



OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA DE ALPISTE Y CARACTERIZACIÓN TECNO- FUNCIONAL DE HARINAS DE DIFERENTES PROCEDENCIAS Y GRADOS DE EXTRACCIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2018/19

Alumno: Yonghang He

Tutores: Pedro A. Caballero Calvo Y Felicidad Ronda Balbás

ÍNDICE

RESUMEN/ABSTRACT.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. OBJETIVOS.....	4
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	5
3.1. Materiales.....	5
3.2. Estudio y optimización de molienda: Métodos.....	5
3.3. Propiedades nutricionales de las harinas.....	8
3.4. Propiedades funcionales.....	8
3.5. Propiedades de empastado.....	11
3.6. Reología de geles.....	11
3.7. Análisis estadístico.....	12
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
4.1. Estudio y optimización del proceso de molienda.....	12
4.2. Propiedades funcionales.....	14
4.3. Propiedades de empastado de las harinas.....	16
4.4. Reología de los geles obtenidos a partir de las harinas.....	18
5. CONCLUSIONES.....	19
6. BIBLIOGRAFÍA.....	21

RESUMEN

El alpiste para consumo humano es un cereal de gran interés para el desarrollo de alimentos sin gluten. Con el fin de potenciar su empleo, es necesario evaluar las variables que influyen en el proceso de molienda del grano. También resulta interesante conocer las propiedades tecnológicas de las harinas que se obtienen a partir de este cereal. Este trabajo ha analizado y optimizado el proceso de molienda de alpiste con el fin de obtener harinas refinadas e integrales, estudiando la influencia de la velocidad de molienda y el contenido de humedad del grano. También se estudiaron las propiedades funcionales de las harinas obtenidas a partir de granos de distintos orígenes geográficos, concretamente Canadá y España.

Los resultados indicaron que el acondicionamiento del alpiste a una humedad de 14% y su molienda en cualquiera de las dos velocidades estudiadas, puede resultar adecuado para la obtención de harina refinada y harina integral con unos rendimientos elevados. Por otro lado, la harina de alpiste mostró una capacidad de absorción y retención de agua inferior a las harinas de arroz. Las harinas integrales, al tener un mayor contenido de fibra, tuvieron valores superiores de estas variables que las harinas refinadas. Las propiedades de empastado de estas harinas dieron valores inferiores a las harinas de arroz en todas las viscosidades estudiadas. Los geles resultantes también fueron menos consistentes que los obtenidos con harina de arroz. Por el contrario, la temperatura de empastado de las harinas de alpiste fue superior en todos los casos. En función de las propiedades funcionales obtenidas para las harinas de tipo integral y refinado, el alpiste para consumo humano se reveló como una alternativa para la elaboración de productos horneados sin gluten de elevada calidad sensorial y nutricional. Para ello será necesario optimizar la formulación de los productos.

Palabras clave: Alpiste, molienda, harina integral, harina refinada

ABSTRACT

Canaryseed for human consumption is a cereal of great interest for the development of gluten-free foods. In order to promote its use, it is necessary to evaluate the variables that influence the milling process of the grain. It is also interesting to know the technological properties of the flours obtained from this cereal. This work has analysed and optimised the canaryseed milling process in order to obtain refined and integral flours, studying the influence of the milling speed and the moisture content of the grain. The functional properties of flours obtained from grains of different geographical origins, specifically Canada and Spain, were also studied.

The results indicated that conditioning the canaryseed to a humidity of 14% and milling at either of the two speeds studied may be suitable for obtaining refined flour and wholemeal flour with high yields. On the other hand, canaryseed flour showed a lower water absorption and retention capacity than rice flour. Wholemeal flours, having a higher fibre content, had higher values of these variables than refined flours. The pasting properties of these flours gave lower values to rice flours in all the viscosities studied. The resulting gels were also less consistent than those obtained with rice flour. On the contrary, the filling temperature of canaryseed flours was higher in all cases. Depending on the functional properties obtained for wholemeal and refined flours, canaryseed for human consumption was revealed as an alternative for the production of gluten-free baked products of high sensory and nutritional quality. It will be necessary to optimize the formulation of the products.

Keywords: Birdseed, milling, wholemeal flour, refined flour, functional properties.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos que tiene la industria alimentaria actual es el de producir alimentos que sean seguros para todos los consumidores, con especial atención a grupos de consumidores con distintas patologías que sufren trastornos por ingerir determinados alimentos y que, por consiguiente, no son seguros para ellos. Este es el caso de las personas alérgicas y/o intolerantes, en donde cabe destacar la enfermedad celíaca. La enfermedad celíaca es un trastorno autoinmune provocado por la ingestión de gluten, la principal proteína de almacenamiento del trigo y granos similares como la cebada y el centeno. El gluten es el responsable de dar elasticidad a las masas y permite retener el gas generado durante la fermentación, con lo que se logra obtener las características deseadas en un pan, razón por la cual se encuentra ligado a muchos productos y alimentos. En el caso de la enfermedad celíaca, el consumo de gluten provoca un trastorno inflamatorio crónico del intestino delgado inducido de forma autoinmune. Por lo tanto, el gluten no se digiere y produce una acumulación de fragmentos ricos en prolamina y glutamina, que activan la producción de linfocitos CD4+ específicos con restricción de HLA-DQ2, los cuales generan citosinas proinflamatorias y anticuerpos que, transformados por la transglutaminasa tisular (TG2), alteran la mucosa del intestino provocando dolor abdominal y diarrea (Arranz & Garrote, 2010). La única terapia para esta enfermedad que existe actualmente es llevar una dieta libre de gluten de por vida (Sollid, 2000).

El gluten cumple una función estructural muy importante y difícil de reemplazar. De esta forma, la búsqueda de alimentos seguros para los afectados por la enfermedad celíaca representa uno de los principales retos para la industria alimentaria que elabora productos a partir de cereales. Las investigaciones se dirigen a desarrollar productos utilizando materias primas libres de gluten, entre los que destacan cereales y pseudocereales. Una de las materias primas de mayor interés para la producción es la harina, con la cual se fabrican diversos productos alimenticios. La harina se obtiene gracias a la molienda del endospermo (albumen farináceo) de determinados cereales, principalmente del trigo, pero también de otros cereales que carecen de gluten en su composición y, por lo tanto, son interesante para los consumidores con enfermedad celíaca (Cogliatti et al., 2014).

Entre los cereales naturalmente exentos de gluten se encuentra el alpiste (*Phalaris canariensis*, L.), especie originaria de Canadá y Argentina, la cual es cultivada también en España, pero que se encuentra en prácticamente todas las zonas templadas del planeta donde se cultiva para la obtención de sus granos (Cogliatti, 2012). El alpiste es una especie gramínea anual, es considerado un verdadero cereal, cuyos granos presentan una composición única y una estructura similar a la de otros de la misma familia botánica como el trigo, la avena, la cebada y el arroz (Figura 1). Es la única especie de su género que se cultiva para la producción de granos. Los mismos se destinan, casi exclusivamente, a la alimentación de aves ornamentales y en pequeñas cantidades a la alimentación humana y de animales de cría (Cogliatti et al., 2014).

El uso del alpiste ha ido en aumento, y se han realizado evaluaciones sobre el empleo de granos enteros de alpiste y los derivados de su molienda en la elaboración de una amplia gama de productos alimenticios, como pan, pastas y barras de cereales. El desarrollo de alimentos sin gluten representa una gran oportunidad comercial para este cereal, dado que los alimentos sin gluten constituyen un segmento de mercado en rápida expansión (Patterson, 2011).

La proteína y el almidón del alpiste poseen determinadas características interesantes para la industria alimentaria. Posee una concentración de proteínas entre el 21 y el 24%,

en la que la proteína mayoritaria es la prolamina con un 45% del total proteico. Las albúminas y las globulinas representan un nivel muy bajo. Además, contiene una gran cantidad de triptófano, fenilalanina y arginina, y reducida cantidad de lisina y prolina. Su contenido en almidón es del 60% aproximadamente. Entre las propiedades nutricionales del alpiste sobresale que es una fuente rica de minerales, donde cabe destacar su contenido en Zinc y otros (P, S, Mg, Ca y Fe), con interesantes componentes antioxidantes como los compuestos fenólicos, carotenoides y lignanos. Es una buena fuente de aminoácidos, de ácidos grasos esenciales (Omega 3 y Omega 6) y posee un alto contenido en vitaminas del grupo B (Abdel-Aal et al., 2011; Apagüño & Pezo, 2014; Cogliatti et al., 2014).

A pesar de poseer un adecuado valor nutricional para el consumo humano, históricamente los granos de alpiste se han utilizado para la producción de tejidos y para la alimentación de aves ornamentales, debido a que al alpiste se le atribuye efectos cancerígenos, con una alta incidencia en el resultado de cáncer de esófago, atribuidos a los tricomas silificados (pelos) que recubren los granos (O'Neill et al., 1986). Sin embargo, en el año 1997 fue liberado al mercado canadiense el primer cultivar glabro (sin pelos) para la eliminación de esta problemática, denominado CDC-María. Los análisis completos de las características físico-químicas de los granos de este cultivar fueron realizados como requisito para su inscripción como nuevo alimento humano ante la Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (CFIA) (Hucl et al., 2001). Los resultados mostraron cantidades no significativas de alcaloides y otras sustancias anti nutricionales y cierta similitud con los de trigo. Las harinas obtenidas exhibieron una adecuada formación de masa, lo que las hace aptas para su empleo en mezclas con harinas de trigo. Los almidones, proteínas, aceites y fibras, mostraron un alto potencial para ser utilizados en la elaboración de productos alimenticios y no alimenticios. También se analizaron diferentes metodologías para procesamiento de los granos, tales como el descascarado, el tostado y la molienda (Hucl et al. 2001).

Se han realizado distintos estudios para la determinación de los distintos factores que influyen en la eficacia de la molienda y se basa en la optimización del proceso de transformación del grano de cereales y pseudocereales en harina. En dichos estudios se ha recogido diversa información de los factores que influyen en la molienda de las semillas, para intentar establecer el método de molienda más eficientes y eficaces posible. Los distintos estudios han conducido a la obtención de normas, como el método de referencia de la norma ISO 712:2010 para la humidificación de los granos de cereales y la producción de harinas y productos derivados de cereales. En dicha norma se especifica la metodología y los parámetros para la humidificación de los granos de cereales para la producción de harina a partir de diferentes cereales, y se estipulan los métodos de análisis del cereal a triturar.

En este estudio se han utilizado harinas de arroz como referencia. El arroz (*Oryza sativa* L.) es un cereal que proviene de una planta de la familia *Poaceae*. Su contenido proteico es muy bajo respecto a otras harinas de otros cereales, entorno a un 7%, siendo las glutelinas la fracción proteica de mayor concentración. Sin embargo, tiene un excelente balance de aminoácidos esenciales, especialmente un alto valor en lisina, si se compara con otros cereales como el trigo (*Triticum aestivum* L.). La harina de arroz es el producto sin gluten más utilizado en la industria, pese a ser nutricionalmente inferior a las harinas de otros cereales, ya que, posee un 80% de almidón, cuyo tamaño de gránulos es reducido y la amilosa proporciona adecuadas características para el desarrollo de productos alimenticios y, además, el arroz tiene muy bajo coste. Asimismo, las harinas de arroz en la producción de alimentos no se consideran aditivos ni se deben indicar como tal en la etiquetación, por lo tanto, proporciona un etiquetado "limpio" y, en consecuencia, se evita condicionar al consumidor (Zavareze et al., 2010).

También cabe citar la norma ISO 27971:2015, la cual trata sobre la determinación de las propiedades reológicas de los distintos tipos de masas obtenidas a partir de harina de trigo común (*Triticum aestivum*, L.) mediante alveógrafo. Esta norma está indicada para trigo, aunque su sistemática podría ser aplicada de igual manera para la obtención de harina de otros cereales.

Hasta el momento, se han realizado estudios sobre los beneficios y las ventajas que tienen las harinas de diferentes cereales y pseudocereales, tanto los que poseen gluten como los que no contienen gluten. Sin embargo, no se ha tratado en profundidad el estudio de la obtención de los distintos tipos de harina a partir de alpiste, los diversos procesos de molienda, y los posibles efectos que puedan tener en las propiedades funcionales y nutricionales los distintos tipos de harina (refinada e integral).

Asimismo, no existe, hasta el momento, un gran número de estudios que lleven a cabo en profundidad la determinación de cómo afectan en las propiedades funcionales el uso de harinas refinadas de alpiste frente a harinas integrales de alpiste. Por ello, es importante la realización del siguiente estudio.



Figura 1. Ilustración gráfica de la planta de alpiste. (USDA-NRCS, 2013)

2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo fue analizar y optimizar el proceso de molienda de alpiste con el fin de obtener harinas refinadas e integrales. Para ello se estudió la influencia de la velocidad de molienda, así como, el contenido de humedad del grano acondicionado sobre el rendimiento de la molienda. También se estudiaron las propiedades funcionales de las harinas obtenidas de alpiste. Este estudio se realizó sobre harinas obtenidas a partir de granos de distintos orígenes geográficos, concretamente de Canadá y de España y se utilizaron como referencia harinas de dos tipos de arroz con diferentes granulometrías.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Para la realización del estudio de las condiciones de molienda de alpiste se emplearon granos de alpiste de la variedad CDC María procedentes de un cultivo practicado en España y suministrado por agricultores de la región (Fitopal, Palencia, España).

Para el análisis de las propiedades funcionales de las harinas de alpiste se obtuvieron 4 harinas (dos refinadas y dos integrales) mediante el empleo del molino CD1 (Chopin, Villeneuve-la-Garenne Cedex, Francia) a partir de granos de alpiste español y canadiense. La referencia del alpiste español se ha mencionado previamente, obteniéndose a partir del mismo, harina refinada de alpiste español (ARE) y harina integral de alpiste español (AIE). Los granos de alpiste canadiense también procedieron de la variedad CDC María y fueron suministrados también por la empresa Fitopal (Palencia, España). También se obtuvieron dos modalidades de harina canadiense a partir de los granos mencionados, concretamente harina refinada de alpiste canadiense (ARC) y harina integral de alpiste canadiense (AIC).

En el estudio de las propiedades funcionales de las harinas se emplearon como referencias dos harinas de arroz, harina de arroz NPU (granulometría gruesa) y harina de arroz Microcern (granulometría fina), ambas harinas procedentes de arroz de la variedad índica, proporcionadas por la empresa Herba Ricemills (Valencia, España).

Las características físico-químicas y la granulometría, de los tipos de arroz utilizados como referencia en este estudio, se muestran en la siguiente tabla (Tabla 1).

Tabla 1. Características físico-químicas y granulometría de los tipos de arroz utilizados como referencia.

Arroz NPU		Arroz Microcern	
Características físico-químicas		Características físico-químicas	
Humedad	<15,0%	Humedad	<15,0 %
Densidad	0,5 – 0,7 g/mL	Densidad	0,5 – 0,7 g/mL
Gluten	<10 ppm	Gluten	<10 ppm
Proteína	>6,5 %	Proteína	>6,5 %
Grasas	<1,0 %	Grasas	<0,9 %
Cenizas	<0,9 %	Cenizas	<1,0 %
Granulometría		Granulometría	
>250 µm	<1 %	>150 µm	<1 %
[250 – 210] µm	10-20 %	[150 – 90] µm	5 – 15 %
[210 – 150] µm	35 – 45 %	<90 µm	>84 %
[150 – 100] µm	20 – 35 %		
<100 µm	10 – 20 %		

Las harinas de alpiste español y las harinas de alpiste canadiense, tanto integral como refinado, son realizadas siguiendo las distintas proporciones de granos utilizados en el laboratorio.

3.2. Estudio y optimización de molienda: Métodos

Para la realización de la molienda se utilizaron las metodologías incluidas en distintas normas ISO: ISO 712:2010 - Cereales y productos de los cereales. Determinación del contenido de humedad. Método de referencia y la norma ISO 27971:2015 – Cereales y

productos a base de cereales. Trigo común (*Triticum aestivum* L). Determinación de las propiedades alveográficas de la masa e hidratación constante preparada a partir de harinas comerciales o harinas para ensayo y la metodología de molienda. (Esta norma está indicada para trigo, pero en la realización de este trabajo se ha seguido la misma metodología para el alpiste).

Se realizó una molienda utilizando el equipo de molienda Chopin CD1, a distintas velocidades (rápida y lenta) y variando el porcentaje de humedad del grano empleado en un rango de valores del 12, 14 y 16%.

3.2.1. Humidificación y molienda de los granos de alpiste

Medida de la humedad de granos de cereales

Para la medida de la humedad se dejó atemperar el toma-muestras tapado en un desecador durante 45 min. Luego, se trituró una cantidad suficiente de granos del cereal estudiado en un molino Chopin 3303 (Villeneuve-la-Garenne Cedex, Francia). Esto nos permitió realizar una molturación de la muestra sin que se produzca una pérdida de la humedad interna del grano debido a que el molino no calienta la muestra al triturarla. (n = 3; masa aprox. por muestra = 2 g).

Para realizar la pesada de las diferentes muestras, se pesó en balanza analítica el toma-muestras con la tapa (m0). Posteriormente, se tapó el toma-muestras y se añadió una masa aproximada de 2g de la muestra triturada, se puso la tapa en el toma-muestras y se apuntó el valor (m1). Este valor indica la masa exacta de muestra analizada.

Para el secado de las muestras, se introdujo el toma-muestras con muestra en el horno destapado, sin embargo, la tapa debe quedarse dentro del horno también. La temperatura del secado fue de 130°C y el tiempo de secado de 60 minutos.

Para el enfriamiento de las muestras, se tapó el toma-muestras dentro del horno con la tapa que se introdujo junto a él y se llevó la muestra al desecador para enfriar, con un tiempo de enfriado de 30 a 45 minutos.

Para la segunda pesada se pesó el toma-muestras tapado en la balanza analítica utilizada anteriormente y se apuntó su masa (m2). Este valor indica la diferencia de humedad, en peso, entre la muestra antes y después del enfriamiento.

Para el cálculo de la humedad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% W_{H_2O} = \left(1 - \frac{m_2 - m_0}{m_1} \right) \cdot 100$$

Acondicionamiento de granos de alpiste con humedad inferior al 13%

Se pesaron 4 alícuotas de 200.00 g \pm 0.01g de granos de alpiste. Se separaron las alícuotas en botes de doble tapa y se introdujeron cada una de las alícuotas de 200g de muestra en diferentes botes mezcladores de palas.

Para el proceso de humidificación se estableció la cantidad de agua destilada a añadir por alícuota, mediante la utilización de la tabla B.1 contenida en la norma ISO 27971:2015, cuyo método es seguido en la realización de este trabajo (Tabla 2). Se tiene en cuenta que nuestras alícuotas son de 200g, mientras que, la tabla B.1 está referida a 800g de muestra.

Concretamente para 200g Alpiste de humedad 10.7%, se emplearon 12.625 g de agua destilada. Se colocó el bote mezclador con la muestra sobre una balanza de 2 decimales y con ayuda de un pulverizador, se vertió la cantidad de agua correspondiente, según la tabla 2, sobre la muestra. Tras cerrar el bote mezclador con la muestra y el agua añadida, se agitó vigorosamente el conjunto durante unos instantes.

El bote mezclador con la muestra y el agua se colocaron en un mezclador rotatorio manteniéndose allí durante (60 ±1) minutos. Tras este tiempo se trasvasó la muestra acondicionada del bote con palas a los botes de doble tapa para su conservación.

Tabla 2. Tabla B.1 de la norma ISO 27971: 2015 de cálculo de agua destilada a añadir para conseguir las diferentes humedades requeridas.

Humedad inicial del trigo (antes de ser acondicionado) $H_b(\%)$	Masa o volumen de agua M_e o V_e (g) o (mL)	Humedad inicial del trigo (antes de ser acondicionado) $H_b(\%)$	Mesa o volumen de agua M_e o V_e (g) o (mL)	Humedad inicial del trigo (antes de ser acondicionado) $H_b(\%)$	Mesa o volumen de agua M_e o V_e (g) o (mL)	Humedad inicial del trigo (antes de ser acondicionado) $H_b(\%)$	Mesa o volumen de agua M_e o V_e (g) o (mL)
9,0	67,0	11,0	48,0	13,0	29,0	15,0	9,5
9,1	66,0	11,1	47,0	13,1	28,0	Si la humedad del trigo es superior al 15%, se seca el trigo antes de su acondicionamiento (véase 7.4.4)	
9,2	65,0	11,2	46,0	13,2	27,0		
9,3	64,0	11,3	45,0	13,3	26,0		
9,4	63,0	11,4	44,0	13,4	25,0		
9,5	62,0	11,5	43,0	13,5	24,0		
9,6	61,0	11,6	42,0	13,6	23,0		
9,7	60,0	11,7	41,0	13,7	22,0		
9,8	59,0	11,8	40,0	13,8	21,0		
9,9	58,0	11,9	39,0	13,9	20,0		
10,0	57,0	12,0	38,0	14,0	19,0		
10,1	56,0	12,1	37,0	14,1	18,0	Si la humedad del trigo es inferior al 13%, el agua del acondicionamiento se añade en dos etapas (véase 7.4.3)	
10,2	55,0	12,2	36,0	14,2	17,0		
10,3	54,5	12,3	35,0	14,3	16,0		
10,4	53,5	12,4	34,5	14,4	15,0		
10,5	52,5	12,5	33,5	14,5	14,5		
10,6	51,5	12,6	32,5	14,6	13,5		
10,7	50,5	12,7	31,5	14,7	12,5		
10,8	49,5	12,8	30,5	14,8	11,5		
10,9	47,0	12,9	29,5	14,9	10,5		

Obtención de harina de alpiste

Para la obtención de las harinas de alpiste se molturaron las alícuotas de alpiste acondicionado mediante el empleo de un molino CD1 (Chopin, Villeneuve-la-Garenne Cedex, Francia). Se realizó la molturación, siguiendo el método de la norma ISO 27971:2015 adaptado para trabajar con dos velocidades de molienda diferentes. La velocidad lenta permitía llevar a cabo la molienda de una muestra de grano de 200 g en 100 segundos aproximadamente, lo que supone una velocidad de alimentación de 2 gramos/segundo. La velocidad rápida permitía llevar a cabo la molienda de una muestra de grano de 200 g en 40 segundos aproximadamente, lo que supone una velocidad de alimentación de 5 gramos/segundo.

Con la molturación conseguimos harina refinada gracias al daño mecánico ejercido por los rodillos, realizándose ésta en dos etapas consecutivas. La primera de las etapas (fase de trituración) se lleva a cabo mediante rodillos estriados del equipo de molienda. Durante esta fase se recogieron 3 fracciones: Harina refinada (H1), la sémola 1 y una fracción de cascarilla y salvado. La segunda etapa de molienda (fase de compresión) se lleva a cabo mediante molinos lisos que se emplean para reducir el tamaño de la

sémola 1, recogándose 2 nuevas fracciones: harina de compresión (H2) y una fracción residual de sémola (sémola 2).

La harina de alpiste refinada (ARE y ARC) fue obtenida mediante la mezcla y homogeneización de las fracciones de harina obtenidas (H1 y H2). Para la obtención de la harina de alpiste integral (AIE y AIC), la fracción de la sémola 2 fue sometida a cuatro moliendas de compresión adicionales que permitieron obtener otras cuatro harinas de compresión (H3, H4, H5 y H6). Las harinas integrales se obtuvieron mediante la mezcla de las 6 fracciones de harina diferentes (H1-H6).

Tras llevar a cabo las diferentes operaciones de molienda se obtuvieron 6 índices de rendimiento (R1 a R6) que se calcularon siguiendo la siguiente fórmula:

$$RENDIMIENTO = \frac{H}{Muestra\ inicial} \cdot 100$$

3.3. Propiedades nutricionales de las harinas

Las harinas empleadas fueron caracterizadas nutricionalmente, exponiéndose a continuación los resultados de dicha caracterización, realizada por los laboratorios Agrolab Ibérica en Burgos (Tabla 3):

Tabla 3. Parámetros nutricionales de las harinas empleadas.

Parámetro nutricional	ACI	AEI	AER
Energía (kcal/100g)	381	363	371
Hidratos de Carbono (g/100g)	57,4	58,2	64,5
Azúcares totales (g/100g)	<1,00	<1,00	<1,00
Cenizas (g/100g)	2,13	2,04	0,71
Humedad (g/100g)	9,50	12,74	12,20
Proteína (g/100g)	17,57	15,21	15,28
Grasas totales (g/100g)	7,83	6,55	5,29
Fibra dietética (g/100g)	5,54	5,26	1,98

Solamente se poseen datos de tres de las cuatro harinas utilizadas.

3.4. Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales de las harinas se determinaron a partir de las siguientes variables:

3.4.1. Capacidad de retención de agua (WHC)

Para la determinación de la capacidad de retención de agua, se pesaron 2 tubos falcón con faldón de 50ml por muestra, se anotó el peso como PR. Se añadieron 20ml de agua destilada con dosificador. Se pesó aparte $2 \pm 0,01g$ en materia seca de la muestra (PM). Para determinar la cantidad de harina correspondiente se utilizó la humedad de la muestra (H%), con la siguiente formula:

$$PM = \frac{g\ deseados\ en\ muestra}{100 - H\%} \cdot 100$$

Se añadieron las muestras a los tubos falcon, cerciorándose que la totalidad de la muestra entrara en contacto con el agua y cayera al fondo. Se dejó reposar los tubos tapados durante 24 horas. Transcurrido dicho tiempo se desechó con cuidado la fracción sobrenadante utilizando una pipeta Pasteur. Se pesaron los tubos con tapón y se apuntó su peso como PT.

El índice de retención de agua (WHC) se calcula con la siguiente fórmula:

$$WHC = \frac{PT - PR}{PM}$$

3.4.2. Capacidad de absorción de agua (WAC) y de aceite (OAC)

Para la determinación de la capacidad de absorción de agua, se pesaron 2 tubos falcón sin faldón de 50 ml por muestra y se apuntó su peso como PR. Se pesaron 2 gramos de muestra PM directamente sobre los tubos. A continuación, se añadieron 20ml de agua destilada con el dosificador (para determinar el WAC), o 20ml de aceite de maíz (para determinar el OAC). Se agitaron los tubos falcón en el vórtex a baja velocidad durante 30 segundos, seguido de un reposo de 10 minutos. A continuación, se mezclaron en vórtex a alta velocidad durante 30 segundos. Se centrifugaron los tubos falcon durante 25 minutos a 3000g. Después se desechó la fracción sobrenadante y se secó el interior de los tubos, para luego ser pesados con el sedimento (PT).

La capacidad de absorción de agua se calcula mediante la fórmula:

$$WAC/OAC = \frac{PT - PR}{PM}$$

3.4.3. Capacidad y Estabilidad de formación de espuma (FC, FS)

Para determinar la capacidad de formar espuma y su estabilidad se pesaron 1,5g de la muestra correspondiente, se apuntó dicho peso como peso de muestra (PM). Se adicionaron 50 ml de agua a 30°C en una probeta de 100 ml. Se añadió cuidadosamente la muestra y se dejó que cayera al fondo. Se dieron golpecitos a la probeta para ayudar a caer la muestra. Se apuntó el volumen total inicial VT_1 . Luego, agitó las probetas durante 5 minutos a mano. Al finalizar el tiempo se apuntó el volumen final total como VF_0 y el volumen solo de espuma como VE_0 . Se dejó reposar la probeta durante 60 min. Pasado ese tiempo, se volvió a medir los volúmenes y se apuntó el volumen final a como VF_{60} , así como el volumen final de espuma VE_{60} .

La capacidad de formar espuma y la estabilidad de formación de espuma se calcularon como:

$$FC_2 = \frac{VE_0}{PM}$$

$$FS_2 = \frac{VE_{60}}{VF_0} \cdot 100$$

3.4.4. Índice absorción de agua (WAI), Índice de solubilidad en agua (WSI) y Poder de hinchamiento (SP)

Para la determinación del índice de absorción de agua, el índice de solubilidad de agua y el poder de hinchamiento, se calentó agua hasta ebullición. Se pesaron 2 tubos falcon sin faldón de 50 ml y se apuntó su peso como PR. Se pesaron 2 g de muestra (PM). Se añadieron 20 ml de agua destilada con el dosificador y se mezclaron con una varilla de vidrio. Las muestras se calentaron en el agua hirviendo durante 15 minutos. Luego se dejó enfriar a temperatura ambiente. Mientras las muestras se enfriaban, se prepararon las cápsulas, dichas cápsulas se pesaron y se apuntó su peso como PC (Peso de la cápsula). Se centrifugaron los tubos durante 10 min a 3000g. Tras la centrifugación, se añadió el sobrenadante de las muestras en las correspondientes cápsulas y fueron introducidas en la estufa durante 24 h a una temperatura de 110°C con el objetivo de determinar el peso de los compuestos solubles. Cuando el contenido de las cápsulas quedó seco, se pesaron y apuntaron como PSL (Peso de solubles). Los tubos falcon con el gel sedimentado, por su parte, fueron pesados y se registró su peso como PS (Peso del sedimento).

El índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua y poder de hinchamiento se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$WAI = \frac{PS - PR}{PM}$$

$$WSI = \frac{PSL - PC}{PM} \cdot 100$$

$$SP = \frac{PS - PR}{PM - (PSL - PC)}$$

3.4.5. Actividad y Estabilidad emulsionante (EA, ES)

Para la determinación de la actividad emulsionante y de la estabilidad de la emulsión, se pesaron 7 g de muestra en un vaso de precipitados de plástico de 250 ml. Se prepararon 100 ml de agua destilada en una probeta, así como 100 ml de aceite de maíz en otra probeta. En primer lugar, se añadió el agua en el vaso de precipitados y se mezcló manualmente hasta la total dispersión de la muestra. A continuación, se añadieron los 100 ml de aceite en el vaso. Después, se mezcló con el homogeneizador durante 1 minuto a una velocidad de 1000rpm. Se transfirió la emulsión formada a cuatro tubos falcón sin faldón de 50 ml, poniendo una cantidad de 45 ml en cada tubo. Se apuntó el volumen exacto de cada tubo como VT. Finalmente, los tubos fueron centrifugados durante 5 minutos a 1300 g. Se apuntó el volumen de la capa de emulsión como VE. La actividad emulsionante se calculó como:

$$EA = \frac{VE}{VT} \cdot 100$$

Para determinar la estabilidad de la emulsión, después de la centrifugación se encendió el baño térmico a 80°C, y se introdujeron los tubos preparados durante la evaluación de la actividad emulsionante durante 30 minutos. Transcurridos los 30 minutos, se sacaron y se dejaron atemperar. A continuación, los tubos se centrifugaron durante 5 minutos a 1300g. Se apuntaron los volúmenes de capa de emulsión que se ha mantenido tras el calentamiento y centrifugación como VE₈₀.

La estabilidad de emulsión se calculó como:

$$ES = \frac{VE_{80}}{VT} \cdot 100$$

3.5. Propiedades de empastado

Las propiedades de empastado de las fracciones la harina de alpiste integral y refinado, español y canadiense, además, de la harina de arroz NPU y Microcern se estudiaron usando el equipo *Kinexus Pro+* de la marca *Malvern Instruments* (Worcestershire, Reino Unido) utilizando la norma AACC (Método 76-21.01). Los perfiles de viscosidad durante el análisis de las muestras fueron registrados utilizando suspensiones variables cuya humedad y peso total dependieron del tipo de muestra. Todas las medidas se realizaron como mínimo por duplicado.

El procedimiento consiste en que las muestras se calentaron de 50 a 95°C a un ritmo de 12,16°C/min, después de permanecer la muestra durante 1 minuto en equilibrio a 50°C. A continuación, se mantuvo durante 2,30 min a 95°C. El proceso de enfriamiento se llevó a cabo desde 95 a 50°C a un ritmo de 11,84°C/min y se mantuvo durante 2 min a 50°C. Los parámetros registrados fueron la temperatura de inicio de empastado o *pasting* (temperatura a la que los gránulos de harina comenzaron a hincharse y a gelatinizar debido a la absorción de agua), la viscosidad del pico (viscosidad máxima alcanzada por la pasta), la viscosidad mínima de caída o *trough viscosity* (viscosidad registrada en la etapa final cuando la temperatura es de 95°C), la viscosidad final (viscosidad a 50°C), los valores de estabilidad o *breakdown* (diferencia entre el pico de viscosidad y la viscosidad de caída) y la retrogradación o *setback* (diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad de caída).

3.6. Reología de geles

Se estudiaron las propiedades reológicas de los geles elaborados procedentes de la medida de las propiedades de empastado. Los ensayos reológicos en los geles (barrido de esfuerzos y barrido de frecuencias), se llevaron a cabo con un reómetro *Kinex Pro+* de *Malvern Instrument* (Worcestershire, Reino Unido) con una geometría de placas serradas de 40 mm de acero inoxidable. En todos los ensayos se fijó la temperatura a 25°C, controlada por un controlador ambiental térmico KNX2002 de la misma casa comercial que el reómetro.

Una vez depositada la muestra en la placa, se retiró la muestra sobrante. Los ensayos se realizaron con un gap de 1 mm entre las geometrías.

Los ensayos de barrido de esfuerzo se realizaron por duplicado en el rango de 0,1 a 500 Pa, a una frecuencia de 1 Hz. Estos ensayos permitieron establecer la zona visco elástica lineal (LVR) mediante la localización del valor de esfuerzo, τ_{max} , que producía el descenso del módulo elástico (G') y viscoso (G'') y el aumento de $\tan\delta$. Los barridos de frecuencia se realizaron por duplicado en el intervalo de 10 a 1 Hz a un esfuerzo entre 0,5 y 0,8 Pa. Los módulos elásticos (G') y viscoso (G'') y la $\tan\delta$, obtenidos en los ensayos de barrido de frecuencia se ajustaron a ecuaciones potenciales del tipo:

$$G'(\omega) = G'_{\omega 1} \cdot \omega^a$$

$$G''(\omega) = G''_{\omega 1} \cdot \omega^b$$

$$\tan\delta(\omega) = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} = \left(\frac{G''}{G'}\right)_{\omega_1} \cdot \omega^{(b-a)} = (\tan\delta)_{\omega_1} \cdot \omega^c$$

Los exponentes “a”, “b” y “c” cuantifican el grado de dependencia de los módulos elástico y viscoso, y de la tangente de pérdida con la variación de la frecuencia, respectivamente.

3.7. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el *software* Statgraphics Centurion V. XVII (Bitstream, Cambridge, MN, USA) para la realización de los ajustes de los distintos ensayos realizados por regresión lineal o *creep-recovery*. Mediante este *software* se calcularon los análisis de varianzas de los resultados obtenidos (ANOVA). Y, por último, mediante la prueba *Least Significant Difference* (LSD) se obtuvo la evaluación de las diferencias significativas con un valor $p < 0,05$ (95%) entre las muestras.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Estudio y optimización del proceso de molienda

La figura 2 muestra los porcentajes de extracción acumulados de las harinas obtenidas con diferentes pasos de extracción. Como se puede apreciar en la misma, cuando se pretende la extracción de harinas refinadas con un porcentaje bajo de extracción, la humedad a la que se acondiciona el grano de alpiste constituye un factor determinante a la hora de conseguir un mayor rendimiento del proceso de molienda. Por este motivo, resulta recomendable acondicionar la muestra al 16% de humedad con el objeto de conseguir el máximo rendimiento posible (alrededor del 32% en el caso de la harina flor(R1) y sobre un 48% en el caso de la harina refinada (R2)), lo que representa un 58.37% de rendimiento mayor para la velocidad rápida de molienda, y un 56.58% para la velocidad lenta de molienda, con respecto a las extracciones realizadas sobre muestras con una humedad del 12%.

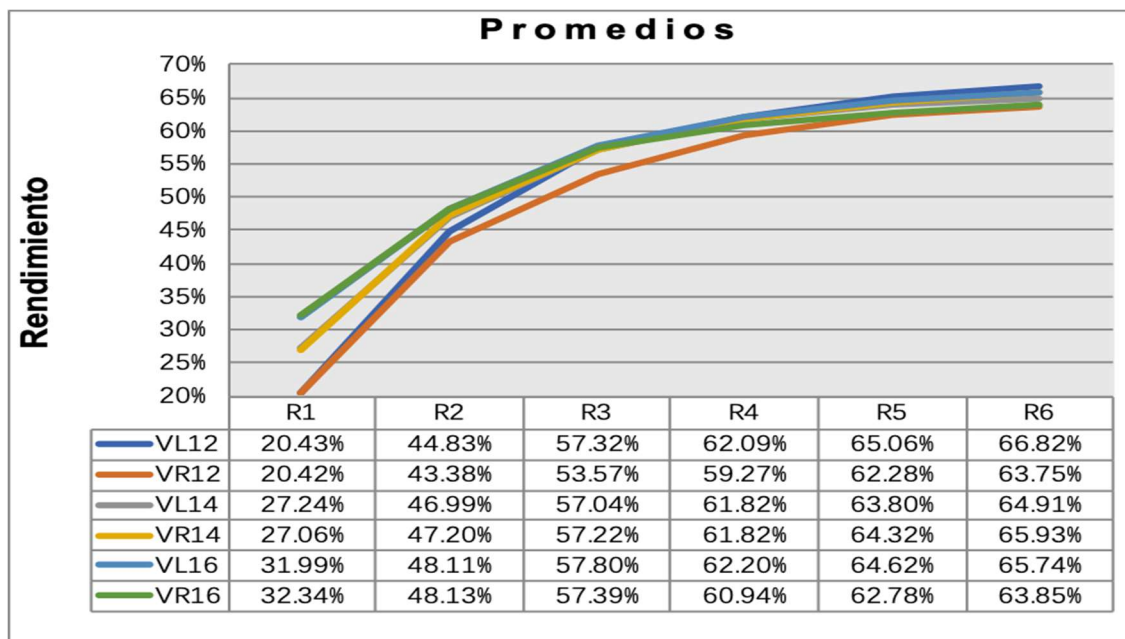


Figura 2. Valores obtenidos promedios de los rendimientos obtenidos en la obtención de harinas según la velocidad de entrada (lenta y rápida) y la humedad del grano.

En la tabla 4 se muestran los valores de rendimiento según la humedad del grano y su velocidad de molienda tras un análisis de varianza. Según se puede apreciar en la misma, se obtuvieron mayores rendimientos tras realizar varias fases de compresión a las muestras.

Como se puede observar en la tabla, el rendimiento de harina flor (R1), obtenida tras un proceso de trituración, fue mayor a medida que aumentó la humedad del grano. Sin embargo, no se observó un efecto definido de la velocidad de molienda sobre este parámetro. En los valores de R2 (rendimiento obtenido de la harina flor + 1 fase de compresión) se observó cómo mayores humedades de grano (14 y 16%) mostraron mayores rendimientos, sin destacar diferencias entre las velocidades de molienda estudiadas. Se debe recordar que el rendimiento R2 corresponde a la muestra de Harina Refinada, resultante de llevar a cabo la molienda en una primera fase de trituración y una segunda fase de compresión.

A medida que se aumentó el rendimiento de la molienda (R5 y R6), no se observaron diferencias significativas para ambos factores estudiados, es decir, las humedades a las que se acondicionó el grano y la velocidad de molienda.

Tabla 4. Valores medios y grupos homogéneos para los diferentes rendimientos de la molienda según la humedad del grano y la velocidad de molienda

Humedad (%)	Velocidad	R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)	R4 (%)	R5 (%)	R6 (%)
12	Lento	20.43a	44.83a	57.33b	62.10b	65.06a	66.83a
12	Rápido	20.42a	43.39a	53.58a	59.28a	62.29a	63.76a
14	Lento	27.24b	47.00b	57.05b	61.83ab	63.81a	64.92a
14	Rápido	27.07b	47.21b	57.23b	61.82ab	64.33a	65.93a
16	Lento	32.00c	48.11b	57.80b	62.21b	64.63a	65.74a
16	Rápido	32.35c	48.14b	57.40b	60.95ab	62.79a	63.85a
SE		0.74	0.63	0.92	0.81	0.94	1.02
Nivel de significación de los factores estudiados							
Humedad		***	***	ns	ns	ns	ns
Velocidad		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Humedad x Velocidad		ns	ns	ns	ns	ns	ns

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes. Los valores de significancia interpretados con asteriscos son: * para $p < 0,05$ (5%); ** para $p < 0,01$ (1%); *** para $p < 0,001$ (0,1%); ns: no significativo. Y, por último: SE: error estándar agrupado.

Los resultados de rendimiento obtenidos, para las distintas variables estudiadas (humedad y tiempo de molienda), muestran una similitud entre los resultados en el rendimiento final del proceso de molienda, tanto para las tres variantes de humedad (12, 14 y 16%) con las dos velocidades empleadas (rápida o 40s. Aproximadamente, y y lenta o 1 min y 40s aproximadamente). Las diferencias en el rendimiento R6 oscilaron entre el 63,75% y el 66,82%.

En el caso de la muestra procesada a humedad 14%, el rendimiento R6 varió entre el 65,93% para velocidad rápida y 64,91% para velocidad lenta. Los granos molidos de

alpiste con una humedad de 14% mostraron unas propiedades físicas de harina más adecuadas (harina menos apelmazada, menos granulosis, etc.), probablemente debido a la menor humedad final resultante en la harina. Por lo tanto, los resultados indican que el alpiste con una humedad de 14% en cualquiera de sus dos velocidades puede resultar adecuado para la extracción de harina refinada y harina integral, ya que los rendimientos de molienda R2 y R6 no fueron significativamente distintos ($p > 0,05$) de los obtenidos con el resto de las humedades estudiadas.

4.2. Propiedades funcionales

En este trabajo se han estudiado distintas propiedades funcionales de las harinas de alpiste objeto de estudio de origen canadiense y español y de tipo integral y refinado. Además, se han comparado los resultados con los obtenidos con dos tipos de harinas de arroz de diferente granulometría.

Los valores determinados para los parámetros de propiedades funcionales que se midieron de las harinas estudiadas se recogen en la Tabla 5. Las propiedades de hidratación dependen principalmente del tamaño de partícula y de la composición química de las harinas. Las proteínas y carbohidratos presentes en la harina son los que determinan, en mayor medida, su capacidad de absorción de agua (Drake et al., 2017), ya que estos componentes contienen partes hidrófilas (Pomeranz, 1985).

Tabla 5. Valores medios y grupos homogéneos de las propiedades funcionales de las harinas de alpiste y arroz estudiadas

Muestra	WHC	WAC	OAC	FC	FS	WAI	WSI	SP	EA	ES
AER	2.34 a	1.40 b	1.69 a	1.3 ab	70 a	6.5 b	0.9 b	6.4 b	0 a	0
AEI	2.47 a	1.45 c	1.77 cd	1.7 c	79 b	7.6 c	1.4 c	7.7 d	44.4 c	0
ACR	2.28 a	1.36 a	1.70 a	1.3 a	100 c	5.6 a	0.6 a	5.6 a	0 a	0
ACI	2.73 b	1.45 c	1.78 d	1.3 a	94 c	7.3 c	1.6 c	6.8 c	31,2 b	0
A	2.34 a	2.05 d	1.75 bc	1.6 bc	75 ab	6.3 b	2.5 d	6.5 bc	0 a	0
MA	3.29 c	2.29 e	1.75 b	2.4 d	83 b	6.6 b	2.3 d	6.8 c	0 a	0
SE	0.08	0.01	0.007	0.1	4	0.2	1.1	0.1	0.4	0
Nivel de significación de los factores estudiados										
Origen	ns	*	ns	***	***	*	ns	***	***	ns
Tipo de harina	**	***	***	***		***	***	***	***	ns
Origen x Tipo	ns	ns	ns	***	*	ns	**	ns	***	ns

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes. Los valores de significancia interpretados con asteriscos son: * para $p < 0,05$ (5%); ** para $p < 0,01$ (1%); *** para $p < 0,001$ (0,1%); ns: no significativo. Y, por último: SE: error estándar agrupado. **Propiedades funcionales:** WHC (g de agua/g): Capacidad de retención de agua; WAC (g/g): Capacidad de absorción de agua; OAC (g/g): Capacidad de absorción de aceite; FC (ml): Capacidad de formación de espuma; FS (%): Estabilidad de la espuma formada; WAI (g/g): Índice de absorción de agua; WSI (g/100g): Índice de solubilidad en agua; SP (g/g): Poder de hinchamiento; EA (%): Actividad emulsionante; ES (%): Estabilidad de la emulsión. **Muestras:** AER: Alpiste español refinado; AEI: Alpiste español integral; ACR: Alpiste canadiense refinado; ACI: Alpiste canadiense integral; A: Arroz NPU; MA: Arroz Microcern.

Los valores de la capacidad de retención de agua (WHC) revelan diferencias significativas ($p < 0,001$) entre las muestras estudiadas. La capacidad de retención de agua (WHC) de la fracción MA (3,29) fue mayor que para el resto de las harinas. Entre

las harinas AER, AEI, ACR y A, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$). Solo la muestra de alpiste integral canadiense mostró una capacidad de retención de agua superior a las muestras de alpiste, siendo inferior que la de la muestra de arroz MA. Los mayores valores de WHC obtenidos para las fracciones MA puede deberse al menor tamaño de partícula de la harina de arroz y, probablemente, al mayor porcentaje de almidón dañado de la harina. El elevado contenido de fibra de la muestra ACI podría explicar el resultado obtenido (Santos et al., 2008). También puede ser debido a su naturaleza hidrófila y los puentes de hidrogeno de las moléculas de proteínas (Altschul et al., 1985), ya que la harina ACI se caracteriza por un mayor contenido de proteína.

En general, las propiedades de hidratación fueron significativamente afectadas por el tamaño de partícula. Los valores de capacidad de absorción de agua (WAC) revelan diferencias significativas ($p < 0,01$) entre las harinas estudiadas. La capacidad de absorción de agua (WAC) de la harina de arroz A y MA fueron mayor que para el resto de las harinas. Entre las harinas de alpiste AER y ACR no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) y tampoco entre AEI y ACI.

El conocimiento de la capacidad de absorción de aceite (OAC) es importante para diversas aplicaciones porque se basa principalmente en la capacidad de absorber y atrapar físicamente el aceite mediante un complejo proceso de atracción capilar. Esta propiedad de la harina podría conducir a una mejor retención del sabor cuando se emplea como ingrediente alimentario, un aumento de consistencia y un aumento de la sensación bucal (Khattab et al., 2009).

Los valores de OAC revelaron diferencias significativas ($p < 0,01$) entre las muestras estudiadas. Entre las harinas de alpiste integrales no se observaron diferencias significativas y éstas mostraron los valores más altos. Tampoco entre la fracción AER y ACR se observaron diferencias significativas, mostrando estas muestras los valores más bajos. El contenido de fibra de las harinas integrales podría ser el responsable de este comportamiento en la variable OAC.

Las propiedades espumantes son importantes para mantener la textura y la estructura de varios productos alimenticios. La capacidad de formación de espuma (FC) de las harinas de arroz MA y NPU fue significativamente ($p < 0,05$) mayor que el resto de las harinas. Entre los distintos tipos de harina de alpiste no se observaron diferencias significativas. Las buenas propiedades de formación de espuma están relacionadas con la presencia de proteínas de estructura helicoidal que pueden disminuir la tensión superficial del agua (Sreerama et al., 2012). En cuanto a la estabilidad de la espuma formada (FS), las harinas de alpiste mostraron tener una elevada estabilidad, a excepción de la harina AER, estando todas por encima del 75%.

En cuanto al índice de absorción del agua (WAI), índice de solubilidad de agua (WSI) y poder de hinchamiento (SP), que reflejan la interacción que las harinas tienen con el agua al ser calentadas, se determinaron valores mayores para el alpiste español que para el alpiste canadiense, tanto en las muestras refinadas como para las integrales.

La fracción AEI fue la que mayores valores registró (7,7g/g) para el parámetro SP y fue significativamente ($p < 0,05$) diferente a los obtenidos para el resto de las harinas. Entre las harinas de alpiste AER y A no se observaron diferencias significativas, siendo mayor para la harina ACR.

Las diferencias en los resultados de hinchamiento y solubilidad en harinas pueden atribuirse a diferencias en la estructura y composición de la harina. También el contenido de proteína en la harina puede influir en las propiedades de hinchamiento. Se ha

reportado que el poder de hinchamiento de la harina depende del peso molecular de la amilasa y la amilopectina, así como las interacciones intra e inter-moleculares (Ahmed et al., 2016).

Los valores de la EA y ES revelan diferencias significativas entre las muestras estudiadas ($p < 0,001$). La actividad emulsionante (EA) refleja la capacidad de una proteína para ayudar en la formación de una emulsión en una cantidad dada de harina. La estabilidad de la emulsión (ES) proporciona una medida de la estabilidad de esta emulsión diluida en un periodo de tiempo definido (Karaca et al., 2011).

En cuanto al parámetro EA, en las harinas de arroz A y MA, así como en las harinas AER y ACR, no se pudieron medir estos parámetros ya que se formó una capa de emulsión muy fina que impidió realizar la medida. En cambio, las harinas AEI y ACI, mostraron un valor apreciable de la variable EA, que fue significativamente ($p < 0,05$) mayor en el caso de la harina de origen español (AEI). El contenido y tipo de proteína pueden no ser suficientes o adecuados para permitir la emulsión. En la fracción AEI y ACI se obtuvieron los mayores valores de EA, lo que podría ser debido a la mejor disociación y el despliegue parcial de las proteínas globulares contenidas en el salvado de estas harinas, que conduce a la exposición de los residuos de aminoácidos hidrófobos, lo que permite formación de emulsión (Nir et al., 1994).

En cuanto al parámetro ES, en todas harinas no se pudieron medir este parámetro que no se apreció la formación de la emulsión en el tiempo de estudio de este parámetro.

4.3. Propiedades de empastado de las harinas

Las propiedades de empastado muestran el comportamiento de las harinas siguiendo un perfil de temperatura específico, durante el cual se puede apreciar la gelatinización completa del almidón, requisito previo esencial para que el empastado sea observado (Batey, 2007) y su retrogradación posterior. En este estudio se trabajó con el método 76-21 de la AACC para todas las harinas estudiadas (AACC, 2000). En este ensayo los gránulos de almidón de la harina absorben agua durante el calentamiento haciendo que la viscosidad de la solución aumente. Este proceso continúa hasta alcanzar un punto en el que la temperatura se mantiene constante y los gránulos comienzan a perder su integridad, identificándose este punto como pico máximo de viscosidad. A partir de este momento la viscosidad del gel comienza a disminuir. Seguidamente, se comienza a reducir la temperatura, lo que provoca que el almidón gelatinizado se reorganice y se produzca con ello un consecuente incremento de la viscosidad.

En la figura 2 se muestran las curvas de empastado mediante el método RVA de las distintas muestras de Alpiste Español Integral (AEI), Alpiste Español Refinado (AER), Alpiste Canadiense Integral (ACI), Alpiste Canadiense Refinado (ACR), Arroz Microcern (MA) y Arroz NPU (A). Dichas curvas obtenidas para las harinas MA y A muestran el comportamiento típico de gelatinización de una harina de arroz. Las harinas de alpiste por su parte siguen una tendencia similar, pero alcanzando valores bastante menores que las harinas de arroz para todas las viscosidades estudiadas (Figura 3).

En la Tabla 6 se muestran los valores obtenidos para los parámetros de empastado de las harinas analizadas. El estudio estadístico demostró un efecto significativo sobre la totalidad de los factores estudiados ($p < 0,001$). Todas las fracciones de harina de alpiste analizadas mostraron menores valores en todos los parámetros de viscosidad en comparación con la harina de arroz A y MA.

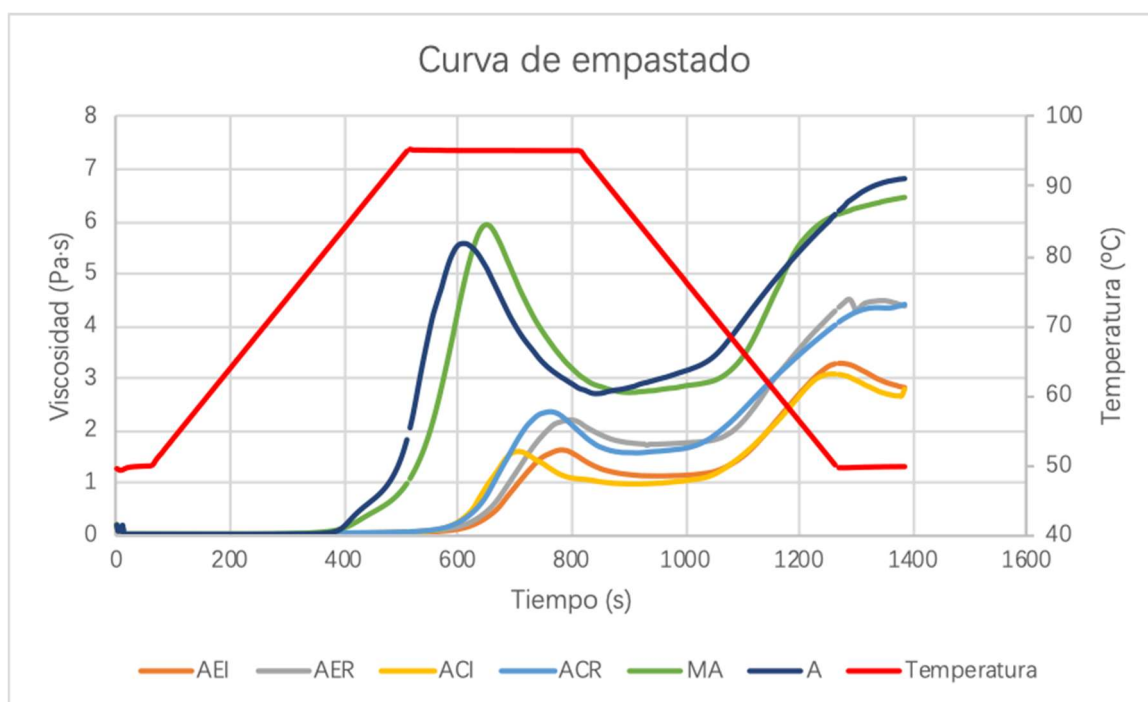


Figura 3. Representación gráfica de las propiedades de empastado de las distintas harinas estudiadas.

Tabla 6. Resultados obtenidos en las propiedades de empastado de las harinas objeto de estudio.

Muestra	PV	HPV	BD	FV	SB	PT	Pt
AER	2.20 b	1.73 d	0.47 a	4.63 b	2.90 b	95.16 b	798.7 f
AEI	1.64 a	1.14 b	0.50 a	2.83 a	1.70 a	95.10 b	781.5 e
ACR	2.36 b	1.56 c	0.79 b	4.40 b	2.84 b	95.12 b	761.0 b
ACI	1.59 a	0.97 a	0.62 ab	2.77 a	1.80 a	96.63 b	706.1 c
A	5.62 c	2.70 e	2.92 c	6.82 c	4.11 d	81.89 a	612.4 a
MA	5.96 d	2.74 e	3.22 d	6.48 c	3.74 c	80.16 a	650.7 b
SE	0.07	0.02	0.08	0.11	0.10	0.62	4.6
Nivel de significación de los factores estudiados							
Origen	**	**	***	ns	Ns	Ns	***
Tipo de harina	***	***	*	***	***	Ns	***
Origen x Tipo	**	ns	**	ns	Ns	Ns	**

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes. Los valores de significancia interpretados con asteriscos son: * para $p < 0,05$ (5%); ** para $p < 0,01$ (1%); *** para $p < 0,001$ (0,1%); ns: no significativo. Y, por último: SE: error estándar agrupado. **Variables:** PV (Pa·s): *Peak viscosity* – Viscosidad pico; HPV (Pa·s): *Hot Paste Viscosity (Through)* – Viscosidad de pasta caliente; BD (Pa·s): *Breakdown* – Punto de ruptura; FV (Pa·s): *Final viscosity* – Viscosidad final; SB (Pa·s): *Setback* – Retrogradación; PT (°C): *Pasting temperature* – Temperatura de empastado; Pt (s): *Peak time* – Tiempo para el pico máximo de viscosidad. **Muestras:** AER: Alpiste español refinado; AEI: Alpiste español integral; ACR: Alpiste canadiense refinado; ACI: Alpiste canadiense integral; A: Arroz NPU; MA: Arroz Microcern.

Como puede observarse, las harinas integrales mostraron valores menores en comparación con sus correspondientes refinadas, mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) en todas las viscosidades con excepción de la estabilidad, punto de ruptura o *breakdown* (BD). Esto indica que las harinas integrales tienen una estabilidad similar a las harinas refinadas. Las diferencias observadas en los valores de PV, HV y FV puede deberse a la presencia de una fracción de salvado de alpiste en las harinas integrales, que diluye la cantidad de almidón disponible con respecto a las harinas refinadas; el almidón es la fracción que gelatiniza y por lo tanto el responsable del incremento de viscosidad.

Los resultados obtenidos de pico máximo de viscosidad (PV) y viscosidad final (FV) muestran que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las harinas de origen español y de origen canadiense. Esto nos permite concluir que, a pesar de tratarse de alpiste de diferentes orígenes, las harinas obtenidas poseen una proporción similar de almidón en su constitución, tanto las refinadas como las integrales.

4.4. Reología de los geles obtenidos a partir de las harinas

La Tabla 7 recoge los valores obtenidos para los coeficientes G' , G'' y $\tan(\delta)$ (que representan el módulo elástico, módulo viscoso y tangente de pérdida, respectivamente), así como los exponentes a, b y c (que representan la variación de estos módulos con respecto a la frecuencia).

Tabla 7. Resultados obtenidos en las propiedades reológicas de los geles obtenidos de las harinas objeto de estudio.

Muestra	$G'_{(w1)}$	a	$G''_{(w1)}$	b	$\tan \delta$	c
AER	437 b	0.052 b	30 a	0.31 a	0.067 b	0.26 a
AEI	329 a	0.046 b	26 a	0.31 a	0.078 b	0.27 a
ACR	548 c	0.026 a	29 a	0.27 a	0.053 a	0.24 a
ACI	342 a	0.053 b	26 a	0.28 a	0.076 b	0.22 a
A	336 a	0.079 c	42 b	0.33 a	0.125 d	0.26 a
MA	473 b	0.071 c	51 c	0.29 a	0.108 c	0.22 a
SE	16	0.002	2	0.02	0.004	0.02
Nivel de significación de los factores estudiados						
Origen	*	*	ns	ns	Ns	ns
Tipo de harina	**	*	ns	ns	**	ns
Origen x Tipo	ns	**	ns	ns	Ns	ns

Valores con letras distintas dentro de una misma columna indican que son significativamente diferentes. Los valores de significancia interpretados con asteriscos son: * para $p < 0,05$ (5%); ** para $p < 0,01$ (1%); *** para $p < 0,001$ (0,1%); ns: no significativo. Y, por último: SE: error estándar agrupado. **Variables:** G' : Módulo elástico; G'' : Módulo viscoso; $\tan \delta$: Tangente de pérdida; a, b y c: Parámetros experimentales. **Muestras:** **AER:** Alpiste español refinado; **AEI:** Alpiste español integral; **ACR:** Alpiste canadiense refinado; **ACI:** Alpiste canadiense integral; **A:** Arroz NPU; **MA:** Arroz Microcern.

Los resultados obtenidos para todas las harinas estudiadas mostraron que el módulo elástico siempre fue mayor al módulo viscoso en todo el rango de frecuencias, lo que muestra un comportamiento característico de las harinas sin gluten.

Los geles estudiados, al ser fluidos viscoelásticos, tienen un comportamiento donde se puede analizar independientemente la componente elástica y la componente viscosa, para lo que se cuantifica el módulo elástico (G') y el módulo viscoso (G''). En el módulo elástico (G') se demostraron valores significativamente ($p < 0,05$) mayores para las harinas refinadas que para las harinas integrales, en ambos orígenes de alpiste. La harina refinada de alpiste canadiense (ACR) fue en la que se mostró el valor más elevado en este módulo, seguida por la harina de arroz Microcern (MA) y la harina refinada de alpiste español (AER). Los valores más elevados en este parámetro indican una formación de geles más consistentes. Esta característica puede ser interesante para la formulación de determinados alimentos. Cabe destacar que las harinas integrales, a pesar de reportar unos menores valores, no mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a la harina de arroz NPU (A).

En el módulo viscoso (G''), los resultados obtenidos muestran que no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las harinas de alpiste estudiadas, aunque si las hay respecto a las harinas de arroz, siendo menores los valores de las harinas de alpiste. Esto sugiere que los geles obtenidos a partir de las harinas de alpiste tienen en general una mayor capacidad de fluir que los obtenidos a partir de las harinas de arroz.

Los valores determinados para la tangente de pérdida, $\tan(\delta)$, muestran valores mucho menores para las harinas de alpiste, en especial las harinas refinadas, llegando a ser hasta un 57,6% menor a la harina de arroz NPU. Estos valores están directamente relacionados con los determinados para el módulo elástico y viscoso, por lo que, al tener valores elevados en el módulo elástico de las harinas refinadas de alpiste, se determinan valores menores de la tangente de pérdida. Se concluye que los geles formados son fuertes, al tener todos valores por debajo de 1, en especial en el caso de las harinas refinadas de alpiste.

5. CONCLUSIONES

El acondicionamiento del alpiste a una humedad de 14% y su molienda posterior en cualquiera de las dos velocidades estudiadas resultó adecuado para la extracción de harina refinada y harina integral, ya que los rendimientos de molienda R2 y R6 no fueron significativamente distintos de los obtenidos con el resto de las humedades estudiadas. Por otro lado, la harina de alpiste mostró una capacidad de absorción y retención de agua inferior a las harinas de arroz. Las harinas integrales, al tener un mayor contenido de fibra, tuvieron valores superiores de estas variables que las harinas refinadas. Las propiedades emulsionantes de las harinas de alpiste, así como sus propiedades espumantes demostraron su potencial para contribuir a la textura y la estructura de los productos alimenticios.

Las propiedades de empastado de estas harinas dieron valores inferiores a las harinas de arroz en todas las viscosidades estudiadas. Por el contrario, la temperatura de empastado de las harinas de alpiste fue superior en todos los casos. Los geles resultantes también fueron menos consistentes que los obtenidos con harina de arroz lo que puede resultar interesante para su utilización como ingrediente alimentario en aplicaciones que no requieran una elevada viscosidad (salsas, sopas, etc.)

En función de las propiedades funcionales obtenidas para las harinas de tipo integral y refinado, el alpiste para consumo humano se revela como una alternativa para la elaboración de productos horneados sin gluten con una calidad sensorial adecuada y un elevado valor nutricional. En el futuro será necesario profundizar en el estudio de las propiedades tecnológicas de este nuevo ingrediente con el objeto de optimizar la formulación de los productos.

AGRADECIMIENTOS

A Pedro A. Caballero y Felicidad Ronda por el apoyo prestado en el desarrollo de este Trabajo fin de Master y la elaboración de esta memoria; y muy encarecidamente a agradecer Pedro A. Caballero, por su orientación y aportes para elaboración de esta memoria.

También quiero dar gracias tanto a Marina Villanueva Barrero y Antonio José Vela por su gran ayuda y dedicación en el desarrollo de dicho trabajo. Ustedes han sido muy pacientes para ayudarme a modificar mi trabajo, a superar la barrera del idioma y a lograr los objetivos del Master.

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto AGL 2015-63849-C2-2-R financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y los Fondos Europeos para el Desarrollo Regional (MINECO/FEDER), de los proyectos de la Junta de Castilla y León/FEDER (Ref: VA072P17 y VA165G18), y del convenio Uva/FUNGUVa-ITACyL 2018 (sector harinero).

6. BIBLIOGRAFÍA:

Abdel-Aal, E. M., Hucl, P., Miller, S. S., Patterson, C. A., Gray, D. (2011). Microstructure and nutrient composition of hairless canary seed and its potential as a blending flour for food use. *Food Chemistry*, 125, 410-416.

Ahmed, J., Taher, A., Mehrajfatema, Z.M., Abdulsalam, A.H., Giorgio, L. (2016). Effect of sieve particle size on functional, thermal, rheological and pasting properties of Indian and Turkish lentil flour. *Journal of Food Engineering*, 186, 34-41.

Altschul et al., 1985. *A Library of Protein Families and Subfamilies Indexed by Function*.

American Association of Cereal Chemists (AACC). (2000). *Methods 56-11, 76-21. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists (10th Ed.)*. St. Paul, MN, US: American Association of Cereal Chemists.

Apagüño & Pezo, 2014. Evaluación del efecto hipoglicemiante del extracto acuoso de *Phalaris canariensis* (Alpiste) en ratas albinas cepa Holtzman, Iquitos 2014.

Arranz & Garrote, 2010. RRANZ E, GARROTE JA, *Gastroenterología y Hepatología* 2010;33(9): 643-651.

Batey, I. L. (2007). Interpretation of RVA Curves. In G. B. Crosbie, & A. S. Ross (Eds.), *The RVA Handbook* (pp. 19-29). St. Paul, MN: AACC International.

Cogliatti, M. (2012). Canaryseed crop. *Scientia Agropecuaria* 1, 75 – 88.

Cogliatti, M; Cortizo, L. V.; Rogers, W. J.; Mejoramiento genético de alpiste: selección y evaluación de líneas de derivadas de la población marroquí PI 284184; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; Revista de Investigaciones Agropecuarias; 40; 2; 4-2014; 189-195

Drake et al., 2017. Drake T et al, 2017: What are the Benefits and Harms of Ureteroscopy Compared with Shock-wave Lithotripsy in the Treatment of Upper Ureteral Stones? A Systematic Review.

Hucl, P. (2001). Development and quality of glabrous canary seed, Crop Development Centre. Department of Plant Sciences. University of Saskatchewan: Saskatoon, Saskatchewan, Canada, pp. 1-102.

ISO 27971:2015. Cereales y productos a base de cereales. Trigo común (*Triticum aestivum* L.). Determinación de las propiedades alveográficas de la masa a hidratación constante preparada a partir de harinas comerciales o harinas para ensayo y la metodología del ensayo de molienda. (ISO 27971:2015).

ISO 712:2010. Cereales y productos derivados de los cereales. Determinación del contenido de humedad. Método de rutina de referencia. (ISO 712:2009).

Karaca, A.C., Low, N., Nickerson, M. (2011). Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Res. Int.* 44, 2742–2750.

Khattab et al., 2009. Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Antinutritional factors.

Nir, I., Feildman, Y., Aserin, A., Garti, N. (1994). Surface properties and emulsification behavior of denatured soy proteins. *J. Food Science*, 59, 606-610.

O'Neill et al., 1986. *Hierarchy Theory: A Guide to System Structure for Wildlife Biologists*

Patterson, 2011. Lievens F & Patterson F. (2011) The validity and incremental validity of knowledge tests, low-fidelity simulations, and high-fidelity simulations for predicting job performance in advanced level high-stakes selection. *Journal of Applied Psychology*, 96, 927-940

Pomeranz, Y. (1985). *Functional properties of food components*. Florida: Academic Press.

Sollid, L.M. (2000). Molecular basis of celiac disease. *Annu Rev Immuno.* 18(1), 53-81.

Sreerama et al., 2012. Phenolic compounds in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their antioxidant and enzyme inhibitory properties associated with hyperglycemia and hypertension.

USDA, NRCS. (2012). *The PLANTS Database*. National Plant Data Team, Greensboro, NC 27401-4901 USA.

Zavareze et al., 2010. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content.