



ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE LA HARINA DE CÁÑAMO Y SU APLICABILIDAD PARA EL ENRIQUECIMIENTO DE LAS GALLETAS SIN GLUTEN.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Curso: 2021/2022

Alumna: Elena Encinas Monge

Tutores: Felicidad Ronda Balbás y Pedro A. Caballero Calvo

Director: Rito J. Mendoza Pérez

Máster em Ingeniería Agronómica

E.T.S. de Ingenierías Agrarias, Campus La Yutera (Palencia)

Universidad de Valladolid

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract.....	2
1. Introducción	3
1.1. El cáñamo. Biología e importancia	3
1.2. El cáñamo. Historia y legislación	4
1.3. Producción y aplicaciones industriales	6
1.4. Semillas de cáñamo	8
1.5. El cáñamo como producto sin gluten.....	10
2. Objetivos.....	13
3. Materiales y métodos.....	14
3.1. Materiales.....	14
3.2. Métodos	14
3.2.1. Estudio y optimización del proceso de extracción de aceite por presión ...	14
3.2.2. Extracción de grasa mediante empleo de disolvente orgánico.....	17
3.2.3. Determinación de la humedad de la harina.....	17
3.2.4. Análisis de color de las harinas	18
3.2.5. Propiedades funcionales de la harina de cáñamo.....	18
3.2.6. Formulación de las galletas	21
3.2.7. Comportamiento reológico de las masas	23
3.2.8. Determinación de las propiedades físicas de las galletas	24
3.2.9. Análisis sensorial de las galletas	25
3.2.10. Análisis estadístico.....	26
4. Resultados y discusión	27
4.1. Rendimientos de la extracción.....	27
4.1.1. Estudio y optimización del proceso de extracción de aceite por presión ...	27
4.1.2. Temperaturas de la extracción	28
4.1.3. Contenido de grasa de las harinas parcialmente desgrasadas	29
4.2. Humedad y color de las harinas	29
4.3. Composición química de los productos y subproductos	32
4.3.1. Aceite de cáñamo.....	32
4.3.2. Harina de cáñamo	32
4.4. Propiedades funcionales de la harina de cáñamo	33
4.4.1. Propiedades de hidratación y absorción de aceite.....	33
4.4.2. Propiedades emulsionantes.....	35
4.4.3. Propiedades espumantes	36
4.5. Comportamiento reológico de las masas de las galletas	36
4.5.1. Barrido de esfuerzos y deformación	36
4.5.2. Deformación progresiva y relajación.....	39
4.6. Propiedades físicas de las galletas.....	41
4.6.1. Propiedades morfogeométricas	41
4.6.2. Propiedades de textura de las galletas	43
4.6.3. Propiedades del color de las galletas	44
4.7. Análisis sensorial de las galletas	47
5. Conclusiones.....	50
6. Bibliografía	52
Anexo I - Fotografías del proceso de extracción	I
Anexo II – Hoja de Cata Descriptiva	IV

RESUMEN

En el mercado actual existe una creciente demanda de productos sin gluten, debido al aumento y prevalencia de la enfermedad celíaca entre la población. Además, los consumidores cada vez solicitan productos de mayor calidad nutricional y organoléptica, y están más concienciados con la sostenibilidad ambiental, lo cual incluye preocupación por la composición y origen de los productos que van a adquirir. En este ámbito el cáñamo se presenta como un producto con gran potencial, ya que la harina obtenida de sus semillas tiene altos contenidos en fibra y proteína, por lo que puede ser empleada para el enriquecimiento de los productos sin gluten, en general más pobres en estos componentes que los derivados del trigo. Además, se consigue dar un uso alternativo a la torta resultante de la extracción de aceite, que en muchos procesos industriales, es considerada un subproducto que se destina fundamentalmente a la alimentación animal.

El presente estudio tuvo como objetivo establecer un procedimiento a escala piloto-laboratorio para la extracción de aceite y la obtención de una harina de cáñamo parcialmente desengrasada de buena calidad. Además incluyó la caracterización de las propiedades físico-químicas y funcionales de dicha harina y el estudio de su aplicabilidad en el desarrollo de galletas sin gluten de calidad nutricional mejorada.

Del prensado mecánico de las semillas se obtuvo aceite de cáñamo de alta calidad con una composición de ácidos grasos del: 74,27% de ácidos grasos (A.G.) poliinsaturados, 13,93% de A.G. insaturados y solo un 10,42% de A.G. saturados. Además tras la molienda y tamizado de la torta se consiguió una harina de cáñamo parcialmente desengrasada compuesta por: 53,5% de proteínas, 17,4% de grasa, 10,8% de carbohidratos, 11,1% de ceniza y 7,21% de humedad. Las propiedades funcionales de esta harina, junto con las de la harina de cáñamo totalmente desengrasada con disolvente orgánico y la harina de arroz, fueron analizadas para comprobar cómo afecta su diferente composición en los resultados.

Se formularon 5 galletas, una empleada como control elaborada a base de harina de arroz y el resto sustituyendo porcentajes del 10%, 20%, 30% y 40% de la harina de arroz por harina de cáñamo parcialmente desengrasada. De las 5 formulaciones se analizó tanto el comportamiento reológico de las masas como las propiedades físicas de las galletas (características morfogeométricas, textura y color) y se realizó un análisis sensorial descriptivo. Como resultado se obtuvo que la sustitución de un 30% de la harina de arroz por harina de cáñamo llevó a una mejora de la valoración global de las galletas. Además este cambio supuso un enriquecimiento en fibra y proteína del producto, y la sustitución de parte de los ácidos grasos saturados aportados por la mantequilla, por ácidos grasos esenciales de mejor calidad.

En base a los resultados se puede concluir que la harina de cáñamo tiene gran potencial para ser empleada en alimentación humana y es una alternativa viable y eficaz para la mejora de los productos sin gluten. No obstante conviene seguir investigando sus propiedades funcionales y tecnológicas para mejorar la calidad de los productos, por lo que se considera un campo de relevancia para las líneas de investigación de los próximos años.

ABSTRACT

In the current market there is a growing demand for gluten-free products, due to the increase and prevalence of celiac disease among the population. In addition, consumers are increasingly requesting products of higher nutritional and organoleptic quality, and are more aware of environmental sustainability, which includes concern for the composition and origin of the products they are going to purchase. In this area, hemp is presented as a product with great potential, since the flour obtained from its seeds has high fiber and protein contents, so it can be used to enrich gluten-free products, which are generally poorer in these components than those derived from wheat. In addition, it is possible to give an alternative use to the cake resulting from the extraction of oil, which in many industrial processes is considered a by-product that is mainly used for animal feed.

The objective of this study was to establish a procedure on a pilot-laboratory scale for the extraction of oil and the obtaining of partially defatted hemp flour of good quality. It also included the characterization of the physical-chemical and functional properties of said flour and the study of its applicability in the development of gluten-free cookies with improved nutritional quality.

From the mechanical pressing of the seeds, high-quality hemp oil was obtained with a fatty acid composition of: 74.27% polyunsaturated fatty acids (F.A.), 13.93% of F.A. unsaturated and only 10.42% of A.G. saturated. In addition, after grinding and sieving the cake, a partially defatted hemp flour was obtained, composed of: 53.5% protein, 17.4% fat, 10.8% carbohydrates, 11.1% ash and 7, 21% humidity. The functional properties of this flour, together with those of fully defatted hemp flour with organic solvent and rice flour, were analyzed to see how their different composition affects the results.

Five cookies were formulated, one used as a control made from rice flour and the rest substituting percentages of 10%, 20%, 30% and 40% of the rice flour for partially defatted hemp flour. Of the 5 formulations, both the rheological behavior of the doughs and the physical properties of the cookies (morphogeometric characteristics, texture and color) were analyzed, and a descriptive sensory analysis was carried out. As a result, it was obtained that the substitution of 30% of the rice flour for hemp flour led to an improvement in the overall evaluation of the cookies. In addition, this change entailed an enrichment of fiber and protein in the product, and the substitution of part of the saturated fatty acids provided by the butter, for essential fatty acids of better quality.

Based on the results, it can be concluded that hemp flour has great potential to be used in human nutrition and is a viable and effective alternative for the improvement of gluten-free products. However, it is advisable to continue investigating its functional and technological properties to improve the quality of the products, which is why it is considered a relevant field for the lines of research in the coming years.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El cáñamo. Biología e importancia

Biología y anatomía de las plantas de cáñamo

El cáñamo (*Cannabis sativa* L.) es un género de plantas perteneciente a la familia *Cannabaceae* que incluye tres especies: *Cannabis sativa* (*Cannabis sativa* var. *sativa*), *Cannabis indica* (*Cannabis sativa* var. *indica*) y *Cannabis ruderalis* (*Cannabis sativa* var. *spontanea*) (Clarke, 1999). Todas las especies de *Cannabis sativa* se caracterizan por ser plantas herbáceas anuales, de crecimiento muy rápido, que pueden alcanzar los 6 m de altura en periodos de 4 a 5 meses (Merfield, 1999). Originalmente se trataba de especies mayoritariamente dioicas, sin embargo los problemas generados por el dimorfismo sexual han provocado que se lleven a cabo programas de mejora mediante la selección de cultivares monoicos, con el objetivo de optimizar el crecimiento y producir plantas femeninas económicamente más valiosas (Blade et al., 1999).

Las variedades de cáñamo más cultivadas para la obtención de fibras y aceites pertenecen a la especie *Cannabis sativa* que se caracteriza por plantas de elevado tamaño, hasta de 6 m, con tallos suaves y huecos, largos internudos y hojas de peciolo cortos de 5 a 9 folíolos lanceolados. Los frutos son aquenios de más de 3,7 mm de largo, con forma de lente de base roma y superficie opaca, de color verde claro u oscuro y normalmente no veteados. Las semillas permanecen unidas a la planta cuando están maduras (Fassio et al., 2013). Esta fue la especie empleada en el estudio, ya que se trata de la más comúnmente cultivada con fines industriales.

La especie *Cannabis indica* es cultivada con propósitos medicinales, debido a sus altos contenidos de CBD. Se caracteriza por plantas más pequeñas, de menos de 3 m, con tallos suaves y casi sólidos, enramado fuerte y hojas con peciolo más cortos y de 7 a 11 folíolos angostos y lanceolados. Los aquenios son más grandes, con base redondeada, color verde-marrón y pudiendo tener o no vetas y lámina de abscisión. Las especies *Cannabis ruderalis* y *Cannabis afghanica* son plantas más pequeñas y no son cultivadas con fines industriales (Fassio et al., 2013).

Importancia del cáñamo

Debido a las aplicaciones industriales del cultivo las partes de mayor importancia económica de la planta son el tallo y las semillas. El tallo se compone de una capa externa y fina compuesta por la corteza y el floema y un núcleo leñoso que es el xilema. Las fibras del floema son de longitud variable y están compuestas por celulosa y hemicelulosa, lo cual es un parámetro de calidad muy importante ya que la resistencia aumenta cuanto más largas son las fibras. La cantidad de celulosa también determina el rendimiento en la extracción de papel (McPartland et al, 2000).

Por otro lado, los cannabinoides presentes en el cáñamo también son un elemento muy importante, ya que es la única planta de la naturaleza capaz de producirlos. Los más destacados son el CBD y el THC, que son sustancias activas distribuidas por diferentes partes de la planta, especialmente secretadas por las glándulas de la epidermis (Lachenmeier et al., 2005). La planta también produce terpenos que son los responsables del olor característico del cáñamo y que son considerados aceites esenciales (Mediavilla et al., 1997).

Además de los beneficios industriales, económicos y medicinales de las plantas de cáñamo, también cabe destacar su importancia medioambiental. Se trata de especies de plantas muy vigorosas, con requerimientos nutricionales muy bajos y resistentes a plagas y enfermedades por lo que es fácil su cultivo sin el uso de herbicidas, pesticidas ni fungicidas, adaptándose perfectamente a la agricultura ecológica. Otra característica muy importante de las plantas de cáñamo es su profundo sistema radicular, que tiene una influencia favorable en la estructura del suelo y reduce la persistencia de nemátodos y hongos. Esta característica unida a la capacidad de supresión completa de malezas gracias a la alta capacidad de sombreado, hacen que el cáñamo sea un cultivo muy valorado para las rotaciones y también muy útil para la fitorremediación de terrenos contaminados por metales pesados (Piotrowski et al., 2011).

1.2. El cáñamo. Historia y legislación

Historia y evolución del cultivo de cáñamo

El cultivo del cáñamo se remonta a China en el año 4000 a.C., donde fue empleado para la elaboración de cuerdas y redes para la pesca (Clake et al., 1995). Además, tuvo gran importancia para la fabricación de papel a partir de fibras recicladas de cáñamo y en la alimentación, siendo uno de los cinco principales granos consumidos en este país. En el siglo III a.C. el cultivo se expandió fuera de las fronteras de China, y aunque puntualmente llegó a Europa en el siglo I a.C. no fue hasta el año 1150 d.C. cuando adquirió importancia en este continente. Fueron los musulmanes quienes lo transportaron por las vías comerciales para la fabricación de papel, pero sus usos fueron evolucionando, convirtiéndose durante siglos en una de las fibras textiles más importantes en Europa, Asia y Norte América, especialmente en la industria naval para la fabricación de velas y cuerdas (Young, 2005). En España también fue un cultivo de relativa importancia, que comenzó con la construcción de la primera fábrica de papel en el siglo XII y alcanzó su auge en el siglo XV por la elaboración de velas para embarcaciones como las de Cristóbal Colón. Finalmente llegó hasta el siglo XVIII donde aún seguía teniendo importancia económica decisiva en la zona oriental de la Península (Garrido Herrero, 2005). El cáñamo era un cultivo demandante en mano de obra por lo que en el siglo XVIII, los avances como el barco de vapor o el petróleo y el desarrollo de fibras textiles más rentables como el algodón, llevaron a un paulatino descenso de la importancia del cáñamo y a la pérdida de relevancia en el siglo XIX (Roulac, 1997).

Paralelamente a su desarrollo como fibra textil, el cannabis también se utilizó como planta medicinal. Sus propiedades se conocieron por primera vez en China y sus usos fueron descritos en la farmacopea más antigua del mundo en el 2800 a.C., donde se recomendaba como tratamiento para trastornos en el apartado reproductor femenino, el estreñimiento intestinal y dolor reumático, entre otros (Touw, 2012). Sin embargo, el país en el que más importancia adquirió el cáñamo desde el punto de vista medicinal, y también religioso, fue la India. Su uso comenzó alrededor del año 1.000 a.C. y durante esa época se utilizó con innumerables funciones tales como: analgésico, anestésico, antibiótico, hipnótico, etc. (Aldrich, 1997). Además los efectos psicoactivos y medicinales también fueron conocidos por otros pueblos de oriente medio, y su uso se fue extendiendo hasta llegar a África en el siglo XV, donde fue utilizado como tratamiento para mordeduras de serpientes y enfermedades como la malaria (Du Toit, 1980).

En Europa hay alguna referencia al uso de cannabis en ceremonias funerarias del 450 a.C. pero no se empleó en la medicina occidental hasta el siglo XIX, donde dos importantes médicos O'Shaughnessy y Moreau describieron sus propiedades terapéuticas y psicoactivas, respectivamente (Fankhauser, 2002)

El siglo XX fue un periodo de decadencia para el cultivo del cáñamo en occidente ya que a su sustitución por otras fibras en la industria textil, se le unieron también problemas para su uso en la industria farmacéutica. Esto se debe a que los componentes del cannabis no se habían conseguido aislar por lo que se tenían que emplear preparaciones a partir de la planta cruda o de sus extractos; y por lo tanto, fue sustituido rápidamente cuando aparecieron medicamentos de efectos similares más fáciles y económicos de utilizar. Además en muchos países el cáñamo fue asociado con la marihuana y relacionado desde un punto legal a los opiáceos, por lo que producción y uso se vio sometido a la legislación y regulación (Crocq, 2020).

Legislación y regularización del cultivo

El cáñamo fue nombrado como droga por primera vez en un anexo de la Convención Internacional de Opio en 1912. En 1925 se clasificó como sustancia adictiva y peligrosa y pasó a estar sometida a control internacional por la Convención de Ginebra. En 1937 Estados Unidos declaró por primera vez la Ley de Tributación de la Marihuana, que ilegalizó y criminalizó la sustancia en el país por su alto contenido de THC y provocó también que el cultivo del cáñamo fuera controlado por la Agencia de la Administración de Drogas de Estados Unidos. Aunque el cultivar de cáñamo no fue declarado ilegal, los permisos y requerimientos solicitados para su plantación, provocó que muchos agricultores dejaran de cultivarlo (Fassio et al., 2013). Desde 1961 el cultivo del cáñamo con contenido significativo de THC, se encuentra regulado por la Convención Única de las Naciones Unidas sobre Estupefacientes (Crocq, 2020)..

En el siglo XXI, el mejor conocimiento de las características bioquímicas y moleculares del cáñamo han llevado a la reintroducción de este cultivo. En el caso de la Unión Europea se permite su cultivo desde el 2013, donde el reglamento 1307/2013, establece que es legal el cultivo del cáñamo con fines industriales (industria textil y alimentaria) siempre que sus contenidos de THC sean menores del 0,2% (Farinon et al., 2020). El cultivo del *Cannabis sativa* L. con contenidos de THC superiores está permitido para fines médicos o científicos, pero todos los países están obligados a establecer su propia legislación para el control de dicho cultivo. De acuerdo con las convenciones de la ONU el THC puede ser empleado en medicina en cápsulas o extractos de cáñamo pero en ningún caso está permitido fumar cannabis (Jensvoll et al., 2018).

La legislación vigente en España diferencia entre el cáñamo destinado a medicamentos e investigación y el industrial. En el primer caso ciertos niveles de la sustancia estupefaciente THC están permitidos pero su producción, distribución y uso debe de estar autorizado por la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS). El cáñamo destinado a la producción industrial no requiere autorización de la AEMPS, pero debe realizarse con semillas certificadas inscritas en el Catálogo de la UE y destinarse únicamente a la obtención de fibras, granos y semillas. Para el uso alimentario se pueden emplear únicamente los subproductos obtenidos de los granos como el aceite, harina y proteína siempre que su contenido de THC no sea superior al 0,2%, de acuerdo con la normativa vigente en la UE (MAPA, 2021).

1.3. Producción y aplicaciones industriales

Producción mundial y nacional de cáñamo

El cáñamo es un producto agrícola muy versátil ya que se estima que puede ser utilizado para producir más de 25.000 productos y subproductos, entre los que se encuentran: papel, textiles cosméticos, pinturas, ropa, alimentos, materiales aislantes, etc. (Fassio et al., 2013). Mundialmente se estima una superficie total de cáñamo de 141.687 ha, siendo Estados Unidos el país con más área cultivada con aproximadamente 36.422 ha, seguido por Canadá con 31.537 ha, Corea del Norte con 21.457 ha, Francia con 17.284 ha y China que tiene 8.791 ha, de acuerdo datos del 2018 (Zhao, Xiong, & Chen, 2021).

En la Unión Europea cultivo de cáñamo ha tenido un crecimiento muy importante durante las últimas décadas, pasando de 11.600 ha en 2001 a 33.860 ha en 2020 y de 64.000 toneladas en 2001 a 152.820 toneladas en 2019, lo que supone aumentos del 191 % y 138 % respectivamente (Eurostat, 2021). Esto se debe a que el cáñamo se presenta como un cultivo ideal para contribuir a los objetivos del Pacto Verde Europeo gracias a sus beneficios ambientales, entre los que destacan: la prevención de la erosión del suelo, incremento de la biodiversidad, bajo y nulo uso de pesticidas. Además es un cultivo que ayuda a romper el ciclo de las enfermedades cuando se utiliza en las rotaciones de cultivos y posee una gran capacidad para el almacenamiento de carbono, ya que es capaz de secuestrar de 9 a 15 toneladas de CO₂ (European Commission, 2020). Aunque el cultivo del cáñamo se extiende a lo largo de todo el continente hay países que dominan en superficie de cáñamo cultivada, como es el caso de Francia con alrededor de 17.900 ha (37 % del total europeo), seguido muy de lejos por Italia y Países Bajos con alrededor de 4.000 ha cada uno (8 % europeo) y Estonia y Rumanía, con aproximadamente 3.500 ha (7 % europeo), de acuerdo datos del 2018 (EIHA, 2019).

Aplicaciones industriales del cáñamo

De las plantas de cáñamo recolectadas se puede aprovechar aproximadamente el 29,5% para obtención de fibras, 50,6% para elementos leñosos, 13,5% para semillas, 0,3% para flores y el 6,1% restos de los cuales el 60% se paletizan y el 40% se utilizan en compost y otros usos (Carus et al., 2013). Estos productos son utilizados en las diferentes industrias entre las que destaca la textil, que lidera el mercado con más del 24% de los ingresos globales provenientes de plantas de cáñamo. Otras aplicaciones en las que el cáñamo tiene importancia son: la elaboración de cosméticos, alimentos, bebidas y productos para animales, la fabricación de papel, muebles y materiales de construcción, la industria automovilística y otros usos de menor importancia. En total el tamaño del mercado mundial del cáñamo se estima en 3.903 millones de euros, aunque se espera un crecimiento a nivel mundial del 16,8% entre 2022 y 2030 (GVR, 2022).

Para la obtención de fibra de cáñamo las plantas son recolectadas 3 o 4 meses después de la siembra. Después se lleva a cabo un proceso de enriado enzimático o desgomado osmótico, por el que se degradan la pectina y otros compuestos cementantes y varios procesos mecánicos de agramado y rotura para conseguir separar las fibras de las partes leñosas y dividir las en fibras más pequeñas. Las fibras largas van a ser empleadas para la obtención de tejidos de alta calidad y las más pequeñas se someten a un proceso de cardado para elaborar hilos más gruesos que pueden ser usados en tapicería y como materias primas de productos técnicos no textiles (Zimniewska, 2022).

Estas telas obtenidas se caracterizan por ser fuertes, hipoalergénicas, con elevada biodegradabilidad, baja densidad y resistentes a la luz ultravioleta y a los hongos, lo que las hace ventajosas respecto a otras telas para la industria textil. Además tiene buenas propiedades mecánicas, térmicas y acústicas, lo que las hace interesantes para muchas industrias (Gopal Shimpi, 2018).

El papel de cáñamo se obtiene de la celulosa de la planta y se caracteriza por ser resistente a la descomposición, más fuerte y menos propenso a amarillearse. Además para su elaboración se utilizan menos productos químicos que en el papel tradicional, aunque también es más caro. Se ha utilizado para la elaboración de documentos que se quieren archivar, y papeles para los que se necesitan características especiales como el papel de fumar, las bolsas de té y los filtros (Merfield, 1999).

Del núcleo leñoso que se separa de las plantas se pueden formar pequeñas estacas de maderas que son ampliamente utilizadas como material industria en: aislamientos y construcción, tableros, bloques de cemento, masilla, estuco y mortero, revestimientos y otro materiales como sustitutos de la fibra de vidrio, capas base para techos, materiales acústicos, envolturas para tuberías, envolturas para casas y tejas (Carus et al., 2013).

Las semillas de cáñamo son ricas en proteína y ácidos grasos poliinsaturados por lo que han sido utilizadas en la nutrición animal en alimentos para aves y peces, ya que para su desarrollo óptimo necesitan elevadas cantidades de ácidos grasos omega-3 y omega-6. De las semillas se puede extraer aceite de calidad y una torta proteica que están siendo utilizado en industrias alimentarias para consumo humano debido a su alto contenido nutricional (Carus et al., 2013). Se espera que en un futuro cercano este sea un sector de importante crecimiento en el mercado por el aumento de conciencia de los consumidores sobre los beneficios de producto (Zimniewska, 2022)..

Los productos derivados del cáñamo también pueden ser utilizados en la industria cosmética y farmacéutica. El aceite de cáñamo se emplea en numerosas lociones corporales por sus buenas propiedades como hidratante, antioxidante y calmante; y es demandado especialmente por consumidores preocupados por su bienestar y el cuidado del medio ambiente. Para su uso medicinal se ha conseguido la extracción de numerosos compuestos bioactivos, entre los que destacan los cannabinoides (CBD) (Crini et al., 2020). El CBD se biosintetiza como un ácido carboxílico a través de la misma ruta metabólica que el THC, con excepción de que la última reacción química es catalizada por el ácido sintetasa del CBD. Este compuesto ejerce una amplia gama de efectos biológicos entre los que se incluyen la actividad anticonvulsiva, ansiolítica, antiinflamatoria, inmunomoduladora y antineoplásica (Cerino et al., 2021), por lo que se ha empleado para el desarrollo de formulaciones indicadas para el tratamiento de vómitos, náuseas y dolores neurológicos. Además hay aceites esenciales que contienen cannabinoides que están probados y comercializados para el alivio sintomático de la espasticidad y están indicados el tratamiento de la esclerosis múltiple, epilepsia y los efectos secundarios de la quimioterapia (Crini et al., 2020).

Otros usos derivados de las plantas de cáñamo es el empleo de flores y hojas superiores para la elaboración de perfumes, jabones y velas (Crini et al., 2020) y los restos de la planta como biocombustible para producir energía (European Comission, 2020).

1.4. Semillas de cáñamo

Descripción de las semillas

Los granos de las planas de cáñamo o “cañamones” son frutos de tipo aquenio, es decir, frutos secos indehiscentes y monocarpelares con la semilla y su testa no adheridas al pericarpio. Son de color marrón con rayas más oscuras y tienen una longitud comprendida entre 2,5 y 3,5 mm. Si se elimina la cáscara externa se obtiene las semillas limpias que son de color entre gris parduzco claro y amarillento (Aluko, 2017). Los cañamones se obtienen de las flores femeninas de la planta, tras la polinización y maduración y el rendimiento de una hectárea de cultivo es variable, pero se puede considerar un promedio comprendido entre 850-1.000 kg/ha (Kaiser et al., 2015). Su composición varía en función de la variedad de la planta y de otros factores como el suelo, clima y técnicas de cultivo empleadas en la plantación, estando mayoritariamente entre los siguientes intervalos: 25%-35% de lípidos, 20-25% de proteínas, 20-30% de carbohidratos, 3,7-5,9% de ceniza y 4,1-9,2% de humedad (Rusu et al., 2021). La cantidad de energía total contenida en los cañamones enteros es de 2200 kJ/100g, y se reduce a 2093 kJ/100g en el caso de semillas peladas y a 1700 kJ/100g en la torta obtenida después de la extracción de aceite (Callaway et al., 2009).

Extracción del aceite

El aceite es el componente más valioso de las semillas de cáñamo y el más demandado por las industrias. Para su extracción el método más utilizado es el prensado en frío, en el que los cañamones o semillas se introducen en una prensa de baja presión de tornillo giratorio, con la temperatura, tamaño de la boquilla y frecuencia, regulados de forma óptima. En algunos estudios experimentales se ha obtenido la mayor cantidad de aceite de calidad satisfactoria con temperatura de 20°C, frecuencia de 20 Hz y diámetro interior de la boquilla de 6 mm (Aladić et al., 2014). La principal ventaja de este método es que no se emplean compuestos químicos, por lo que tanto el aceite como la harina resultante pueden ser utilizadas con fines alimentarios. No obstante, no es un procedimiento totalmente efectivo ya que solo entre el 60% y 80% del aceite es extraído y además este necesita ser sometido a un proceso de centrifugado posterior al prensado para que el aceite tenga una calidad óptima (Fathordoobady et al., 2019).

Existen otros métodos que permiten extracción casi total de aceite de cáñamo residual de la torta previamente prensada en frío. Uno de los más populares es la extracción mediante solventes, en el que la difusión del solvente por la materia prima provoca la solución del aceite en este y por lo tanto su extracción de la materia de origen. Este sistema presenta algunos inconvenientes como la posible persistencia de residuos de disolventes en el producto extraído y el riesgo de contaminación ambiental que provocan. No obstante se ha mejorado el proceso utilizando solventes menos dañinos como el etanol en vez de metanol o cloroformo y reduciendo el tiempo de la operación y la energía empleada (Mookerjee, 2020). Para solucionar algunos de los inconvenientes estos inconvenientes se han estudiado de forma experimental otros procedimientos como la extracción con líquido presurizado, extracción con fluido supercrítico utilizando CO₂ o la extracción asistida por ultrasonidos, todos ellos válidos para la obtención de aceite y algunos tipos de cannabinoides. Además también se ha empleado el método de extracción asistida por ondas microondas para obtener compuestos bioactivos tales como THC, CBD y CBN (Fathordoobady et al., 2019).

Descripción de los componentes

El aceite es uno de los componentes más abundantes y valorados de las semillas de cáñamo, ya que se caracteriza por tener un alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) que suponen entre un 70 y 80% de total de lípidos. Los ácidos grasos esenciales más abundantes son: γ -linoleico (18:2, ω -6) u “Omega-6” con una concentración aproximada del 56% y el ω -linolénico (18:3, ω -3) u “Omega-3”, que representa alrededor del 22% (Callaway et al., 2009). Además la relación entre estos componentes se encuentra siempre entre 3:1 y 5:1, lo que se considera deseable para mantener una salud óptima y prevenir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Rusu et al., 2021). El aceite de cáñamo también está compuesto por otro 6% de ácidos grasos poliinsaturados (γ -linolénico y ácido estearidónico), 9% de ácidos grasos insaturados (oleico) y tan solo un 7% de ácidos grasos saturados (palmítico y esteárico), que son los menos saludables (Callaway, 2004). Cabe destacar que el color del aceite será verde claro u verde oliva si se obtiene de los cañamones enteros o amarillo brillante en el que caso de que provenga de semillas peladas. En ambos casos se trata de un aceite con un perfil de ácidos grasos muy bueno y adecuado para aplicaciones alimentarias y cosméticas, aunque a nivel de consumo está más aceptado el amarillo.

La fracción restante después del prensado para la extracción de aceite es una torta formada por el resto de los componentes de los cañamones en cantidades más concentradas y el porcentaje de aceite que no se ha podido extraer. La composición aproximada de esta torta: 11,7-15,5% de lípidos, 29,5-31,9% de proteínas, 39,1-44,1% de carbohidratos, 5,7-6,7% de ceniza y 7,0-8,8% de humedad (Siano et al., 2019).

Las proteínas se caracterizan por ser fáciles de digerir, ricas en aminoácidos esenciales y por tener temperaturas de desnaturalización próximas a los 92°C. Las dos proteínas más abundantes en el cáñamo son: edestinas (67-75%) y las albuminas (35-37%). Las edestinas son proteínas del tipo legumina, globulares y con función de almacenamiento en las semillas; que en el caso del cáñamo se caracterizan por tener una alta relación en los aminoácidos arginina/lisina, lo cual indica un alto potencial para ser utilizado en productos que promueven la salud cardiovascular. Además tienen una fuerte capacidad emulsionante lo que sugiere que van a interactuar bien con la fase oleosa e indica que es un ingrediente potencial para formulaciones alimenticias. Las albúminas del cáñamo se caracterizan por tener mayor flexibilidad y estructuras menos compactas que las edestinas, lo que contribuye a que tengan una alta solubilidad y mayor capacidad espumante (Aluko, 2017). Desde un punto de vista nutricional la calidad de las proteínas viene dado por su composición en aminoácidos y su biodisponibilidad.

En el cáñamo hay aminoácidos esenciales (lisina, isoleucina, fenilalanina) y no esenciales (arginina, ácido glutámico, cisteína, tirosina), que contribuyen a la alta calidad de las proteínas del cáñamo (Rusu et al., 2021).

Del total de los carbohidratos presentes en los cañamones, alrededor del 80% corresponden a fibra dietética insoluble y formada por componentes como la celulosa, hemicelulosa y pectinas. La fibra dietética es un producto funcional que actúa como probiótico y que es capaz de mejorar la sensibilidad a la insulina y puede reducir el apetito y la ingesta de alimentos, disminuyendo de este modo el riesgo de diabetes y obesidad. El 20% restante corresponde a fibra soluble como es el caso de carbohidratos individuales como sacarosa, fructosa o la glucosa, que es el componente principal del

almidón. A la vista de esta composición se puede afirmar que la semilla de cáñamo representa una matriz alimentaria de bajo contenido en almidón y buena fuente de fibra dietética, por lo que se plantea como un ingrediente de gran potencial para enriquecer el contenido en fibra de los alimentos y mejorar su valor nutricional. Se debe tener en cuenta que el alto contenido de fibra de la cáscara de los cáñamos puede reducir la digestibilidad de la proteína. De hecho hay estudios que demuestran que la eliminación de la cáscara de las semillas conduce a un aumento de la digestibilidad del 85,2% al 94,9%, por lo tanto se considera recomendable la obtención de harinas de los granos sin cáscara, a pesar de que la concentración de fibra en la semilla pelada sea un poco menor (Farinon et al., 2020).

El contenido mineral de las semillas de cáñamo está representado en la fracción de ceniza y es la materia inorgánica del producto. La composición en macro y micronutrientes es: 1.160 mg P/100g de fósforo, 859 mg K/100g de potasio, 483 mg Mg/100g de magnesio, 145 mg Ca/100g de calcio, 14 mg Fe/100g de hierro, 12 mg Na/100g de sodio, 7 mg Mn/100g de manganeso, 7 mg Zn/100g de zinc y 2 mg Cu/100g de cobre. Además las semillas de cáñamo contienen contenidos considerables de vitaminas (90 mg/100g vitamina E, 0,4 mg/100g vitamina B1 y 0,1 mg/100g vitamina B2) y de antioxidantes, que contribuyen en sus propiedades beneficiosas (Callaway, 2004).

Por lo tanto se puede concluir que las semillas de cáñamo presentan características especiales superiores en algunos aspectos a otras harinas y aceites. Por ejemplo la harina de cáñamo tiene un 12% más de proteínas, un 25% más de fibra y un 3% más de contenido mineral que la harina de trigo y el aceite presenta un perfil de ácidos grasos más saludables que otros aceites como el de girasol e incluso el de oliva. Por lo tanto, se presenta como una materia prima potencial para el enriquecimiento de productos por su valor nutricional o la búsqueda de beneficios para la salud (Rusu et al., 2021).

1.5. El cáñamo como producto sin gluten

La torta obtenida después del prensado de las semillas de cáñamo, a parte de ser un producto de elevado valor nutricional, se caracteriza por no tener gluten en su composición; lo cual la hace muy interesante para la elaboración de productos aptos para celíacos. Tradicionalmente estas tortas se habían destinado al enriquecimiento de productos de alimentación animal, sin embargo, el incremento de la prevalencia de esta enfermedad entre la población y la demanda por parte de los consumidores de productos más sostenibles ponen al cáñamo en el foco de las investigaciones que se están realizando durante los últimos años (Mirizzi et al. 2020).

La enfermedad celíaca es un trastorno digestivo e inmunológico crónico que daña el intestino delgado, debido al consumo de alimentos que contienen gluten por individuos genéticamente sensibles. La enfermedad puede ser grave y causar problemas digestivos duraderos y evitar que el cuerpo obtenga todos los nutrientes que necesita. El gluten es una proteína que se encuentra naturalmente en muchos cereales como el trigo, cebada y centeno, por lo que se incluye en la composición de productos como el pan o la pasta. A parte de la celiaquía existen otros trastornos derivados del consumo de gluten como por ejemplo: la sensibilidad al gluten, que produce síntomas como el dolor abdominal o cansancio y la intolerancia al trigo, que produce síntomas diferentes como el picazón de ojos o la dificultad para respirar (Joseph A, 2020).

Durante las últimas décadas la incidencia de la enfermedad celiaca ha aumentado en muchos países occidentales, con un promedio de incremento del 7,5% por año de casos diagnosticados, variando según el sexo y la edad. Resultados de estudios realizados muestran que de 100.000 personas, 17 mujeres serían celiacas en comparación con únicamente 8 hombres y 21 niños tendrían la enfermedad frente a 13 adultos (King et al., 2020). En España se calcula que hay unos 450.000 celiacos, es decir, alrededor del 1% de la población, mientras que las personas con sensibilidad al gluten asciende hasta el 6%, sin embargo solo el 10% están diagnosticados (Rodríguez-Almagro et al., 2016). El incremento de la prevalencia de enfermedades e intolerancias durante las últimas décadas se ha debido, entre otros factores, a la evolución de la medicina y las técnicas de detección y diagnóstico, provocando que cada vez más población sea consciente de su condición y aumente la demanda de productos sin gluten (King et al., 2020). El tamaño del mercado de los productos sin gluten se valoró en unos 4.000 millones de euros en 2019, pero se estima que pueda alcanzar los 7.000 millones de euros, registrando una tasa de crecimiento anual del 7,2% entre 2020 y 2027 (Raju et al., 2020).

Los síntomas de la sensibilidad al gluten desaparecen cuando se retira este ingrediente de la dieta, sustituyéndose los productos elaborados a partir de trigo, cebada, avena o centeno por otros que contienen normalmente harinas de arroz o maíz. Sin embargo estos productos se suelen caracterizar malas calidades de la miga y corteza, peores características nutricionales, mal sabor y sensación en boca y menor aceptación por el consumidor (Naqash et al., 2017). Estos problemas se están intentando solventar añadiendo aditivos e ingredientes adicionales que mejoren el valor nutricional y las propiedades físicas y sensoriales de los alimentos sin gluten. Algunos de estas modificaciones se ha realizado sustituyendo las harinas tradicionales por otras de amaranto, trigo sarraceno, mijo, quinoa sorgo y teff y añadiendo elementos como hidrocoloides que mejoran las propiedades viscoelásticas o proteínas de la leche para mejorar la textura y retrasar el envejecimiento (Moroni et al., 2009).

La incorporación de proteínas y fibras es uno de los aspectos fundamentales de la investigación sobre la mejora de los productos sin gluten, ya que aparte de incrementar su valor nutricional, las proteínas mejoran la estructura y textura (Matos et al., 2014) y la fibra favorece el volumen específico y aporta brillo a la corteza y miga (Gularte et al., 2012). En este aspecto los restos de las tortas obtenidas de semillas oleaginosas después del prensado en frío para la extracción de aceite son las fuentes de proteínas más valiosas. Además, considerando su composición en ácidos grasos, sus propiedades antioxidantes y su capacidad anti-proliferativa, han sido designadas como suplementos nutricionales valiosos con efectos positivos para la salud.

La torta de cáñamo es uno de los ingredientes más prometedores del que se puede obtener una harina sin gluten apta para el enriquecimiento de productos para celiacos, aunque las investigaciones aún son escasas y los productos no están desarrollados a nivel industrial (Pojić et al., 2015).

Una gran parte de las investigaciones que se están llevando a cabo para incluir el cáñamo en los productos sin gluten se están centrando en la elaboración de panes, por ser uno de los productos más demandados. Los estudios revelan que la harina de cáñamo tiene influencia en las características y propiedades de la masa madre y el pan, con una buena aceptación global por parte de los consumidores.

Además se ha observado que los panes elaborados con masa madre tienen mejor calidad que los no fermentados, ya que aumenta su porosidad y acidez y tienen una tasa de envejecimiento más lenta (Jagelaviciute et al., 2021). También se ha comprobado que la presencia de cáñamo aumenta el valor nutritivo del pan y su volumen, con cambios relativamente pequeños en la estructura de la miga, lo que es beneficioso para productores y consumidores (Korus et al., 2017).

Otros productos que se han probado a elaborar son las galletas y magdalenas. Las investigaciones sobre la elaboración de galletas sustituyendo una parte de la harina de maíz por cáñamo, han desvelado un incremento del contenido de proteína y polifenoles totales. Sin embargo, se redujo el volumen, se aumentó la dureza y se produjo un oscurecimiento de las galletas a medida que la concentración de cáñamo se aumentaba (Xu et al., 2020). En el caso de las magdalenas, los estudios reflejan resultados con altas propiedades organolépticas y estructural-mecánicas, que además tienen buenas propiedades microbiológicas y son capaces de conservar la frescura hasta 10 días (Timoshenkova et al., 2020).

Con todo lo expuesto sobre el cáñamo y sus aplicaciones en las diferentes industrias, queda reflejada la importancia que este cultivo está adquiriendo en la actualidad, tanto por sus diferentes utilidades como los beneficios que aporta al medio ambiente. El uso de la torta proteica resultante después de la extracción del aceite está siendo investigada como alternativa para el enriquecimiento de los productos sin gluten. Aunque en muchos estudios ya se han obtenido algunos resultados favorables, que plantean al cáñamo como un ingrediente de gran potencial en la industria de la elaboración de productos sin gluten, aún existen dificultades tecnológicas para su uso habitual. Por lo tanto, la investigación detallada sobre las propiedades funcionales de las harinas de cáñamo, así como de sus aplicaciones para las sustituciones en las formulaciones de productos sin gluten se consideran temas de relevancia para la realización de este estudio.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio ha sido la evaluación de las características y propiedades de la harina de cáñamo como posible ingrediente para el enriquecimiento de productos sin gluten .

Los objetivos específicos que han permitido llevar a cabo el objetivo principal han sido los siguientes:

- Establecer un procedimiento a escala piloto – laboratorio que permita la extracción de harina de cáñamo de buena calidad.
- Calcular los rendimientos de los ingredientes obtenidos en cada una de las fases del proceso.
- Analizar las características y propiedades funcionales de la harina de cáñamo.
- Elaborar una receta que permita la incorporación de harina de cáñamo en las masas de las galletas sin gluten y evaluar sus propiedades reológicas y características de las galletas obtenidas.
- Evaluar la aceptación del producto y el interés para su empleo en la industria alimentaria.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Para la realización de este estudio se emplearon tres harinas sin gluten: harina de cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD) obtenida del prensado mecánico de semillas peladas, harina de cáñamo totalmente desgrasada (HCD) conseguida por un procedimiento de soxhlet y harina de arroz (HA) empleada como control para la elaboración de las galletas. La harina HCPD fue el objeto principal del estudio y para su obtención se emplearon granos de cáñamo pelados comerciales procedentes de cultivos ecológicos de la empresa NaturGreen (Murcia, España), con la siguiente composición: 48% de grasa (sólo 4,7% saturadas), 8,2% hidratos de carbono, 25% proteínas, 7,4% fibra, 6,4% humedad y 5% cenizas. Estas semillas fueron almacenadas en refrigeración hasta su utilización, para evitar una posible oxidación por su alto contenido en grasas.

La harina de cáñamo (17,21% lípidos, 10,8% hidratos de carbono, 53,5% proteínas, 11,1% minerales y 7,21% humedad), se obtuvo mediante prensado en frío con una prensa mecánica de la marca Cgoldenwall (China) especial para semillas oleaginosas, con la que se extrajo aceite con impurezas y una torta con los restos. Después se realizó por un lado la centrifugación del aceite y por otro la molienda y tamizado de la torta con un molino de cuchillas de la marca Cgoldenwall (China) y un tamiz de 500 μm de luz de malla. De aquí se obtuvieron 2 fracciones: impurezas o partículas gruesas y harina refinada, que fue guardada en botes estancos en cámaras a 4°C hasta su empleo para el estudio.

Para la elaboración de las masas de las galletas sin gluten se utilizó también harina de arroz Microcern proporcionada por la compañía Herba Ricemills del grupo Ebro Foods (Sevilla, España) que tenía 12,5% de humedad, 6,5% proteína, 0,9% de cenizas y tamaño de particular menor de 90 μm . El resto de los ingredientes de las galletas fueron: mantequilla sin sal de Hacendado fabricada por la Cooperativa Ganadera Valle de los Pedroches (Pozoblanco, Córdoba, España), azúcar de Azucarera Iberia S.L. (Madrid, España), bicarbonato sódico de Manuel Riesgo S.A. (Madrid, España), aroma de vainilla Vahiné del grupo McCormick&Company (Francia) y agua de la red de suministro pública de Valladolid.

3.2. Métodos

3.2.1. Estudio y optimización del proceso de extracción de aceite por presión

Uno de los objetivos del estudio fue establecer un procedimiento a escala piloto – laboratorio que permitiera la extracción de aceite y harina de cáñamo de buena calidad, a partir de semillas peladas. Para ello el método planteado fue el prensado en frío, ya que es el más empleado para la extracción de productos destinados a la alimentación por razones de salud, seguridad, económicas y ambientales (Faugno et al., 2019). Existen numerosos factores que influyen en el proceso de prensado y en la calidad de los productos obtenidos, entre los que se encuentran: la temperatura de precalentamiento, tipo de semilla empleada, cantidad de producto empleado, la frecuencia y el tamaño de la boquilla de la prensa (Fathordoobady et al., 2019).

Para el establecimiento y optimización del proceso se empleó una prensa mecánica de semillas para la extracción de aceite con potencia de 1500 W compuesta por una tolva, un tornillo giratorio, un motor, sistemas de calentamiento y ventilación para ajustar la temperatura del proceso y recipientes de recogida de los productos obtenidos.

Las primeras experiencias de prensado no permitieron abordar con éxito el proceso de extracción de aceite, por lo que se planteó un estudio previo en el que se realizaron numerosos ensayos cambiando varios factores (descritos en la Tabla 1) hasta conseguir el resultado que cumpliera con las siguientes condiciones: temperaturas máximas alcanzadas por el aceite 60°C, pérdidas del proceso entre el 5 – 7% y rendimientos de aceite y torta que no difirieran más que en 10%. Una vez establecido el proceso se realizaron un total de 10 extracciones de 200 g de semillas del mismo lote cada una para obtener la muestra de harina final.

Tabla 1. Factores y alternativas para el estudio y optimización del proceso de prensado.

FACTORES	ALTERNATIVAS	DESCRIPCIÓN
Tipo de semilla	Con cáscara Pelada	Grano entero con la cáscara verde oscura Semilla de color verde amarillento muy claro
Tipo de prensado	En caliente En frío	Calor continuo mediante proceso de extracción mediante la resistencia propia de la prensa Se realiza precalentamiento pero no se aplica ningún tipo de calor durante el prensado
Tiempo de precalentamiento	10 min 5 min	Tiempo de precalentado que necesario para que la máquina realice el proceso de extracción
Peso inicial de la muestra	100 g 200 g 400 g	De la cantidad de semilla aportada en una extracción va a depender el tiempo de funcionamiento. Tiempos muy largos pueden llevar al enfriamiento y mal funcionamiento de la máquina.

Temperaturas de extracción

Durante las extracciones se realizaron mediciones de las temperaturas alcanzadas por el aceite y la torta para comprobar que estas no fueran demasiado altas, y evitar de este modo la destrucción de parte de los componentes valiosos de estos ingredientes. Para esto se empleó un termómetro digital de la marca Testo (Lenzkirch, Alemania) con capacidad de almacenamiento de datos de doble sonda, programado para realizar una toma de temperatura de cada uno de los ingredientes cada 10 segundos. De esta forma se pudo trazar una curva de las temperaturas del proceso durante toda la extracción y analizar los resultados.

Centrifugado del aceite

El aceite obtenido se sometió a un proceso de centrifugado para separar las partículas sólidas que se encuentran en suspensión y obtener un aceite clarificado. Para ello las muestras de aceite obtenidas de cada uno de los procesos se introdujeron en tubos tipo “Falcon” de 50 ml y se sometieron a un proceso de centrifugado a 7000 rpm y 20°C durante 30 min en una centrífuga Sorvall ST 16 de la marca Thermo Fisher Scientific (EE.UU.). De esta forma los materiales sólidos formaron un residuo en el fondo del tubo que fue eliminado y el aceite se pudo separar fácilmente y conservar en un bote de vidrio oscuro para que conservara sus propiedades y pudiera ser analizado posteriormente.

Refinamiento de la harina

La torta proteica resultante de cada uno de los procesos de extracción se sometió a una molienda y tamizado para obtener una harina fina y apta para la elaboración de productos. Primeramente, se empeló el molino eléctrico de cuchillas para realizar una molienda de 18 segundos, los suficiente para conseguir una harina de granulometría adecuada. A continuación, la harina obtenida fue pasada por un tamiz de de ensayo 500 µm de luz de malla de la marca Cisa (Barcelona, España), para separar las partículas gruesas de las más finas, que van a constituir la harina deseada para el estudio. En ambos procesos se tomaron los pesos de las muestras iniciales y finales, para poder calcular los rendimientos por diferencia de peso. La Figura 1 refleja diagrama de flujo del proceso para extracción de aceite y harina de cáñamo HCPD, incluyendo los procedimientos, rendimientos y productos obtenidos.

Homogeneización de la muestra final

Las harinas obtenidas en cada proceso se mezclaron y homogeneizaron para formar una única muestra. Para ello se juntaron en varios tubos cilíndricos de PTFE (politetrafluoroetileno) de 1 L con una tapa de cierre hermético y se introdujeron en un mezclador rotatorio con velocidad de giro de 60-70 rpm durante 10 min. La muestra final obtenida “Harina de cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD)”, fue conservada a temperaturas menores de 10°C para preservar sus características.

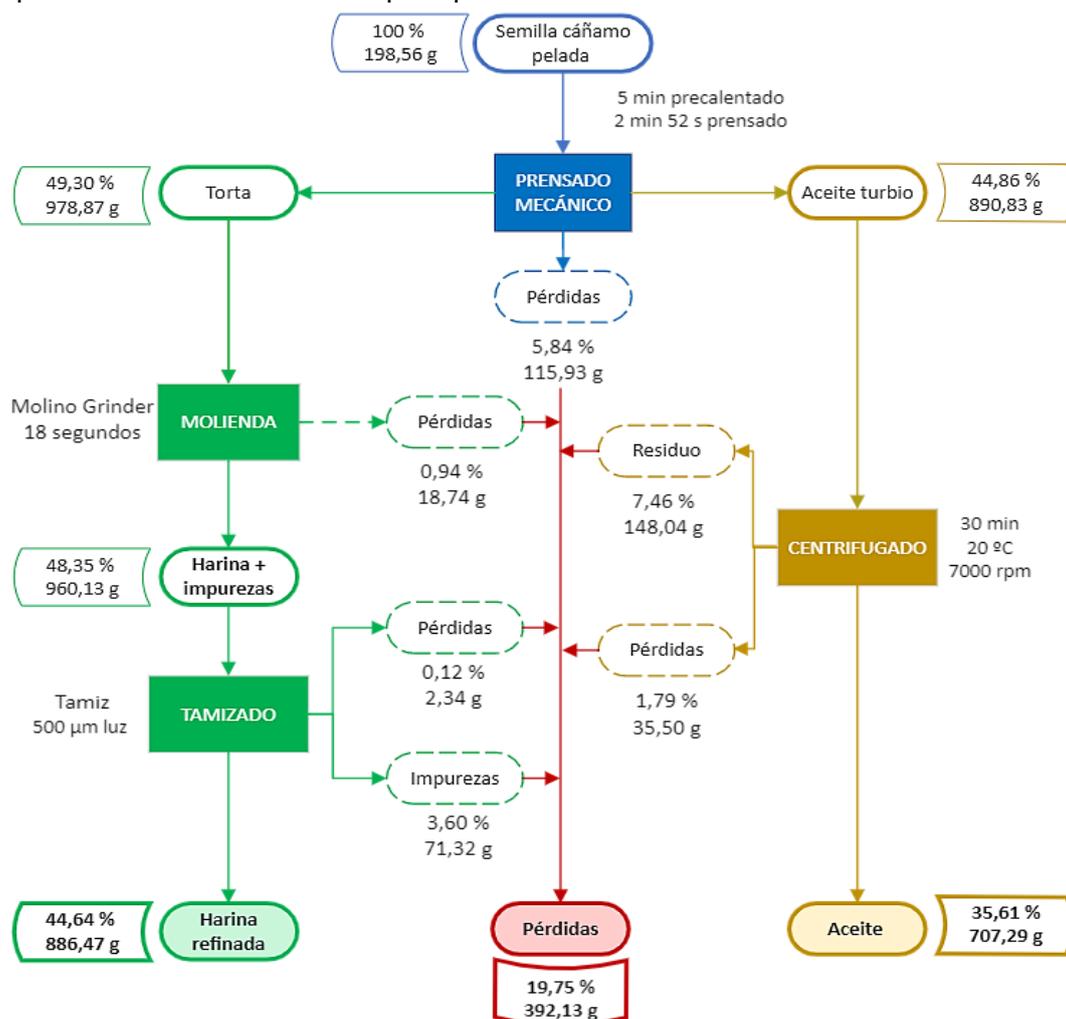


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite y harina de cáñamo por prensado mecánico.

Análisis de las semillas, aceite y harina HCPD

Las muestras de semillas peladas y del aceite y harina (HCPD) obtenidos del prensado, se mandaron a analizar a un laboratorio externo para conocer el perfil de ácidos grasos del aceite y la composición de las semillas. El método de determinación utilizado para el aceite fue la cromatografía líquida, mientras que para las semillas y harina se emplearon técnicas específicas para cada parámetro entre las que se incluyen: Método Kjeldahl para las proteínas, calcinación para las cenizas, cromatografía líquida para los azúcares, extracción con disolvente orgánico para las grasas y diferencias del resto de componentes en el caso de los hidratos de carbono. En el Anexo I se muestran fotografías de los elementos obtenidos durante el proceso (Figuras de la 12 a la 19).

3.2.2. Extracción de grasa mediante empleo de disolvente orgánico. Método Soxhlet

En el proceso de extracción del aceite mediante prensado en frío se obtuvo una harina HCPD con un contenido de aceite elevado. Para poder determinarlo de forma aproximada se empleó el “Método Soxhlet” (Luque et al., 2010). En dicho procedimiento 10 g de la muestra de harina parcialmente desgrasada fueron introducidos en un cartucho de extracción de celulosa que se colocó en el cuerpo de extracción que a su vez estaba unido a un matraz de destilación en cuyo interior se habían añadido 300 mL de éter de petróleo que actuó como solvente. La parte inferior del dispositivo soxhlet se introdujo en un baño de agua caliente a 60°C que provocaba la evaporación del solvente, que iba ascendiendo hasta el lugar donde se encontraba la muestra de harina y disolviendo su grasa. Cuando el líquido alcanzaba el nivel de desbordamiento, era devuelto nuevamente al matraz de destilación, transportando la grasa extraída por el disolvente. Esta operación se repitió sucesivamente durante 4 horas hasta que finalizó la extracción de ácidos grasos de la muestra estudiada (Luque et al., 2010). La determinación del contenido de grasa de la muestra se realizó por diferencia de pesos entre los matraces vacíos y con todo el aceite extraído. Para asegurar la precisión del procedimiento, los matraces se introdujeron en una estufa a 60°C durante 20 horas al finalizar la extracción, de esta forma se aseguraba que los restos del solvente se evaporaran y las mediciones se realizaran únicamente con el aceite extraído.

3.2.3. Determinación de la humedad de la harina

El contenido de humedad de las harinas es un parámetro importante que debe ser tenido en cuenta para el estudio de sus propiedades funcionales. Para su determinación se emplea el método oficial para harinas establecido por la “American Association of Cereal Chemists” (AACC, 2010), basado en la determinación de la humedad por diferencias de peso entre la muestra inicial y la muestra secada en estufa. Para ello se colocaron 2 g de la muestra que se quería analizar en cápsulas de acero inoxidable, previamente secadas y atemperadas. A continuación las 2 repeticiones de la muestra se introdujeron en una estufa Binder (Binder GmbH, Tuttlingen, Alemania) a 130°C durante 60 minutos, para que perdieran toda la humedad. Finalmente las cápsulas se colocaron durante 30 minutos en una campana de desecación, hasta que adquirieron la temperatura ambiente y se pesaron nuevamente en la balanza de precisión de 4 decimales. La diferencia entre el peso inicial y final de las muestras, permitió determinar el contenido de humedad de la muestra inicial y calcular el porcentaje que esta representaba en la harina.

3.2.4. Análisis de color de las harinas

El color de las harinas se evaluó para determinar las diferencias entre la harina de cáñamo parcialmente desengrasada "HCPD", la harina de cáñamo totalmente desengrasada obtenida tras la aplicación del Método de Soxhlet "HCD" y la harina de arroz que se iba a usar como ingrediente principal de las galletas "HR".

El equipo de medida empleado para esta determinación fue un colorímetro PCE-CSM5 (Meschede, Alemania) y el software informático CQCS3. El espacio de color empleado fue CIELAB con iluminante patrón D65 y observador de 10°, de acuerdo con la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE). Para realizar las mediciones primero se calibró el equipo con un patrón negro y otro blanco y a continuación se introdujeron las muestras de harina en cilindros de 2 cm de diámetro y 1 cm de profundidad. Las mediciones fueron tomadas en 5 muestras diferentes de cada harina estudiada, colocando el colorímetro en el centro del cilindro. Los parámetros estudiados fueron: las coordenadas cromáticas a^* [de verde (-) a rojo (+)] y b^* [de azul (-) a amarillo (+)], la luminosidad L^* , cuyo rango se extiende desde 0 (negro) a 100 (blanco). Además se determinaron los valores de saturación (C^*) y de tono (h) a partir de las coordenadas cromáticas a través de las ecuaciones 1 y 2:

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (1)$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Finalmente se pudo determinar la diferencia de color ΔE^* de las dos muestras de cáñamo estudiadas respecto a la harina de arroz escogida, mediante la ecuación 3:

$$\Delta E^* = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

3.2.5. Propiedades funcionales de la harina de cáñamo

Las propiedades funcionales de las harinas son las características fisicoquímicas que reflejan la compleja interacción entre la composición, estructura y la conformación molecular de los componentes de los alimentos y proporcionan información básica para conocer su rendimiento en la elaboración de productos (Chandra et al., 2015).

Las propiedades estudiadas se podían reunir en 3 grupos: propiedades de hidratación y captación de agua y aceite, propiedades emulsionantes y propiedades espumantes. Cada uno de los ensayos fue realizado por triplicado a excepción de la capacidad espumante que se repitió únicamente dos veces y las propiedades de emulsión que se repitieron 4 veces. Además todas las estimaciones se refirieron en valor a materia seca, teniendo en cuenta la humedad de cada muestra de harina previamente determinada (Vela et al., 2021).

3.2.5.1. *Propiedades de hidratación y captación de agua y aceite*

El **índice de absorción de agua** (WAI – *Water Absorption Index*), **índice de solubilidad de agua** (WSI – *Water Solubility Index*) y **poder de hinchamiento** (SP – *Swelling Power*) miden la capacidad que tienen las harinas para absorber agua, su solubilidad en agua y su nivel de hinchamiento, como resultado de su calentamiento (y en general, gelatinización) en exceso de agua (Correa et al., 2021).

Para la determinación de estos parámetros se empleó el método descrito por Kaushal, Kumar y Sharma (Kaushal et al., 2012). En primer lugar se tomaron muestras de harina de 2,00 g en peso seco (PM) y 20 mL de agua destilada y se introdujeron en tubos falcon sin faldón de 50 mL (PR) para ser mezclados con un vórtex durante 30 segundos. A continuación los tubos se calentaron en un baño maría de agua hirviendo durante 15 minutos y se dejaron enfriar a temperatura ambiente 1 hora. Después los tubos se centrifugaron a 3000xg durante 10 min y el sobrenadante de cada tubo se vertió en una cápsula previamente pesada (PC), que se introdujo en una estufa a 110°C por 24 horas. Finalmente se pesaron los tubos falcon con el sedimento (PS) y las cápsulas con los restos no evaporados (PSL). Con todos estos datos se pudo obtener los parámetros buscados empleando las ecuaciones 4, 5 y 6:

$$WAI \left(\frac{g \text{ gel}}{g \text{ harina}} \right) = \frac{PS-PR}{PM} \quad (4)$$

$$WSI \left(\frac{g \text{ sólidos solubles}}{100 g \text{ harina}} \right) = \frac{PSL - PC}{PM} * 100 \quad (5)$$

$$SP \left(\frac{g \text{ gel}}{g \text{ harina insoluble}} \right) = \frac{PS - PR}{PM - (PSL - PC)} \quad (6)$$

La **capacidad de retención de agua** (WHC – *Water Holding Capacity*) cuantifica la posibilidad que tiene una harina para mantener o retener el agua añadida sin ser sometida a ninguna fuerza externa (Correa et al., 2021).

Para la determinación de este parámetro se empleó el método descrito por Cornejo y Rosell (Cornejo et al., 2015). En primer lugar se introdujeron 20 mL de agua destilada en tubos falcon con faldón pesados (PR) y se añadieron 2,00 g de muestra de harina en base seca (PM). Los tubos se dejaron reposar 24 horas en una sala de temperatura entre 15 y 18°C para evitar fermentaciones, y al día siguiente se retiró el sobrenadante con una pipeta. Finalmente los tubos (muestra + agua absorbida) fueron pesados (PT), y se determinó el parámetro deseado empleando la ecuación 7:

$$WHC \left(\frac{g \text{ agua}}{g \text{ muestra}} \right) = \frac{PT - PR - PM}{PM} \quad (7)$$

La **capacidad de absorción de agua** (WAC – *Water Absorption Capacity*) influye en la adecuación de las harinas para ser empleadas en productos, pues afecta a propiedades como la viscosidad que es indicador del volumen y la consistencia de los productos. La **capacidad de absorción de aceite** (OAC – *Oil Absorption Capacity*) mide la capacidad de las harinas de absorber aceite tras aplicar una fuerza mecánica y una centrifugación que obliga a la separación forzada de las dos fases, (Alfauomy et al., 2017).

Para la su cálculo se siguió procedimiento de Beuchat (Beuchat, 1977), empleando agua o aceite de maíz según correspondiera. Primero se pesaron 2,0 g de harina en peso seco (PM) y se introdujeron en tubos falcon sin faldón de 50 mL (PR). A continuación, se añadieron 20 mL de agua destilada/aceite y se agitaron 3 veces, durante 30 segundos con un intervalo de 10 min entre cada vez. Finalmente se centrifugaron a 3000xg durante 30 minutos y se desechó el sobrenadante para determinar el peso final del tubo (PT) y calcular el WAC y OAC según las ecuaciones 8 y 9:

$$WAC (g) = \frac{PT - PR - PM}{PM} \quad (8)$$

$$OAC (g) = \frac{PT - PR - PM}{PM} \quad (9)$$

3.2.5.2. Propiedades emulsionantes

La emulsión es una combinación de varias sustancias normalmente inmiscibles. La **actividad emulsionante** (EA – *Emulsifying Activity*) es la capacidad de las harinas para formar emulsiones y se asocia con la cantidad de aceite, residuos de aminoácidos, agua y otros elementos. La **estabilidad de la emulsión** (ES – *Emulsion Stability*) es la capacidad del sistema de emulsión formado para resistir cambios en sus propiedades fisicoquímicas a lo largo del tiempo (Awuchi et al., 2019).

Para la determinación de estas dos propiedades se empleó el procedimiento descrito por Naczk et al. (1985). Para ello se introdujeron 7,00 g de muestra de harina en peso seco (PM) en un vaso de precipitados de 250 mL y se añadieron lentamente 100 mL de agua destilada, mientras se movía el recipiente círculos para su total dispersión.

A continuación se introdujeron también 100 mL de aceite de maíz y se unificaron los ingredientes con un homogeneizador Ultra-Turrax (T25 IKA, Staufen, Alemania) con potencia de 1000 rpm durante 1 minuto. La emulsión obtenida fue distribuida en 4 tubos falcon sin faldón de 50 mL de forma uniforme, anotando el volumen exacto introducido en cada uno (VT). Posteriormente los tubos se centrifugaron a 1300 xg durante 5 minutos y se anotó el volumen de emulsión (VE_I) formado tras el proceso, para poder determinar la actividad de emulsión mediante la ecuación 10:

$$EA(\%) = 100 * \frac{VE_I}{VT} \quad (10)$$

En los ensayos en los que se obtuvo emulsión se procedió a determinar su estabilidad. Para ello, se calentaron los tubos en un baño a 80°C durante 30 minutos, se dejaron enfriar a temperatura ambiente media hora y posteriormente se volvieron a centrifugar a 1300 xg durante 5 minutos. Finalmente se anotó el volumen formado por la nueva emulsión (VE₈₀) y se determinó la estabilidad de esta mediante la ecuación 11:

$$ES(\%) = 100 * \frac{VE_{80}}{VT} \quad (11)$$

3.2.5.3. Propiedades espumantes

La **capacidad de formación de espuma** (FC – *Foaming Capacity*) de una harina se mide como la cantidad de área interfacial creada al batir un alimento y está relacionada con la cantidad de proteínas en la composición de las harinas. La **estabilidad de la espuma** (FS – *Foaming Stability*) se refiere a la capacidad que tiene para estabilizarse frente a tensiones mecánicas y gravitatorias. Siempre existe una relación inversa entre estas dos variables (Awuchi et al., 2019).

Para la determinación de estas propiedades se empleó el método descrito por Collar & Angioloni (Collar et al., 2014). Para ello se introdujeron en una probeta de 100 mL, 40 mL de agua destilada a temperatura de 30°C y se añadieron 2,00 g de la muestra de harina referido a peso seco (PM) para obtener una concentración del 5% (w/v).

A continuación se taparon las probetas con varias capas de Parafilm, se apuntó el volumen final de su contenido (V_0) y se agitaron enérgicamente durante 5 minutos para promover la formación de espuma. Finalmente se apuntó el volumen total del contenido (VF_0), así como el volumen de espuma (VE_0) y se dejó reposar una hora antes de repetir las mismas mediciones (VF_{60}) y (VE_{60}). Con estos datos se pudo determinar las dos propiedades estudiadas mediante las ecuaciones 12 y 13:

$$FC (ml/g) = VE_0 \quad (12)$$

$$FS (\%) = \frac{VE_{60}}{VE_0} * 100 \quad (13)$$

3.2.6. Formulación de las galletas

Para estudiar cómo afecta la adición de harina de cáñamo (HCPD) a las propiedades organolépticas de las galletas sin gluten se realizó un estudio en el que se comparaba una galleta elaborada únicamente con harina de arroz (GA-00) con otras que tiene distintas sustituciones por harina de cáñamo (GC-%HCPD). Para conseguir la formulación adecuada se realizaron varios ensayos preliminares hasta que las galletas resultantes tuvieron las características deseadas. Además se evitó el uso de alérgenos como el gluten, leche y huevos en su formulación. Como resultado la receta, expresada en porcentaje de sus ingredientes, fue la siguiente: 50% harina sin gluten, 23% mantequilla sin sal, 15% azúcar blanco, 10,74 % agua, 0,80% bicarbonato, 0,23% extracto de vainilla y 0,23% sal.

Las harinas empleadas fueron: la de cáñamo extraída por el prensado mecánico (HCPD) y harina de arroz (HA) del tipo "MICROCERN", por los buenos resultados obtenidos en otros estudios de galletas sin gluten (González, 2019). Tras varias pruebas iniciales se decidió que los porcentajes que se iban a sustituir de harina de arroz por harina de cáñamo eran del: 10%, 20%, 30% y 40%; por lo que finalmente se obtuvieron un total de 5 muestras con las siguientes características y nomenclatura:

- 100 % harina de arroz (GA – 00).
- 90 : 10 harina de arroz: harina de cáñamo (GC – 10).
- 80 : 20 harina de arroz: harina de cáñamo (GC – 20).
- 70 : 30 harina de arroz: harina de cáñamo (GC – 30).
- 60 : 40 harina de arroz: harina de cáñamo (GC – 40).

Es importante tener en cuenta que de acuerdo con el estudio realizado la harina de cáñamo presenta un 17,05% de grasa, lo que implica que de 100 g el 17,05% es grasa y solo el 82,95% harina. Considerando que la principal harina de la formulaciones es de arroz, que no contiene prácticamente grasa, se realizó un ajuste de la fórmula específico para cada porcentaje de harina de cáñamo. Dicho ajuste conllevó un incremento de la harina de cáñamo a añadir para conseguir la cantidad de harina deseada; corrigiendo también la cantidad de mantequilla de la formulaciones ya que se estaba considerando el aporte de grasa de la propia harina de cáñamo.

Como consecuencia de esta modificación se consiguió que al sustituir parte de la harina de arroz por harina de cáñamo, además de enriquecer las galletas, también se conseguía que fueran más saludables ya que parte de la grasa de la mantequilla era sustituida por aceite de cáñamo, rico en ácidos grasos esenciales y monoinsaturados.

Las 5 elaboraciones se realizaron con 200 g de harina, lo que supone un total de 400 g de masa, que permitió el estudio de las propiedades y características de las masas y de las propias galletas. Para la elaboración y mezclado de la masa de las galletas se utilizó una batidora Kitchen Aid Profesional 5KPM50 (Michigan, USA) con un gancho para masa en espiral. En la Tabla 2, representada a continuación, se muestra los ingredientes de cada tipo de galleta estudiado en base a 200 g de harina (sin grasa).

Tabla 2. Receta galletas en base a 400 g de masa ajustada para cada una de las formulaciones.

INGREDIENTES	GA – 0	GC – 10	GC – 20	GC – 30	GC – 40
Harina arroz (g)	200,00	180,00	160,00	140,00	120,00
Harina cáñamo (g)	0,00	24,12	48,22	72,34	96,44
– Harina	0,00	20,01	40,00	60,01	80,00
– Fracción grasa	0,00	4,11	8,22	12,33	16,44
Mantequilla (g)	92,00	87,88	83,78	79,66	75,56
Azúcar (g)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Agua (g)	42,96	42,96	42,96	42,96	42,96
Bicarbonato (g)	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
Extracto vainilla (g)	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
Sal (g)	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92

Para la elaboración de las galletas en primer lugar se mezclaron la mantequilla, previamente atemperada durante 30 minutos, con el azúcar, a una velocidad de 4 durante 3 minutos. A continuación se incorporaron al recipiente los ingredientes líquidos, (agua y esencia de vainilla) y se continuó con el mezclado a velocidad 4 durante 2 minutos, hasta que la mezcla adquirió un aspecto de pomada. Finalmente, se agregaron la harina o mezcla de harinas correspondiente, el bicarbonato y la sal y se mezclaron a velocidad 2 durante 3 minutos. Una vez que todos los ingredientes estaban mezclados se procedió a la homogenización manual, formando una bola de masa que se envolvió en film transparente y se dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 minutos.

Para el laminado de las galletas se plantearon dos posibles alternativas: la laminación manual con rodillo o la laminación mecánica. Tras varias pruebas para comprobar la calidad obtenida se comprobó que las galletas de laminado manual eran más irregulares y por lo tanto, se decidió realizar laminado mecánico con la laminadora SALVA L-500-J (Lezo, España), con separación entre rodillos de 6 mm. A continuación se realizó el troquelado con molde circular de 40 mm de diámetro interno.

El proceso de horneado también se optimizó realizando diversas pruebas hasta conseguir un tiempo y temperatura que se ajustara a las diferentes formulaciones. Finalmente se realizó en un horno eléctrico “Mini Rack Oven” de la marca Sveba Dahlen (Fristad, Suecia) durante 9 minutos y un enfriamiento posterior de una hora antes de proceder al estudio de las propiedades y características físicas de las galletas.

3.2.7. Comportamiento reológico de las masas

La reología de las masas de las galletas fue evaluada sobre plastones de 40 mm de diámetro y espesor de 4 mm. Todos los ensayos fueron realizados por duplicado. Para conservar las propiedades de la masa, las galletas se troquelaron con un molde lubricado con aceite para minimizar la deformación y se conservaron en una bandeja cubierta con un paño humedecido con agua para que no se resecaran antes de su uso.

Para la evaluación de las propiedades viscoelásticas de las masas se realizaron ensayos dinámicos – oscilatorios de barrido de deformación y frecuencias, y ensayos tipo “Creep-recovery”. El instrumento utilizado para todos las pruebas fue el reómetro o Kinexus Pro + (Malvern Instruments Ltd, Malvern, Reino Unido), al que se acoplaron placas paralelas circulares de acero inoxidable de 40 mm de diámetro, de superficie serrada y con separación entre placas de 3 mm. Para realizar los ensayos de forma adecuada los plastones de masa se colocaron de forma precisa sobre la paca inferior del reómetro, se ajustó el “gap” y finalmente se aplicó aceite de vaselina (Panreac, Panreac Química SA, Castellar del Vallés, Spain), para cubrir la superficie expuesta de la muestra y evitar la desecación superficial de la masa durante los ensayos. Una vez preparada la muestra se seleccionó el programa de ensayo deseado, se realizaron periodos de 5 min de reposo de la masa, para que esta adquiriera temperatura de 25°C y se disiparan las tensiones residuales, y finalmente se comenzaba el ensayo.

En primer lugar se realizó el **barrido de deformación** con una frecuencia constante de 1 Hz, y rango de deformación comprendido entre 0,01–200% y temperatura constante de 25°C gracias al módulo Peltier KNX2002 C25P que se encontraba apoyado sobre un baño de recirculación KNX2002 de la misma marca que el reómetro. El resultado permitió establecer la región viscoelástica lineal (LVR) mediante la localización del esfuerzo máximo ($\tau_{m\acute{a}x}$), que es capaz de soportar la masa de las galletas antes de romperse, por el descenso del módulo elástico G' y aumento del $\tan \delta$.

A continuación se utilizó el esfuerzo dentro de la zona LVR, para realizar un **barrido de frecuencias** comprendidas entre 10 Hz y 1 Hz. Este ensayo permitió obtener los valores del módulo elástico G' (Pa), el módulo viscoso G'' (Pa) y la tangente del ángulo de desfase (G''/G'), que se ajustaban a las ecuaciones generales (Ronda et al., 2014), reflejadas en las ecuaciones 14, 15 y 16:

$$G'(\omega) = G'_1 * \omega^a \quad (14)$$

$$G''(\omega) = G''_1 * \omega^b \quad (15)$$

$$\tan \delta(\omega) = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} = \left(\frac{G''}{G'} \right)_1 * \omega^{(b-a)} = (\tan \delta)_1 * \omega^c \quad (16)$$

Los parámetros G'_1 , G''_1 , y $(\tan \delta)_1$ representan, respectivamente, los valores de los módulos elástico, viscoso y la tangente del desfase a la frecuencia de 1 Hz. Los coeficientes “a”, “b” y “c” son constantes experimentales que cuantifican el grado de dependencia de los módulos y de la tangente de pérdida con la variación de frecuencia angular ω (rad⁻¹). El módulo complejo (G^*) se calculó mediante la ecuación 17:

$$G^* = (G'^2 + G''^2)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

El ensayo de “**Creep Recovery**” o pruebas de capacitancia se realizaron imponiendo un esfuerzo constante de 500 Pa durante 60 segundos. En la fase de recuperación se eliminó bruscamente la tensión y se dejó que la muestra recuperara la parte elástica (instantánea y retardada) de la deformación durante 240 segundos. A continuación se determinó la capacitancia máxima alcanzada a 500 Pa de esfuerzo y la resultante después del periodo de recuperación (Jia et al., 2012). Para determinar el porcentaje de recuperación de la masa que aporta información sobre la viscosidad en estado estacionario, se empleó la ecuación 18:

$$X_R = \frac{J_{max} - J_{min}}{J_{max}} * 100 \quad (18)$$

En donde:

- J_{max} : capacitancia máxima (1/Pa)
- J_{min} : capacitancia mínima en la zona de recuperación (1/Pa)

3.2.8. Determinación de las propiedades físicas de las galletas

El análisis de como afecta la introducción de harina de cáñamo en la elaboración de galletas se llevó a cabo de forma multifactorial, estudiando cómo afecta el sistema de laminado (manual o con laminadora eléctrica) las características morfogeométricas de las galletas que se querían determinar. Para ellos se estudiaron 10 galletas, de las cuales 5 habían sido obtenidas por laminado manual y las otras 5 por laminado mecánico. De todas estas muestras los parámetros que se determinaron fueron: el factor de propagación, la textura y el color.

El **factor de propagación** de las galletas permite comparar sus dimensiones antes y después del horneado, y valorar como afectan a la calidad de las galletas, considerándose normalmente un mayor factor de propagación y diámetro factores más deseables (Panghal et al., 2018). Para su determinación se tomaron medidas precisas del diámetro y espesor de cada galleta seleccionada antes y después del horneado, con un calibre de precisión. Además se determinó la pérdida de humedad mediante la diferencia de pesos de cada galleta tras el horneado.

La **textura** es un parámetro empleado para evaluar la dureza de las galletas (Kuchtová et al., 2018). Para su determinación se empleó el método “Three point bending test” (Pareyt et al., 2009), realizando ensayos de rotura en 5 muestras de cada tipo de galleta con un texturómetro TA-XT2 Stable Microsystems (Godalming, Reino Unido) y una sonda de corte HDP/WBR (Blade set “Warner-Bratzler”) (Pineda, 2014), considerada la más adecuada para este producto ya que reduce la variabilidad asociada a la compresión con respecto a otras sondas como la esférica. La galleta se apoyaba sobre una base compuesta por dos apoyos de extremo redondeado separados a una distancia de 30 mm, para la perfecta sujeción de las galletas durante la prueba. Este dispositivo estaba conectado al software “*Texture Expert*”, que permitía la visualización y estudio de los datos en el ordenador. Las condiciones escogidas para la realización de los ensayos fueron: “*trigge*” 0,05 N, distancia de desplazamiento de la sonda 10 mm, velocidad de pre-ensayo 1,00 mm/s, velocidad de ensayo 1,00 mm/s y velocidad post-ensayo 10,0 mm/s (González, 2019). Los parámetros analizados para el estudio de la textura de las galletas fueron: la fuerza correspondiente al pico más alto registrado

empleada para cuantificar la dureza; la distancia a la cual se registró el pico más alto, que se utiliza para determinar la fracturabilidad; la energía empleada para fracturar la galleta, expresada como el área debajo de la curva desde el inicio del gráfico y el número total de picos que se produjeron, que es el parámetro representativo de la crujencia. Estos parámetros fueron determinados para las cinco repeticiones de cada formulación de galletas estudiada.

La determinación del **color** de las galletas se realizó por un método similar al de las harinas, en este caso tomando las mediciones sobre el centro de las 5 repeticiones de galletas realizadas de cada muestra. Estos 3 parámetros se estudiaron según el método 10-50D de la Asociación Americana de Químicos Cerealistas AACC (Ertaş et al., 2020).

3.2.9. Análisis sensorial de las galletas

El tipo de estudio escogido para la evaluación sensorial de las galletas fue una cata descriptiva con un panel sensorial semi-entrenado de diez miembros (Meilgaard et al., 1999). Los panelistas participaron previamente en sesiones de capacitación adicionales para saber identificar atributos de las galletas, aclarar la terminología de referencia y verificar o establecer referencias como puntos de anclaje para los niveles de intensidad de los distintos atributos.

Se preparó un estudio con diferentes parámetros descriptivos que se consideraron importantes y se estableció una escala estructurada del 1 al 10 para que los panelistas pudieran valorar las muestras de la forma más objetiva posible de acuerdo con lo explicado en la formación. Los parámetros de estudio fueron:

- a. Fase visual de la galleta entera
 - Uniformidad de la superficie superior: presencia de cuarteamientos en la superficie, donde (1) significa “muy cuarteada” y (10) “uniforme”.
 - Simetría de la galleta: aspecto uniforme en dimensiones y forma, donde (1) significa “asimétrica” y (10) “circular”.
- b. Caracterización al tacto
 - Dureza: fuerza requerida para romper la galleta a la mitad, donde (1) significa “poca fuerza” y (10) “fuerza elevada”.
- c. Fase olfativa
 - Intensidad de aroma: fuerza con la que se percibe el olor a cáñamo una vez rota la galleta, donde (1) significa “poca intensidad” y (10) “mucho intensidad”.
- d. Fase gustativa
 - Intensidad de sabor: fuerza con la que se percibe el sabor del cáñamo, donde (1) significa “poca intensidad” y (10) “mucho intensidad”.
 - Retrogusto residual: persistencia del sabor del cáñamo una vez realizada la deglución, donde (1) significa “poca persistencia” y (10) “mucho persistencia”.
- e. Atributos relativos a textura
 - Dureza en boca: fuerza requerida para quebrarla tras la primera mordida, donde significa “poca fuerza” y (10) “mucho fuerza”.

- Terrosidad: percepción durante la masticación de sensaciones terrosas, donde (1) significa “gomoso” y (10) “terroso”.
- f. Fase final
 - Valoración global en función de la valoración dada al resto de atributos, donde (1) significa “me disgusta mucho” y (10) “me gusta mucho”.

El análisis de atributos se realizó sobre las 5 galletas, etiquetadas con códigos de 3 dígitos para que el catador no supiera que muestra estaba evaluando. Las galletas fueron presentadas en varios platos de plástico y en las cantidades suficientes como para poder hacer todas las evaluaciones necesarias en cada parámetro. En el Anexo II se refleja la hoja de cata proporcionada a los panelistas.

3.2.10. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se analizaron estadísticamente con el programa Statgraphics Centurion XVIII (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, USA), mediante un análisis de varianza paramétrico unidireccional (ANOVA simple). Se empleó el test de Fisher (LSD) para evaluar la diferencia significativa de las muestras, usando un nivel de significación del 95% ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimientos de la extracción

4.1.1. Estudio y optimización del proceso de extracción de aceite por presión

Antes de la extracción de la muestra de harina parcialmente desgrasada (HCPD) objeto de estudio se realizaron diferentes ensayos (ver Tabla 3) variando los factores de tiempo de calentamiento, tipo de semilla y cantidad de producto, hasta conseguir el resultado con las características más similares a las deseadas (Ensayo 5). La Tabla 3, refleja las características de cada tipo de ensayo realizado en esta fase de optimización y los resultados obtenidos en cada uno. Los porcentajes se corresponden con las cantidades de los productos principales (aceite y torta) y las pérdidas que se producen durante el prensado, en relación a la cantidad inicial de semillas peladas procesadas.

Tabla 3. Ensayos realizados para la optimización del proceso de extracción del aceite.

Ensayo	Tipo de semilla	Peso (g)	Tiempo de Precaentado (min)	% Torta $\left(\frac{g \text{ torta}}{100 g \text{ semilla}}\right)$	% Aceite $\left(\frac{g \text{ aceite}}{100 g \text{ semilla}}\right)$	% Pérdidas $\left(\frac{g \text{ pérdidas}}{100 g \text{ semilla}}\right)$	Observaciones
[1]	Cáscara	100	En caliente	68,00	24,00	8,00	- Temperatura muy elevada - Bajo rendimiento aceite - Aspecto oscuro
[2]	Cáscara	100	10 min	69,29	22,10	8,61	- Temperaturas elevadas - Bajo rendimiento aceite - Aspecto oscuro
[3]	Pelada	100	10 min	50,00	40,33	9,68	- Elevadas temperaturas - Mejora extracción - Mejora aspecto
[4]	Pelada	100	5 min	49,09	45,34	5,57	- Mejora temperatura
[5]	Pelada	200	5 min	49,93	45,30	4,25	- Se mantiene calidad - Aumento cantidad
[6]	Pelada	200	2 min	63,78	30,81	12,37	- Empeora extracción
[7]	Pelada	400	5 min	37,88	51,68	10,44	- Empeora calidad - Aumenta los residuos - Disminución % de pérdidas

Valorando los datos y observaciones de cada ensayo, se determinó que los parámetros de extracción adecuados eran: precalentamiento del equipo de 5 min, prensado en frío (sin aportación de calor durante la extracción) y empleo de 200 g de semillas peladas por extracción. Con esto se consiguió que las temperaturas alcanzadas por el aceite y la torta no fueran excesivamente elevadas y que las pérdidas de semilla durante el proceso fueran las mínimas posibles (al aumentar la cantidad o disminuir el tiempo de precalentado este parámetro también empeoraba).

Una vez optimizado el proceso, se realizaron 10 repeticiones con 200 g de semillas peladas del mismo lote cada una, con las características de extracción establecidas; de las que se obtuvieron unos rendimientos medios del: 49,30% de torta, 44,86% de aceite con partículas en suspensión y 5,84% de pérdidas. Estos productos se sometieron a un centrifugado (aceite) y molienda y tamizado (torta), para obtener los productos finales.

En la Tabla 4 se reflejan los rendimientos finales de cada producto, así como las pérdidas que se produjeron durante el proceso para cada una de las extracciones realizadas, todo ello referido a peso respecto al peso inicial de las semillas.

Tabla 4. Proceso de extracción de aceite y obtención de la harina de cáñamo y rendimientos de cada fase.

EXTRACCIONES	Peso muestra (g)	ACEITE (%)	HARINA (%)	PÉRDIDAS PROCESO (%)				
				Máquinas	Residuo centrífuga	Partículas gruesas	TOTALES	
[1]	2,42	192,64	33,53	43,09	9,73	8,68	4,99	23,37
[2]	2,55	199,76	36,20	43,61	10,18	7,25	2,75	20,18
[3]	2,44	200,16	36,43	44,70	8,33	7,58	2,95	18,86
[4]	2,54	198,54	36,36	44,63	8,14	7,19	3,68	19,01
[5]	2,58	199,65	35,62	44,31	9,47	5,99	4,61	20,07
[6]	3,02	197,88	35,13	43,95	9,01	7,51	4,40	20,92
[7]	3,02	199,28	35,98	45,64	7,74	7,73	2,91	18,38
[8]	2,45	199,76	34,87	45,22	8,51	8,33	3,07	19,90
[9]	2,56	199,50	36,25	45,64	8,02	7,06	3,03	18,11
[10]	3,01	198,46	35,75	45,58	7,81	7,27	3,59	18,67
PROMEDIO (%)		198,56	35,61	44,64	8,69	7,46	3,60	19,75
TOTALES (g)		1.985,63	707,14	886,36	172,57	148,12	71,44	392,13

Tras el molido y tamizado se determinó que de media, del 49,30 % de torta inicial: el 44,64% era harina refinada, el 3,60% partículas gruesas y el 1,06% pérdidas. En cuanto al aceite del 44,86 % inicial: el 35,61% correspondía a aceite, el 7,46% al residuo de las partículas en suspensión y el 1,79% fueron pérdidas. Como conclusión se determinó que del procesado de 100 g de semillas peladas de cáñamo se pueden obtener 35,61 g de aceite, 44,64 g de harina y el 19,75 g de pérdidas, de las cuales 11,06 g corresponderían a residuo y partículas gruesas, que en este estudio no se están teniendo en cuenta pero podrían ser empleadas con otras finalidades.

4.1.2. Temperaturas de la extracción

Las temperaturas durante el proceso de extracción fueron tomadas en la torta y en el aceite durante los 10 procesos de obtención de muestras. En la Figura 2, se refleja un gráfico con las temperaturas de cada uno de los ingredientes en el promedio de las extracciones.

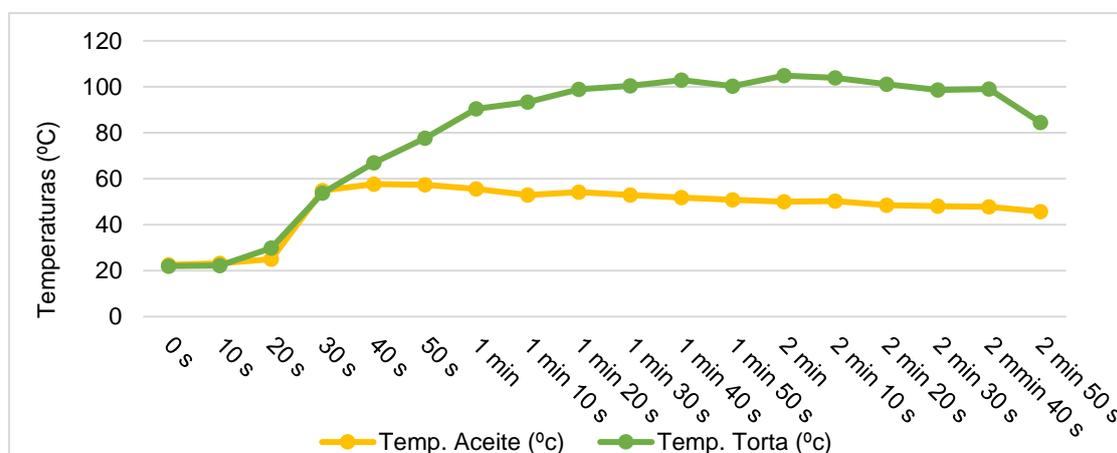


Figura 2. Temperaturas alcanzadas por el aceite y la torta obtenidos durante el prensado mecánico de las semillas de cáñamo (°C).

Los resultados reflejan que las temperaturas del aceite y la torta justo después del proceso de extracción sufrieron un ascenso progresivo desde que se inició el prensado. Para la torta las temperaturas promedio iniciales fueron de 22,03°C, alcanzándose el máximo en el minuto 2 con 104,90°C. El aceite, a pesar de tener una temperatura al inicio similar a la torta (22,50°C), alcanzó su máximo aproximadamente a los 40 segundos desde el inicio de con 57,40°C y desde ahí las temperaturas se fueron estabilizando y sufriendo un ligero descenso progresivo hasta terminar con un promedio de 45,70°C. Estas temperaturas del aceite se consideraron satisfactorias ya que hay estudios que afirman que en el prensado en frío de las semillas de cáñamo la mejor relación calidad/rendimiento se consigue a temperaturas de 60°C (Aladić et al., 2014).

4.1.3. Contenido de grasa de las harinas parcialmente desgrasadas

El promedio de aceite obtenido de las extracciones por soxhlet fue de 17,05%, lo que quiere decir que la harina de cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD) que se utilizó para el estudio tenía este contenido de grasa y por lo tanto se debía de tener en cuenta a la hora de la formulación de los productos.

Como resultado final de la extracción se puede concluir que las semillas analizadas tenían un contenido de aceite aproximado del 50,66%, del cual el 33,61% fue obtenido mediante el prensado en frío de las semillas y posterior centrifugado y el 17,05% por la aplicación del método soxhlet a la harina parcialmente desgrasada. Este porcentaje se corresponde con el obtenido en otros estudios del cáñamo que reportan contenidos totales del 47,54% (Mookerjee, 2020).

4.2. Humedad y color de las harinas

La humedad y el color son dos características que se deben de tener en cuenta en el estudio de las harinas. La humedad se refiere a la cantidad de agua que hay contenida en 100 g de harina y es importante conocerla para la correcta realización del estudio de las propiedades funcionales de cada harina (Kaushal et al., 2012). El color es una características visible que se tiene en cuenta en la fabricación de productos de panadería y repostería. Las harinas de arroz o trigo suelen ser de colores blanquecinos, mientras que otras como las de cáñamo poseen mayor pigmentación, lo que puede afectar de forma significativa a los productos en los que se incorpora, con resultados finales más “oscuros” que los elaborados con harina de arroz (Wiedemair et al., 2022).

En la Tabla 5, se reflejan los valores obtenidos para estos parámetros y los resultados de error estadísticos, análisis de la varianza y grupos homogéneos proporcionados por el estudio estadístico ANOVA Simple, para las tres harinas que se emplean en la elaboración de las galletas de estudio: harina de cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD), harina de cáñamo desgrasada (HCD) y harina de arroz (HA). Además se incluye la diferencia de color (ΔE) de cada una de las dos muestras de cáñamo respecto de la harina de arroz, para reflejar las claras diferencias de color entre las muestras y analizar como la eliminación total del aceite de la harina de cáñamo influye en el color. Se incluye además la Figura 3 donde se refleja el diagrama de color a^*b^* con las coordenadas cromáticas de las harinas estudiadas y la Figura 4, que muestras una fotografía del color de cada una de las tres muestras empleadas en el estudio.

Tabla 5. Humedades y resultados del análisis de color de las harinas estudiadas empleando los espacios de color CIELAB (CIE L*a*b*) y CIELCh(CIE L*C*h*).

HARINAS	Humedad	Color					
	%	L*	a*	b*	C*	h	ΔE*
HCPD	7,19 b	66,8 a	-2,39 a	31,02 c	31,11 c	94,4 c	38,0 b
HCD	6,61 a	85,2 b	-0,35 b	11,98 b	11,98 b	91,7 b	11,6 a
HA	12,47 c	94,4 c	0,13 c	4,97 a	4,98 a	88,4 a	-
SE	0,06	0,4	0,05	0,08	0,08	0,5	0,3
Análisis de varianza	***	***	***	***	***	***	***

L*, a* y b*: coordenadas de color CIELAB, C*: saturación, h: tono, ΔE: diferencia de color respecto a la harina de arroz y SE: error estándar agrupado obtenido del análisis ANOVA. Los valores medios con letras diferentes para el mismo parámetro implican diferencias significativas ($p < 0,05$). * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ y ns= no significativo.

Los resultados del estudio de la **humedad** manifestaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las 3 harinas analizadas. La harina de arroz fue la de mayor humedad con un 12,45 %, seguida por la harina de cáñamo parcialmente desgrasada con un 7,19% y finalmente la más seca que fue la harina de cáñamo desgrasada mediante el Método Soxhlet, que reflejó un porcentaje de humedad del 6,61 %. Estas diferencias se deben al diferente origen de las harinas de cáñamo y arroz y a la pérdida de humedad que se produjo durante la extracción final de aceite.

En lo que respecta al **color**, al tratarse de harinas provenientes de especies de plantas diferentes: cáñamo (HCPD y HCD) y arroz (HA) y con composiciones distintas todos los resultados obtenidos manifestaron diferencias significativas ($p < 0,05$). Estas variaciones eran esperables por las visibles diferencias, sin embargo se consideró oportuno realizar el estudio para ver si alguno de los parámetros colorimétricos aportaba información interesante en algún aspecto relacionado con el color y composición de las harinas.

El análisis de la **luminosidad** (L*) mostró una ligera reducción del valor entre la harina de arroz (HA) y la de cáñamo totalmente desgrasada (HCD), y una disminución mucho más acusada de este parámetro en la harina de cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD). Este resultado evidencia una coloración más oscura en la harina HCPD debido a su alto contenido en grasa, así como a la presencia de pigmentos coloreados que en la harina HCD pudieron ser extraídos mediante los disolventes orgánicos empleados para su obtención. Los valores de las **coordenadas a* y b*** fueron ambos positivos para la harina de arroz, mientras que para las dos harinas de cáñamo el parámetro a* tomó valores negativos, lo que indica que estas muestras se encuentran en un cuadrante del diagrama cromático diferente. Los valores de a* (de verde (-) a rojo (+)) reflejaron que las harinas de cáñamo (-) tenían un color verdoso, que además era mucho más acentuado en la harina HCPD debido a su contenido oleico, que le aporta esta tonalidad característica. Esta reducción del valor del parámetro cromático a*, asociada al contenido de grasa de la muestra, ya ha sido reportada en estudios previos realizados con harinas de cáñamo similares (Zajac et al., 2019).

Los valores del **parámetro b*** (de azul (-) a amarillo (+)) fueron positivos y con tendencia claramente ascendente conforme aumentaba la cantidad de grasa de la muestra (HA < HCD < HCPD), lo que significa una tendencia hacia el color amarillo, que es mucho más acentuada en la harina de cáñamo parcialmente desgrasada.

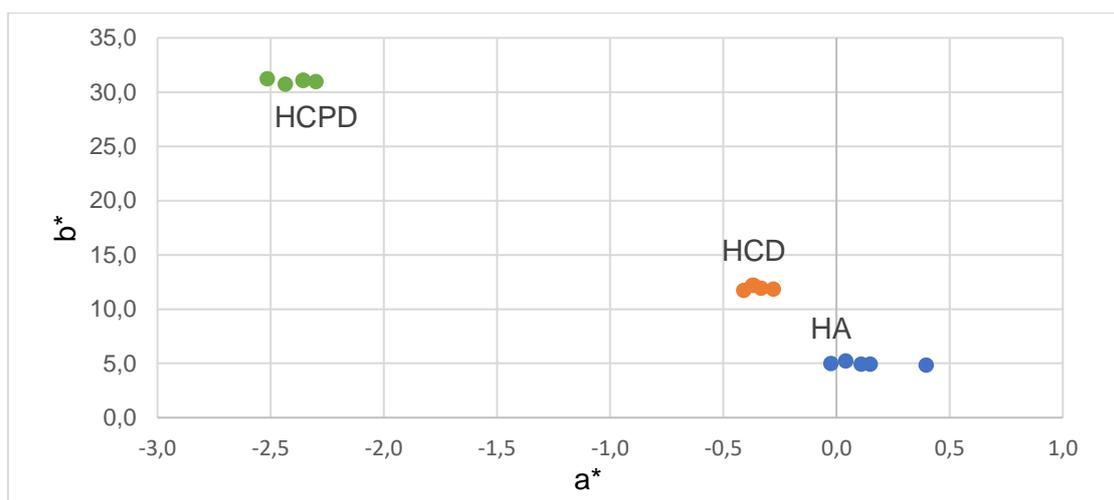


Figura 3. Diagrama cromático a*b* del espacio de color CIELAB de las harinas de cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD), cáñamo desgrasada (HCD) y harina control de arroz (HA), empleadas en el estudio.

Los valores de **tono** (h) y **saturación** (C*) también presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) de las harinas de cáñamo respecto a la de arroz. En ambos casos los valores más elevados se obtuvieron para la harina de cáñamo HCPD, destacando la gran reducción que se produce del valor de la saturación en la HCD, debido a la extracción de pigmentos y de aceite que se lleva a cabo durante el su proceso de obtención con disolventes orgánicos. Tanto para el tono como para la saturación los valores para la harina de arroz fueron los más bajos. Los altos valores de C* para la muestra HCPD indican colores más saturados para la harina de cáñamo parcialmente desgrasada, mientras que los valores bajos de HA, indican que la harina de arroz se encuentra más próxima a la acromicidad, que correspondería con el valor de 0 (Pau, n.d.).

A pesar de los cambios significativos ($p < 0,05$) de color, se realizó un cálculo de la **diferencia de color** (ΔE^*) entre la harina de arroz empleada como control y las dos harinas de cáñamo. Con el objetivo de observar cuanto diferían cada una de las harinas de cáñamo respecto a la harina de arroz y como de parecida era cada una de ellas. Los valores obtenidos para las dos harinas de cáñamo fueron mayores de 3, lo que significa que las diferencias de color son perceptibles al ojo humano. Sin embargo, cabe destacar que la harina HCD tiene un valor de 7 (frente al 32,5 de la muestra HCPD), lo que significa que presenta un color mucho más próximo a la de arroz que a la otra muestra de cáñamo, como se puede ver en la Figura 4.

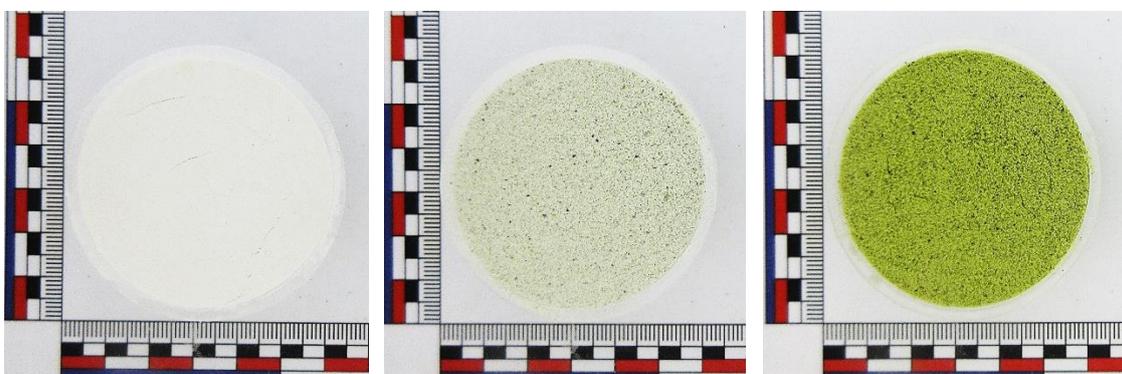


Figura 4. Imágenes de las harinas de cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD), cáñamo desgrasada (HCD) y harina control de arroz (HA), empleadas en el estudio.

4.3. Composición química de los productos y subproductos

4.3.1. Aceite de cáñamo

La Tabla 6 refleja la proporción de ácidos grasos del aceite de cáñamo mediante extracción en la prensa de tornillo giratorio.

Tabla 6. Perfil de ácidos grasos (A.G.) del aceite de cáñamo extraído en el estudio.

PERFIL DE ACIDOS GRASOS ACEITE DE CAÑAMO					
A.G. Saturados [%(p/p)]		A.G. Monoinsaturados [%(p/p)]		A.G. Poliinsaturados [%(p/p)]	
A. palmítico (C16:0)	6,27	A. palmitoleico (C16:1n7)	0,10	A. linoleico (C18:2n6)	55,47
A. esteárico (C18:0)	3,09	A. oleico (C18:1n9)	12,78	A. g-linolénico (C18:3n6)	0,53
A. araquidónico (C20:0)	0,72	A. vaccénico (C18:1n7)	0,68	A. a-linolénico (C18:3n3)	17,99
A. behénico (C22:0)	0,25	A. erúcico (C20:1n9)	0,36	A. estearidónico (C18:4n3)	0,28
A. lignocérico (C24:0)	0,10				
A.G. Saturados	10,42	A.G. Monoinsaturados	13,93	A.G. Poliinsaturados	74,27

Como se refleja en la tabla anterior los datos obtenidos se correspondieron con los reflejados en la bibliografía que indicaban que los aceites de cáñamo están compuestos por entre el 70% y 80% de ácidos grasos poliinsaturados, 74,27% en este caso, teniendo un bajo contenido en ácidos grasos saturados (Callaway, 2004). Esto pone en manifiesto que se trata de aceites más beneficiosos para la salud ya que los ácidos grasos poliinsaturados se asocian con la prevención de enfermedades cardiovasculares y una mejora de la actividad cerebral (Lazic et al., 2014).

4.3.2. Harina de cáñamo

La Tabla 7 refleja la composición tanto de las semillas de cáñamo peladas que se emplearon para la obtención de la muestra como de la harina de cáñamo obtenida tras el proceso de prensado, molido y tamizado HCPD.

Tabla 7. Composición de las semillas peladas y la harina de cáñamo obtenida en el estudio.

COMPOSICIÓN	Semillas cáñamo (%)	Harina cáñamo (HCPD) (%)
Humedad	6,3	7,21
Proteína	30,6	53,5
Grasa	51,7	17,4
Ceniza	5,7	10,8
Carbohidratos	5,7	11,1

Como se refleja en la tabla anterior los datos obtenidos entran dentro de los previstos para estos productos. La composición de las semillas peladas se asemeja a la indicada en la bolsa del producto comercial aunque con algunas diferencias debidas a la heterogeneidad de los lotes de producción. En cuanto a la harina HCPD, la extracción de la mayor parte del aceite provocó que se concentraran el resto de los componentes, destacando especialmente el alto contenido en proteína del 53,5%, lo que indica que más de la mitad de la composición de esta harina va a estar integrada por este componente. Además es importante destacar que el contenido en grasa obtenido fue del 17,4%, lo que se asemejó bastante al 17,05%, calculado en el estudio mediante la extracción por soxhlet, por lo que se consideró este valor adecuado para el estudio.

4.4. Propiedades funcionales de la harina de cáñamo

Los valores obtenidos en el estudio de las propiedades funcionales de las harinas de cáñamo (HCPD y HCD) y de arroz (HA) se reflejan en la Tabla 8. Además se incluyen los valores correspondientes al error estadístico, análisis de la varianza y grupos homogéneos obtenidos por el estudio ANOVA Simple. Como eran tres harinas diferentes los resultados se esperaban distintos, sin embargo, se consideró interesante realizar la comparación para apreciar cómo la diferente composición de las harinas influye en su comportamiento y propiedades funcionales. En las Figuras 5, 6 y 7, se comparan los resultados obtenidos en las tres harinas para todos los parámetros estudiados.

Tabla 8. Propiedades funcionales de las muestras de harina de cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD), harina de cáñamo desgrasado (HCD) y harina de arroz (HA), que se emplean durante el estudio.

MUESTRA	WHC (g/g)	WAC (g/g)	OAC (g/g)	WAI (g/g)	WSI (g/100g)	SP (g/g)	EA (%)	ES (%)	FC (ml/g)	FS (%)
HCPD	3,69 b	1,03 a	0,8 a	3,3 a	14,6 b	3,9 a	30,6 a	14,6 c	6,0 a	13 a
HCD	3,92 c	1,38 b	1,1 a	4,0 b	14,8 b	4,7 b	31,1 a	10,4 b	24,5 c	77 b
HA	2,59 a	1,66 c	0,9 a	8,8 c	2,2 a	9,0 c	30,5 a	4,6 a	11,5 b	66 b
SE	0,04	0,02	0,11	0,13	0,14	0,13	0,72	0,41	0,91	5,03
Análisis de la varianza										
p-valores	***	***	ns	***	***	***	ns	***	**	**

Las propiedades funcionales son: WAI (Índice de Absorción de Agua), WSI (Índice de Solubilidad en Agua), SP (Poder de hinchamiento), WAC (Capacidad de Absorción de Agua), OAC (Capacidad de Absorción de Aceite), EA (Actividad Emulsionante), ES (Estabilidad de la Emulsión), FC (Capacidad de Espumante) y FS (Estabilidad de la Espuma). SE: Error estándar agrupado obtenido del análisis ANOVA. Los valores medios con letras diferentes para el mismo parámetro implican diferencias significativas ($p < 0,05$). * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ y ns= no significativo.

4.4.1. Propiedades de hidratación y absorción de aceite

La **capacidad de retención de agua (WHC)** es la capacidad que tienen las harinas para poder absorber y retener agua en condiciones de reposo sin que se haya realizado una separación forzada de las dos fases durante el proceso de determinación. Los resultados manifestaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las propiedades de retención de agua de las diferentes harinas estudiadas, obteniéndose valores más elevados para las harinas de cáñamo (HCPD y HCD). Esto se debe a que el contenido de proteína es un determinante crítico de la capacidad de las harinas para absorber agua y por lo tanto la harina que más concentración de proteína tiene (HCD) se corresponde con la de mayor valor del WHC (Raikos et al., 2014).

La **capacidad de absorción de agua (WAC)** y la **capacidad de absorción de aceite (OAC)**, cuantifican la posibilidad que tienen las harinas para absorber y retener el agua o aceite respectivamente, tras aplicar una fuerza mecánica y una centrifugación que obliga a la separación forzada de las dos fases (Abebe et al., 2015). Los resultados manifestaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la capacidad de absorción de agua de las harinas, obteniéndose valores más elevados para la harina de arroz (HA). Dentro de las harinas de cáñamo los valores también fueron significativamente diferentes, teniendo un valor promedio superior la harina de cáñamo desgrasada (HCD). Estas diferencias se manifestaron por la relación entre el WAC, la estructura del almidón y la disponibilidad de espacios para la retención de agua (Gani et al., 2017), lo que explicó los valores superiores en la harina de arroz que tiene un mayor contenido de almidón que la del cáñamo.

Sin embargo, para la capacidad de absorción de aceite (OAC) no se manifestaron diferencias significativas entre las tres muestras

El **índice de absorción de agua** (WAI) se emplea para determinar la capacidad de absorción de agua durante la gelatinización del almidón, y depende de la disponibilidad de grupos hidrófilos que son capaces de unirse a moléculas de agua y formar geles de macromoléculas. El **índice de solubilidad en agua** (WSI), es un parámetro que determina la cantidad de sólidos que se ponen en disolución durante la gelatinización del almidón y el **poder de hinchamiento** (SP) proporciona información sobre el grado de interacción entre las cadenas del almidón dentro de los dominios amorfo y cristalino del gránulo de almidón (Kaushal et al., 2012).

En los tres parámetros los resultados manifestaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las tres harinas estudiadas pero comportándose de diferente forma. Para el índice de absorción de agua y el poder de hinchamiento el valor mayor correspondió en ambos casos a la harina de arroz (HA), mientras que las harinas de cáñamo mostraron valores mucho menores, especialmente la HCPD que tuvo el menor resultado de las tres muestras para ambos casos, lo que indica que estos dos parámetros están estrechamente relacionados entre sí. Estos resultados se relacionan con lo reflejado en algunos estudios en los que se observa que la disminución del valor del WAI se corresponde con el aumento del contenido de cáñamo (Norajit et al., 2011). Esto se debe a que el WAI refleja la capacidad del almidón de absorber agua y es una medida indirecta de la cantidad de gránulos de almidón intactos y completamente gelatinizados, por lo que los valores del WAI son más altos para la harina de arroz que tiene más almidón (Yu et al., 2017). Además también se ha demostrado que el aumento del contenido de lípidos disminuye el poder de hinchamiento, lo que explica el bajo valor del SP para las harinas con más grasa (HCPD) (Sasaki et al., 1998).

En el caso del índice de solubilidad den agua WSI los valores fueron mucho más elevados en las harinas provenientes de harinas de cáñamo HCPD y HCD que en la harina de arroz HA. Esto se debe a la correlación negativa que existe entre el WAI y WSI, como reflejan numerosos autores en sus estudios (Yu et al., 2017).

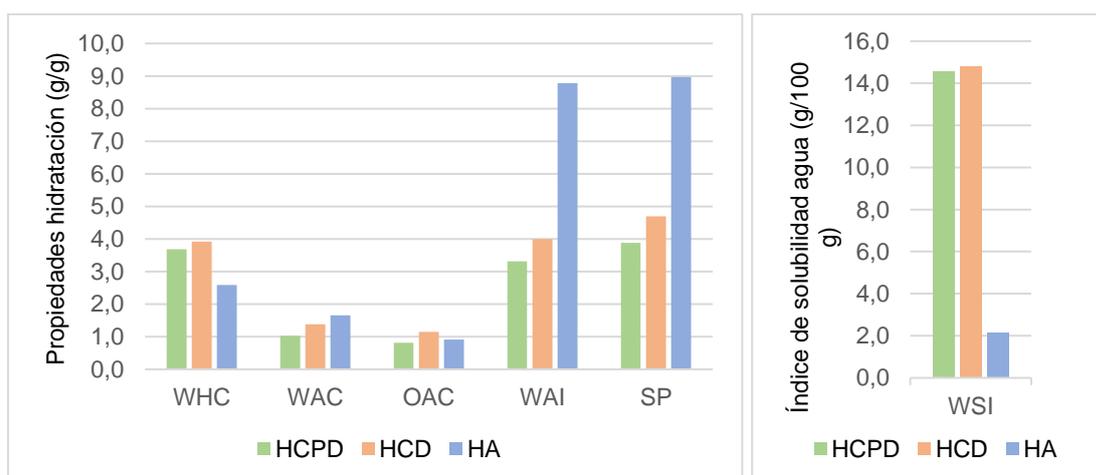


Figura 5. Propiedades de hidratación de la harina de cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD), harina de cáñamo desgrasada (HCD) y la harina de arroz (HA): Capacidad de retención de agua (WHC), Capacidad de Absorción de agua (WAC), Capacidad de Absorción de Aceite (OAC), Índice de Absorción de Agua (WAI), Poder de Hinchamiento (SP) e Índice de Solubilidad en Agua (WSI).

4.4.2. Propiedades emulsionantes

La **actividad emulsionante (EA)** es una propiedad que depende de la capacidad de las proteínas de adsorberse rápidamente en la interfaz aceite-agua donde se forma una película viscoelástica fuerte alrededor de las gotas de aceite, mientras que la **estabilidad de la emulsión (ES)** se refiere a la capacidad de las proteínas para mantener la película formada en dicha interfaz después de la aplicación de un estrés como puede ser el tratamiento térmico y centrifugación que se aplica en este estudio.

Los resultados para la actividad emulsionante (EA) no manifestaron una tendencia significativa. Resultó sorprendente que el elevado contenido proteico de las harinas de cáñamo no influyera en la actividad emulsionante, sin embargo, este hecho se puede justificar porque en este factor aparte de influir las propiedades cualitativas y cuantitativas de las proteínas de las harinas estudiadas (Raikos et al., 2014) también tienen gran importancia otros factores como: la masa molar, hidrofobicidad, estabilidad de la estructura, carga y factores fisicoquímicos (Tang et al., 2009). El conjunto de estos factores pudo llevar a que el elevado contenido proteico del cáñamo no se manifestara en los resultados.

En relación con la estabilidad de la emulsión (ES) formada después de la aplicación de tratamientos térmicos y mecánicos, sí que hubo diferencias significativas ($p < 0,05$), obteniéndose los valores más elevados para las harinas de cáñamo, especialmente para la muestra HCPD, debido a que el mayor contenido de proteínas se asocia a una mayor estabilidad de la emulsión (Farooq et al., 2011). Esto puso en manifiesto que las emulsiones formadas por las harinas de arroz tenían una estabilidad más pobre que las emulsiones de las harinas de cáñamo HCPD y HCD. Además se pudo comprobar de acuerdo con los valores de los resultados, que la grasa influyó positivamente en la estabilidad de emulsión, ya que los valores para este parámetro fueron mayores para harinas de cáñamo parcialmente desgrasadas (HCPD), es decir, para las harinas que contenían un importante porcentaje graso en su composición.

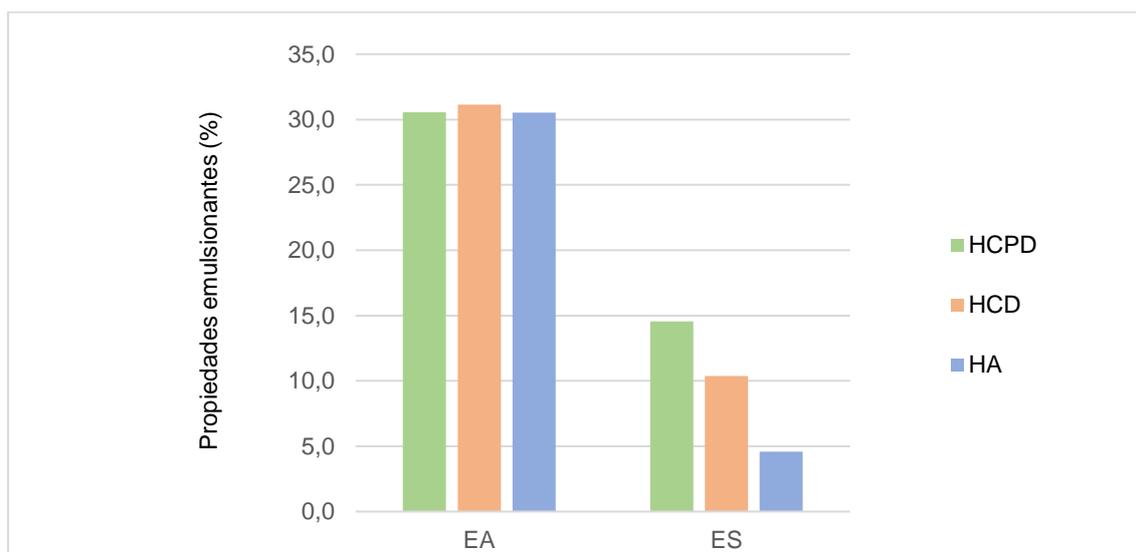


Figura 6. Propiedades emulsionantes: Actividad Emulsionante (EA) y Estabilidad Emulsionante (ES), de las harinas: cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD), cáñamo desgrasada (HCD) y arroz (HA).

4.4.3. Propiedades espumantes

La **capacidad de formación de espuma** (FC) es una propiedad que depende de la capacidad de las proteínas para adsorberse rápidamente en la interfase aire – agua durante el batido, mientras que la **estabilidad de la espuma** (FS) está determinada por las propiedades de la película cohesiva multicapa que rodea las burbujas de aire y ofrece resistencia contra el drenaje de líquidos y la coalescencia de las gotas. En ambas propiedades los resultados manifestaron una diferencia significativa ($p < 0,05$) con valores superiores en ambos casos para la harina de cáñamo totalmente desgrasada (HCD) y menores para la harina con contenido graso (HCPD). El elevado valor manifestado por la harina HCD en ambos casos se debe a que un elevado contenido proteico en las harinas se asocia a una elevada capacidad para formar espumas y para mantener la estabilidad de estas, como se ha reflejado con anterioridad en otros estudios (Cruz-Solorio et al., 2018). Además se puede observar que la harina HCPD, a pesar de su alto contenido proteico, tuvo los valores para las dos propiedades espumantes más bajos. Esto se debió probablemente a una influencia negativa del contenido de grasa, que provocó que a pesar de su contenido en proteína, la harina encontrara dificultades para formar espuma y mantener su estabilidad.

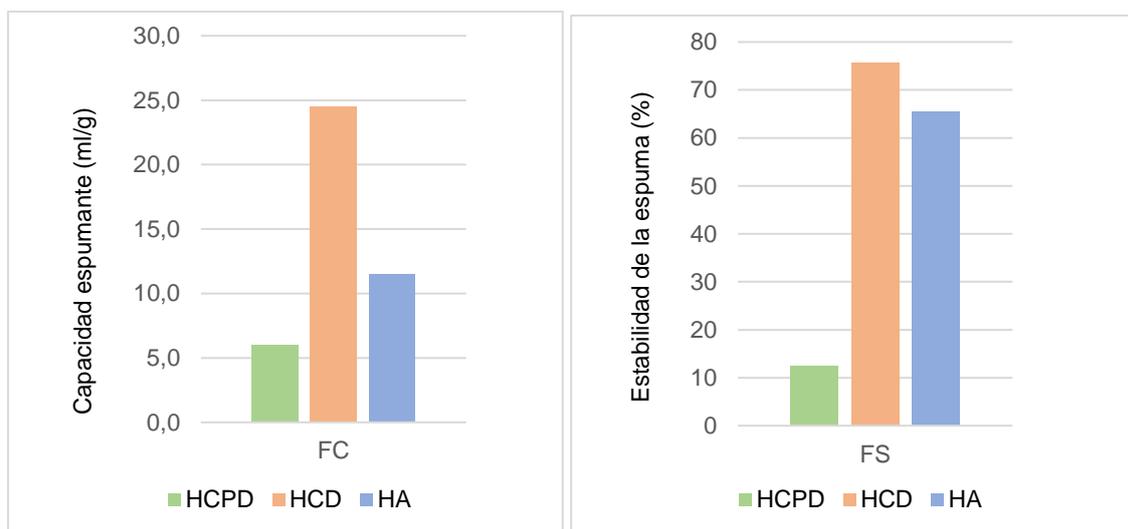


Figura 7. Propiedades espumantes de la harina de cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD), harina de cáñamo desgrasada (HCD) y la harina de arroz (HA). Capacidad Espumante (FC) y Estabilidad de la Espuma (FS).

4.5. Comportamiento reológico de las masas de las galletas

4.5.1. Barrido de esfuerzos y deformación

Los resultados de los ensayos de barrido de frecuencias y deformación de las masas, de las cuatro formulaciones de galletas de cáñamo estudiadas, así como de la muestra control de arroz, se reflejan en la Tabla 9. Además, se incluyen los valores correspondientes al error estadístico, análisis de la varianza y grupos homogéneos obtenidos mediante el estudio de ANOVA simple. En la Figura 8 se refleja un ejemplo en el que se comparan las curvas de módulos elásticos y viscoso para la muestra control (marcada en oscuro) y una de las masas de galleta con cáñamo (marcada en claro).

Tabla 9. Ensayos de barridos de esfuerzos y frecuencias de las cinco formulaciones de galletas estudiadas: valores medios, grupos homogéneos y análisis de la varianza.

MUESTRA	G ₁ ' (Pa)	a	G ₁ '' (Pa)	b	(tan δ) ₁	c	G ₁ * (Pa)	τ max (Pa)	G' = G'' (Pa)
GA – 00	309350 ab	0,114 a	78540 a	0,201 a	0,254 a	0,087 c	319164 ab	408 ab	3734 b
GC – 10	352900 b	0,139 b	96540 b	0,221 a	0,274 b	0,082 bc	365867 b	454 b	3148 b
GC – 20	306750 ab	0,155 bc	84880 ab	0,243 b	0,277 b	0,088 c	318277 ab	350 ab	1507 a
GC – 30	284800 b	0,181 d	86280 ab	0,260 b	0,303 c	0,079 ab	297593 a	231 a	2862 ab
GC – 40	288200 b	0,168 cd	94400 ab	0,243 b	0,327 d	0,074 ab	303267 a	431 b	2991 ab
SE	15087	0,006	4602	0,006	0,004	0,002	15730	49	444
Análisis de la varianza									
p-valores	ns	**	ns	**	***	*	ns	ns	ns

G₁': Coeficiente de ajuste de la curva de evolución de G' frente a la frecuencia a la ley de la potencia, y que representa el valor del módulo elástico a 1Hz; G₁'': Coeficiente de ajuste de la curva de evolución de G'' frente a la frecuencia a la ley de la potencia, y que representa el valor del módulo viscoso a una frecuencia de 1Hz; (tan δ)₁: El coeficiente de ajuste que representa la tangente de pérdida a 1Hz; a, b, c: son los exponentes de los ajustes de G', G'' y tan δ, a la ley de la potencia y representan el grado de variación de dichas propiedades viscoelásticas con la frecuencia; G₁*: Módulo complejo a una frecuencia de 1Hz; Punto de cruce: Esfuerzo en el punto de cruce, en que G' = G''; τ max: esfuerzo máximo. SE: Error estándar agrupado obtenido del análisis ANOVA. Los valores medios con letras diferentes para el mismo parámetro implican diferencias significativas (p < 0,05). *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001 y ns= no significativo.

El **barrido de deformación** permitió establecer la zona viscoelástica lineal (LVR) en la que la masa responde con una deformación proporcional al esfuerzo aplicado, resultando módulos elástico, G', y viscoso, G'', constantes. De este ensayo se extrajo información del esfuerzo máximo (τ max) a partir del cual se producía un descenso de los módulos elástico (G') y viscoso (G'') y un aumento de la tangente de pérdida (tan δ) hasta que se producía el cruce de las dos curvas en el punto de cruce (G' = G'').

El valor de τ max representa el máximo esfuerzo que la masa puede soportar antes de romper su estructura, mientras que el punto de cruce de las líneas G' y G'' localiza el momento en el que la masa pasa de tener un comportamiento predominante elástico (G'>G'') a ser predominantemente viscoso (G''>G'). Ni los valores obtenidos para el esfuerzo máximo y ni los correspondientes al punto de cruce mostraron diferencias significativas entre las formulaciones estudiadas, por lo que se puede decir que la adición de harina de cáñamo HCPD no provocó cambios apreciables en la estructura de las masas.

Analizando las gráficas obtenidas en estos barridos de deformación se pudo determinar que para todas las formulaciones los valores de los módulos elásticos antes del punto de corte fueron mayores que los del módulo viscoso, lo que manifiesta un comportamiento predominante elástico en esta zona para todas las galletas, como se refleja en otros estudios de masas de galletas previamente realizados (Inglett et al., 2015). El valor del esfuerzo en el punto de corte (G' = G''), también conocido como esfuerzo de flujo (o *yield stress*), tampoco mostró una tendencia significativa pero sí que se pudo observar que en todas las masas elaboradas con cáñamo los valores de este parámetro fueron menores que en la control, lo que parece indicar que la incorporación de harina de cáñamo reduce ligeramente la estabilidad de la masa frente a deformaciones o esfuerzos., haciéndolas más viscosas. Después del punto de corte en todos los ensayos se perdió la estructura de la galleta por lo que la masa adquirió características viscosas.

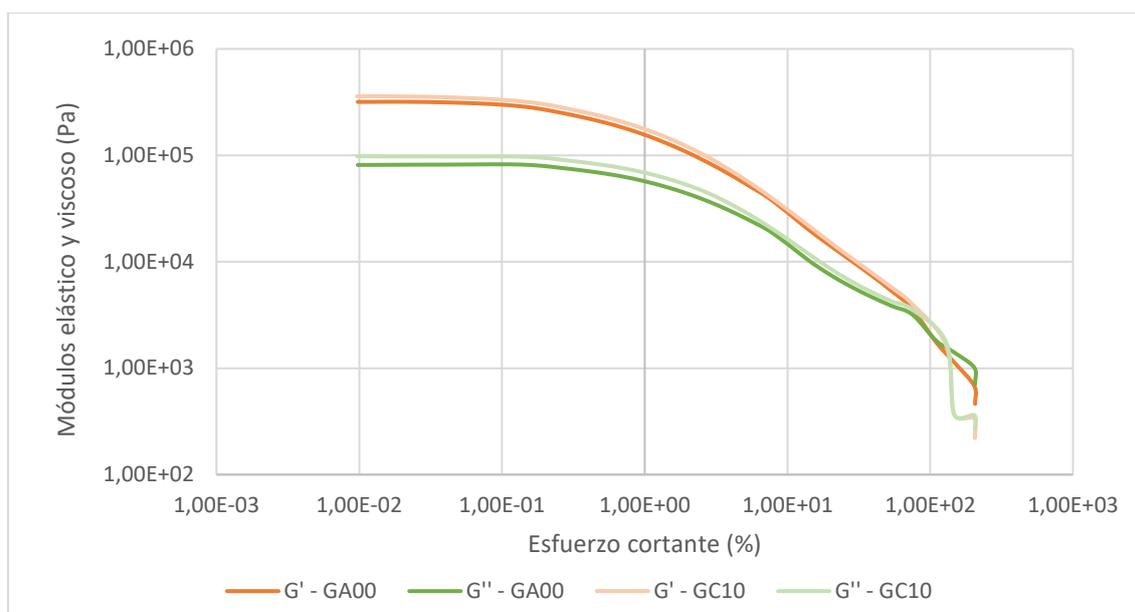


Figura 8. Ensayo de barrido de deformación en las masas de galletas. Comparación entre la masa control de arroz (GA-00) y una de las masas de cáñamo (GC-10).

Los **barridos de frecuencias** se realizaron dentro de la zona viscoelástica lineal (LVR) entre 10 Hz y 1 Hz, y permitieron determinar los coeficientes: G_1' (módulo elástico), G_1'' (módulo viscoso) y $(\tan \delta)_1$ (tangente de pérdida) todos ellos a frecuencia de 1 Hz; así como los exponentes “a”, “b” y “c”, que cuantifican la variación de estos módulos dinámicos y de la $\tan \delta$ con la frecuencia tras el ajuste de las curvas al modelo potencial.

A partir de G_1' y G_1'' también se calculó G_1^* (módulo complejo equivalente a la frecuencia de 1 Hz). Los valores obtenidos para el módulo elástico de las masas elaboradas con harina de cáñamo (HCPD) no mostraron diferencias significativas entre ellos ni respecto a los obtenidos para la masa elaborada con harina de arroz (HA). Sin embargo, si se puede concluir una cierta tendencia al descenso de G_1' con el aumento de la dosis de harina de cáñamo (HCPD) en la formulación, aunque no se pueda llegar a comprobar su significancia estadística. El módulo viscoso G_1'' aumentó en todas las masas elaboradas con harina de cáñamo, aunque el incremento fue significativo sólo en la masa GC – 10. El descenso del módulo G_1' para las dosis más elevadas de harina de cáñamo al tiempo que se producía el aumento del módulo G_1'' denotan una mayor predominancia en el carácter viscoso de las masas elaboradas con mayores dosis de harina de cáñamo frente a las de 100% harina de arroz, si bien, en todos los casos, el módulo elástico estuvo muy por encima del módulo viscoso. La $\tan \delta$, determinada como cociente del módulo viscoso entre el elástico, sí aumentó significativamente con la dosis de cáñamo, lo que confirma el incremento de la viscosidad de la masa con la adición de harina de cáñamo.

En lo que respecta a los coeficientes “a” y “b” sí que se pudieron apreciar diferencias significativas ($p < 0,05$). Estos parámetros indican la dependencia de los módulos elástico y viscoso con la frecuencia angular. En ambos casos los valores de los coeficientes se incrementaron a medida que se introducía más harina de cáñamo en la masa de las galletas, lo que indicaba que las masas resultaron menos estables con la incorporación de cáñamo (Villanueva et al., 2019). Sin embargo el coeficiente “c”, a diferencia de los

anteriores, sufrió una disminución de valor con la dosis de cáñamo, demostrando una menor variabilidad de la tangente de pérdida con la frecuencia lo que indica una mayor estabilidad en la relación entre elasticidad y viscosidad de la masa frente a frecuencia de la deformación

Finalmente se determinó el **módulo complejo G_1^*** que es una medida de la resistencia global que opone la masa a la deformación. Para este parámetro no se obtuvieron diferencias significativas entre las masas con cáñamo y la masa control, aunque sí un descenso significativo con el aumento de la dosis de cáñamo.

De todos los resultados anteriores se pudo deducir que la sustitución de parte de la harina de arroz por harina de cáñamo parece aumentar la viscosidad de la masa, aunque en muchos de los parámetros estudiados los valores obtenidos no son significativos. Estos datos se corresponden con los manifestados en otros estudios en donde la adición de cáñamo en las masas provoca el incremento de su viscosidad debido al aumento de la proteína y la fibra de su composición (Ropciuc et al., 2022).

4.5.2. Deformación progresiva y relajación

Los resultados de los ensayos de deformación y relajación progresivas o “*Creep Recovery*”, de las cuatro formulaciones de galletas con diferentes porcentajes de cáñamo estudiadas, así como de la muestra control de arroz, se reflejan en la Tabla 10. Además, se incluyen los valores correspondientes al error estadístico, análisis de la varianza y grupos homogéneos obtenidos mediante el estudio de ANOVA simple. En la Figura 9 se reflejan las curvas obtenidas del ensayo para todas las formulaciones de galletas estudiadas.

Tabla 10. Ensayos de deformación progresiva y relajación de las cinco formulaciones de galletas estudiadas: valores medios, grupos homogéneos y análisis de la varianza.

MUESTRA	J_{max} (Pa ⁻¹)	J_{min} (Pa ⁻¹)	X_R (%)
GA – 00	1,19E-05 a	3,0E-06 a	75 a
GC – 10	1,74E-05 b	5,4E-06 b	69 a
GC – 20	1,88E-05 b	5,1E-06 b	73 a
GC – 30	2,36E-05 c	6,8E-06 c	71 a
GC – 40	2,20E-05 c	6,4E-06 bc	71 a
SE	4,85 E-07	3,52 E-07	1,8
Análisis de la varianza			
p-valores	***	**	ns

J_{max} : capacitancia máxima, J_{min} : capacitancia mínima en la zona de recuperación y X_R : porcentaje de recuperación. SE: Error estándar agrupado obtenido del análisis ANOVA. Los valores medios con letras diferentes para el mismo parámetro implican diferencias significativas ($p < 0,05$). * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ y ns= no significativo.

La curva formada en el ensayo de *Creep Recovery* manifestó un comportamiento viscoelástico de todas las masas de galletas, debido a que con un esfuerzo constante de 500 Pa se fue produciendo una deformación progresiva de la masa.

El valor de la **capacitancia máxima** J_{max} (directamente relacionada con la máxima deformación experimentada por la masa tras la aplicación de 500 Pa de esfuerzo durante 60 s), presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) en todas las masas estudiadas, mostrando un aumento significativo con el incremento de la dosis de cáñamo, excepto entre las muestras GC – 30 y CG – 40, que no mostraron diferencias significativas entre ellas. Esto indica que las masas elaboradas con harina de cáñamo fueron en general más deformables ante la aplicación de un mismo esfuerzo que la masa control, elaborada con harina de arroz. El valor de la **capacitancia mínima en la zona recuperación** J_{min} también aumentó significativamente con la presencia de harina de cáñamo y con la dosis de éste, indicando que las masas con harina de cáñamo relajan menos (recuperan en menor medida su tamaño original) después de haberlas aplicado un esfuerzo. Estos son parámetros importantes que informan de la maquinabilidad de las masas, y que deben tenerse en cuenta durante su manejo y procesado industrial.

Los **porcentajes de recuperación** x_R , no mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las masas estudiadas, aunque sí que se pudo apreciar que los valores obtenidos para las masas elaboradas con harina de cáñamo fueron menores que para la masa control. Esto significa que la masa control recupera mejor su tamaño original lo cual es debido a su mayor comportamiento elástico que las masas con cáñamo. En cualquier caso, se puede afirmar que las masas elaboradas con harina de cáñamo hasta dosis del 40% no presentaron diferencias importantes en sus características de manejo respecto a las masas elaboradas con harina de arroz.

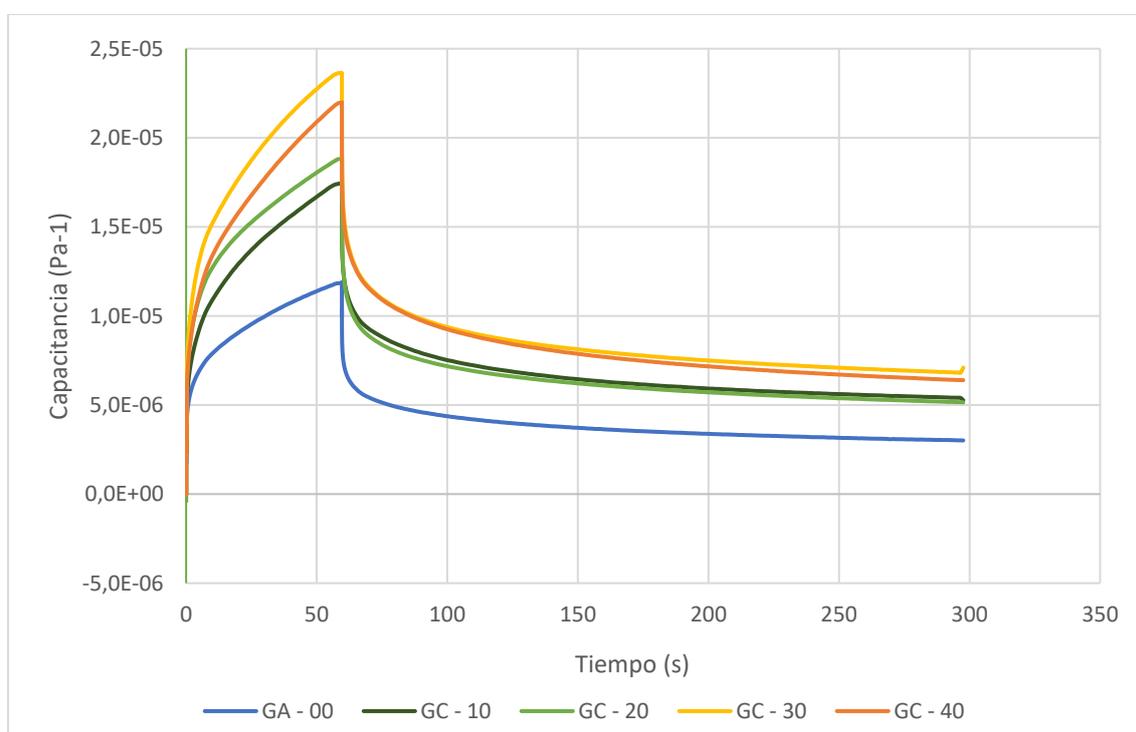


Figura 9. Ensayo tipo "Creep Recovery" para todas las muestras de masa de galletas de cáñamo estudiadas y la galleta control del harina de arroz.

4.6. Propiedades físicas de las galletas

4.6.1. Propiedades morfogeométricas

Para el estudio morfogeométrico de las galletas se determinaron sus diámetros y grosores, así como la pérdida de peso tras el horneado y el factor de propagación. En la Tabla 11 se reflejan los valores de todos los parámetros estudiados para las cuatro galletas de cáñamo elaboradas con distinta proporción de harina de cáñamo parcialmente desgrasada (HCPD0) (10%, 20%, 30% y 40%), así como para una muestra control de arroz. Además se incluyen los valores correspondientes al error estadístico, análisis de la varianza y grupos homogéneos obtenidos mediante el estudio de ANOVA simple. Asimismo, con objeto de optimizar el proceso de elaboración de galletas, se llevó a cabo un estudio de dos procesos de laminado (manual y mecánico), comparando la calidad de las galletas obtenidas con estos dos procedimientos. Para finalizar este análisis se realizó un estudio estadístico ANOVA multifactorial, utilizando como factores las distintas muestras de galletas y el sistema de laminado, para poder determinar como de significativo es cada factor y si existe interacción entre ellos.

Tabla 11. Propiedades morfogeométricas de las cinco formulaciones de galletas estudiadas: valores medios, grupos homogéneos y análisis de la varianza.

MUESTRA	Diámetro (mm)	Grosor (mm)	Factor de propagación -	Pérdida peso (g)
Laminado mecánico				
GA – 00	38,9 a	9,020 a	4,32 d	1,46 b
GC – 10	39,2 ab	9,308 b	4,21 c	1,40 ab
GC – 20	39,4 b	9,292 b	4,24 cd	1,38 ab
GC – 30	39,9 c	9,716 c	4,10 b	1,46 b
GC – 40	39,6 bc	9,914 d	3,99 a	1,34 a
ES	0,1	0,007	0,04	0,04
p – valores	***	***	***	ns
Laminado manual				
GA – 00	38,9 a	9,1 a	4,26 b	1,2 a
GC – 10	39,3 ab	9,4 a	4,21 b	1,4 a
GC – 20	39,6 bc	9,4 a	4,20 b	1,2 a
GC – 30	39,9 bc	10,0 b	3,98 a	1,3 a
GC – 40	39,7 c	10,1 b	3,94 a	1,4 a
ES	0,2	0,1	0,07	0,1
p - valores	**	***	**	ns
Análisis de la varianza y significancia				
Método laminado	ns	*	ns	ns
% Cáñamo	***	***	***	ns
Método * %Cáñamo	ns	ns	ns	ns

Las galletas se referencian de la siguiente manera: GA – 00 (harina: 100% arroz), GC - 10 (harina: 10% cáñamo y 90% arroz), GC - 20 (harina: 20% cáñamo y 80% arroz), GC - 30 (Galleta 30% cáñamo y 70% arroz) y GC - 40 (harina: 40% cáñamo y 60% arroz). SE: Error estándar agrupado obtenido del análisis ANOVA. Los valores medios con letras diferentes para el mismo parámetro implican diferencias significativas ($p < 0,05$). * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ y ns= no significativo.

El **diámetro y espesor** de las galletas son dos parámetros importantes para la calidad del producto y dependen de su composición, la interacción entre sus componentes y los procedimientos de elaboración y horneado (Ahmad et al., 2022). Los resultados de diámetro y espesor obtenidos manifestaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para ambos parámetros, con una tendencia de los valores ascendente a medida que se iba incrementando el contenido de harina de cáñamo y disminuyendo la proporción de harina de arroz. En el caso del diámetro este aumento pudo deberse a que el incremento del contenido de cáñamo aumenta también el contenido de fibra de las galletas lo que provoca una mayor retención de agua que genera el un diámetro mayor en los productos resultantes (Chung et al., 2014). Sin embargo teniendo en cuenta los valores promedio obtenidos se puede observar que la diferencia entre la galleta control (GA – 00) y la de mayor porcentaje de cáñamo (GC – 40) es de menos de 1 mm en todos los casos. Este dato difiere de los resultados obtenidos en otros estudios en los que la adición de una harina de alto contenido graso provoca un gran aumento del diámetro, debido a la influencia de la grasa en la incorporación de aire y por tanto en el aumento del tamaño (Pareyt et al., 2009). En este caso como se tuvo en cuenta el contenido en aceite del cáñamo para la disminución de la mantequilla en la formulación, la grasa de todas las formulaciones se mantuvo similar y por lo tanto la heterogeneidad del diámetro de las muestras fue más reducida que en otros estudios. En lo que respecta al espesor, su incremento también está relacionado con la fibra pero en este caso el factor determinante es el tipo de fibra, ya que según estudios realizados las fibras insolubles provocan el aumento del grosor de las galletas elaboradas (Mancebo et al., 2018). La harina de cáñamo se caracteriza por tener en su composición un alto contenido de fibra insoluble, lo que llevó al aumento del diámetro de las galletas obtenidas a medida que se incrementaba el porcentaje de cáñamo en su composición. En ambos casos el aumento del grosor y diámetro no fue muy destacado ya que aunque la cantidad fibra tendía a incrementarles, también se producía un aumento de la proteína que tiene la capacidad de reducir el grosor y diámetro (Mancebo, 2016) y (Patricia, 2015) y por lo tanto el efecto opuesto de estos dos factores llevó a que a la vista del ojo humano las galletas obtenidas de las diferentes formulaciones tuvieran las mismas dimensiones.

El **factor de propagación**, calculado como el cociente entre diámetro y espesor de las galletas, también mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) para los dos tipos de laminado estudiado. En este caso se obtuvieron valores descendentes a medida que se aumentaba el contenido de cáñamo de las galletas, debido a que el aumento del espesor fue mayor que el incremento del diámetro por lo que el cociente entre ambos fue disminuyendo. Estos datos se corresponden además con los obtenidos en los estudios que afirman que el aumento del contenido de fibra insoluble en la composición de las galletas reduce el factor de propagación (Mancebo et al., 2018).

La **pérdida de peso** se determinó como la diferencia de peso entre antes y después del horneado pero los valores obtenidos no mostraron diferencias significativas.

Por último se realizó un **estudio multifactorial** para determinar si existía correlación entre los factores de sistema de laminado y porcentaje de cáñamo y valorar el sistema de laminado más adecuado para abordar el proceso de elaboración de la galleta. Los valores obtenidos no mostraron ninguna diferencia significativa en la interacción entre ambos factores, lo que significa que las diferencias observadas en los parámetros morfogeométricos de las galletas no dependieron simultáneamente de ambos factores.

Además se pudo confirmar que la variación del **porcentaje de cáñamo** en la composición es un factor que si que provoca diferencias significativas en tres de los cuatro parámetros estudiados (todos menos la pérdida de peso), como ya se había visto en los análisis por ANOVA simple de todas las muestras estudiadas.

Sin embargo, sí que se puede apreciar que el **método de laminado** influyó significativamente ($p < 0,05$) en el grosor del producto obtenido. Analizando este parámetro en más profundidad se pudo observar que tanto en el método manual como con laminadora el grosor aumentaba con el incremento del cáñamo en la composición. no obstante, el error estándar agrupado así como la variabilidad observada fueron menores en las galletas obtenidas por un proceso de laminado mecánico. En base con la información obtenida del estudio multifactorial se decidió emplear para el estudio del resto de los parámetros los datos de las **galletas obtenidas mediante laminado mecánico**, ya que se trata de un proceso más fácil de estandarizar y con menor variabilidad en la obtención de producto.

4.6.2. Propiedades de textura de las galletas

La textura de las galletas es considerada por los investigadores una característica importante a tener en cuenta en la realización de sus investigaciones (Bashir et al., 2020). Este parámetro está influenciado principalmente por la dureza, determinada como fuerza necesaria para la fractura de las galletas que se están estudiando (Mudgil et al., 2017). En el estudio realizado los parámetros más importantes que se determinaron fueron: la fuerza correspondiente al pico más alto registrado, que se emplea para cuantificar la dureza y la distancia a la cual se registró el pico más alto, que es la forma de determinar la fracturabilidad. Además se cuantificaron la energía empleada para fracturar la galleta, expresada como el área debajo de la curva desde el inicio del gráfico y el número total de picos que se produjeron. Los valores obtenidos de media en las 5 galletas analizadas de cada formulación para cada uno de estos parámetros se reflejan en la Tabla 12. Además, se incluyen los valores correspondientes al error estadístico, análisis de la varianza y grupos homogéneos obtenidos mediante el estudio de ANOVA simple.

Tabla 12. Parámetros texturales de las cinco formulaciones de galletas estudiadas: valores medios, grupos homogéneos y análisis de la varianza.

MUESTRA	Fuerza máx. (N)	Recorrido (mm)	Área (N/mm)	Nº Picos Ud.
GA – 00	5,5 a	2,4 a	3 a	4 a
GC – 10	11,0 b	2,1 a	5 ab	5 a
GC – 20	10,8 b	2,2 a	6 abc	5 a
GC – 30	14,7 c	2,6 a	9 c	11 b
GC – 40	15,1 c	2,1 a	8 bc	12 b
ES	0,9	0,2	1	2
Análisis de la varianza				
p – valores	***	ns	*	**

Las galletas están referenciadas como: GA – 00 (harina: 100% arroz), GC - 10 (harina: 10% cáñamo y 90% arroz), GC - 20 (harina: 20% cáñamo y 80% arroz), GC - 30 (Galleta 30% cáñamo y 70% arroz) y GC - 40 (harina: 40% cáñamo y 60% arroz). SE: Error estándar agrupado obtenido del análisis ANOVA. Los valores medios con letras diferentes para el mismo parámetro implican diferencias significativas ($p < 0,05$). * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ y ns= no significativo.

La **fuerza máxima**, es uno de los parámetros más importantes en la determinación de la textura y se corresponde con la fuerza aplicada en el punto de rotura, por lo que representa la dureza de la galleta (Mudgil et al., 2017). Los resultados obtenidos manifestaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la fuerza máxima de cada formulación de galletas estudiada, con una tendencia ascendente a medida que se iba incrementando el contenido de harina de cáñamo y disminuyendo la proporción de harina de arroz. Se apreció un incremento del doble del valor de la fuerza máxima en cuanto que se añadió un 10% de HCPD, lo que refleja que este ingrediente va a aumentar la dureza de las galletas obtenidas. Además se pudo observar que a medida que se incrementaba la cantidad de harina de cáñamo en su composición también se iba aumentando la dureza del producto, llegando a triplicar a la de la muestra control. Estos datos coinciden con los obtenidos por Mancebo et al. (2018), quienes sugirieron que el incremento de fibras insolubles, las que integran el cáñamo, provoca el aumento de la consistencia de la masa y mayor dureza del producto (Camino M. Mancebo et al., 2018).

El **recorrido** de las galletas en los estudios de textura es la distancia que recorre la sonda del texturómetro antes de la rotura o deformación de las galletas previa a su rotura (Dapčević Hadnađev et al., 2013). Los resultados obtenidos no manifestaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en este parámetro para cada formulación de galletas estudiada. En todas ellas el valor se mantuvo entre 2,1 y 2,6 mm, lo que significa que este será el recorrido que realice la sonda antes de la rotura independientemente de la fuerza que se necesite para que esto ocurra.

El **área**, es un parámetro que expresa la superficie comprendida por debajo de la curva de fuerza y que se encuentra asociada con la energía requerida en el proceso de deformación y rotura de la galleta (Cecilia et al., 2017). Si que se pudieron apreciar diferencias significativas ($p < 0,05$) para el área del gráfico, debidas especialmente a la marcada diferencia en la fuerza máxima necesaria para la rotura que se había encontrado entre las distintas formulaciones de galletas estudiadas.

Finalmente se determinó el **número de picos**, que se corresponde con las variaciones de fuerza superiores a 0,02 N que se produjeron durante el proceso de deformación de las galletas (Cecilia et al., 2017). Los valores obtenidos manifestaron una diferencia significativa ($p < 0,05$) en el número de picos de las gráficas que tendía a incrementarse a medida que aumentaba el contenido de cáñamo de las galletas. Esto se corresponde con los datos obtenidos en el estudio de Lee Woody, en que afirma que en las galletas de mayor dureza se obtiene un número de picos superior durante los estudios de textura (Woody, 2003). Además cabe destacar que todas las elaboraciones de galletas se caracterizan por un pico inicial máximo que se corresponde con la máxima fuerza o fuerza de rotura y que se produce aproximadamente a la mitad del recorrido.

4.6.3. Propiedades del color de las galletas

La característica del color de las galletas es un criterio importante que afecta a la calidad final del producto y que se puede ver influenciada por el color de sus componentes y las características del horneado (Hussien, 2019; Stamatovska et al., 2017). En el estudio el color fue evaluado mediante las siguientes variables: luminosidad (L^*), las coordenadas cromáticas a^* y b^* , la saturación (C^*) y el tono (h).

En la Tabla 13 se reflejan los valores obtenidos para estos parámetros y los resultados de error estadístico, análisis de la varianza y grupos homogéneos proporcionados por el estudio estadístico ANOVA simple. Además se incluye la diferencia de color (ΔE) de todas las galletas con cáñamo formuladas respecto a la galleta control de arroz. Figura 10. Aspecto visual de las cinco muestras de galletas estudiadas. Fila superior de izquierda a derecha: control GA - 00, GC - 10, GC - 20. Fila inferior de izquierda a derecha: GC - 30 y GC - 40.

Tabla 13. Propiedades del color de las cinco formulaciones de galletas estudiadas: valores medios, grupos homogéneos y análisis de la varianza.

MUESTRA	L*	a*	b*	C*	h	ΔE^*
GA - 00	68,1 d	13,3 c	32,8 b	35,4 c	68,0 a	-
GC - 10	68,5 d	10,5 b	32,8 b	34,4 b	72,3 b	3,0 a
GC - 20	62,8 c	8,2 a	32,0 ab	33,1 a	75,6 d	7,5 b
GC - 30	58,2 b	9,1 a	31,5 a	32,7 a	74,0 c	10,9 c
GC - 40	56,2 a	9,1 a	32,2 ab	33,5 ab	74,3 cd	12,7 d
ES	0,7	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4

Análisis de la varianza

p - valores	***	***	*	***	***	***
-------------	-----	-----	---	-----	-----	-----

Las galletas se referencian de la siguiente manera: GA - 00 (harina: 100% arroz), GC - 10 (harina: 10% cáñamo y 90% arroz), GC - 20 (harina: 20% cáñamo y 80% arroz), GC - 30 (Galleta 30% cáñamo y 70% arroz) y GC - 40 (harina: 40% cáñamo y 60% arroz). Propiedades del color: L*, a* y b*: coordenadas de color CIELAB, C*: saturación, h: tono. SE: Error estándar agrupado obtenido del análisis ANOVA. Los valores medios con letras diferentes para el mismo parámetro implican diferencias significativas ($p < 0,05$). * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ y ns= no significativo.

Los resultados del estudio del color de las galletas manifestaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre todas las galletas con cáñamo y la galleta control de arroz según los valores obtenidos en el análisis ANOVA simple.

El análisis de la **luminosidad** (L*) manifestó diferencias significativas ($p < 0,05$) en las galletas estudiadas, apreciándose valores decrecientes a medida que se aumentaba el porcentaje de harina de cáñamo, lo que denota un oscurecimiento progresivo de las galletas. Mikulec et al. (2019) obtuvieron resultados similares cuando estudiaron la evolución de los parámetros cromáticos de los panes elaborados con harina de cáñamo.

Los valores de las **coordenadas a* y b*** fueron positivos para todas las formulaciones de galletas estudiadas, lo que indica que todas ellas se encontraban en el primer cuadrante del diagrama cromático, correspondiente a los tonos que van del rojo al amarillo. El parámetro a* (de verde (-) a rojo (+)) disminuyó a medida que se aumentaba el porcentaje de cáñamo de las galletas, lo que indica que éstas iban adquiriendo un color más verdoso que la muestra control. El parámetro b* (de azul (-) a amarillo (+)) tuvo diferencias significativas ($p < 0,05$) pero no tan acusadas como en otros factores. En este caso los valores fueron disminuyendo con el aumento de la concentración de cáñamo, lo que refleja que el color amarillo es más acentuado en las galletas elaboradas solo con arroz. Estos valores se deben al color inicial de las harinas de arroz y cáñamo que son blanca y verdosa respectivamente, y que proporcionan tonalidades amarillentas y verdosas a las galletas tras la mezcla de todos los componentes.

En lo que respecta a la **saturación** (C*) las galletas el reflejaron diferencias significativas ($p < 0,05$), con valores decrecientes a medida que se aumentaba el porcentaje de harina de cáñamo. Este comportamiento de las galletas respecto a la saturación con el aporte

de harina de cáñamo ha sido reflejado también en otros estudios anteriores (Ertuş et al., 2020b). El **tono** (h) fue un parámetro que también manifestó diferencias significativas ($p < 0,05$) pero en este caso los valores se incrementaron.

A pesar de que se produjeron cambios significativos ($p < 0,05$) de color, se realizó un cálculo de la **diferencia de color** (ΔE^*) entre la galleta control elaborada a partir de harina de arroz y las galletas con distintos porcentajes de cáñamo. De esta forma se pretendía observar cuanto difieren en color respecto al control y si esta diferencia puede ser apreciada a la vista humana. En este sentido, debe considerarse que para $\Delta E^* < 1$ las diferencias no son apreciables a simple vista; $1 < \Delta E^* < 3$ las diferencias entre galletas no son fáciles de apreciar y $\Delta E^* > 3$, las diferencias de color pueden ser vistas por el ojo humano. El estudio ANOVA simple reflejó diferencias significativas ($p < 0,05$) para la variación de color de las galletas de cáñamo respecto a la galleta control de arroz, aumentándose a medida que se incorporaba más cáñamo en la composición. En este caso todas las formulaciones con cáñamo tuvieron valores iguales o superiores a 3, lo que significa que se pueden distinguir fácilmente de la galleta control de arroz. Sin embargo, la diferencia entre el ΔE^* entre las galletas GC - 30 y GC - 40 fue de 1,8 lo que significa que se pueden tener dificultades si se quieren distinguir estas dos elaboraciones a simple vista.

En la Figura 10, se puede ver una representación de cada muestra de galletas elaboradas para el estudio.

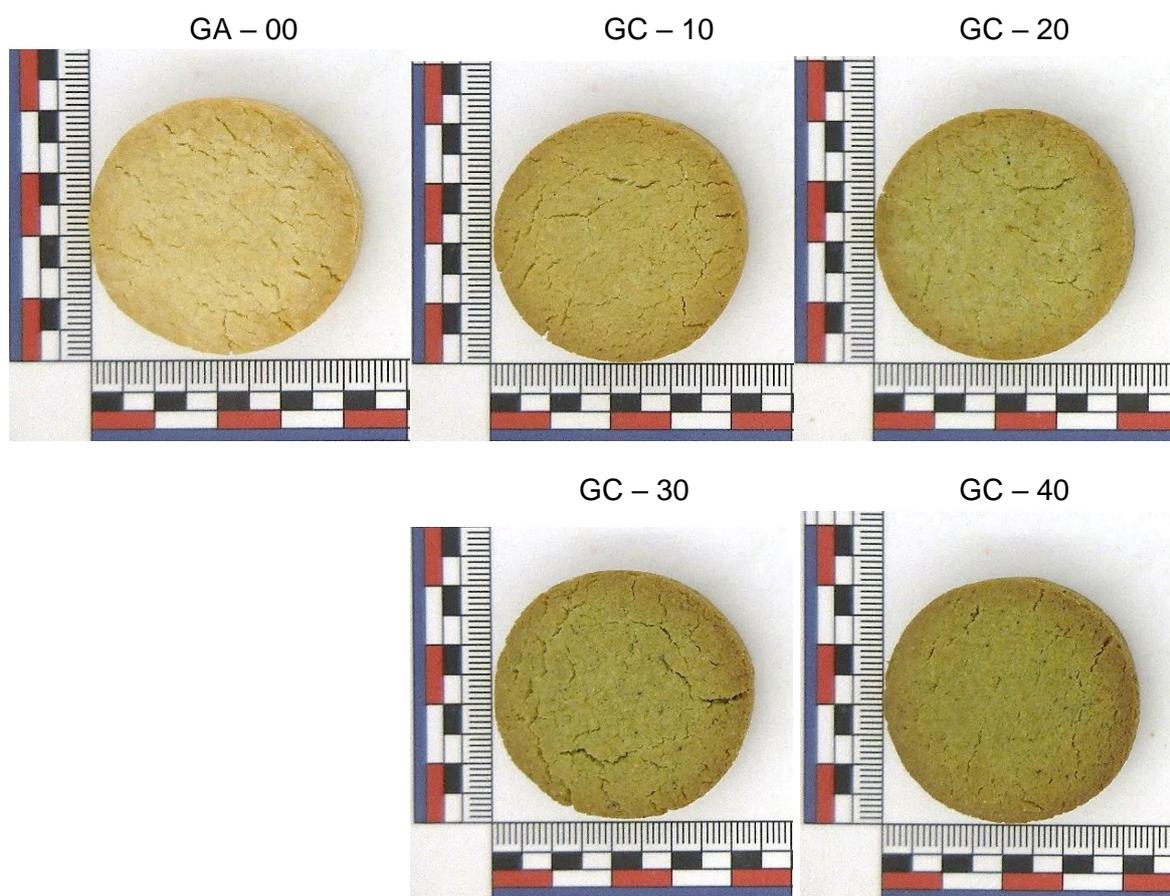


Figura 10. Aspecto visual de las cinco muestras de galletas estudiadas. Fila superior de izquierda a derecha: control GA - 00, GC - 10, GC - 20. Fila inferior de izquierda a derecha: GC - 30 y GC - 40.

4.7. Análisis sensorial de las galletas

La evaluación sensorial es una prueba fundamental para analizar la calidad sensorial general de las galletas percibida por los sentidos de la vista, gusto, olfato y tacto de las personas, así como para valorar la aceptación que los nuevos productos desarrollados pueden tener entre la población (Chopra et al., 2018). En la Tabla 14, se reflejan los valores correspondientes a las puntuaciones sensoriales para las cinco formulaciones de galletas estudiadas. Además se incluyen los valores correspondientes al error estadístico, análisis de la varianza y grupos homogéneos obtenidos mediante el estudio de ANOVA simple. En la Figura 11 se refleja un diagrama radial en el que se representa el promedio de los resultados obtenidos para cada aspecto del análisis sensorial.

Tabla 14. Evaluación sensorial de las cinco formulaciones de galletas estudiadas: valores medios, grupos homogéneos y análisis de la varianza

MUESTRA	ASPECTO VISUAL		TACTO	OLOR	SABOR		TEXTURA BOCA		Aceptación
	Uniformidad	Forma	Dureza	Intensidad	Intensidad	Retrogusto	Dureza	Terrosidad	Global
GA – 00	5,8 a	6,7 ab	5,4 ab	1,9 a	4,0 a	2,1 a	2,3 a	3,4 a	5,4 ab
GC – 10	5,2 a	7,2 ab	4,9 a	5,1 b	5,9 b	4,4 b	3,9 b	4,3 a	4,9 a
GC – 20	5,2 a	7,9 b	5,4 ab	5,8 bc	5,9 b	5,2 bc	5,5 c	6,3 b	6,7 bc
GC – 30	4,2 a	7,1 ab	6,5 bc	6,3 bc	6,9 b	6,1 cd	6,9 d	7,4 c	7,0 c
GC – 40	4,6 a	6,1 a	7,0 c	7,2 c	8,1 c	7,0 d	7,4 d	8,0 c	6,6 bc
ES	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
Análisis de la varianza									
p – valor	ns	ns	*	***	***	***	***	***	*

Las galletas se referencian de la siguiente manera: GA – 00 (harina: 100% arroz), GC - 10 (harina: 10% cáñamo y 90% arroz), GC - 20 (harina: 20% cáñamo y 80% arroz), GC - 30 (Galleta 30% cáñamo y 70% arroz) y GC - 40 (harina: 40% cáñamo y 60% arroz). SE: Error estándar agrupado obtenido del análisis ANOVA. Los valores medios con letras diferentes para el mismo parámetro implican diferencias significativas ($p < 0,05$). * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ y ns= no significativo.

Según los valores medios obtenidos después del estudio, la **galleta control** elaborada únicamente con harina de arroz (HA) tuvo valores similares al resto de elaboraciones para los parámetros de aspecto visual (uniformidad y forma) y dureza al tacto, pero valores significativamente más bajos en lo que respecta a la intensidad de olor, sabor (intensidad y retrogusto) y textura en boca (dureza y terrosidad); lo que llevó a una aceptación global baja.

En lo que respecta al **aspecto visual**, las galletas formuladas no manifestaron diferencias significativas ni para la uniformidad ni para la forma, lo que quiere decir que las variaciones de diámetro y grosor que se habían determinado en el estudio de las propiedades morfogeométricas no fueron muy relevantes para los panelistas. Sin embargo, sí que se pudo apreciar cierta disminución en los valores de uniformidad de la superficie a medida que aumenta el contenido de cáñamo.

Para la **dureza** al tacto sí que se pudieron apreciar diferencias significativas ($p < 0,05$), ya que los valores aumentaron conforme se valoraban las galletas con más harina de cáñamo en su composición. Esto se corresponde con la información del análisis de textura realizado previamente.

La **intensidad del olor** había sido el parámetro más bajo valorado para la galleta control, lo que refleja que la harina de arroz tuvo características olfativas poco intensas y características. Sin embargo al introducir harina HCPD se produjo un marcado incremento de la puntuación para este factor, que mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) conforme se incrementaba el porcentaje de harina de cáñamo en la formulación, siendo las galletas con más cantidad de harina de cáñamo también las que mostraron una mayor puntuación para este parámetro.

Los parámetros de **sabor** estudiados fueron la **intensidad y el retrogusto**. Al igual que con el olor, en ambos se pudieron apreciar diferencias significativas ($p < 0,05$) y sus valores se incrementaron a medida que aumentó el contenido de harina de cáñamo en la composición de las galletas. Como consecuencia de estos resultados se pudo concluir que el cáñamo permitió elaborar galletas menos insípidas que el arroz, en las que el sabor del cáñamo se puede apreciar y distinguir de otros propios de la formulación, como por ejemplo la mantequilla, aumentando también la persistencia en boca de su sabor característico.

El último parámetro sensorial estudiado fue la **textura en boca** en la que se evaluaron la dureza de las galletas y la terrosidad del producto. Nuevamente para ambos parámetros se pudieron apreciar diferencias significativas ($p < 0,05$) con valores ascendentes a medida que se aumentaba la concentración de cáñamo en los productos.

En la **aceptación global** se pudieron apreciar diferencias significativas ($p < 0,05$) aunque no tan marcadas como en otros parámetros. Estas diferencias aportaron información muy importante sobre la necesidad de estudio y la aceptación del producto por parte del consumidor.

En el caso de las galletas empleadas como control, que son las elaboradas únicamente con harina de arroz (HA), se obtuvo una puntuación media de 5,4 puntos, que no se consideró muy elevada si se tiene en cuenta que se podía valorar hasta con 10 puntos cada parámetro. Esto se debe a que a pesar de tener puntuaciones adecuadas en valores como la unidad o la forma de la galleta, presenta carencias importantes debidas a su débil olor y sabor. Por lo tanto, la comparación con el resto de las elaboraciones va a permitir determinar si aparte de enriquecer las galletas con el estudio se consigue mejorar su valoración global.

Los valores obtenidos para el resto de las elaboraciones fueron en general ascendiendo a medida que se aumentaba el contenido de harina de cáñamo (HCPD), sin embargo, en este caso la puntuación mayor se obtuvo en la elaboración GC – 30, es decir en la que tenía un 30% de harina de cáñamo, por lo que se puede considerar la galleta que más aceptación va a tener entre los consumidores. La disminución de la puntuación global de la galleta con más contenido de cáñamo pudo deberse a que un aumento excesivo de la proporción de cáñamo puede llevar a que parámetros que en principio se consideran positivos (como la intensidad de olor y de sabor) adquieran alguna connotación negativa. Además también puede influir que un exceso de cáñamo reduce la uniformidad de la galleta y provoca un color muy oscuro, lo que puede provocar una pérdida de aceptación por parte del consumidor.

En la Figura 11, representada a continuación, se puede ver de forma gráfica mediante un diagrama radial la puntuación media para cada uno de los parámetros en las cinco elaboraciones de galletas planteadas.

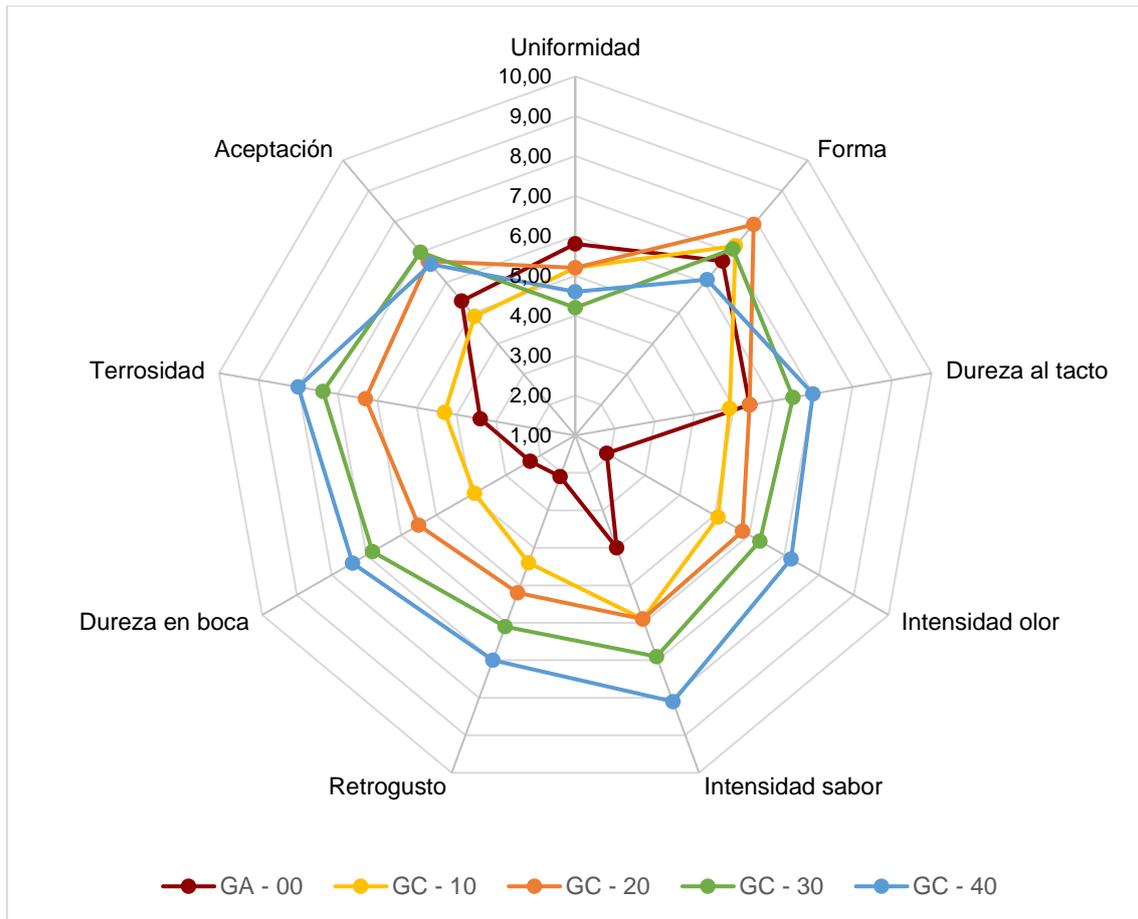


Figura 11. Representación de los valores medios obtenidos en el análisis sensorial de las galletas sin gluten enriquecidas con diferentes porcentajes de harina de cáñamo.

5. CONCLUSIONES

Los datos obtenidos en el presente estudio permitieron establecer y optimizar el procedimiento a escala piloto – laboratorio para la extracción de aceite y harina de cáñamo mediante prensado mecánico de las semillas peladas. Así mismo, se pudo demostrar la calidad y adecuación de la harina de cáñamo parcialmente desgrasada para ser empleada en el enriquecimiento de productos sin gluten. Esta harina se caracterizó por tener un alto contenido en fibra y proteína y una importante fracción grasa compuesta principalmente por ácidos grasos poliinsaturados, lo que la hace adecuada para la mejora nutricional de productos. Sin embargo, estas características también provocaron importantes cambios en las propiedades físicas y tecnológicas respecto a otras harinas sin gluten normalmente empleadas, como la de arroz.

En lo que respecta al color, las harinas de cáñamo fueron más oscuras que las de arroz, con tonalidades verdosas y menor luminosidad, debido a su contenido graso. Las propiedades funcionales también mostraron diferencias significativas en la mayoría de los parámetros. Los valores de capacidad de retención de agua (WHC) fueron mayores para las harinas de cáñamo, ya que el contenido de proteína favorece la interacción con el agua por parte de las harinas en las condiciones de ensayo. Este incremento también se apreció en la solubilidad en agua (WSI). Sin embargo los valores obtenidos para la capacidad de absorción del agua (WAC), índice de absorción en agua (WAI) y el poder de hinchamiento (SP) resultaron inferiores en estas harinas, ya que los tres factores están afectados por el contenido de almidón, que es mayor en las harinas de arroz. Además en todos los parámetros se pudo apreciar una influencia del contenido graso de las harinas, obteniéndose menores valores para las harinas de cáñamo parcialmente desgrasadas que para las obtenidas por extracción con disolvente orgánico. El contenido de proteína de las harinas de cáñamo no afectó a la actividad emulsionante (EA) pero sí que mejoró la estabilidad (ES) de las emulsiones. Las propiedades espumantes se vieron mejoradas con el elevado contenido de proteínas; pero se comprobó que la grasa ejerce una influencia negativa provocando la disminución de estos parámetros en la harina parcialmente desgrasada.

Estos resultados confirmaron el interés de evaluar cómo afecta la adición de harina de cáñamo en elaboraciones que requieran la formación de emulsiones. No obstante, también se han manifestado interacciones negativas debidas al contenido de grasa que conviene estudiar más en profundidad.

La adecuación de la harina de cáñamo parcialmente desgrasada para ser empleada en la industria alimentaria se evaluó mediante la elaboración de galletas en las que parte de la harina de arroz se sustituyó por la harina estudiada. En lo referido al comportamiento reológico de las masas, el incremento de harina de cáñamo supuso un ligero descenso del módulo elástico G_1' y un aumento del módulo viscoso G_1'' , lo que refleja un incremento de la viscosidad. Además los ensayos de deformación y relajación manifestaron que las masas con más cáñamo eran más deformables y tenían una menor capacidad de recuperación elástica de su forma original.

El aumento del contenido de cáñamo provocó un ligero incremento del grosor y diámetro de las galletas y una reducción del factor de propagación, mientras que la pérdida de peso no se vio afectada. Además se pudo comprobar que realizando un laminado mecánico se consigue una mayor uniformidad en la determinación de estos parámetros.

La textura también se modificó, obteniéndose galletas más duras a medida que se aumentaba el contenido de cáñamo. La variación del color se puede apreciar a simple vista, pues el aumento del cáñamo oscureció las galletas, provocando un descenso de la luminosidad y la saturación y un incremento de su tonalidad verde. Este adecuado comportamiento de la harina de cáñamo en la elaboración de galletas sugiere que podría resultar interesante su introducción en otros productos sin gluten, siempre teniendo en cuenta los porcentajes óptimos de aplicación para no tener problemas relacionados con la consistencia de las masas durante su elaboración, o en el color final del producto.

Los resultados del ensayo sensorial no manifestaron diferencias significativas para los parámetros de aspecto visual y dureza al tacto, sin embargo sí que se pudo apreciar un incremento de la puntuación para los aspectos: intensidad de olor, sabor y textura en boca, a medida que se aumentaba el contenido de cáñamo. Como aceptación global del producto se obtuvieron valores máximos en las galletas en las que un 30% de la harina de arroz era sustituido por harina de cáñamo, por lo que se puede considerar la formulación de galletas con mayor aceptación para el consumidor.

Por lo tanto, se puede concluir que la buena aceptación de la formulación con un 30% de harina de cáñamo consigue satisfacer el principal objetivo del estudio, demostrar que la harina de cáñamo parcialmente desgrasada es un ingrediente viable para el enriquecimiento de las galletas sin gluten. De este modo se incrementa el contenido en fibra y proteína de las galletas y se mejoran las propiedades sensoriales, sin descuidar el resto de los parámetros. Además se logra reducir el contenido de grasa animal al introducir con la harina ácidos grasos mayoritariamente poliinsaturados, lo que incrementa el interés nutricional del productos. Finalmente, también, se consigue dar un uso que potencia el valor de la torta obtenida de la extracción de aceite de cáñamo, reduciendo así las pérdidas en el proceso y favoreciendo la economía circular.

AGRADECIMIENTOS

Este TFM se ha realizado con la concesión de una beca de colaboración en tareas de investigación en departamentos e institutos L.O.U. entregada por el Consejo Social de la Universidad de Valladolid. Se ha desarrollado en el marco del proyecto PID2019-110809RB-I00 financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y los Fondos Europeos para el Desarrollo Regional (FEDER) y del proyecto financiado por la Junta de Castilla y León/FEDER (VA195P20).

6. BIBLIOGRAFÍA

- AACC, A. A. of C. C. (2010). *Approved Methods of Analysis*. In *Approved Methods of Analysis* (11th ed.). Minneapolis, U.S.A.: American Association of Cereal Chemists.
- Abebe, W., Collar, C., & Ronda, F. (2015). Impact of variety type and particle size distribution on starch enzymatic hydrolysis and functional properties of tef flours. *Carbohydrate Polymers*, 115, 260–268.
- Ahmad, S., Naz, A., Usman, M., Amjad, A., Pasha, I., & Farooq, U. (2022). Impediment effect of chemical agents (additives) on gluten development in cookie dough. *Journal of Food Science and Technology*, 59(4), 1396–1406.
- Aladić, K., Jokić, S., Moslavac, T., Tomas, S., Vidović, S., Vladić, J., & Šubarić, D. (2014). Cold pressing and supercritical CO₂ extraction of hemp (*Cannabis sativa*) seed oil. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 28(4), 481–490.
- Aldrich, M. (1997). History of Therapeutic Cannabis. In *Cannabis in Medical Practice: a Legal, Historical and Pharmacological Overview of the Therapeutic use of Marijuana* (1st ed.). McFarland.
- Alfauomy, G. A., Ibrahim, O. S., & Ali, M. M. A. (2017). Physico-chemical Characteristics of Starches from Different Cereal Grains. *American Journal of Food Science and Technology*, 5(4), 125–134.
- Aluko, R. E. (2017). Hemp Seed (*Cannabis sativa* L.) Proteins: Composition, Structure, Enzymatic Modification, and Functional or Bioactive Properties. *Sustainable Protein Sources*, Chapter 7, 121–132.
- Awuchi, C. G., Victory, I. S., & Echeta, C. K. (2019). The Functional Properties of Foods and Flours. *International Journal of Advanced Academic Research*, 5(11), 139–160.
- Bashir, S., Yaseen, M., Sharma, V., Purohit, S. R., Barak, S., & Mudgil, D. (2020). Rheological and textural properties of gluten free cookies based on pearl millet and flaxseed. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 10(5), 6565–6576.
- Beuchat, L. R. (1977). Functional and Electrophoretic Characteristics of Succinylated Peanut Flour Protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 258–261.
- Blade, S. F., Gaudiel, R. G., & Kerr, N. (1999). Low-THC Hemp Research in the Black and Brown Soil Zones of Alberta, Canada. *American Society for Horticultural Science Press*, 306–310.
- Callaway, J. C. (2004). Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, 140, 65–72.
- Callaway, J. C., & Pate, D. W. (2009). Hempseed Oil. *Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils*, 185–213.
- Carus, M., Karst, S., Kauffmann, A., Hobson, J., & Bretrucelli, S. (2013). The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs, seeds and flowers. *European Industrial Hemp Association*, 10, 1–9.
- Cecilia Dopporto, M., Sacco, F., Viña, S. Z., & Alejandra García, M. (2017). Quality and Technological Properties of Gluten-Free Biscuits Made with *Pachyrhizus ahipa* Flour as a Novel Ingredient. *Food and Nutrition Sciences*, 8(1), 70–83.
- Cerino, P., Buonerba, C., Cannazza, G., D'Auria, J., Ottoni, E., Fulgione, A., ... Gallo, A. (2021). A Review of Hemp as Food and Nutritional Supplement. *Cannabis and Cannabinoid Research*, 6(1), 19–27.
- Chandra, S., Singh, S., & Kumari, D. (2015). Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 3681–3688.

- Chopra, N., Dhillon, B., Rani, R., & Singh, A. (2018). Physico-nutritional and sensory properties of cookies formulated with quinoa, sweet potato and wheat flour blends. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 6(3), 798–806.
- Chung, H.-J., Cho, A., & Lim, S.-T. (2014). Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 57(1), 260–266.
- Clake, R., & Lu, X. (1995). The cultivation and use of hemp (*Cannabis sativa* L .) in ancient China. *Journal of International Hemp Association*, 2(1), 26–30.
- Clarke, R. C. (1999). Chapter 1: Botany of the Genus *Cannabis*. In P. Ranalli (Ed.), *Advances in Hemp Research*. New York: Food Products Press.
- Collar, C., & Angioloni, A. (2014). Pseudocereals and teff in complex breadmaking matrices: Impact on lipid dynamics. *Journal of Cereal Science*, 59(2), 145–154.
- Cornejo, F., & Rosell, C. M. (2015). Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1203–1210.
- Correa, M. M., Vallejo, F. J. A., & Balbás, F. R. (2021). *Impacto del tratamiento hidrotérmico asistido con microondas sobre las propiedades funcionales y las fracciones proteicas de la harina de tef*. Universidad de Valladolid.
- Crini, G., Lichtfouse, E., Chanet, G., & Morin-Crini, N. (2020). Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(1), 1451–1476.
- Crocq, M. A. (2020). History of cannabis and the endocannabinoid system. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 22(3), 223–228.
- Cruz-Solorio, A., Villanueva-Arce, R., Garín-Aguilar, M. E., Leal-Lara, H., & Toro, G. V. (2018). Functional properties of flours and protein concentrates of 3 strains of the edible mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 3892–3901.
- Dapčević Hadnađev, T. R., Torbica, A. M., & Hadnađev, M. S. (2013). Influence of Buckwheat Flour and Carboxymethyl Cellulose on Rheological Behaviour and Baking Performance of Gluten-Free Cookie Dough. *Food Bioprocess Technology*, 6, 1770–1781.
- Du Toit, B. M. (1980). *Cannabis in Africa : a survey of its distribution in Africa, and a study of cannabis use and users in multi-ethnic South Africa*. Gainesville, USA: Rotterdam : Published for the African Studies Center.
- EIHA. (2019). Hemp in Europe. Retrieved May 8, 2022, from European Industrial Hemp Association
- Ertuş, N., & Aslan, M. (2020a). Antioxidant and physicochemical properties of cookies containing raw and roasted hemp flour. *Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria*, 19(2), 177–184.
- Ertuş, N., & Aslan, M. (2020b). Antioxidant and physicochemical properties of cookies containing raw and roasted hemp flour. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria* 19(2), 177–184.
- European Comission. (2020). Hemp production in the EU. Retrieved May 8, 2022, from European Comission

- Eurostat. (2021). Crop production in EU. Retrieved May 8, 2022, from Statistical Office of European Union
- Fankhauser, M. (2002). History of cannabis in Western Medicine. In F. Grotenhermen & E. Russo (Eds.), *Cannabis and cannabinoids: pharmacology, toxicology, and therapeutic potential* (pp. 37–51). Haworth Integrative Healing Press.
- Farinon, B., Molinari, R., Costantini, L., & Merendino, N. (2020). The Seed of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional Quality and Potential Functionality for Human Health and Nutrition. *Nutrients*, *12*(7), 1–60.
- Farooq, Z., & Boye, J. I. (2011). Novel Food and Industrial Applications of Pulse Flours and Fractions. *Pulse Foods*, 283–323.
- Fassio, A., Rodríguez, M. J., & Ceretta, S. (2013). Cáñamo (*Cannabis sativa* L.). *INIA, Boletín de Divulgación*, *103*.
- Fathordoobady, F., Singh, A., Kitts, D. D., & Pratap Singh, A. (2019). Hemp (*Cannabis Sativa* L.) Extract: Anti-Microbial Properties, Methods of Extraction, and Potential Oral Delivery. *Food Reviews International*, *35*(7), 664–684.
- Faugno, S., Piccolella, S., Sannino, M., Principio, L., Crescente, G., Baldi, G. M., ... Pacifico, S. (2019). Can agronomic practices and cold-pressing extraction parameters affect phenols and polyphenols content in hempseed oils? *Industrial Crops and Products*, *130*, 511–519.
- Gani, A., Ashwar, B. A., Akhter, G., Shah, A., Wani, I. A., & Masoodi, F. A. (2017). Physico-chemical, structural, pasting and thermal properties of starches of fourteen Himalayan rice cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, *95*, 1101–1107.
- Garrido Herrero, S. P. (2005). Cáñamo gentil. Una indagación sobre los condicionantes del cambio técnico en la agricultura. *Revista de Agricultura e Historia Rural*, *36*, 287–310.
- González, A. (2019). *Estudio del efecto de la adición de la harina de alpiste sobre la calidad de galletas sin gluten*. Universidad de Valladolid.
- Gopal Shimpi, N. (2018). *Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites. Processing, properties and applications*. (Elsevier, Ed.).
- Gularte, M. A., de la Hera, E., Gómez, M., & Rosell, C. M. (2012). Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT - Food Science and Technology*, *48*(2), 209–214.
- GVR. (2022). Industrial Hemp Market Size & Share Report, 2022-2030. Retrieved May 8, 2022, from Grand View Research
- Hussien, A. (2019). Rheological properties and quality evaluation on Egyptian balady bread and biscuits supplemented with flours of ungerminated and germinated legume seeds or mushroom | Request PDF. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, *57*(4), 487–496.
- Inglett, G. E., Chen, D., & Liu, S. X. (2015). Physical properties of gluten-free sugar cookies made from amaranth–oat composites. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(1), 214–220.
- Jagelaviciute, J., & Cizeikiene, D. (2021). The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread. *LWT - Food Science and Technology*, *137*(110457), 1–9.

- Jensvoll, H., Montanari, L., Quigley, E., Royuela, L., & Webster, R. (2018). Cannabis legislation in Europe: an overview. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction.
- Jia, Y., Jiang, Z. M., Gong, X. L., & Zhang, Z. (2012). Creep of thermoplastic polyurethane reinforced with ozone functionalized carbon nanotubes. *Express Polymer Letters*, 6(9), 750–758.
- Joseph A, M. D. (2020). Celiac Disease. Retrieved May 9, 2022, from . National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases.
- Kaiser, C., Cassady, C., & Ernst, M. (2015). Industrial Hemp Production. *University of Kentucky College of Agriculture, Food and Environment*.
- Kaushal, P., Kumar, V., & Sharma, H. K. (2012). Comparative study of physicochemical, functional, antinutritional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. *LWT - Food Science and Technology*, 48(1), 59–68.
- King, J. A., Jeong, J., Underwood, F. E., Quan, J., Panaccione, N., Windsor, J. W., ... Kaplan, G. G. (2020). Incidence of Celiac Disease Is Increasing over Time: A Systematic Review and Meta-analysis. *American Journal of Gastroenterology*, 115(4), 507–525.
- Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R., & Juszczak, L. (2017). Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) flour and protein preparation as natural nutrients and structure forming agents in starch based gluten-free bread. *LWT-Food Science and Technology*, 84, 143–150.
- Kuchtová, V., Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Lauková, M. (2018). Physical, Textural and Sensory Properties of Cookies Incorporated with Grape Skin and Seed Preparations. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68.
- Lachenmeier, D. W., & Walch, S. G. (2005). Analysis and toxicological evaluation of Cannabinoids in hemp food products. *Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 4(1), 812–826.
- Lazic, M., Inzaugarat, M. E., Povero, D., Zhao, I. C., Chen, M., Nalbandian, M., ... Sears, D. D. (2014). Reduced dietary omega-6 to omega-3 fatty acid ratio and 12/15-lipoxygenase deficiency are protective against chronic high fat diet-induced steatohepatitis, 9(9).
- Luque de Castro, M. D., & Priego-Capote, F. (2010). Soxhlet extraction: Past and present panacea. *Journal of Chromatography A*, 1217(16), 2383–2389.
- Mancebo, Camino M., Rodríguez, P., Martínez, M. M., & Gómez, M. (2018). Effect of the addition of soluble (nutriose, inulin and polydextrose) and insoluble (bamboo, potato and pea) fibres on the quality of sugar-snap cookies. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(1), 129–136.
- Mancebo, Camino Martínez. (2016). *Reformulación de panes y galletas de masa corta sin gluten: cambios en la reología de las masas y en la calidad de los productos*. Universidad de Valladolid.
- Matos, M. E., Sanz, T., & Rosell, C. M. (2014). Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten free muffins. *Food Hydrocolloids*, 35, 150–158.
- McPartland, J. M., Clarke, R. C., & Watson, D. P. (2011). Hemp diseases and pests: management and biological control. *Nova Institute*, 68, 1–6.
- Mediavilla, V., & Steinemann, S. (1997). Essential oil of *Cannabis sativa* L. strains. *Journal of the International Hemp Association*, 4(2), 80–82.

- Meilgaard, M. C., Carr, B. T., & Civille, G. V. (1999). *Sensory Evaluation Techniques*.
- Merfield, C. N. (1999). Industrial Hemp and its Potential for New Zealand. *A Report for the 1999 Kellogg Rural Leadership Course*.
- Mikulec, A., Kowalski, S., Sabat, R., Skoczylas, Ł., Tabaszewska, M., & Wywrocka-Gurgul, A. (2019). Hemp flour as a valuable component for enriching physicochemical and antioxidant properties of wheat bread. *LWT*, 102, 164–172.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, M. (2021). Nota informativa sobre el cultivo del cáñamo. Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios.
- Mirizzi, F., & Wilson, C. (2020). HEMP a real green deal. *European Industrial Hemp Association*.
- Mookerjee, A. (2020). *Investigation for different extraction methods for hemp seeds*. University of Saskatchewan.
- Moroni, A. V., Dal Bello, F., & Arendt, E. K. (2009). Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue? *Food Microbiology*, 26(7), 676–684.
- Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2017). Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 537–542.
- Naczek, M., Diosady, L. L., & Rubin, L. J. (1985). Functional Properties of Canola Meals Produced by a Two-phase Solvent Extraction System. *Journal of Food Science*, 50(6), 1685–1688.
- Naqash, F., Gani, A., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2017). Gluten-free baking: Combating the challenges - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 98–107.
- Norajit, K., Gu, B. J., & Ryu, G. H. (2011). Effects of the addition of hemp powder on the physicochemical properties and energy bar qualities of extruded rice. *Food Chemistry*, 129(4), 1919–1925.
- Panghal, A., Chhikara, N., & Khatkar, B. S. (2018). Effect of processing parameters and principal ingredients on quality of sugar snap cookies: a response surface approach. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 3127–3134.
- Pareyt, B., Talhaoui, F., Kerckhofs, G., Brijs, K., Goesaert, H., Wevers, M., & Delcour, J. A. (2009). The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties Title. *Journal of Food Engineering*, 90(3), 400–408.
- Patricia, R. C. (2015). Elaboración de galletas sin gluten con mezclas de harina de arroz-almidón-proteína.
- Pau, T. O. (n.d.). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB.
- Pineda, J. P. (2014). *Estudio de la influencia del tipo de harina en el desarrollo de galletas sin gluten*. University of Valladolid.
- Piotrowski, S., & Carus, M. (2011). Ecological benefits of hemp and flax cultivation and products. *Nova Institute*, 68, 1–6.
- Pojić, M., Dapčević Hadnadev, T., Hadnadev, M., Rakita, S., & Brlek, T. (2015). Bread Supplementation with Hemp Seed Cake: A By-Product of Hemp Oil Processing. *Journal of Food Quality*, 38(6), 431–440.
- Raikos, V., Neacsu, M., Russell, W., & Duthie, G. G. (2014). Comparative study of the functional properties of lupin, green pea, fava bean, hemp, and buckwheat flours as affected by pH. *Food Science & Nutrition*, 2(6), 802–810.

- Raju, K., & Roshan, D. (2020). Gluten-Free Products Market by Type (Gluten-free Baby Food, Gluten-free Pasta, Gluten-free Bakery Products, and Gluten-free Ready Meals) and Distribution Channel (Convenience Stores, Specialty Stores, Drugstore & Pharmacy, and Others): Global Opportunity. Allied Market Research.
- Rodríguez-Almagro, J., Hernández-Martínez, A., Lucendo, A. J., Casellas, F., Solano-Ruiz, C., & Siles-González, J. (2016). Health-related quality of life and determinant factors in celiac disease. A population-based analysis of adult patients in Spain. *Rev Esp EnfeRm Dig (Madrid)*, 108, 181–189.
- Ronda, F., Villanueva, M., & Collar, C. (2014). Influence of acidification on dough viscoelasticity of gluten-free rice starch-based dough matrices enriched with exogenous protein. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 12–20.
- Ropciuc, S., Apostol, L. C., Damian, C., & Prisacaru, A. E. (2022). Effect of Hemp Seed Oil Addition on the Rheological Properties of Dough and Bread. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(6).
- Roulac, J. W. (1997). *Hemp horizons : the comeback of the world's most promising plant* (1st ed.). Vermont, USA: Chelsea Green Pub.
- Rusu, I. E., Marc, R. A., Mureșan, C. C., Mureșan, A. E., Filip, M. R., Onica, B. M., ... Muste, S. (2021). Advanced Characterization of Hemp Flour (*Cannabis sativa* L.) from Dacia Secuieni and Zenit Varieties, Compared to Wheat Flour. *Plants* 2021, Vol. 10, Page 1237, 10(6), 1237.
- Sasaki, T., & Matsuki, J. (1998). Effect of wheat starch structure on swelling power. *Cereal Chemistry*, 75(4), 525–529. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.4.525>
- Siano, F., Moccia, S., Picariello, G., Russo, G. L., Sorrentino, G., Di Stasio, M., ... Volpe, M. G. (2019). Comparative Study of Chemical, Biochemical Characteristic and ATR-FTIR Analysis of Seeds, Oil and Flour of the Edible Fedora Cultivar Hemp (*Cannabis sativa* L.). *Molecules*, 24(83), 3–13.
- Stamatovska, V., Nakov, G., Dimov, I., Traneva, I., & Kalevska, T. (2017). Influence on time of baking and different role of barley flour on the colour of the biscuits. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 21, 90 - 95.
- Tang, C.-H., & Ma, C.-Y. (2009). Heat-induced modifications in the functional and structural properties of vicilin-rich protein isolate from kidney (*Phaseolus vulgaris* L.) bean. *Food Chemistry*, 115(3), 859–866.
- Timoshenkova, I., Barsukova, N., Moskvicheva, E., Pilipenko, T., Zhilinskaya, N., Irishkin, E., & Moskvichev, A. (2020). Use of hemp flour for the production of gluten-free confectionery. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 130–137.
- Touw, M. (2012). The Religious and Medicinal Uses of Cannabis in China, India and Tibet. *Journal of Psychoactive Drugs*, 13(1), 23–34.
- Vela, A. J., Villanueva, M., Solaesa, Á. G., & Ronda, F. (2021). Impact of high-intensity ultrasound waves on structural, functional, thermal and rheological properties of rice flour and its biopolymers structural features. *Food Hydrocolloids*, 113.
- Villanueva, M., Harasym, J., Muñoz, J. M., & Ronda, F. (2019). Rice flour physically modified by microwave radiation improves viscoelastic behavior of doughs and its bread-making performance. *Food Hydrocolloids*, 90, 472–481.
- Wiedemair, V., Gruber, K., Knöpfle, N., & Bach, K. E. (2022). Technological Changes in Wheat-Based Breads Enriched with Hemp Seed Press Cakes and Hemp Seed Grit. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(6).
- Woody, A. L. (2003). *Probing and Three-Point Bend Methods Compared to Sensory Scales as Measurements for Cookie Texture*. University of Tennessee, Knoxville.

- Xu, J., Zhang, Y., Wang, W., & Li, Y. (2020). Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 103, 200–213.
- Young, E. M. (2005). *Revival of Industrial Hemp: A systematic analysis of the current global industry to determine limitations and identify future potentials within the concept of sustainability*. Lund University.
- Yu, C., Liu, J., Tang, X., Shen, X., & Liu, S. (2017). Correlations between the physical properties and chemical bonds of extruded corn starch enriched with whey protein concentrate. <https://doi.org/10.1039/c6ra26764e>
- Zajac, M., Guzika, P., Kulawika, P., Tkaczewskaa, J., Florkiewicz, A., & Migdała, W. (2019). The quality of pork loaves with the addition of hemp seeds, de-hulled hemp seeds, hemp protein and hemp flour. *Food Science and Technology (LWT)*, 105, 190–199.
- Zhao, H., Xiong, H., & Chen, J. (2021). Regional Comparison and Strategy Recommendations of Industrial Hemp in China Based on a SWOT Analysis. *Sustainability*, 13(6419), 1–16.
- Zimniewska, M. (2022). Hemp Fibre Properties and Processing Target Textile: A Review. *Materials (Basel, Switzerland)*, 15(5), 1–29.

ANEXO I - Fotografías del proceso de extracción



Figura 12. Semillas de cáñamo con cáscara (izquierda) y peladas (derecha).



Figura 13. Prensa eléctrica de 1500 W de potencia especial para semillas oleaginosas.



Figura 14. Torta de cáñamo a la salida de la prensa (izquierda) y en el recipiente de recogida (derecha).



Figura 15. Aceite obtenido tras el prensado mecánico. Recipiente de recogida (izquierda) y aceite con impurezas (derecha).



Figura 16. Centrifugación del aceite. Disposición de los tubos de aceite en la centrífuga (izquierda) y aceite final (derecha).



Figura 17. Molienda de la torta de cáñamo. Molino de aspas rotatorias (izquierda), disposición de la torta en el molino (centro) y harina obtenida tras el molido (derecha).



Figura 18. Tamiz de 500 μm de luz de malla (izquierda), fracción gruesa obtenida (centro) y harina final correspondiente con la harina de cáñamo parcialmente desgrasada que fue octeto de estudio (derecha).



Figura 19. Dispositivo soxhlet empleado para la extracción total de la fracción grasa de la harina de cáñamo mediante disolvente orgánico.

ANEXO II – Hoja de Cata Descriptiva

ENSAYO SENSORIAL DESCRIPTIVO											
NOMBRE	FECHA	MUESTRA									
I. ASPECTO VISUAL											
➤ <u>Uniformidad de la superficie superior</u>											
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="border: 2px solid red;" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Muy cuarteada					Uniforme						
➤ <u>Uniformidad de la pieza</u>											
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="border: 2px solid red;" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Asimétrica					Circular						
II. CARACTERIZACIÓN AL TACTO											
➤ <u>Dureza de la galleta</u>											
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="border: 2px solid red;" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Poca fuerza					Fuerza elevada						
III. OLOR											
➤ <u>Intensidad del aroma</u>											
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="border: 2px solid red;" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Poco intenso					Muy intenso						
IV. SABOR											
➤ <u>Intensidad de sabor</u>											
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="border: 2px solid red;" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Poco intenso					Muy intenso						
➤ <u>Retrogusto residual</u>											
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input style="border: 2px solid red;" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Poco persistente					Muy persistente						

V. TEXTURA EN BOCA

➤ Dureza en boca

Poca fuerza

Mucha fuerza

➤ Terrosidad

Gomoso

Terroso

VI. VALORACION FINAL

➤ Aceptación global

Malo

Buena