín, zanahoria, aceite de girasol, espesante (E-425 i), maltodextrina, especias, dextrosa.	13,40
Albóndigas Soria Natural.	Albóndigas (29%): tofu natural (agua, habas de soja y cloruro de magnesio), quinoa (20 %), proteína de soja texturizada, gelificantes: agar-agar y carragenano, salsa de soja (agua, habas de soja , levadura y sal rosa del himalaya).	12,16
Hamburguesas Vegreen.	Proteína de soja, cebolla deshidratada, aroma, metilcelulosa, fibra de bambú, extractos de levadura, dióxido de silicio, ácido cítrico, sal, remolacha, calabacín, zanahoria, aceite de girasol, espesante (E-425 i), maltodextrina, especias, dextrosa, (E-551).	9,16

Existen diferencias de precio entre los distintos análogos cárnicos. Las mayores diferencias observables en el precio tienen relación con la marca comercial del producto. Las marcas comerciales más conocidas que corresponden a empresas más grandes como “Beyond Burger” o “Garden Gourmet” tienen precios más elevados (30,61€/Kg y 23,23€/Kg respectivamente) que otros productos con características muy similares que corresponden con marcas blancas como “Hamburguesa next level” (13,17€/Kg). Otro punto para destacar en el precio son la fuente de proteínas. Los productos en los que la proteína de soja tiene un alto porcentaje en su composición, tienen precios más elevados, mientras que si se complementan con proteínas de cereales su precio disminuye. Además, se puede observar un precio más reducido en los Nuggets elaborados a partir de proteínas de trigo que en los elaborados a partir de proteínas de soja. Hay que destacar que los productos con los precios más elevados corresponden a productos importados, por lo que su precio se ve incrementado.

Las fuentes de proteína a partir de las cuales están elaborados la mayoría de los análogos cárnicos que nos encontramos en los lineales de supermercado son las procedentes de la soja. Las proteínas de soja son usadas comúnmente en la industria gracias a su calidad, y a la diversidad de aspectos funcionales y nutricionales que poseen. Además, la formación de la estructura fibrosa que se da en la texturización de estas proteínas hace que sea perfecta para la elaboración de análogos cárnicos.

Las proteínas procedentes de los cereales son otra de las grandes fuentes de proteínas que se usan para la elaboración de los análogos cárnicos. Aunque la calidad de las proteínas de estos vegetales no es tan buena como la de las legumbres, poseen unas características tecnológicas que hace que sean aplicables para la elaboración de análogos cárnicos. La red estructural viscoelástica que son capaces de formar proporciona la consistencia necesaria al producto, proporcionando una estructura fibrosa requerida para estos productos. Además, en los productos que se están comercializando, la adición en proporciones variables de proteínas de cereales acompañando a las proteínas de soja u otras legumbres, abarata el precio de los análogos cárnicos.

Las proteínas de guisante son una fuente de proteínas muy prometedora para la elaboración de análogos cárnicos, gracias a la textura y propiedades nutricionales que aportan a estos productos. Aunque el uso de las proteínas de guisante no esta tan

extendido como el de las proteínas de soja, grandes empresas como “beyond burger” empiezan a comercializar cada vez más análogos cárnicos cuya principal fuente de proteínas es el guisante.

La mayoría de los análogos cárnicos que se venden actualmente en el mercado intentan simular las hamburguesas. Este tipo de formato cárnico es muy popular en el mercado moderno, ya que es muy versátil y se puede consumir de varias formas. Además, tiene un amplio rango de mercado ya que está disponible tanto en el mercado minorista como en el ámbito de la restauración. Este tipo de formato tiene una gran aceptabilidad por parte de los consumidores en un amplio rango de edades. La mayoría de los análogos cárnicos que intentan simular las carnes rojas de las hamburguesas de vacuno usan entre sus ingredientes extractos de remolacha, que proporcionan el color rojo característico. Otro formato que es similar a las hamburguesas, son las albóndigas. Este tipo de productos son elaborados para atraer a consumidores con preferencias de consumo más tradicionales.

Por último, otro de los formatos que nos encontramos en los análogos cárnicos son las simulaciones de los “Nuggets” de pollo. No existe una variedad tan grande de estos productos como ocurre en las hamburguesas. Aunque los motivos de su aceptabilidad entre los consumidores son su pequeño tamaño y versatilidad, haciendo que sean muy populares sobre todo entre la población más joven.

6. Experiencia real

Durante el curso 2019/2020 dos de mis compañeros y yo nos presentamos a la convocatoria de prototipos orientados al mercado de la red TCUE. Para dicha convocatoria presentamos un proyecto que consistió en la elaboración de una hamburguesa a base de texturizado de proteína de guisante. Gracias a la presentación de esta idea resultamos seleccionados, y tuvimos la oportunidad de desarrollar este proyecto.



FONDO EUROPEO DE
DESARROLLO
REGIONAL



CONVOCATORIA PROTOTIPOS ORIENTADOS AL MERCADO EN TCUE - CURSO 2019/2020

- Comisión de EVALUACIÓN -

Resultado Selección de candidaturas

Reunida la Comisión de selección el día 21 de enero de 2020, ha evaluado las propuestas presentadas en base a los siguientes criterios:

Criterio	Valor sobre el total
Curriculum Vitae y experiencia previa del estudiante o estudiantes promotores	20%
Memoria del proyecto: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Originalidad, creatividad y aspectos innovadores ✓ Posibilidades de explotación del prototipo y claridad en la presentación 	60%
Implicación empresarial en el desarrollo de la propuesta	20%

Solicitudes evaluadas y puntuación obtenida:

	Nº Registro	Solicitante/s	Centro/Instituto Universitario	Puntuación	
1	PROT-TCUE19-20_030	Javier Carolina	Sánchez García Agúndez Rodríguez	EPS de Zamora	8,83
2	PROT-TCUE19-20_009	Pablo	Pérez Sánchez	Facultad de Ciencias	8,49
3	PROT-TCUE19-20_038	Daniel	Ruiz González	Facultad de Ciencias	8,12

4	PROT-TCUE19-20_015	Sergio	González Moreno	ETSII de Béjar	7,57
5	PROT-TCUE19-20_016	Alina	Raboso	ETSII de Béjar	7,52
6	PROT-TCUE19-20_022	Pedro	García García	ETSII de Béjar	7,40
7	PROT-TCUE19-20_039	Rafael	Robledo Cuesta	Facultad de Economía y Empresa	7,20
8	PROT-TCUE19-20_008	Diego	Mateos Matilla	Facultad de Ciencias	7,17
9	PROT-TCUE19-20_014	Jorge	Herrera Santos	ETSII de Béjar	7,17
10	PROT-TCUE19-20_006	David	Peral García	Facultad de Ciencias	7,13
11	PROT-TCUE19-20_042	Jesús	Ruedas Caletrio	Facultad de Educación	7,10
12	PROT-TCUE19-20_004	Gonzalo Jorge Susana	Gómez Riesco Paniagua De Jesús García Cuadrado	EPS de Zamora	7,07

En el siguiente link se puede visualizar un video resumen del proyecto:
<https://tcue.usal.es/prototipos-orientados-al-mercado/fichas-prototipos-orientados-al-mercado/121-ficha-3>

La memoria del proyecto se expone a continuación:

Introducción

Actualmente, existe una creciente demanda de productos vegetales que sustituyen a la carne. Las tendencias alimentarias son cambiantes y tratamos de ofrecer una hamburguesa que encaje en dietas vegetarianas, celiacas y para todas aquellas personas aficionadas a las hamburguesas, que quieran seguir una dieta equilibrada sin renunciar al sabor de la carne.

Las hamburguesas que habitualmente se encuentran en los lineales de los supermercados poseen características nutricionales cuestionables: aceites trans, grasas saturadas, azúcares añadidos, aditivos artificiales, etc.

Pretendemos elaborar una hamburguesa saludable que se diferencie del resto. En temas de textura, las hamburguesas vegetales actuales que tratan de imitar la textura de la carne de pollo, no lo consiguen fielmente en comparación con las hamburguesas de carne vacuno. Queremos ser los primeros en conseguir solucionar este problema. Por último, se pretende hacer accesible el producto a cualquier lugar, persona y que, además, sea asequible. Es decir, por localización: pretendemos hacer llegar el producto a cada localidad, incluidos pueblos y no solo grandes ciudades; por

sociedad: es un producto apto para celíacos, constituye una opción más para incluir en sus dietas alimenticias; por economía: accesible a cualquier clase social a diferencia de las actuales que van dirigidas y se encuentran en tiendas especializadas con un precio superior.

En los siguientes apartados se describen los procesos que se siguen para poder obtener el producto final. Para poder llevarlo a cabo nos decidimos por ensayar diferentes recetas para elaborar la hamburguesa, y para poder comparar los resultados. Una vez descritas las recetas se pican todos los productos, del mismo modo que se pica la carne en las hamburguesas comunes, y se moldea con forma de circunferencia, dándole el aspecto de hamburguesa.

Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es elaborar una hamburguesa a partir de texturizado de guisante, que resulte atractiva desde un punto de vista nutricional y organoléptico, consiguiendo todo esto a bajo precio.

Además, se llevarán a cabo todos los análisis físicos del producto, con el fin de conocer todas sus características funcionales y organolépticas, a la vez que la comparamos con hamburguesas comunes.

Objetivos del proyecto

- ┌ Formular y elaborar una hamburguesa a partir de texturizado de guisante
- ┌ Plantear y obtener los ingredientes que se van a necesitar.
- ┌ Homogeneizar los ingredientes y procesar el producto.
- ┌ Analizar el producto desde el punto de vista físico químico.
- ┌ Lograr las cualidades deseadas del producto
- ┌ Generar un plan de empresa hipotético, con el cual poder llevar a cabo la comercialización del producto

Interés

La idea de presentar este proyecto resulta interesante ya que se ofrecen alternativas

al consumo de carne, con el impacto que su excesivo consumo tiene en el medio ambiente.

La OMS recomienda un consumo diario de 400 gramos de frutas y verduras para tener una dieta saludable, y reducir las enfermedades no transmisibles. Nuestro proyecto fomentaría el consumo de estos alimentos, sustituyendo a los productos cárnicos, ayudando a llegar a las cifras de consumo recomendadas

Motivación

Esto nos ha llevado a presentarnos a la convocatoria TCUE 2020 llenos de ganas de adquirir nuevos conocimientos, investigando e involucrándonos en un proyecto diferente a los que se suele hacer en el ámbito académico. Son varias las facetas en las que este proyecto resulta motivante para nosotros:

- Adquirir experiencia en el desarrollo de la investigación aplicada, siendo tutorados por verdaderas expertas en este ámbito con mucha experiencia a sus espaldas, lo que nos supone una oportunidad única para nuestro futuro.
- La posibilidad de desarrollar un proyecto con compañeros y amigos en un entorno beneficioso para fomentar el trabajo en equipo y desarrollarnos como personas y como futuros profesionales.
- La posibilidad de realización de nuestros TFGs a partir de este proyecto, ya que este es nuestro último año y podríamos usar este proyecto como base para el mismo.
- La posibilidad de realizar un proyecto que pueda ser reconocido.
- La posibilidad de realizar una investigación en el sector agroalimentario, el cual a cada uno de nosotros nos apasiona por distintos motivos y al que queremos dedicarnos, y que tiene mucho margen de desarrollo pudiendo aportar nuestro pequeño granito de arena.

Aspectos innovadores

El producto que se pretende elaborar posee un alto valor proteico (se usará proteína texturizada de guisante siendo las legumbres, uno de los vegetales con mayor contenido en proteínas), esto es destacable ya que las proteínas tienen las siguientes funciones: función estructural (nos ayudan a fabricar, regenerar y mantener nuestros tejidos), función enzimática y reguladora (actúan como biocatalizadores del metabolismo celular), entre otras. Esta proteína destaca por ser una gran fuente de arginina, aminoácido que puede mejorar la función inmunológica al aumentar el número de leucocitos. Puede también disminuir el colesterol, así como liberar la hormona del crecimiento: somatropina; puede reducir los niveles de grasa y facilitar

la recuperación muscular debido a que retira el amoníaco de los músculos y lo convierte en urea.

Al usar harinas de arroz y garbanzo en la elaboración, se combinan los diferentes aminoácidos que son aportados por las proteínas de cada uno de estos alimentos, completando la ingesta de aminoácidos esenciales aumentando el valor biológico de las proteínas, lo cual hace este alimento recomendable para dietas vegetarianas al no tener déficit en los mismos.

Estaríamos realizando un producto sin gluten, con lo que este producto sería apto para personas celiacas.

Es un alimento bajo en grasa, conteniendo grasas vegetales de buena calidad, ya que usaremos aceite alto oleico, que reduce el colesterol LDL que puede producir enfermedades cardiovasculares, aumenta el colesterol HDL que reduce el anterior, aporta tocoferoles (vitamina E) que tiene función antioxidante y proporcionando ácidos grasos monoinsaturados; que a diferencia de las actuales hamburguesas del mercado (con grasas mayoritarias saturadas), son grasas más saludables.

Con este producto pretendemos ofrecer una alternativa a los productos cárnicos reduciendo así el consumo de carne, lo cual reduce el impacto medioambiental que genera esta industria. Así mismo se consigue el aumento del cultivo de la legumbre en la zona y su consumo teniendo dos ventajas fundamentales:

- Beneficia los suelos agrícolas ya que los fertiliza fijando nitrógeno y en consecuencia reduce el uso de fertilizantes químicos.
- Al ser la segunda legumbre más cultivada de Castilla y León, sus costes de transporte serían menores que otras legumbres que se han de importar, promoviendo también el uso o consumo de las legumbres de origen español mejorando la economía de la zona.

Obtenemos un producto realmente saludable y atractivo.

Fases de desarrollo

- Estudio del mercado actual de productos similares: Se visitan distintos supermercados de la zona buscando productos similares para obtener información de sus características, ingredientes, etc.; se realizó también una búsqueda bibliográfica a través de internet, con el fin de ampliar la información de dichos productos y encontrar más ejemplos. Así mismo se realizó una revisión bibliográfica de trabajos científicos relacionados con este tipo de productos, tanto en cuanto a ingredientes como a producto final.
- Plantear ingredientes principales a usar, según los objetivos descritos: nos basamos en la información obtenida anteriormente para elaborar una lista de ingredientes que nos permite realizar nuestro producto consiguiendo las características deseadas.
- Buscar posibles proveedores de los ingredientes que hayamos decidido utilizar: Se visitaron distintos supermercados de la zona con el fin de encontrar estos ingredientes al menor precio posible, y se preguntaron a empresas especializadas sobre la obtención de ingredientes más específicos (proteína texturizada de guisantes) y su posible colaboración en el proyecto.

- Decisión formulaciones, con las cantidades a usar: basándonos en el estudio de mercado, fijaremos los ingredientes. Se elaboraron las siguientes recetas para la elaboración de las hamburguesas, elaboramos las hamburguesas control, y las hamburguesas prototipo:

- **Hamburguesa control 1.:** Carne de pollo
- **Hamburguesa control 2.:** Carne de pollo y harina de arroz y garbanzo
- **Hamburguesa texturizado 3.:** Texturizado de guisante previamente hidratado
- **Hamburguesa texturizado 4.:** Texturizado de guisante previamente hidratado, con harina de arroz y garbanzo
- **Hamburguesa texturizado 5.:** Texturizado de guisante picado e hidratado
- **Hamburguesa texturizado 6.:** Texturizado de guisante picado e hidratado, con harina de garbanzo y arroz

Para completar la receta se utilizó:

- carne o el texturizado
- tomate o tomate más harina dependiendo de si a la elaboración se le añade harina
- cebolla y pimiento picados
- ajo en polvo
- aceite de oliva
- sal
- pimienta

- Ensayar y modificar las formulaciones propuestas para elegir la mejor alternativa: Llevamos a cabo las distintas alternativas escogiendo la que estimemos que cumple mejor los objetivos y pudiendo ser modificada en cualquier momento.
- Realizamos los análisis del alimento pertinentes (físicoquímico, sensorial, etc.): Con el fin de conocer las características cualitativas y cuantificables del producto obtenido, y cumplir la legislación vigente.
- Comparamos los resultados con el principal competidor del mercado: Con objeto de ver las diferencias y similitudes con el producto ya existente y ver si se puede competir contra él.
- Redactamos una propuesta industrial: Proponer los distintos equipos, maquinaria, instalaciones, cantidades de materia prima y aditivos necesarios para realizar el producto en una empresa real a gran escala.
- Generar un plan de empresa

Especificaciones técnicas

Para conocer en profundidad nuestro prototipo le realizamos diversos análisis, para

compararlo con las hamburguesas control, para ver las similitudes y diferencias con las hamburguesas convencionales.

Para realizar la estadística de todos los valores obtenidos usamos el programa SPSS, que nos divide las diferentes muestras analizadas en subconjuntos según la similitud entre ellas. En cada una de las gráficas se ha asignado una letra a cada muestra para representar estos subconjuntos desde la a' hasta la e' en función del número de subconjuntos que se han formado.

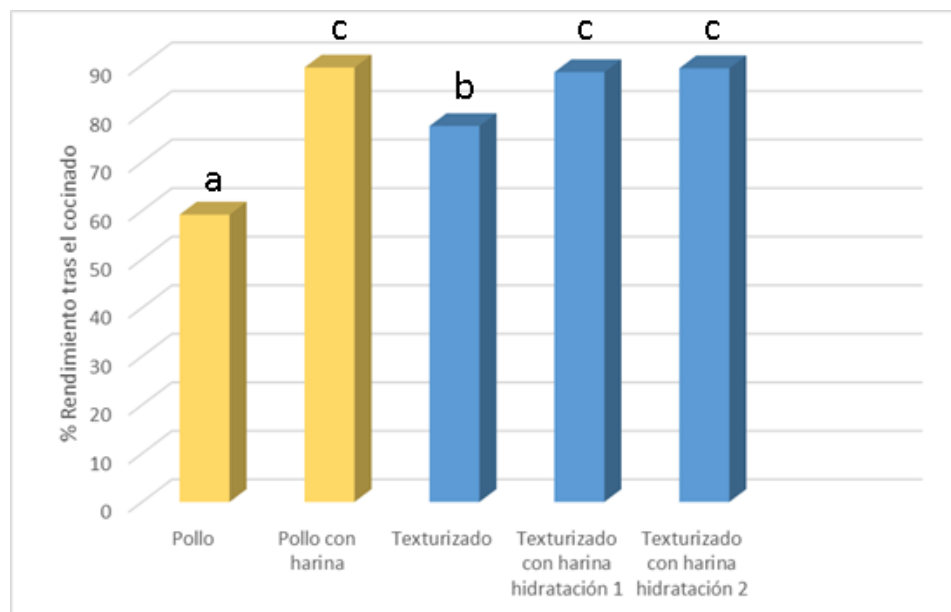
Análisis realizados:

Rendimiento:

Este análisis pone refleja la cantidad de agua que puede retener la hamburguesa tras el cocinado

N.º de código:

- 1: Hamburguesa de pollo
- 2: Hamburguesa de pollo con harina de garbanzo y arroz
- 3: Hamburguesa de texturizado hidratado y picado
- 4: Hamburguesa de texturizado hidratado y picado más harina de arroz y garbanzo
- 5: Hamburguesa de texturizado picado e hidratado más harina de arroz y garbanzo

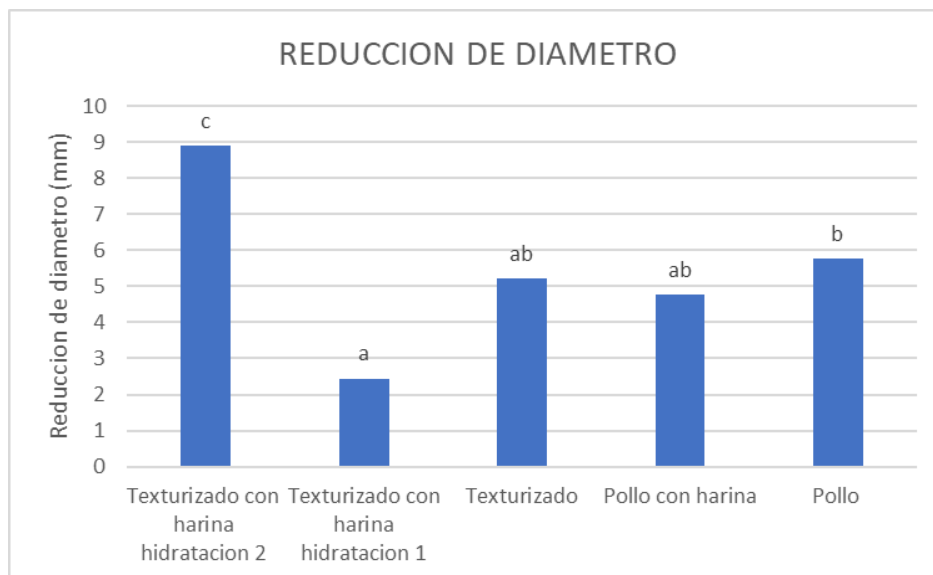


Esto pone de manifiesto que se la incorporación de harina de garbanzo y de arroz permite mejorar el rendimiento obtenido durante el cocinado de las hamburguesas, permitiendo que estas tengan menos pérdidas de agua durante el cocinado.

Además, el rendimiento es mayor al utilizar texturizado que al utilizar carne de pollo, pero estas diferencias se diluyen sin se incorporan harinas a la mezcla.

Reducción de diámetros

Este análisis lo realizamos para observar la capacidad que tiene la hamburguesa para mantener su integridad y su forma tras el cocinado.



Se observa que la hamburguesa con texturizado con harina hidratación 1 es la que menos ha reducido su diámetro durante el cocinado, lo que puede indicar que mantendrá su integridad al ser cocinada. A su vez podemos observar que la reducción de diámetro entre el texturizado, el pollo, y el pollo con harina son similares entre si. La adición de harina en este caso no es un factor determinante para mejorar el resultado.

Medida del color

Para medir el color utilizamos el espacio de color CIE L*a*b* (CIELAB), que es el modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede

percibir el ojo humano, donde:

- L: Luminosidad de color
+L= más luminosidad = más claro
-L= menos luminosidad = más oscuro
- Parámetro a*:
+a*= más rojo
-a*= menos rojo
- Parámetro b*:
+b*= más amarillo
-b*= menos amarillo

Hamburguesas crudas

N.º de código:

1: Texturizado de guisante
(Materia prima)

2: Hamburguesa de pollo

3: Hamburguesa de pollo con harina de garbanzo y arroz

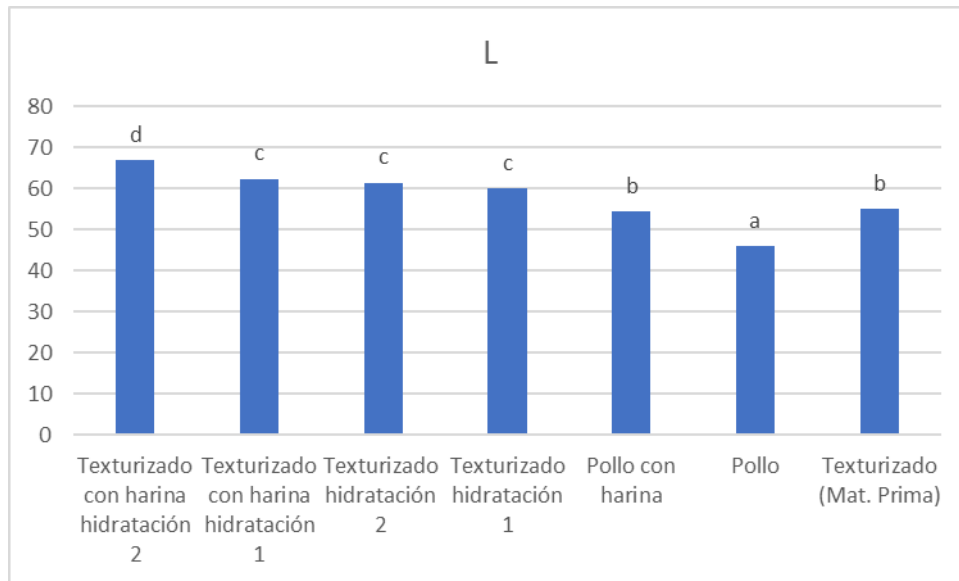
4: Hamburguesa de texturizado hidratado y picado (Hidratación 1)

5: Hamburguesa de texturizado hidratado y picado más harina de arroz y garbanzo (Hidratación 1)

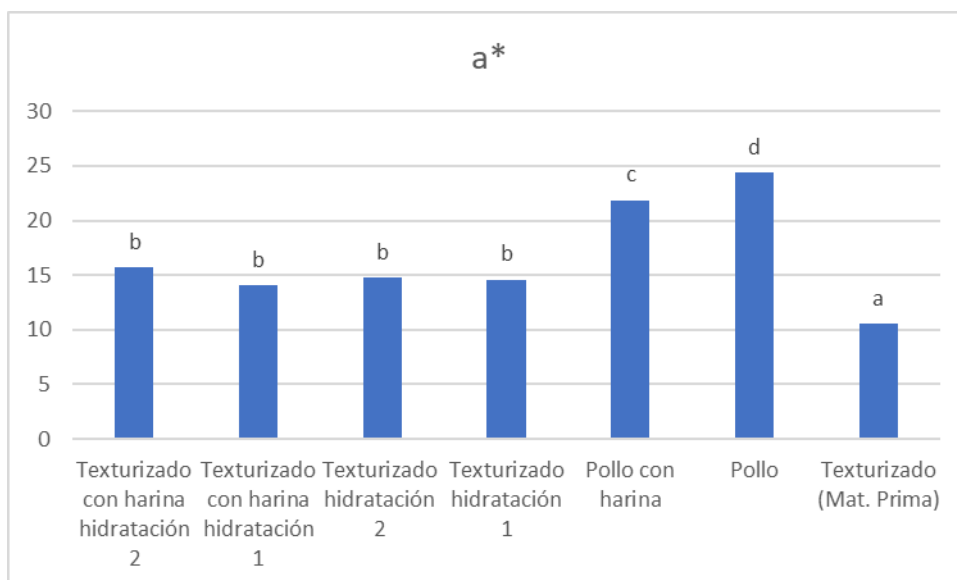
6: Hamburguesa de texturizado picado e hidratado (Hidratación 2)

7: Hamburguesa de texturizado picado e hidratado más harina de arroz y garbanzo (Hidratación 2)

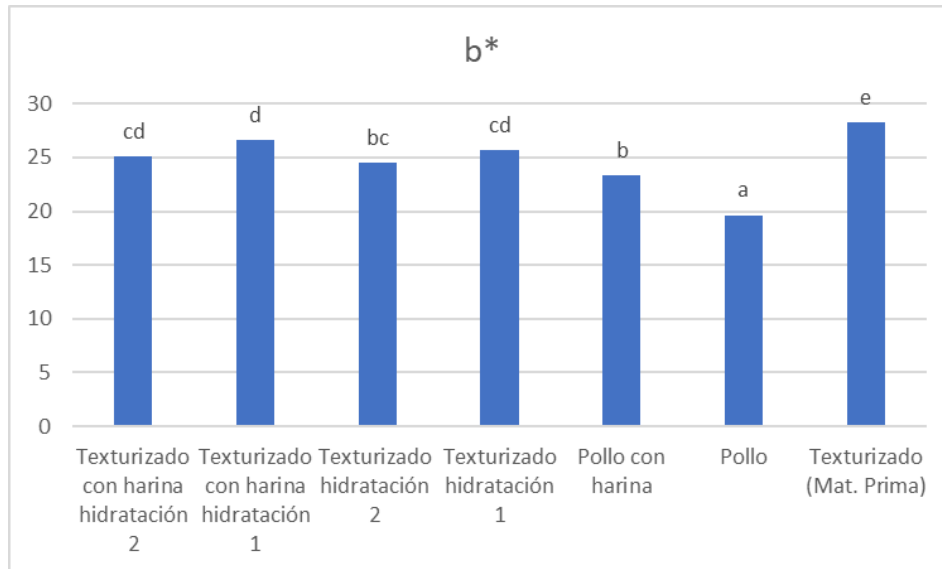
Resultados:



Podemos concluir que en cuanto al parámetro L son muy similares la materia prima con la hamburguesa de pollo con harina. Todas las muestras de texturizado son semejantes, salvo la de texturizado con harina de hidratación 2. Además, cabe destacar que la hamburguesa de pollo es más oscura que las demás hamburguesas.



Podemos observar que en las hamburguesas de texturizado el color tiende a tonos menos rojos, que en las hamburguesas a partir de pollo. En este parámetro todos los texturizados son similares.



En este caso podemos observar que la hamburguesa de texturizado de hidratación 2 es similar a la de pollo con harina, y el resto de texturizados son similares entre ellos, siendo todos más amarillos que las hamburguesas de pollo.

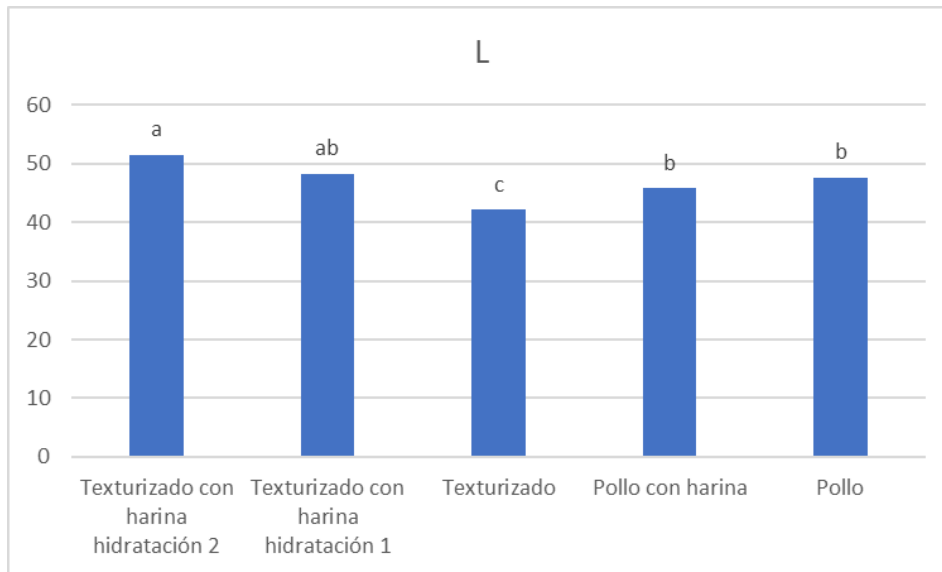
Conclusiones

Con los resultados obtenidos, entre todos los parámetros observamos que, en cuanto al color en crudo, las hamburguesas de texturizado no se asemejan a la hamburguesa de pollo, pero si en las mezclas incluimos las harinas estas diferencias se atenúan.

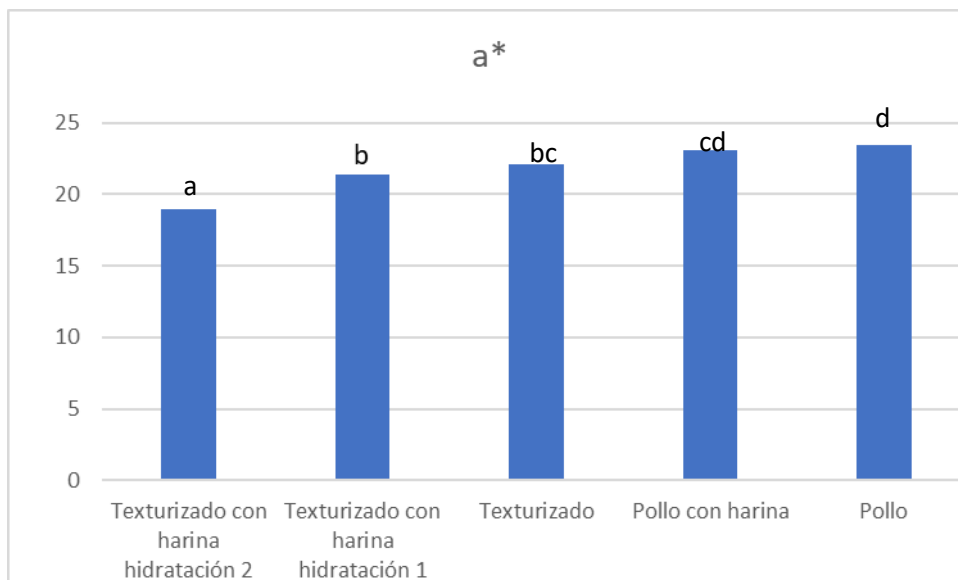
Cocinadas

- 1: Hamburguesa de pollo
- 2: Hamburguesa de pollo con harina de garbanzo y arroz
- 3: Hamburguesa de texturizado hidratado y picado (Hidratación 1)
- 4: Hamburguesa de texturizado hidratado y picado más harina de arroz y garbanzo (Hidratación 1)

5: Hamburguesa de texturizado picado e hidratado más harina de arroz y garbanzo (Hidratación 2)

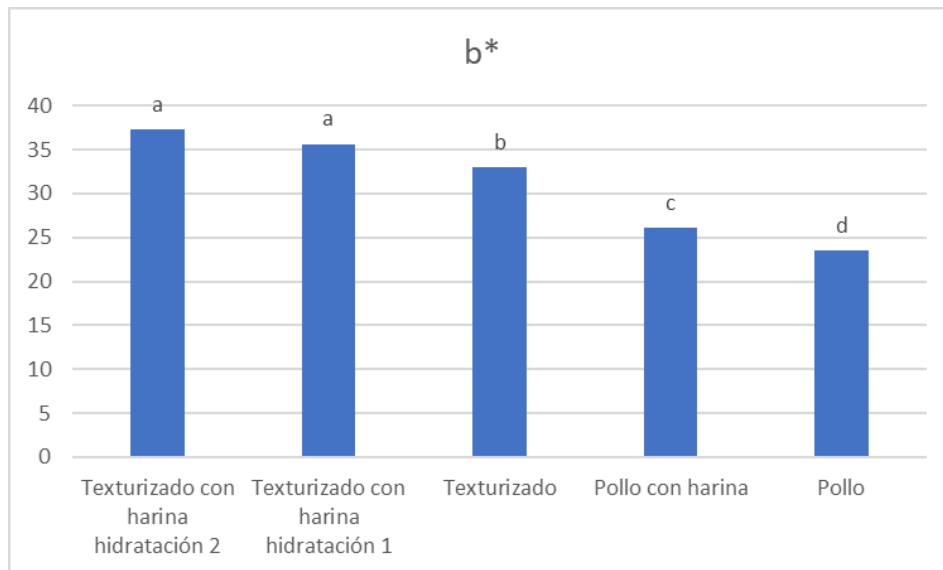


En cuanto a la luminosidad podemos observar que la hamburguesa con texturizado con harina de hidratación 1 es similar a ambas hamburguesas de pollo, y a su vez a la hamburguesa de texturizado con harina de hidratación 2. La hamburguesa de texturizado es más oscura que las demás hamburguesas.



Aquí podemos observar que la hamburguesa de texturizado es similar a la hamburguesa de pollo con harina. De la misma forma la hamburguesa de pollo es la

que más tiende al rojo, mientras que la hamburguesa de texturizado con harina de hidratación 2 es la que menos.



En este parámetro se observa el parecido entre las hamburguesas que llevan harina, y que las hamburguesas de pollo tienden menos al amarillo que las de texturizado.

Conclusiones

Una vez cocinadas todas las hamburguesas las diferencias de color son menores que en crudo, destacando que la hamburguesa de texturizado con harina de hidratación 2 es la que más se diferencia con las hamburguesas de pollo, y los otros dos texturizados se acercan bastantes a los valores de color del pollo.

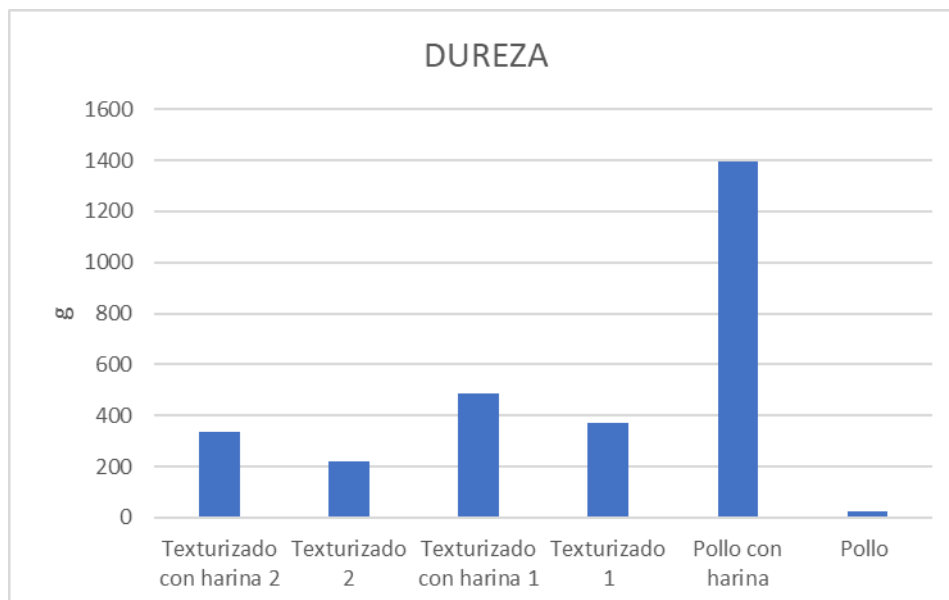
Análisis de textura

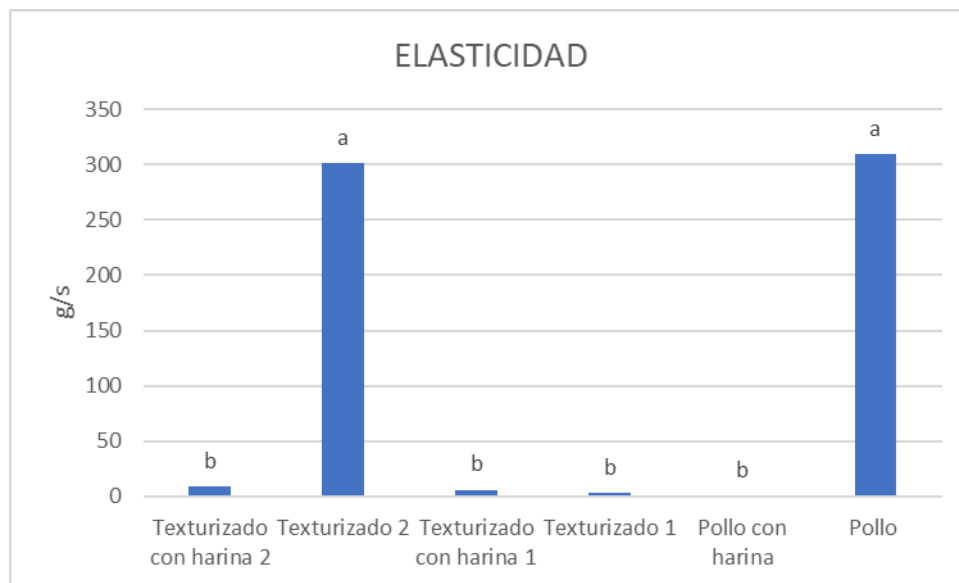
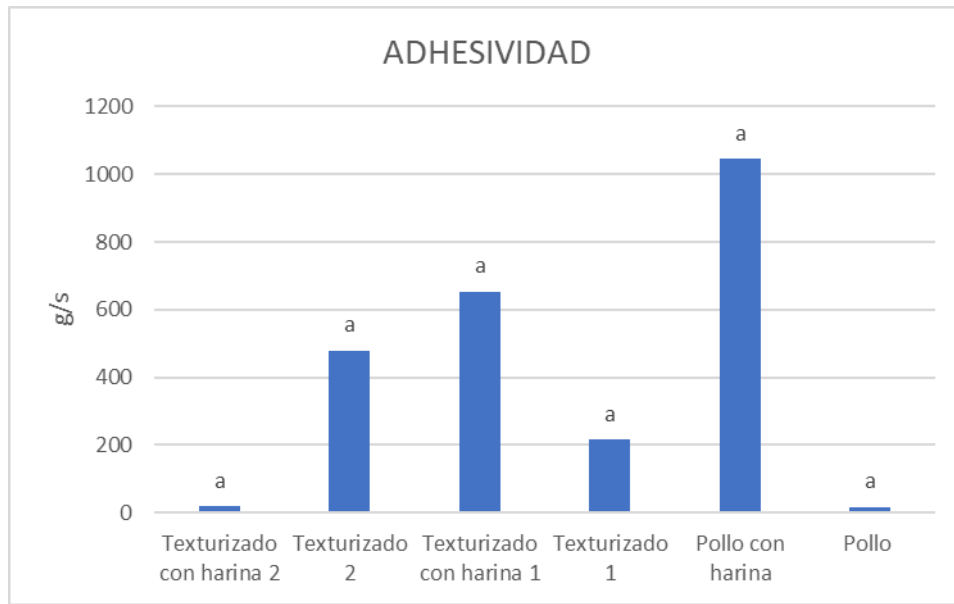
Para este análisis utilizamos un texturometro para alimentos, el cual simula la mordida de una persona y nos ofrece distintos parámetros (Dureza, Fracturabilidad, Adhesividad, Elasticidad, Cohesividad y Gomosidad):

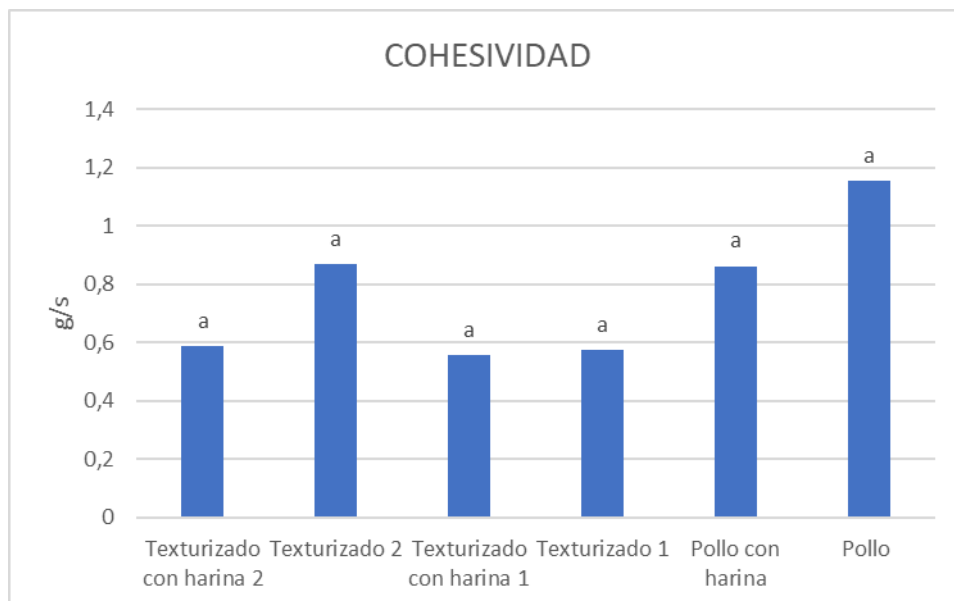
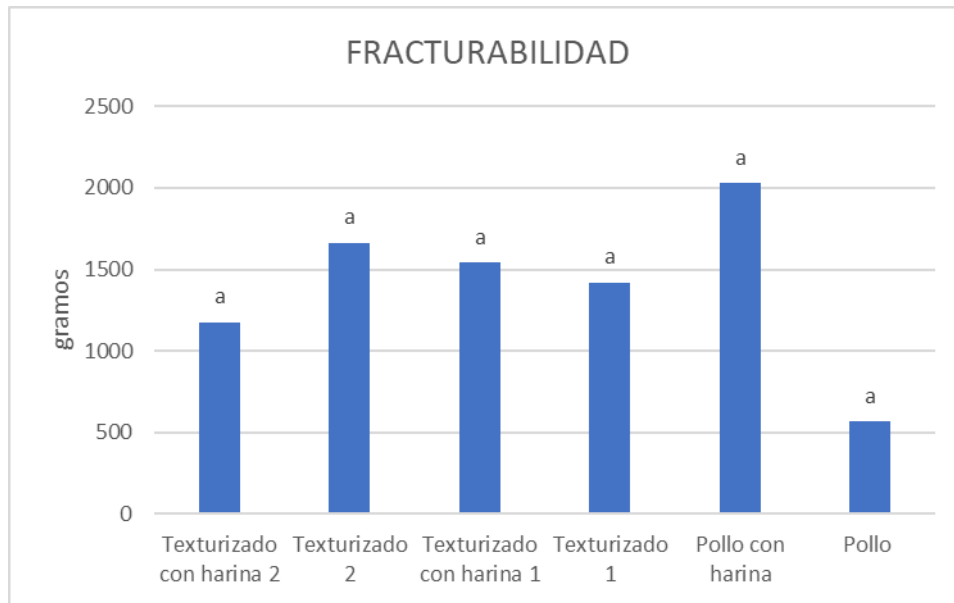
Textura de hamburguesas en crudo

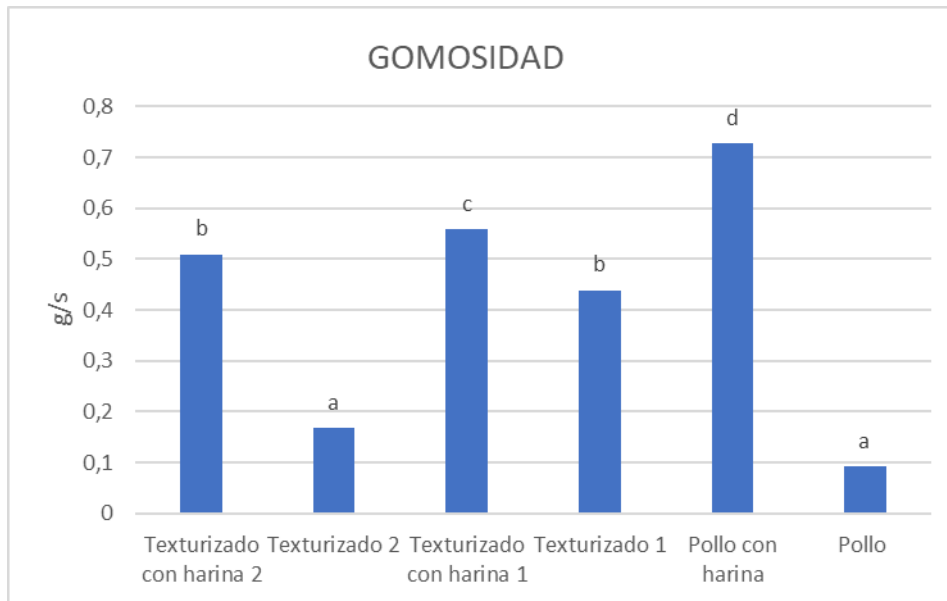
N.º de código:

- 1: Hamburguesa de pollo
- 2: Hamburguesa de pollo con harina de garbanzo y arroz
- 3: Hamburguesa de texturizado hidratado y picado (hidratado 1)
- 4: Hamburguesa de texturizado hidratado y picado más harina de arroz y garbanzo (hidratado 1)
- 5: Hamburguesa de texturizado picado e hidratado (hidratado 2)
- 6: Hamburguesa de texturizado picado e hidratado más harina de arroz y garbanzo (hidratado 2)









CONCLUSIÓN

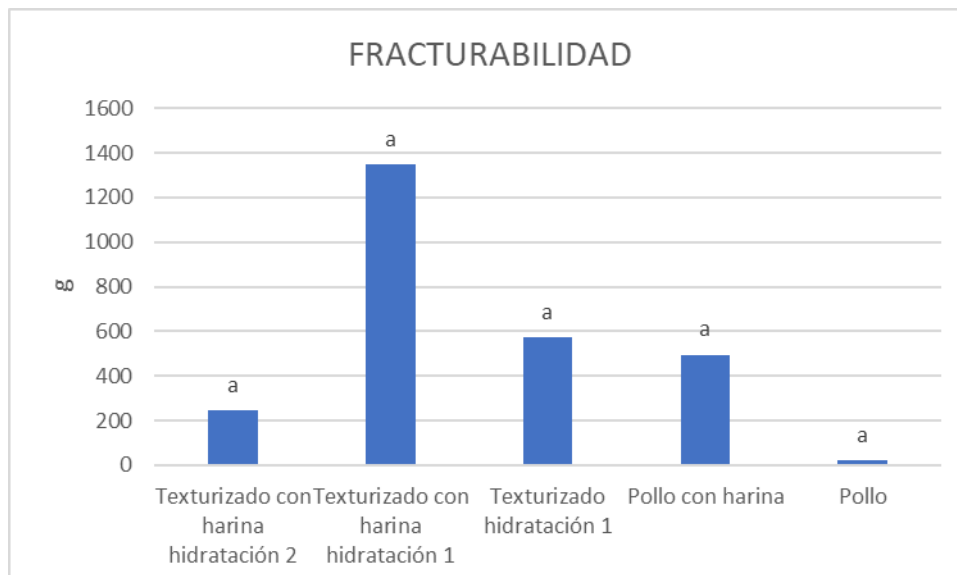
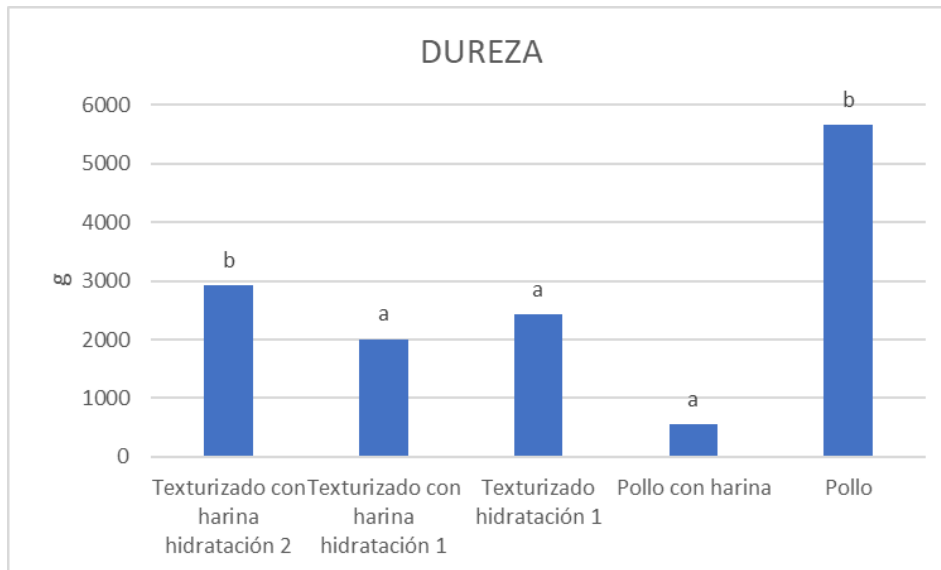
Observando los resultados de los distintos parámetros expuestos anteriormente podemos concluir que todas las hamburguesas son bastante diferentes entre ellas, y la que más se acercaría a la hamburguesa de pollo convencional sería el texturizado con hidratación 2. En este caso la adición de harinas al producto provoca un aumento de la dureza, y la gomosidad en el producto. Las hamburguesas hechas a partir de texturizado tienen valores de fracturabilidad más bajos. Como estos resultados son en crudo estos resultados de textura no son demasiado relevantes.

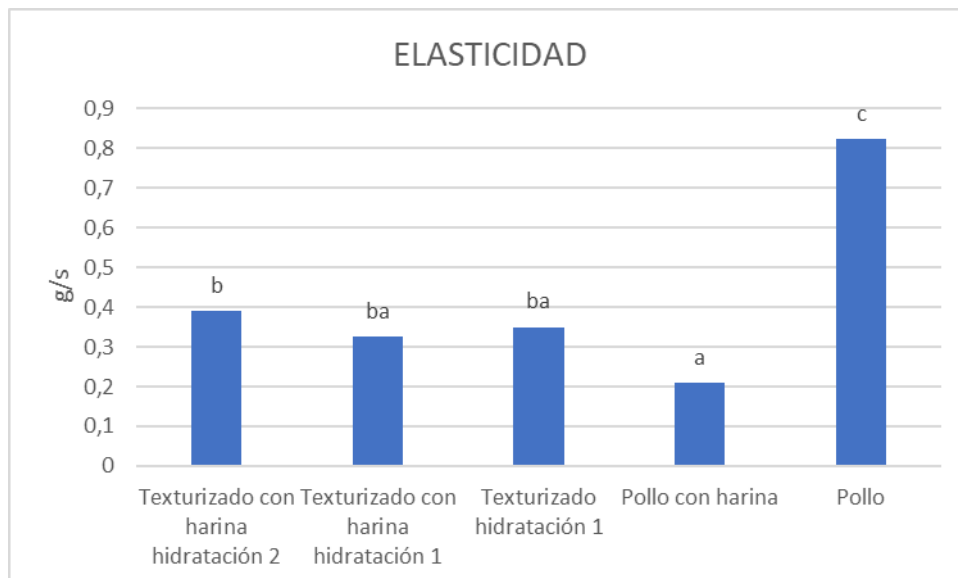
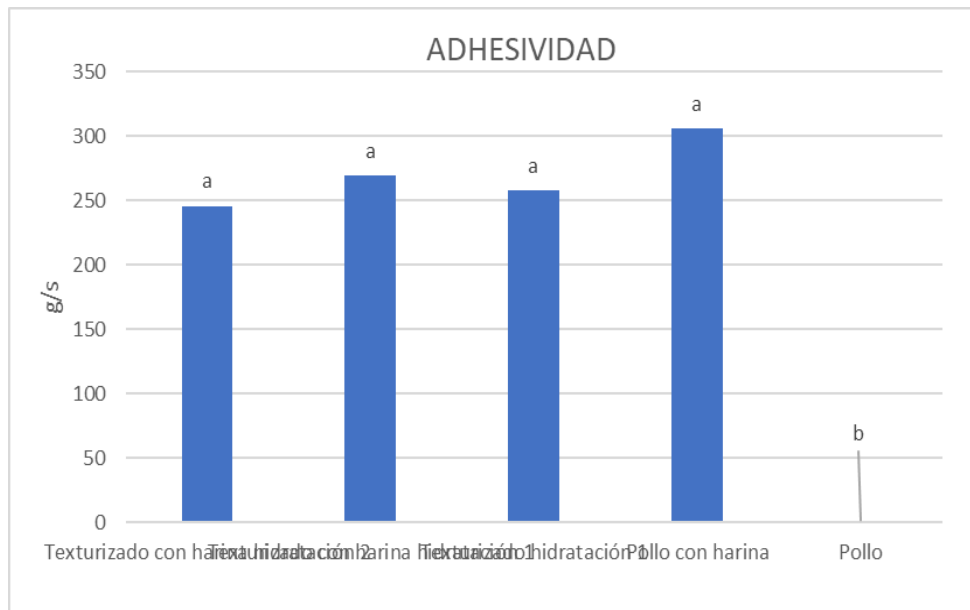
Textura de las hamburguesas cocinadas

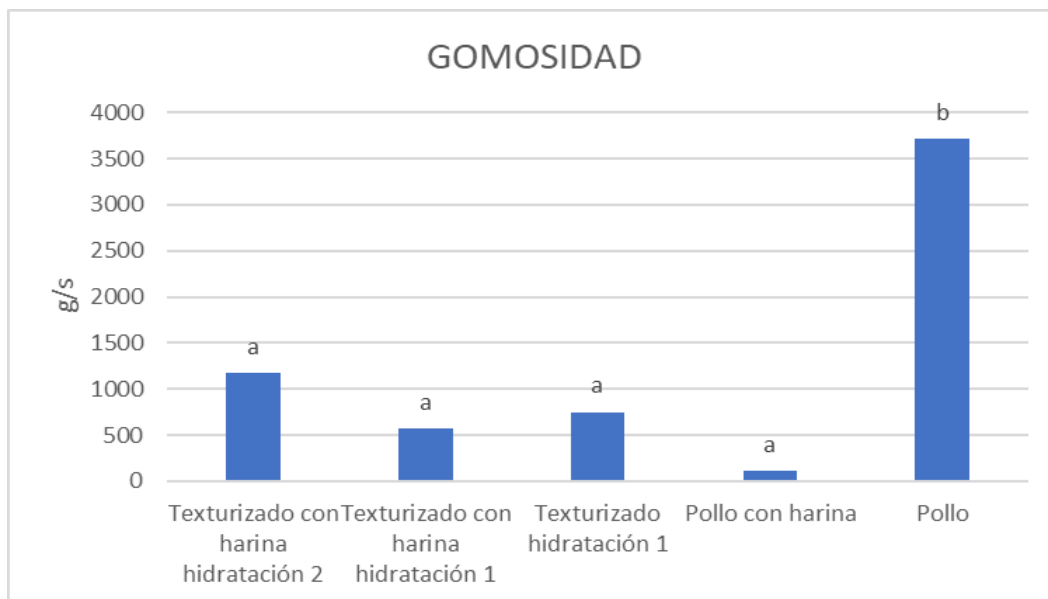
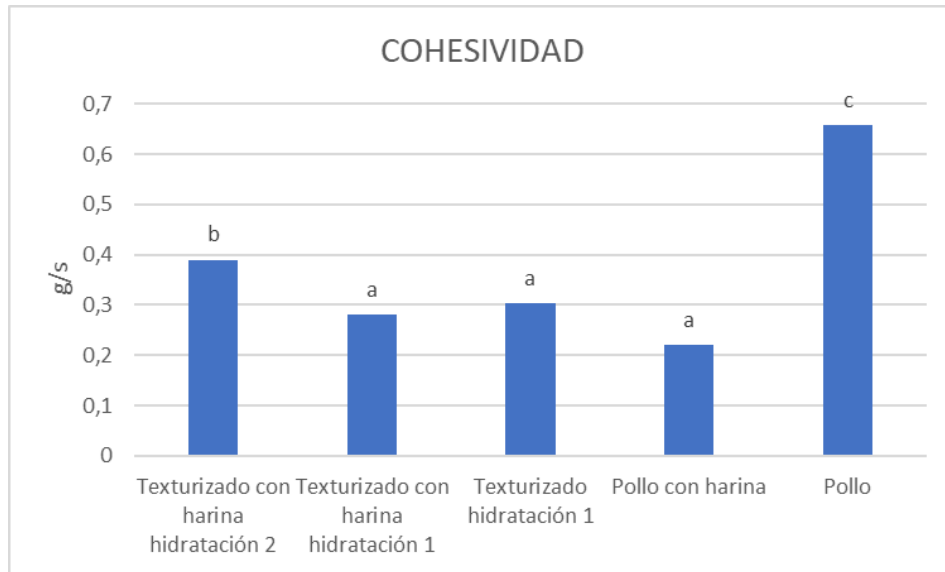
N.º de código:

1: Hamburguesa de pollo

- 2: Hamburguesa de pollo con harina de garbanzo y arroz
- 3: Hamburguesa de texturizado hidratado y picado (Hidratación 1)
- 4: Hamburguesa de texturizado hidratado y picado más harina de arroz y garbanzo (Hidratación 1)
- 5: Hamburguesa de texturizado picado e hidratado más harina de arroz y garbanzo (Hidratación 2)







Conclusión

Observando los resultados obtenidos podemos concluir que los valores en todos los parámetros para las hamburguesas de texturizado son bastante parecidos a la hamburguesa de pollo con harina, salvo dos excepciones que son la hamburguesa de texturizado con harina de hidratación 1 en el parámetro de fracturabilidad. Y en el parámetro dureza, la hamburguesa de pollo con harina es más blanda que los texturizados. Las elaboraciones a las que se le incorpora la harina poseen más adhesividad ayudando así a mantener su integridad después del cocinado.

Conclusiones generales

Podemos concluir las diferentes hamburguesas de texturizados se pueden asemejar a la hamburguesa de pollo tradicional, sobre todo cuando se le añade harina a la formulación, dando productos más parecidos de los que se venden actualmente. Conseguimos valores que simulan la hamburguesa de pollo, y además obtenemos otras características que pueden resultar interesantes, como los parámetros de gomosidad y dureza que son más bajos, dejando mejores sensaciones en la masticación. En cuanto a los resultados de color obtenemos valores más amarillos, dando a las hamburguesas colores más naturales, alejados de los colores rojos artificiales que los métodos industriales producen actualmente.

Otra cosa a tener en cuenta sería que, tanto la utilización de texturizados como de harinas en la formulación nos produciría más beneficios al aumentar considerablemente el rendimiento, importante desde el punto de vista económico.

Análisis de mercado

Satisfacemos la demanda de productos vegetarianos y veganos cada vez más creciente entre la población. Nuestro producto será comprado, por los clientes debido a que cubrimos esa necesidad a la mejor calidad-precio, con un producto saludable y accesible, con productos nacionales. El mercado al que nos dirigimos englobaría a todo el ámbito nacional, especialmente en ciudades capitales de provincia.

Perfil de los clientes a los que nos dirigimos:

Cliente	Perfil Demográfico, socioeconómico, y psicográfico
----------------	--

Supermercado	Cadenas de supermercados de ámbito nacional, regional y local. Productos destinados al cliente final.
Cliente online	Destinado a población con acceso a internet cuyo perfil demográfico engloba 16-55 años aproximadamente, de cualquier nivel adquisitivo y con intereses medioambientales, éticos, preferencias por productos vegetales, etc.
Restaurantes	Establecimientos que quieran incorporar estos productos como novedad en sus menús, aportando alternativas a aquellas personas que consuman este tipo de alimentos. También, destinado a locales con su totalidad de carta formada por productos de este tipo.

Competencia de mercado

Competidor	Directo / Producto sustitutivo	Descripción
Beyond Burger	Directo.	Fabrica hamburguesas, basadas en proteínas de guisantes, soja que imitan a carnes de pollo y de vacuno. El precio de sus productos es de 27.37€/kg. La capacidad productiva de esta empresa es de aproximadamente 3 millones de Kilogramos al año. En el año 2019 los ingresos fueron de 297.9 millones de dólares. (marketwatch.com). La cuota de mercado se sitúa en el 4.5% (“el confidencial/mercados/”)
Nestlé	Directo	Fabrica hamburguesas veggies con mezcla de proteínas de soja y trigo. El precio de su producto es de 23.53€/kg. El volumen de facturación de Nestlé se sitúa en los 1900 millones de dólares. (Nestle.com/anualreport/)

<p>Impossible foods</p>	<p>Directo</p>	<p>Fabrica hamburguesas vegetales, basadas proteínas de trigo y soja. Esta empresa es una gran distribuidora de producto a empresas de restauración y supermercados. Tiene un volumen de entre 100-500 millones de dólares. La cuota de mercado está en el 5%. (infact.com/company)</p>
--------------------------------	----------------	---

Creación de la empresa

Pretendemos crear una empresa basándonos en la fabricación y venta de hamburguesas vegetales tanto de venta directa a través de internet, como a venta a intermediarios como restaurantes o supermercados, los beneficios se obtendrían en función del número de unidades vendidas.

La empresa está situada en el sector secundario, concretamente en el agroalimentario. Actualmente hay un incremento en el consumo de todo tipo de análogos de carne.

La política de nuestra empresa se basa en valores de no agresión al medio ambiente, usando energías renovables para el sistema de producción. Respetamos la materia prima, y al sector primario del que proviene. Ofrecemos un trato cercano al cliente, resolviendo todos los problemas que nos planteen. Nos preocupamos por la salud de nuestros clientes. Nos comprometemos a proporcionar un producto de calidad.

Nuestro producto ofrece nuevas alternativas más saludables, ya que las grasas son ricas en ácidos grasos monoinsaturados y polinsaturados. Es apta tanto para veganos, como para celíacos, utiliza solamente proteína de guisante, guisantes solamente cultivados en España, una buena calidad-precio, y una relación cliente-empresa directa y de confianza.

La forma jurídica de la empresa será una sociedad limitada, que estará situada en Zamora, y la actividad económica se llevará a cabo dentro de la comunidad autónoma de castilla y León.

El equipo que forma la empresa está constituido por:

- ┌ Un director general
- ┌ Un responsable de calidad
- ┌ Un jefe de producción
- ┌ Dos comerciales
- ┌ Un administrativo

La inversión inicial constara de 15000€ de capital propio, 2000€ de becas y ayudas, y 35000€ de préstamos bancarios.

La amortización de la maquinaria necesaria está prevista para un plazo de 20 años.

El proyecto es viable según el estudio económico financiero, y los beneficios aumentaran cuantas más unidades se vendan.

DAFO

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Calidad de producto excepcional	Pocos recursos iniciales
Producto más saludable que la competencia	Poca variedad de productos
Trato cercano con clientes y proveedores	Falta de experiencia empresarial
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
Aprovechamos una tendencia de consumo	Competencia con experiencia
La sociedad se interesa por la salud y el bienestar	Situación económica desfavorable actual (Covid-19)
Apoyo de la Universidad al emprendimiento	Presión tributaria

Resumen del plan económico

Ingresos por ventas

Ingresos por ventas	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Productos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mercadería	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Servicios	288.000,00	332.640,00	384.489,60	444.660,48	513.029,40
TOTAL	288.000,00	332.640,00	384.489,60	444.660,48	513.029,40

Compras

Compras	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Materias Primas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mercadería	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Servicios	57.600,00	66.528,00	76.665,60	88.165,44	101.200,32
TOTAL	57.600,00	66.528,00	76.665,60	88.165,44	101.200,32

Sueldos y salarios

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Sueldos y salarios	138.000,00	161.280,00	189.027,30	215.028,71	242.433,30
Seguridad social	36.980,00	43.731,80	51.845,21	59.392,99	67.350,11
Otros costes salariales	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Incentivos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Total	174.980,00	205.011,80	240.872,51	274.421,69	309.783,41
--------------	------------	------------	------------	------------	------------

Gastos por servicios exteriores

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Arrendamientos	6.000,00	6.300,00	6.615,00	6.945,75	7.293,04
Reparación y conservación	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Serv. prof. independientes	3.600,00	3.780,00	3.969,00	4.167,45	4.375,82
Primas de seguros	200,00	210,00	220,50	231,53	243,10
Suministros	4.000,00	4.200,00	4.410,00	4.630,50	4.862,03
Gastos de viaje	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Comisiones	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Publicidad y promoción	18.200,00	23.400,00	15.600,00	14.040,00	14.040,00
Otros gastos	6.240,00	6.552,00	6.879,60	7.223,58	7.584,76

Total Servicios Exteriores	38.240,00	44.442,00	37.694,10	37.238,81	38.398,75
-----------------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Total Deudas

	E.F.P.	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Total Deudas	0,00	52.024,36	43.942,89	35.751,81	27.447,24	19.025,14

7. CONCLUSIONES

- El guisante es un cultivo que está adaptado a los climas templados, por lo que su cultivo está extendido por muchas regiones del mundo. En los últimos años ha habido una tendencia de subida en la producción de guisante a nivel mundial y nacional. Dentro de nuestro país, el mayor productor de guisante seco es nuestra comunidad, Castilla y León. La gran mayoría de la producción de guisante seco está destinada a la alimentación animal para la elaboración de piensos.
- El guisante es una leguminosa que está compuesto fundamentalmente por carbohidratos, proteína, fibra y grasa. Los guisantes poseen una gran cantidad de proteínas. La fracción mayoritaria de las proteínas del guisante son las globulinas, y dentro de estas poseen un mayor contenido en vicilinas que en leguminas. En la composición de aminoácidos destacan en arginina, leucina, lisina y los ácidos glutámico y aspártico. Los guisantes no tienen valores muy altos de factores antinutricionales. En particular, poseen valores bajos de inhibidor de proteasas en comparación con otras legumbres.
- Las proteínas poseen una serie de propiedades funcionales, las cuales tienen un gran interés tecnológico en la industria. La mayoría de los concentrados proteicos que se obtienen son de origen animal, como los del huevo, derivados lácteos y pescado, o de origen vegetal como los de la soja. Los concentrados proteicos como los del guisante son cada vez más usados ya que se buscan alternativas a los usados tradicionalmente. Los concentrados proteicos del guisante tienen una serie de propiedades funcionales que variarán dependiendo de la variedad de guisante utilizada y el método de extracción utilizado. La solubilidad de los concentrados proteicos del guisante es muy elevada (90%). En cuanto a la propiedad de absorción de agua, se obtienen valores que casi triplican el peso inicial. Una de las propiedades en la que destacan los concentrados de proteína de guisante es en la alta capacidad que poseen de estabilizar emulsiones gracias a su alto contenido en vicilinas. Además, tienen gran capacidad de gelificación. Todas estas propiedades funcionales hacen que los concentrados de proteína de guisante se puedan aplicar en la industria en muchos ámbitos, como en la elaboración y fortificación de productos de repostería; o la aplicación en la texturización de las

proteínas, sustituyendo total o parcialmente a las fuentes de proteínas que se vienen usando tradicionalmente.

- La aplicación de la extrusión para la texturización de proteínas vegetales bajo unos parámetros específicos ha permitido la obtención de productos con un alto valor nutritivo y unas buenas propiedades físicoquímicas con los cuales se ha logrado la elaboración de nuevos alimentos. El proceso de extrusión aporta una serie de beneficios a la calidad de los productos. Durante el proceso de extrusión se puede lograr la desactivación de ciertos compuestos antinutricionales presentes en los vegetales, como los inhibidores de proteasas, fitatos o taninos. La desactivación de estos componentes permite aumentar la digestibilidad de las proteínas y la biodisponibilidad de minerales. La texturización de las proteínas mediante la extrusión de baja humedad da como resultado productos con una estructura alveolar e irregular con una baja humedad. Este tipo de extruidos suelen rehidratarse y utilizarse como extensores cárnicos. El desarrollo de la técnica de la extrusión de alta humedad en la proteína de guisante ha permitido obtener extruidos con una estructura fibrosa muy similar al músculo cárnico. Esta estructura fibrosa es estabilizada por las interacciones que se dan entre las proteínas, y particularmente al entrecruzamiento de los enlaces disulfuro. Como en esta técnica se ha demostrado que no afecta al contenido en aminoácidos, los productos obtenidos tienen una gran calidad.
- Hasta hoy la mayoría de la investigación en la elaboración de análogos cárnicos se ha basado en la utilización de la soja como fuente de proteínas. El guisante ha demostrado poseer un gran potencial como materia prima para la elaboración de estos productos gracias a las propiedades tecnofuncionales que tiene y a la aplicación de distintos procesos de extrusión, que han logrado obtener texturas fibrosas que permiten su uso en la elaboración de análogos cárnicos de gran calidad.

Después de la elaboración de este trabajo he podido concluir que:

- El uso del guisante como materia prima para la elaboración de análogos cárnicos aumentaría su valor añadido, ya que actualmente dedica la mayoría de la producción a alimentación animal. Se destinarían mayores superficies de cultivo

al guisante, con los beneficios medioambientales que supone el cultivo de las legumbres.

- La elaboración de estos productos con proteína de guisantes aportaría alternativas a los elaborados a partir de proteínas de soja o cereales. Por lo tanto, aumentaría el consumo de análogos cárnicos, ya que la soja y los cereales tienden a provocar alergias a muchas personas, por lo que se ampliaría el rango de consumidores de estos productos. Además, la sustitución de la soja por el guisante para la elaboración de estos productos reduciría la huella de carbono que supone la importación de la soja a nuestro país. Por lo tanto, se obtendrían productos de “kilómetro 0”, ya que nuestra comunidad es una gran productora de guisante seco.

Bibliografía

- Adamidou, S., Nengas, I., Nikolopoulou, D. (2011). Chemical composition and antinutritional factors of field peas (*Pisum sativum*), Chickpeas (*Cicer arietinum*), and faba beans (*Vicia faba*) as affected by extrusion preconditioning and drying temperatures. *Cereal chemistry*.88(1): 80-86
- Adebiyi, A., Aluko, R.E. (2011). Functional properties of protein fractions obtained from commercial yellow field peas (*Pisum sativum* L.) seed protein isolate. *Food chemistry*, 128, 902-908.
- Akdogan, H. (1999). High moisture food extrusion. *International journal of food science and technology*. 34, 195-207.
- Alonso, R., Rubio, L., Marzo, F. (2001). The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals. *Animal food science and technology*. 94: 1-13.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. 4ª Edición: Pearson educación de México, S.A.
- Ballarin Val, J. (2012). Comparación agronómica de dos sistemas de manejo de plagas en el cultivo de guisante. (Trabajo fin de carrera; Universidad de Huesca). Recuperado de: <https://zaguan.unizar.es/record/9927/files/TAZ-PFC-2012-830.pdf>
- Barac, B., Pesic, B., Kostic, Z. (2015). Techno-functional properties of pea (*Pisum sativum*) protein isolates- A review. *APTEFF*, 46, 1-269. Doi: 10.2298/APT1546001B.
- Barac, B., Cabrilo, S. Pesic, B., Ristic, N. (2011). Functional properties of pea (*Pisum sativum*) modified with chymosin. *Int. J. Mol. Sci.* 12, 8372-8387. Doi: 10.3390/ijms12128372.
- Beck, S., Knoerzer, K., Emin, M., Arcot, J. (2017). Effect of different heat treatment applied shear on secondary structure, molecular weight distribution, solubility and rheological properties of pea protein isolate as investigated by capillary rheometry. *Journal of food engineering* 208. 66-76.
- Boye, J.I., Aksay, S., Roufik, S., Mondor, M., Farnworth, S.H. (2009). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation

- techniques. Food research international 43 (2009) 537-546. doi:10.1016/j.foodres.2009.07.021.
- Boye, J., Zare, F., Pletch, A. (2010). Pulse porteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. Food research international 43: 414-431. doi:10.1016/j.foodres.2009.09.003
 - Burguer, G., y Zhang, Y. (2019). Recent progress in the utilization of pea protein as an emulsifier for food applications. Trends in food science and technology 86, 25-33.
 - Bohrer, M. (2019). An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. Food science and human wellness. 8: 320-329
 - Cantoral, R., Fernandez-Quintela, A., Martinez, J.A., Macarulla, T. (1995). Estudio comparativo de la composición y el valor nutritivo de semillas y concentrados de proteína de leguminosas. Proyecto UPV/101.123-EA 140/94
 - Castroviejo, s. (1999). Flora Ibérica. Real Jardín Botánico. Recuperado de: https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/5f/cb/fb/f0/5fcbfbf0-31a6-4479-bedc-82b048b3261b/files/Fl_Iber18.pdf
 - Coordinación agraria. (2011). Técnicas de producción y necesidades agronómicas de los cultivos. Recuperado de <http://coag-castillayleon.chil.me/attachment/5c2d787e-022e-4205-9127-ea6d953d95eb/tema-113>
 - Damodaran, S. (1994). Structure-function relationship of food proteins. Protein functionality in food systems. (1-37).
 - Delgado-Andrade, C.; Olías, R.; Jiménez-López, J. y Clemente, A. (2016). Aspectos de las legumbres nutricionales y beneficiosos para la salud humana. Arbor, 192 (779): a313. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2016.779n3003>
 - Diaz, O., Pereira, C. (2009). Aplicaciones de los concentrados y aislados de proteínas de lactosuero en la industria alimentaria. Alimentaria Febrero: 108-115.
 - Dodevska, M., Djordjevic, B., Miletic, D. (2013). Characterisation of dietary fibre components in cereal and legumes used in Serbian diet. Food chemistry 141 (2013) 1624-1629.

- Fang, Y., Zhang, B., Wei, Y., (2014). Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high-moisture extrusion cooking. *Journal of Food Engineering*. 121, 32–38.
- Fernandez Quintela, A. (1997). Composition and functional properties of protein isolates obtained from commercial legumes grown in northern Spain. *Plant foods for human nutrition* 51. 331-342.
- Gonzalez-Bernal, M.J., y Rubiales, D. (2016). Las leguminosas de grano en la agricultura española y europea. <https://doi.org/10.3989/arbor.2016.779n3001>
- Guillon F. and M. M.-J. Champ (2002). Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health. *British Journal of Nutrition* (2002), 88, Suppl. 3, S293–S306. DOI: 10.1079/BJN2002720
- Gutiérrez de la fuente, A.L. (2005). Caracterización de distintas proteínas de uso alimentario. (Trabajo fin de máster, Universidad de Valladolid).
- Gupta, R., Singh, A., Sharma, S. (2015). Meat analogues: Emerging meat free foods. Department of food science and technology. (Punjab Agricultural university).
- Hua, Y., Cui, W., Wang, Q. (2005). Heat induced gelling properties of soy protein isolates prepared from different defatted soybean flours. *Food research international* 38: 377-385.
- Jaimes, J. Retrepo, D. y Acevedo, D. (2012). Propiedades funcionales de los aislados proteicos de las leguminosas. *Reciteia*, 11(2), 22-32.
- Laguna, M.R., Ramos, A, González, R., Caminero, C., y Martin, A. (1997). El cultivo del guisante proteaginoso. *Agricultura*, 135-141.
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., Fang, Z. (2019). Application of extrusion technology in plant food processing by products. Institute of food technologies. Doi: 10.1111/1541-4337.12514
- Maroto, J.V. (2002). *Horticultura herbácea especial*. Madrid: Mundiprensa.
- Moscicki, L. (Ed.) (2011). *Extrusion-cooking Techniques*. Wiley-vch Verlag and Co.
- Murcia, M., y Rincon, F. (1992). Size as source of variance in lipid composition of pea. *Food chemistry*, 44(1), 29-35.

- Muñoz Azcarate, O. (2014). Metabolismo del azufre en la simbiosis guisante – rhizobium. (Tesis doctoral, Universidad publica de Navarra). Recuperado de: <https://academicae.unavarra.es/bitstream/handle/2454/29227/03%20Tesis%20doctoral%20Olaya%20Mu%C3%B1oz%20Azc%C3%A1rate.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ndidi, U. S., Aimola, I., Bassa, O. (2014). Effect of processing on the nutritional and antinutritional properties of Bambara groundnuts. *Journal of farming and allied sciences*. 4(4), 352-354.
- Nikmaram, N., Leong, S., Barba, F.J., Oey, I. (2017). Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products. *Food Control*, 79(2017) 62-73.
- Nishinari, K., Fang, Y., Guo, S., Phillips, G. (2014). Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification. *Food hydrocolloids* 39: 301-318.
- O’Kane, F.E., Happe, R., Gruppen, H., van Boekel, M. (2004). Characterization of pea vicilin. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52, 3141-3148.
- Osen, R.J., (2017). Texturization of pea protein isolates using high moisture extrusion cooking. (Tesis inédita de maestría o doctorado). Universidad técnica de Múnich.
- Osen, R.J., Toelstede S., Wild, F., Eisner, P. (2014). High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: Raw material, characteristics, extruder responses, and texture properties. *Journal of food engineering*. 127. 67-74.
- Pascalle, J.M., Anne M., Remko M., Maarten A.I. Schutyser. (2013). Dry fractionation for production of functional pea protein concentrates. *Food research international* 53 (2013) 232-239.
- Periago, M.J., Ros, G., Rincón, F., López, G. (1996). In vitro estimation of protein and mineral availability in peas as affected by antinutritive factors and maturity. *Lebensmittel wissenschaft und technology*, 29, 481-488.
- Riaz, M. (Ed.). (2000). *Extruders in food applications*. CRC press: Taylor and Francis group.
- Samard, S. y Ryu, G. (2019). Physicochemical and functional characteristics of plant protein-based meat analogs. *Journal of food processing and preservation*. DOI: 10.1111/jfpp.14123

- ^bSamard, S. y Ryu, G. (2019). A comparison of physicochemical characteristics, texture, and structure of meat analogue and meats. DOI: 10.1002/jsfa.9438
- Schutyser, M., Pelgrom, P., Boom, R.M. (2015). Dry fractionation for sustainable production of functional legume protein concentrates. *Trends in food science and technology* 45: 327-335.
- Singh, S., Gamalath, S., Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 42, 916–929
- Soetan, K., Oyewole, O. (2009). The need for adequate processing to reduce the anti-nutritional factors in plants used as human foods. *African journal of food science*, 3(9), 223-232.
- Soderberg, J. (2013). Functional properties of legume proteins compared to egg proteins and their potential as egg replacers in vegan food. (Faculty of agricultural sciences, Swedish university).
- Sosuloski, F. y W Horr, N. W. (1979). Amino acid composition and protein quality of field peas. *Can. J. Plant Sci.* 59: 653-660.
- Sosuloski F. W. and Gilbert I. Imafidon (1990). Amino Acid Composition and Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Animal and Plant Foods. *J. Agric. Food Chem.* 1990, 38, 1351-1356.
- Stone, K., Avarmenko, N., Nickerson, M. (2015). Functional properties of protein isolates from different pea cultivars. *Food science biotechnology*. 24(3): 827-833. DOI 10.1007/s10068-015-0107-y.
- Steel, C., Vernaza, M., Schmiele, M., Chang, Y. (2012). Thermoplastic Extrusion in Food Processing. DOI:10.5772/36874.
- Tanger, C., Engel, J., Kulozik, U. (2020). Influence of extraction conditions on the conformational alteration of pea protein extracted from pea flour. *Food Hydrocolloids* 107 (2020) 105949.
- Villalba Pelayo, E. (2005). Transformación y mejora del valor nutritivo de la harina de guisante mediante la adición de fitasa. (Tesis doctoral, Universidad de Granada)

- Villalobos, M. I. (2013). Fatty acid profiling of the seed oils of some varieties of field peas (*Pisum sativum*). *Food Chemistry*. 139 (1-4). DOI:10.1016/j.foodchem.2012.12.052
- Wang, N., Towels, R. (2012). Physicochemical and functional properties of protein concentrates from pulses. *Food research international* 52, 445-451.
- Zeidanloo, M., Ghavidei, R., Arianfar, A. (2019). Functional properties of grass pea protein concentrates using various precipitation methods. *J. Food science technology*. 56(11): 4799-4808.

Páginas web:

<https://www.carrefour.es/supermercado/la-despensa/alimentacion/cat20009/c> (Enero, 2021)

<https://www.aldi.es/> (Enero, 2021)

<https://www.lidl.es/es/catalogo-productos-my-best-veggie/s2098> (Enero, 2021)

<https://www.bedca.net/bdpub/index.php> (Noviembre, 2020)

<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/leguminosas-y-oleaginosas/> (Diciembre, 2020)

<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Diciembre, 2020)

<https://eurocarne.com/noticias/codigo/48502/kw/Analizan+qui%C3%A9nes+son+los+principales+consumidores+de+los+productos+an%C3%A1logos+a+la+carne> (Enero, 2021)