



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE SALUD

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO EN ALIMENTOS

Programa de Posgrado en Ciencias y Tecnología de Alimentos

Especialidad en Granos y Cereales

**Contenido y Calidad Proteica en Diferentes Corrientes de Molienda
de Trigo Panadero En un Molino Comercial**

TESIS

Como requisito parcial para la obtención de grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

L.N.H. Oscar Moreno Araiza

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

APROBACIÓN

Contenido y Calidad Proteica en Diferentes Corrientes de Molienda de Trigo Panadero En un Molino Comercial

L.N.H. Oscar Moreno Araiza



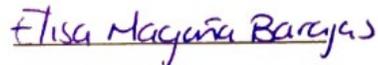
Dra. Patricia Isabel Torres Chávez
Directora de tesis



Dr. Benjamín Ramírez Wong
Secretario



Dra. Beatriz Montaña Leyva
Vocal



Dra. Elisa Magaña Barajas
Vocal

Hermosillo, Sonora

Enero 2020

AGRADECIMIENTOS

*A la **Universidad de Sonora** y al **Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA)**, por aceptarme en su plan académico y haberme brindado los conocimientos necesarios para el desarrollo de esta tesis. Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por su apoyo económico para llevar a cabo este trabajo.*

*A mi directora de tesis, la **Dra. Patricia Isabel Torres Chávez**, por su orientación disposición en todo momento y el apoyo recibido durante estos años. Ha sido un privilegio y un honor tenerla como asesora, permítame expresarle mi reconocimiento y admiración. Estaré eternamente agradecido. Muchas gracias.*

*A los miembros de mi comité de tesis, **Dr. Benjamín Ramírez Wong**, **Dra. Beatriz Leyva Montaña** y **Dra. Elisa Magaña Barajas**, por su apoyo, sus valiosas observaciones y sugerencias para que este trabajo de tesis culminara de la mejor manera posible. Así como también, por formar parte importante de mi formación profesional.*

*A la **Dra. María Teresa Rodríguez Estrada** por compartir sus conocimientos para mi formación académica y colaboración a la realización de una parte de este proyecto de tesis.*

A mis amigos y colegas de la maestría por su compañerismo y solidaridad durante estos últimos años, por compartir sus conocimientos y ayuda a realizar mis experimentales. Gracias.

¡A todos muchas gracias!

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme vida y salud, por estar presente en cada paso que doy. A mis padres, **Oscar Moreno Orduño y Marisol Araiza Puebla**, por brindarme su amor y su apoyo incondicional, por impulsarme a seguir adelante, son un gran ejemplo y sin ustedes no hubieran podido conseguir lo que, hasta ahora. Agradezco de corazón que estén conmigo en todo momento. Muchas gracias.

A mi hermana, **María Alejandra Moreno Araiza**, por estar en los buenos y malos momentos, por su apoyo durante estos años. Muchas gracias.

A mis abuelos **Jose Rubén Araiza Zavala y Carmen Puebla Bracamonte, Oscar Moreno Clark y Socorro Orduño Cruz** por transmitirme sus enseñanzas necesarias para poder superar cualquier obstáculo que tuviera durante mi formación académica.

A mi familia en general por el apoyo brindado durante este tiempo en mi formación académica.

A mis amigos, en especial a **Alfonso Rendon Sanchez y Cinthya Seline Moreno Cordova** por apoyarme en los momentos mas importantes.

¡Muchas gracias a todos!

CONTENIDO

	PAGINA
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
CONTENIDO.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	VIII
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	3
Generalidades del Cultivo de Trigo.....	3
Clasificación del Trigo de Acuerdo a Composición Genética.....	3
Estructura del Grano de Trigo.....	4
Molienda de Trigo.....	6
Sistema de Rompimiento.....	7
Sistema de Clasificación de Partículas.....	7
Sistema de Purificación.....	7
Sistema de Dimensiones.....	7
Sistema de Reducción.....	8
Sistema de Revestimiento de la Harina.....	8
Sistema de Producción de Harina.....	8
Principales Componentes de la Harina de Trigo.....	9
Almidones.....	9
Lípidos.....	9
Actividad Enzimática.....	10
Fibra.....	10
Vitaminas y Minerales.....	11
Proteínas.....	11
Calidad de la Harina de Trigo.....	11
Gluten.....	12

Daño del Almidón	13
HIPÓTESIS	14
OBJETIVOS.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
METODOLOGÍA.....	16
Materia Prima.....	16
Acondicionamiento de la Molienda	16
Proceso de Molienda.....	16
Análisis de Componentes Químicos	19
Cromatografía Líquida de Exclusión Molecular de Alto Rendimiento	19
Electroforesis SDS-PAGE	20
Índice de Sedimentación	20
Diseño Experimental y Analisis Estadístico	20
RESULTADOS Y DISCUSIONES	22
Análisis de Componentes Químicos	22
Contenido de PPI de las Harinas.....	25
Electroforesis de los Granos de Trigo (SDS-PAGE).....	26
Electroforesis (SDS-PAGE) de Proteínas Totales	26
Cromatografía Líquida de Exclusión Molecular de Alto Rendimiento	30
Albuminas y globulinas.....	36
Proteína polimérica soluble y gliadinas	38
Índice de Sedimentación	38
CONCLUSIONES.....	41
RECOMENDACIONES	42
ANEXOS	46
Anexo 1: Tablas de análisis de varianza	46
Anexo 2: Cromatogramas	48
Anexo 3: Electroferogramas	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Diagrama de las corrientes de trigo hexaploide en la molienda para obtención de harina Sinnay. Nota: Mezcla de <i>T. aestivum onavas</i> (50%), <i>T. aestivum Tacupeto</i> (20%) y <i>T. aestivum Norman</i> (30%) en el molino harinero MUNSA.....	18
2	Electroforesis (SDS-PAGE) de los granos de trigo	27
3	Electroforesis (SDS-PAGE) de la proteína total de las corrientes de trigo.....	28
4	Electroforesis (SDS-PAGE) de la PPI en las corrientes de trigo.....	29
5	Cromatografía líquida de exclusión molecular de las corrientes de trigo (sistema de trituración) T1: Triturador 1.....	31
6	Cromatografía líquida de exclusión molecular de las corrientes de trigo (sistema de reducción) C4: Corriente reductora 4.....	32
7	Cromatografía líquida de exclusión molecular de las corrientes de trigo (sistema de purificación) Div 2: Divisor 2.....	33
8	Cromatografía líquida de exclusión molecular de las corrientes de trigo (producto final)	34
9	Análisis de componentes multivariados.....	37

LISTA DE TABLAS

TABLA		PAGINA
1	Análisis Proximal de las Muestras de las Harinas de Trigo.....	23
2	Porcentajes de área bajo la curva de las fracciones identificadas a través de la cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento.....	35
3	Índice de Sedimentación.....	39

RESUMEN

El trigo es una de las fuentes alimentarias más importantes a nivel mundial, forma parte de todas las culturas con diferentes productos. Debido a su composición química, especialmente la cantidad y calidad de proteínas, las harinas obtenidas por molienda, pueden ser procesadas y obtener los productos leudados de panificación con características únicas. La molienda seca de rodillos consiste en la separación del pericarpio y el germen del endospermo y de una reducción gradual del tamaño de partícula. La separación de sus componentes se ha enfocado en conseguir la mayor extracción de harina posible y se opta por realizar mezclas de granos de trigo que se encuentren disponibles en el mercado, tratando de conseguir un balance entre producción y calidad. Sin embargo, la calidad del producto no es siempre óptima, cuando se requiere de productos específicos para la panificación. En los complejos métodos actuales de molienda, se obtienen harinas con diferente composición proteica. Estas harinas provienen de corrientes de distribución formadas por los sistemas de trituración, reducción y purificación. El objetivo de esta investigación es evaluar el contenido y calidad proteica en 23 corrientes de un molino comercial, producto de la mezcla de 3 trigos hexaploides y relacionarlos a indicadores de calidad panadera. Se usaron métodos oficiales de la American Association of Cereal Chemists (A.A.C.C.) para el análisis de las harinas, además de cromatografía y electroforesis (SDS-PAGE). Se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el contenido de ceniza (0.46-2.65%), proteína (11.56-18.84 %), proteína polimérica insoluble (5.32-10.54 %), humedad (11.10-14.01 %) e índice de sedimentación (4.9-41 mL). Se identificaron las subunidades 5+10 de gluteninas de masa molecular alta en los granos de trigo de las variedades usadas para la mezcla. Los resultados del análisis por cromatografía de exclusión molecular de alto rendimiento mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la cantidad de 4 fracciones proteicas: proteína polimérica soluble, gliadinas, albuminas y globulinas. La fracción proteica que mostró mayor variabilidad de su presencia en las diferentes corrientes de molienda fueron las gliadinas- ω . Se encontraron corrientes en el sistema de reducción que indican una calidad superior a la del producto comercial, además de confirmarse que al aumentar el nivel de extracción se aumenta el contenido de ceniza, proteína total, albuminas y globulinas, existiendo una correlación positiva entre estos parámetros.

INTRODUCCIÓN

En la industria molinera de trigo panadero el tipo de proteína y su cantidad es determinante para establecer la calidad de harina de trigo (Okrajová *et al.*, 2007). Buscando mejorar este parámetro, se mezclan diferentes especies de trigo disponibles en el molino a través de múltiples corrientes obteniendo harina específica para diferentes productos panaderos. Para poder usar eficazmente este método es de gran utilidad conocer la calidad y cantidad proteica de cada corriente que nos ayudara a predecir la calidad panadera (Phrabasankar *et al.*, 2000; Nelson & McDonald 1977; Luliana *et al.*, 2010).

El sistema de molienda comprende de diferentes fases como rompimiento del grano, separación, reducción, clasificación de partículas, purificación y producción de harina. Para determinar estas fases y optimizar el proceso de separación de las fracciones del trigo, es importante conocer su genética para saber el uso del grano y su composición, en su genética se encuentran dos tipos: tetraploide (*T.durum*) o hexaploide (*T.aestivum*). Sin embargo, la calidad del grano a pesar de su genética puede verse afectada por sus factores ambientales y de cultivo, esto se refleja en el contenido nutricional del grano, específicamente en su calidad proteica (Brütsch *et al.*, 2017). Por ello es de suma importancia mantener un control de calidad a nivel industrial y con ello determinar el uso final de las harinas de trigo. La elaboración de productos panaderos comienza desde los primeros rodillos de trituración donde el grano se quiebra a través de fuerzas transversales, que tienen la intención de separar el pericarpio del grano de trigo para que al final se pueda obtener harina de trigo (Luliana 2010 *et al.*; Hosney 1991).

El contenido de macronutrientes del trigo está constituido por un 60-75% de polisacáridos, 10-15% de proteína y 1.5-2% de lípidos los cuales no están distribuidos de manera uniforme. Las proteínas de la harina que forman al gluten (gluteninas y gliadinas) las podemos encontrar en un 80% de las proteínas totales y son el principal responsable de la calidad en productos panaderos y características reológicas mientras que en el otro 20% encontramos proteínas de bajo peso molecular entre ellas albuminas y globulinas (Wang *et al.*, 2007). Se tienen reportes acerca de las gluteninas y su capacidad de brindar a la masa la fuerza y elasticidad, mientras que las gliadinas brindan la viscosidad (Nakai *et al.*, 2000). Teniendo un balance entre gluteninas y gliadinas en la harina se obtiene tenacidad suficiente en la masa para formar redes de gluten

capaces de atrapar los gases emitidos en la elaboración del pan por la fermentación, lo cual le brinda volumen y suavidad, estos parámetros son los más importantes para determinar la calidad de los productos panaderos (Barak *et al.*, 2013).

Desde hace tiempo se ha discutido si el factor más importante entre las proteínas del trigo para calidad panadera, es su cantidad o el tipo de proteína. Estudios recientes indican que el tipo de proteína es la característica más importante para obtener el volumen deseable para el pan (Aghagholizadeh *et al.*, 2017). Por lo que es necesario determinar la cantidad para cumplir con los requerimientos de la industria y el tipo de proteína que se puede encontrar en trigos hexaploides.

El objetivo de esta investigación es identificar los componentes proteicos para determinar el potencial de la calidad panadera en la harina de 23 corrientes de un molino de trigo, producto de la mezcla de 3 granos de trigo hexaploides; relacionándolo con indicadores de calidad.

REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

Generalidades del Cultivo de Trigo

El trigo es uno de los alimentos de mayor consumo en el mundo desde hace 10, 000 años. Desde entonces el cultivo de trigo ha formado un pilar importante para la humanidad en el aspecto económico y cultural, esto inició una nueva era de alimentación que fue llamada “revolución neolítica” en la que destacaba el sedentarismo y la búsqueda de tierras fértiles para cultivar trigo.

A través del tiempo se han domesticado especies de trigo y esto se debe a la adaptación que necesita el trigo con el fin de cultivarse en diferentes climas que van desde muy cálidos hasta climas montañosos. Para la elaboración del pan existen cerca de 25 000 tipos de trigo que se adaptan a diferentes temperaturas. Si se les provee suficiente agua, minerales y se lleva el control debido de plagas y riesgos microbiológicos la producción de trigo podría ser de 10 toneladas por hectárea (Shewry, 2009).

En 2018 en un estudio reciente de CANIMOLT (Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo) se estimó que la producción mundial entre 2014-2015 fue de 700 millones de toneladas y se pronostica en 2024 una producción de 787 millones de toneladas, La producción mexicana fue de 3.7 millones de toneladas en 2014-2015 (CANIMOLT, 2016).

Clasificación del Trigo de Acuerdo a Composición Genética

Los trigos comerciales se clasifican en trigos para panificación o trigos hexaploides (contienen tres genomas dobles AABBDD en su composición genética) y los trigos cristalinos destinados a la producción de pastas o trigos tetraploides (contienen dos genomas dobles AABB). El genoma D es el que le confiere al trigo las características panaderas. El trigo hexaploide (*Triticum aestivum*) se clasifica por la dureza del grano, textura del endospermo) en duro, semi-duro y suave (o blando). Los trigos duros y semiduros se utilizan para la panificación, mientras que los suaves o blandos se usan en la elaboración de galletas y productos de repostería. Los constituyentes de la harina son las paredes celulares de las células del endospermo, estas contienen una matriz proteica que a su vez rodea a los gránulos de almidón. El mayor contenido proteico que se encuentra formando a los granos son las proteínas del gluten, las cuales se sintetizan hasta alcanzar la maduración óptima en los granos. Cuando esta maduración ocurre,

estas proteínas son comprimidas uniéndose unas contra otras hasta formar una matriz. Una característica en trigos duros hexaploides es la adherencia entre proteína y almidón formando una unión fuerte, esto es evidente por la tendencia de los trigos duros hexaploides al romperse por la pared celular y no por el contenido celular (Shewry, 2009).

El trigo tetraploide (*T.durum*), conocido comercialmente como durum o cristalino posee un endospermo muy duro de apariencia cristalina, muy adecuado para producir pastas alimenticias. El trigo tetraploide (cristalinos) posee una dureza mayor que los trigos hexaploides (panaderos), por lo tanto, al fragmentar el grano se rompe un mayor número de granos de almidón. A diferencia de los trigos hexaploides si aplicamos fuerza de manera transversal, los granos de almidón se rompen mientras que la unión almidón-proteína no se ve afectado. La dureza del grano se debe a la fuerza que ejerce la unión almidón-proteína, esta unión es más fuerte en los trigos tetraploides que en los hexaploides. Se puede debilitar a través de un tratamiento acuoso. La variación de endospermo se debe a la dureza y cualidades vítreas (Tosi *et. al.*, 2011).

Generalmente los trigos ricos en proteína poseen la cualidad vítrea, mientras que los trigos con opacidad son los blandos y con bajos niveles de proteína. La dureza no necesariamente tiene que ver con estas características ya que la fuerza de estos enlaces es generada por la asociación almidón-proteína y es definida genéticamente. Las cavidades reducidas en el grano dan lugar a la cualidad vítrea, pero si estas cavidades carecen de proteína entonces se difracta la luz haciendo opaco al grano (Hoseney, 1991).

Estructura del Grano de Trigo

Las “Gramíneas” son una familia de granos que producen frutos secos de una sola semilla de la que forman parte los cereales y dentro de estos cereales podemos encontrar al trigo. El grano de trigo está rodeado de una cubierta llamada pericarpio que se adhiere fuertemente a la cubierta. En el interior del grano podemos encontrar el embrión o germen y el endospermo.

La longitud de los granos de trigo de manera general es de 8 mm y el peso es de 35 mg. Los tamaños de los granos de trigo dependen del genotipo y posición de la espiga. Los granos de trigo son redondeados por la parte dorsal en el lado del germen y poseen un surco a lo largo de la parte ventral, lado opuesto del germen. El surco, que abarca la longitud del grano llega hasta casi la parte central. Los dos carrillos pueden llegar a tocarse ocultando así la verdadera

profundidad del surco. Este surco, no solamente representa una dificultad para que el molinero separe el salvado del endospermo con buen rendimiento, sino que también constituye un escondite para los microorganismos (Tosi *et. al.*, 2011).

El color y la textura de los granos de trigo, varía en gran medida y esto parece estar relacionado con las fuerzas de cohesión del endospermo.

El pericarpio está constituido por varias capas internas y externas. La parte más interna del pericarpio exterior está formada por restos de células de pared delgada. El pericarpio interior está formado por células intermedias, células cruzadas y células tubulares estas dos últimas células no cubren por completo al grano. Se ha estimado que la composición del grano consiste en un 5% de pericarpio, a su vez el pericarpio está formado por un 6% de proteína, 2% de cenizas, 20% de celulosa y 0.5% de grasa, completando el resto pentosanas.

El grano cuenta con una cubierta unida firmemente a las células tubulares en su lado exterior y a la epidermis nucelar por la parte interna. Se compone por 3 capas: capa de cutícula exterior gruesa, una capa pigmentada y una capa de cutícula interior final (Delcour, *et. al.* 2013).

La capa aleurona rodea por completo al grano incluyendo el endospermo feculento y el germen, tiene el espesor de una célula, se puede decir que es la capa exterior del endospermo. Esta capa comúnmente es eliminada en el proceso molienda. La epidermis nucelar, la cubierta de la semilla y el pericarpio, constituyen lo que el molinero llama el salvado. Se ha determinado que la pared celular de la capa aleurona es celulósica y su contenido nutricional es: cenizas, proteína, fósforo total y fósforo de fitatos, grasa y niacina principalmente. Además, esta parte en particular del salvado es más rica en tiamina y riboflavina.

El embrión o germen está constituido por dos partes principales: eje embrionario (eje y tallo rudimentarios) y el esculeto que tiene el papel de almacén. Su contenido es de 25% proteína, azúcares 18%, aceite 16% y cenizas 5%. No contiene almidón, pero contiene azúcares, principalmente sacarosa y rafinosa. También contiene vitaminas B y un alto contenido de vitamina E así como enzimas (Phrabasankar *et. al.*, 2000).

El endospermo lo componen 3 tipos de células: periféricas, prismáticas y centrales. Las células varían de tamaño y forma según su localización en el grano. La primera fila de células, son las

periféricas que por lo general son de tamaño pequeño con diámetros ligeramente elongados hacia el centro del grano. Las células prismáticas alargadas se encuentran rodeadas por varias filas de células periféricas. Las células prismáticas se extienden hacia el interior en el centro de los lóbulos y miden unos 150 x 50 μm . Las células centrales quedan en el interior de las células prismáticas y en particular los tamaños de estas células son irregulares en comparación con las otras células.

Las paredes celulares del endospermo están formadas por pentosanas, otras hemicelulosas y β -glucanas, pero no por celulosa. Los espesores de las paredes celulares varían con la posición del grano y son más gruesas cerca de la aleurona (Hoseney, 1991).

Molienda de Trigo

La ruptura del grano de trigo se desarrolla en un sistema progresivo de diferentes etapas, donde el objetivo principal es recuperar el endospermo del salvado y obtener harina que se genera a través de diferentes corrientes de productos presentes en un esquema de molienda industrial (Osella *et al.*, 2006).

La calidad y cantidad de las fracciones de molienda obtenidas depende de la calidad del trigo y del flujo que tenga a través del proceso de molienda. El proceso de molienda separa al trigo por fracciones en las diferentes etapas tecnológicas y generalmente se mezclan para cumplir con las exigencias económicas, cualitativas y nutricionales estandarizando harinas superiores e inferiores. La calidad de la harina como producto final, está determinada por la composición de diferentes vertientes del molino que se seleccionan para hacer una mezcla (Luliana *et al.*, 2010).

Para iniciar la molienda del trigo se tiene que limpiar el grano con el fin de remover materiales ajenos como piedras, metales y otras semillas principalmente, después de esto el grano está listo para acondicionarse con humedad (Pojić *et al.* 2014). El grano se prepara con objetivo de reducir la fragilidad del pericarpio, reduciendo el impacto de la molienda; de esta forma facilitar la separación física entre del endospermo y el salvado, suavizar el endospermo para conseguir harina con un daño de almidón óptimo respecto a la dureza del grano y el uso final de la harina. Este proceso puede tardar de 10-36 horas entre los trigos duros y 4-6 horas en los trigos blandos, todo depende del tipo de grano de trigo. Esta preparación se lleva a cabo con el fin de conseguir condiciones óptimas del producto final. Después de este proceso se remueve la parte externa de

la piel del salvado por un proceso de fricción, también se puede conseguir a partir de fuerzas centrífugas (Pomeranz, 1988).

Sistema de Rompimiento

El trigo se abre en los primeros rodillos de rompimiento que ejercen una fuerza cortante en el grano. En este punto las máquinas de tamiz separan las mezclas de partículas por tamaño. Las partículas de mayor tamaño están compuestas por salvado de trigo duro y endospermo adherido, mientras que las partículas más pequeñas que logran pasar esta etapa hacia los segundos rodillos de rompimiento vuelven a ser molidas por los segundos rodillos de rompimiento corrugados y se envía al sistema de nivelación. En cada etapa de ruptura sucesiva, se desecha más endospermo del salvado y se separa en el sistema gradiente, hasta que finalmente solo quedan partículas de salvado plano para el procesamiento final como subproducto. En cada etapa del proceso, el molino intenta evitar una reducción excesiva del salvado, controlando así la cantidad de endospermo eliminada en cualquier etapa (Pojić *et al.* 2014).

Sistema de Clasificación de Partículas

Cada una de las partículas son separadas de acuerdo con el tamaño antes de pasar al proceso de purificación. En el sistema de rompimiento una pequeña cantidad de endospermo fue reducida a partículas más pequeñas. Esta harina llamada “harina quebrada” se tamiza en el sistema de clasificación de partículas. Las fracciones más grandes de endospermo pasan al sistema de purificación (Luliana *et al.*, 2010).

Sistema de Purificación

Después del sistema de clasificación de partículas se genera una mezcla de endospermo y salvado de trigo. El objetivo de la purificación es la separación de estas fracciones para formar una mezcla homogénea separando el salvado del endospermo. Cuanto más pura es la harina que pasa al sistema de reducción, más calidad tendrá. A pesar de este proceso, aún queda salvado en la harina, por lo que da origen a la sémola, es decir harina gruesa (Pomeranz, 1988).

Sistema de Dimensiones

En este sistema ocurre un proceso de re-rompimiento para las partículas grandes de sémola provenientes del sistema de purificación. El objetivo principal es separar el endospermo del salvado con una producción mínima de harina. Para este proceso es necesario utilizar rodillos

ligeramente corrugados para facilitar la separación del salvado del endospermo. El material molido es separado, y si es suficientemente puro estará preparado para pasar al sistema de reducción, pero si no lo es, se devuelve a este mismo sistema para volver a procesarse hasta estar listo (Campbell *et. al.*, 2007).

Sistema de Reducción

Este sistema consiste en alrededor de 6-8 rodillos lisos que se encargan de moler gradualmente la sémola. En cada etapa de rodillo la harina es separada, mientras que partículas grandes de salvado y un salvado más fino que se producen en este proceso también, son separados. En cada una de las etapas algunas partículas se agrietan. La cantidad de rodillos y etapas dentro del sistema de reducción dependerá del tipo de rodillos y maquinaria que se utilizan, existen diferentes maquinarias que reducen los tiempos de esta etapa (Brütsch, *et. al.*, 2017).

Sistema de Revestimiento de la Harina

En cada una de las etapas se produce harina, 4 harinas en las etapas de rompimiento y 8 en la etapa de reducción. La harina producida en las diferentes etapas de la molienda tiene diferentes características. En este proceso todas las harinas son mezcladas y tamizadas de una forma más fina utilizando tamizadores de nilón o de seda (Campbell *et. al.*, 2007). Se elige bien qué tipo de harinas se van a mezclar. Las harinas más blancas están elaboradas del material más puro, producto de los procesos de reducción. Conforme el grano pasa por cada uno de los sistemas va perdiendo su pureza, ya que la harina ya fue extraída en los sistemas anteriormente mencionados. Estos procesos hacen que la harina vaya tomando un color más oscuro a través de cada sistema, por el alto contenido de proteína no funcional (Pomeranz, 1988).

Sistema de Producción de Harina

Los subproductos de la harina son: salvado, salvado fino y germen. El salvado es la parte gruesa que queda después de separarlo del endospermo y el salvado fino es el obtenido del sistema de purificación. En este proceso todos estos subproductos son separados y se recupera todo el endospermo. Estos subproductos en la mayoría de los casos la industria los utiliza para elaborar otros productos y de esta generar ganancias financieras (Osella, 2006).

Principales Componentes de la Harina de Trigo

Almidones

El almidón es un polisacárido, que los cereales y algunos vegetales generan para almacenar energía. Lo podemos encontrar entre un 60 y 75% en la harina de trigo, estos almidones se encuentran formando gránulos que se forman en plastidios para formar amiloplastos. La sacarosa es el azúcar más común entre los cereales y se ha encontrado una relación importante entre la velocidad de síntesis de almidones y la concentración de sacarosa. Esto se debe a que tiene más ventaja almacenar la sacarosa en forma de almidón, por su alto peso molecular y por ser insoluble.

El almidón es un componente de la harina semi-cristalino, arreglado en una estructura supramolecular en forma de gránulos grandes con un tamaño de 25-40 μm ; si estos gránulos exponen a una luz polarizada se puede observar su birrefringencia (cruz de malta). Esto se debe a un alto ordenamiento estructural del grano de almidón, por otro lado, la cristalización puede ser ordenada mas no tener la propiedad vítrea y esto se puede determinar con luz polarizada. Una característica distintiva de los gránulos de almidón de trigo es que está compuesto por dos tipos de gránulos, unos pequeños y esféricos, llamados tipo B, con un tamaño menor que las 10 μm y otros grandes y ovalados, llamados tipo A, con un tamaño entre 10 y 35 μm (Shewry 2009).

La glucosa es el principal componente del almidón, son polímeros de α -D-glucosa. Se encuentran dos polímeros: amilosa, polímero lineal y amilopectina, polímero ramificado (Delcour *et. al.*, 2013).

Lípidos

En el grano de trigo podemos encontrar un 70% de lípidos no polares y un 20 % de glucolípidos y 10% fosfolípidos, que se dividen en: lípidos asociados a los granos de almidón y lípidos no asociados. En el grano de trigo la mayor cantidad de lípidos la podemos encontrar en el germen en su mayoría son fosfolípidos y en el endospermo se encuentran más glucolípidos que fosfolípidos, también podemos encontrar otros compuestos de los lípidos como la vitamina E donde se estima 3.9 mg/100mg de harina integral (Schofield, 1994). Es importante mencionar que tras el proceso de molienda estos contenidos de lípidos se modifican y en la harina de trigo

de manera general podemos encontrar ácidos grasos asociados: 40% de ácido palmítico, <2% de ácido esteárico, 11% de ácido oleico, 48% de ácido linoleico y 4% de ácido linolénico. En cuanto a los ácidos grasos no asociados encontramos: 19% de ácido palmítico, <2% de ácido esteárico, 12% de ácido oleico, 63% de ácido linoleico y 4% de ácido linolénico. Estas cantidades de lípidos dependen de la variedad del trigo (Phrabasankar *et al.*, 2000).

Actividad Enzimática

En los cereales de trigo podemos encontrar diferentes enzimas, de las cuales destacan las enzimas catalíticas del almidón, en la harina de trigo estas enzimas juegan un papel importante en la panificación.

Las enzimas principales son las amilasas y las podemos encontrar como α -amilasa degradando enlaces glucosídicos α -1,4. Esta acción enzimática disminuye el tamaño molecular del almidón y tenemos como efecto una reducción en la viscosidad de la solución del almidón. Esta enzima actúa más rápida sobre el almidón gelificado que en el granular, esto dependerá del tiempo ya que si tiene el tiempo suficiente actuara de igual manera en el almidón granular (Shewry, 2009).

La β -amilasa lleva a cabo su acción enzimática en los extremos no reductores de los polímeros rompiendo enlaces glucosídicos α -1,4 sintetizando maltosa. Solamente el 70% de amilosa se convierte en maltosa con lo que se establece que la amilosa tiene partes ramificadas, mientras que en la amilopectina solo el 50% se convierte en maltosa. La α -amilasa y la β -amilasa trabajan en conjunto, por cada ruptura que realiza la α -amilasa la β -amilasa puede llevar a cabo su acción ya que se produce un extremo no reductor. En general estas enzimas se encargan en conjunto de romper el 85% del almidón y transformarlo a azúcar.

También existen otro tipo de enzimas como las proteasas cuya actividad enzimática es baja. Estas enzimas influyen en la producción de nitrógeno orgánico para que este sea utilizado por los microorganismos de fermentación acida, que tiene importancia en la producción del pan de masa agria (Schofield, 1994).

Fibra

La fibra dietaria se encuentra en las paredes celulares, formada por los polímeros como los arabinosilanos en un 70%, pequeñas cantidades de β -D glucanos (1-3 y 1-4) en un 20% y el resto otros compuestos. Los arabinosilanos se dividen en solubles e insolubles, a los solubles se

les atribuye características benéficas para la salud como la contribución para mejorar padecimientos como cáncer de colon y estreñimiento (Shewry, 2009).

Vitaminas y Minerales

Las vitaminas que encontramos de manera común en los cereales con la tiamina, riboflavina, piridoxina, ácido pantotónico y tocoferol. También podemos encontrar en la capa aleurona minerales como: fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso. La gran mayoría de los minerales se pierden en el proceso de molienda, ya que se encuentran en el salvado de trigo (Prabhasankar *et. al.*, 2000).

Proteínas

La composición proteica, la cantidad y tipo de proteínas que forman a la harina de trigo son determinantes para la calidad de la harina y estas propiedades dependen de las condiciones en las que se cultive el grano, así como su genética. Los contenidos proteicos de las harinas comerciales oscilan entre el 8% y 16% de proteína y se dividen en 4 grupos principales: albuminas; proteínas solubles en agua son coagulables en calor; globulinas, insolubles en agua pura, y solubles en disoluciones salinas; prolaminas, son proteínas solubles en alcohol etílico de 70%; gluteninas, son proteínas solubles en ácidos o bases diluidos (Hoseney, 1991; Delcour *et. al.* 2013).

El contenido y calidad de las proteínas sirve para decidir el uso de la harina, normalmente las harinas con un alto contenido proteico específicamente, las proteínas del gluten se utilizan para la panificación y las harinas bajas en proteínas para galletas, pasteles y otros usos. En recientes publicaciones se habla sobre el impacto ambiental que puede llegar a tener los cultivos de trigo con un alto contenido proteico lo cual es un reto para la tecnología alimentaria y el constante desarrollo de nuevas variedades que se adapten a las condiciones y necesidades de programas de cultivo (Shewry 2009).

Calidad de la Harina de Trigo

La calidad de la harina de trigo se basa principalmente en el contenido de proteína (gluten), ya que desde la estructura del grano toma un papel importante protegiendo a los gránulos del endospermo y de esta manera recibir de manera adecuada la fuerza a la que es sometido el grano por el proceso de molienda. Las fracciones proteicas de la harina glutenina y gliadina definen la

viscosidad y elasticidad principalmente de los productos a elaborar (Barak *et. al.*, 2013). El contenido de proteína en el trigo de manera general se clasifican en dos tipos: hexaploides de un 10-14% (con 3 genomas dobles AA, BB, DD) su uso es para panificación y tetraploides con un 8-11% (con 2 genomas dobles AA, BB) de proteína principalmente semolina que se usa para pastas (Delcour *et al.*, 2013).

Gluten

El gluten es el material proteico característico y único de la harina de trigo que les otorga a las masas su viscosidad y elasticidad. Principalmente formadas por monómeros unidos por puentes disulfuros con altos contenidos de glutamina y prolina que le dan la composición a esta proteína y bajos contenidos de aminoácidos cargados. La cisteína, aunque se encuentra en una cantidad menor a los aminoácidos anteriormente mencionados (2%) de gran importancia para la función del gluten ya que se encuentran formando enlaces disulfuro en un estado oxidado uniendo cadenas de monómeros proteicos. Durante el rompimiento del grano ocurre una unión covalente de tirosina-tirosina entre las proteínas del gluten, así como tirosina- ácido ferúlico que une a los arabinosilanos con el gluten. Los pesos moleculares de estas proteína pueden ir desde 30,000 hasta 1 millón (Barak *et. al.*, 2013).

Las proteínas que forman el gluten contienen enlaces covalentes, puentes de hidrogeno, interacciones iónicas e hidrofóbicas. Estos últimos mencionados juegan un papel importante, ya que al momento de hornear el pan aumentan su energía gracias al aumento de temperatura, por lo tanto, esto aumenta la estabilidad del gluten en el producto panadero.

Estos polímeros proteicos se pueden reducir a dos fracciones: gluteninas y gliadinas. Cada una de estas fracciones tiene su propia clasificación a partir de su peso molecular es así como las gliadinas se clasifican en: α -, β -, γ -, ω -gliadinas y en este orden por su capacidad de movimiento electroforético en medio ácido. Las clasificaciones α -, β -gliadinas (α -/ β -) se clasifican en un solo grupo ya que sus movilidades no tienen gran diferencia en estudios recientes electroforéticos a pesar de su composición de aminoácidos (Shewry, 2013).

Existe una segunda clasificación reciente obtenida por métodos modernos como la electroforesis dimensional o la cromatografía líquida de alta resolución de fase inversa estudiando la composición de aminoácidos las gliadinas se clasifican en: ω 5-, ω 1,2-, α -/ β -, γ - gliadinas. Las

gliadinas ω - se caracterizan por tener grandes cantidades de prolina, glutamina y fenilalanina. Entre las gliadinas las de mayor peso molecular son las ω 5- con 50,000 y las ω 1,2 con 40,000, para las γ - el peso molecular es de 35,000 mientras que el peso molecular de α -/ β - es de 28,000.

Las gluteninas son polímeros unidos por enlaces disulfuro. Al reducirse, se da una separación de las subunidades, que se clasifican en subunidades de gluteninas de alto peso molecular (HMWGS) α , HMWGS y γ gluteninas de bajo peso molecular (LMWGS). Las HMWGS α tienen pesos moleculares de 104,000-124,000 y las HMWGS γ de 90,000 a 102,000 (Nakai *et al.*, 2000).

En la panificación es de suma importancia el balance entre gliadinas y gluteninas ya que permiten formar una red al entrar en contacto con H₂O obtiene la capacidad de atrapar CO₂ emitido por la levadura en su fermentación cuando la masa se forma y se deja reposar. Durante el proceso de mezclado el ingreso del aire a esta red contribuye el crecimiento del volumen en la masa para después hornearse donde gracias a la temperatura el agua es evaporada contribuyendo al volumen del producto panadero.

Las subunidades de gluteninas de alto peso molecular se han asociado con la calidad panadera siendo el par 5+10 los que contribuyen a las propiedades de la masa comparado con otros pares como el par 17+18 que hacen una pequeña contribución (Barak 2013).

Daño del Almidón

El daño del almidón se refiere cambios estructurales provocados físicamente a través del proceso de molienda, que afectan directamente a la calidad y rendimiento de la harina panadera. Se puede reducir este daño utilizando rodillos más sofisticados en el proceso de la molienda con diferentes velocidades y también utilizando diferentes métodos de acondicionamiento (humedad), sin embargo, el contenido proteico (gluten) es determinante en el daño del almidón, ya que forma parte estructural de los granos de almidón y se ha demostrado que el rendimiento del grano en el proceso de molienda se ve beneficiado al contener una mayor cantidad de proteínas con una relación del tamaño de partículas (Shewry, 2009).

HIPÓTESIS

Existen diferencias en el contenido y calidad proteica en cada una de las corrientes de harina de trigo provenientes de la molienda de una mezcla de tres variedades de trigo panadero.

OBJETIVOS

Objetivo General

Conocer la composición y calidad proteica de la harina en las diferentes corrientes de la molienda de trigo en un molino comercial.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar la proteína presente en las corrientes de molienda usando técnicas de electroforesis y de cromatografía.
2. Evaluar la calidad panadera de las corrientes con indicadores de calidad y usando técnicas oficiales *American Association of Cereal Chemistry (A.A.C.C.)*.
3. Relacionar la composición proteica y los indicadores de calidad de panificación.

METODOLOGÍA

Materia Prima

Las muestras de harina de trigo fueron recolectadas en el molino comercial MUNSA ubicado en avenida 10000 Colonia Paseo de los Olivos, Las Torres, 82124 Mazatlán, Sinaloa. Se tomaron 3 muestras de harina de trigo en las 23 corrientes del molino (figura 1) y del producto final (harina Sinnay), Estas muestras son producto de la mezcla de 3 granos de trigo hexaploide: *T. Aestivum* var. Onavas (50%), *T. Aestivum* var. Norman (30%) y *T. Aestivum* var. Tacupeto (20%). Con esta proporción de granos de trigo se produce la harina Sinnay que se comercializa en el estado de Sinaloa y Nayarit para la elaboración de productos panaderos.

Acondicionamiento de la Molienda

Al recibir el grano en el molino es almacenado en tres bodegas y son denominadas B1, B2 y B3. Se toma la cantidad de grano y su variedad según el producto que se va elaborar, para después iniciar la pre-limpia en una cribadora industrial para dejarse reposar en 3 silos (Nodrizas: N1,N2,N3) metálicos. Se da un acondicionamiento de humedad de 14 %-14.5 % durante 4 a 6 horas con el fin de facilitar la separación del pericarpio. Enseguida, se hace la limpieza del grano para remover 3 tipos de impurezas finas por aspiración y después se remueven las piedras pequeñas a través de un sistema de aire llamado despedregadora. Por último, el grano se limpia a través de la pulidora antes de iniciar su segundo acondicionamiento. Según el tipo de harina a producir, se prepara el trigo mediante un sistema de basculas mezcladoras y se inicia su segundo acondicionamiento durante 8 a 16 horas utilizando un rociador intensivo con agua para llevar el trigo a una humedad de 16 a 16.5 %. Enseguida, se inicia la trituration.

Proceso de Molienda

Se encuentra basado en un proceso de molienda que nació en Hungría, adoptado y perfeccionado en Inglaterra llamado molienda económica, el cual se basa en 3 sistemas básicos: rompimiento, reducción y purificación. A través de este complejo proceso, se busca producir la mayor cantidad de harina separándola del pericarpio y germen dando como resultado, harina blanca con diferentes características nutricionales en cada uno de los pasajes. Además, se obtienen productos intermedios que son sometidos de nuevo a un pasaje, o bien en el caso del salvado, es separado al final la harina blanca producida y en la mayoría de los casos se agregan aditivos

y es fortificada con vitaminas. El proceso de este molino comercial para producir harina panadera Sinnay (producto de Sinaloa y Nayarit) comienza después de haber limpiado y acondicionado el grano. En la figura 1 se muestra el flujo del grano hasta transformarse en harina. Este proceso nica con la trituración en el rodillo corrugado T1 (Triturador 1), donde el grano es quebrado por primera vez dejando expuesto parte de su endospermo, produciendo harina blanca T1, y subproductos intermedios. Algunos de estos subproductos pasa al rodillo liso C1 (corriente reductora 1) donde se produce harina blanca C1. El rodillo liso es el primer encargado de la reducción del grano mientras que los subproductos con un mayor contenido de cáscara pasa al rodillo liso D1 (reductor) el cual se encarga de reducir el tamaño de partícula produciendo harina blanca D1 y envía subproductos al rodillo corrugado T2 (Triturador 2) donde se vuelve a romper las partes de grano restantes con el fin de seguir extrayendo harina de endospermo. La harina intermedia subproducto de la C1, pasa por un proceso de reducción por rodillos lisos en la C2 (corriente reductora 2) y C3 (corriente reductora 3) donde se producen las harinas: C2 H1, C2 H3 y C3 H1, C3 H2, y C3 H3 respectivamente. Las corrientes mencionadas anteriormente forman parte de los cilindros lisos, y siguen este orden con productos mediadores finalizando en la C3, enviando sus subproductos al sistema de purificación. Después del cilindro corrugado T2, el subproducto mediador pasa a al sistema reductor en el cilindro liso C4 (corriente reductora 4) donde se produce la harina C4 H1, y subproducto mediador el cual es enviado en el sistema reductor a la C5 (corriente reductora 5) donde se produce las harinas blancas C5 H1 y C5 H2, después el restante de subproducto mediador es enviado a la C7 (corriente reductora 7), aquí se produce la harina blanca C7 H1 y subproducto mediador el cual es enviado a la Cent.2 (centrifugación 2), se encarga de la separación y purificación a través de fuerzas centrifugas y produce harina blanca Centrifuga 2, los subproductos de esta corriente pasan al Div1 (divisor 1) como parte de la purificación se separa produciéndose harina Div1, para después pasar al Div C (divisor cepillador) y Div 2 (divisor 2), produciendo harina correspondiente a estas corrientes separándola del salvado. El subproducto generado en la C7 (corriente 7) de partículas más grandes, pasan al T3 para seguir con la trituración en los restos de grano sobrantes y después ser reducido en la corriente C6 (corriente 6) donde se producen las harinas C6 H1 y C6 H2 continuando en el sistema de reducción los subproductos mediadores pasan a la C8 (corriente 8) produciendo la harina blanca C8 y C9 produciendo harina blanca C9 respectivamente. para finalizar en el sistema

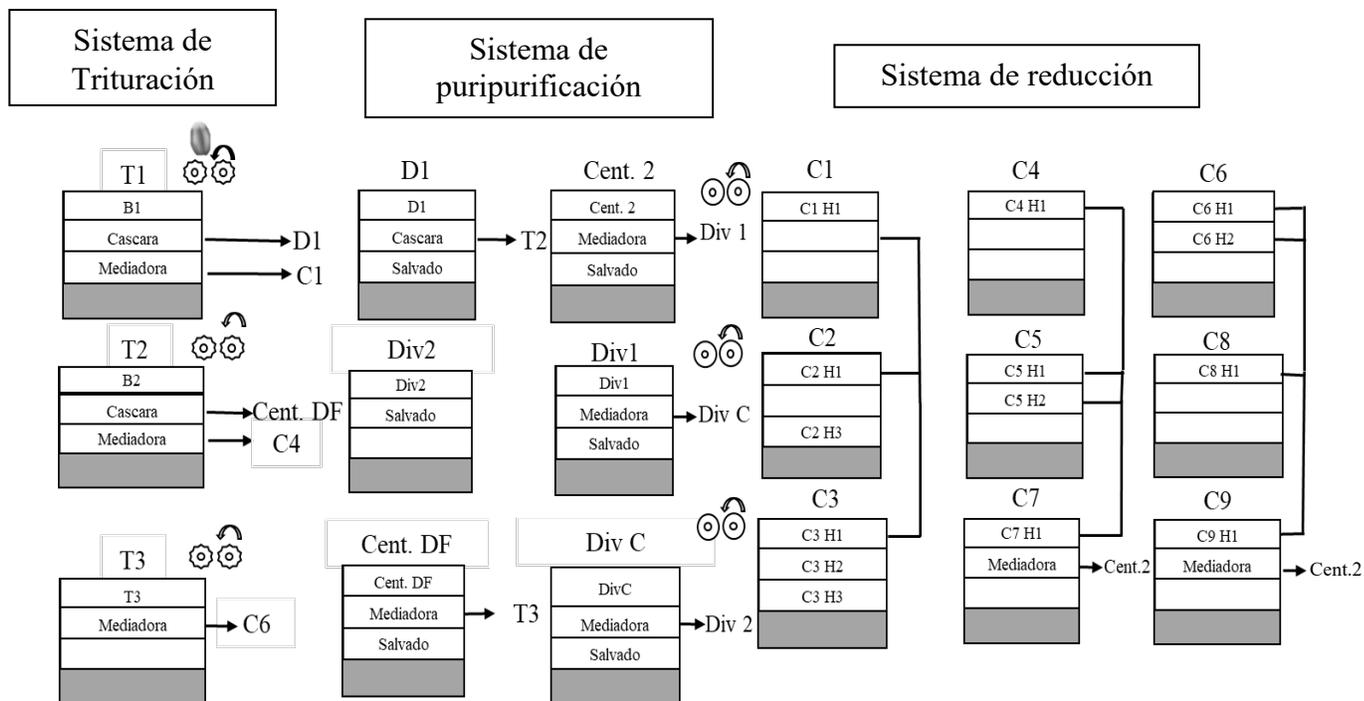


Figura 1. Diagrama de las corrientes de trigo hexaploide en la molienda para obtención de harina Sinnay. Nota: Mezcla de *T. aestivum*, var. Onavas (50%), *T. aestivum*, var. Tacupeto (20%) y *T. aestivum*, var. Norman (30%) en el molino harinero MUNSA.

de purificación donde inicia en la Cent. 2, después a el Div1, Div C, y Div 2 produciendo sus harinas correspondientes.

Análisis de Componentes Químicos

El análisis proximal en cada una de las muestras de harina de trigo proveniente de las corrientes y producto final se determinó con los métodos de A.A.C.C. (2000). Para la determinación de ceniza se utilizó el método 08-01.01, modificado. El método 44-40 para la determinación de humedad en cada muestra de harina y el método 46-13 para la determinación de proteína y se utilizó analizador de nitrógeno (LECO FP-528, St. Joseph, MI). Para la conversión de los valores de nitrógeno se usó un factor de conversión de 5.7 (Bean *et al.*, 1998). Para la determinación de la proteína polimérica insoluble (PPI) se usaron los pellets extraídos con 50% propanol por triplicado. Los pellets fueron quebrados con una espátula y secados en el horno a 110°C por 1h. y se determinó el contenido de proteína usando el método de determinación de nitrógeno de Dumas usando el equipo LECO mencionado anteriormente (Bean *et al.*, 1998).

Cromatografía Líquida de Exclusión Molecular de Alto Rendimiento

Se realizó el análisis de acuerdo con el método de Bean y col. (1998), con algunas modificaciones. Se tomaron 250 mg de harina y fueron mezcladas con un 1 mL de 50% 1-propanol en un agitador (Vortex Genie2, Scientific Industries, Bohemia, NY) durante 15 min. Después, las muestras se centrifugaron (Eppendorf AG, 5415 Hamburg) a 8000 x g durante 5 min, y el sobrenadante fue recuperado. El sobrenadante fue centrifugado a 14,000 x g durante 15 min y se analizó por cromatografía líquida de exclusión molecular de alta resolución. El sistema de cromatografía consistió en una bomba cuaternaria y un detector de arreglo de diodos (Agilent Technologies, Model 1260, Pittsburgh PA, USA), con una columna Biosep-SEC-S 4000 column (Phenomex, Torrance, CA). La fase móvil fue de agua-acetonitrilo (50:50 v/v) con 0.1% de ácido trifluoroacético a un flujo constante de 0.8 mL min⁻¹. Las proteínas se detectaron a 280 nm. El perfil cromatográfico fue analizado usando el software Open Lab Software (Agilent Technologies, Palo Alto, CA). Se realizó el análisis por triplicado identificando el área bajo la curva de diferentes picos donde se observó la proporción proteica comparando esta información con la referencia de Bean y Col. (1998).

Electroforesis SDS-PAGE

La extracción se realizó en 300 mg de muestra con 1 mL de buffer (10 % SDS, 0.05 % 2 mercaptoethanol, 0.1 % de bromofenol azul, agua deionizada y 0.05 Tris-HCl con un pH de 6.8). La electroforesis, SDS-PAGE de la proteína proveniente de las corrientes de harina de trigo se realizó de acuerdo con el método de Laemmli (1970), con algunas modificaciones. La corrida se hizo en un sistema de gel vertical, mini-protean 3 (Bio-Rad Corporation, Hercules, CA), usando geles de 10 % de acrilamida a 100 V por aproximadamente por 3 h. Después, el gel fue teñido con azul brillante de coomassie G-250 a temperatura ambiente (25 °C) con agitación y posteriormente desteñido con 10 % methanol y 7 % de ácido acético glacial.

Índice de Sedimentación

Se determinó el índice de sedimentación, que representa la capacidad de hidratación y de expansión de las proteínas del gluten en un medio ligeramente ácido (AACCI 56-60.01).

Se colocaron 3.2 g de muestra en un cilindro de vidrio de 100 mL con tapón (0.1 mL de graduación y aproximadamente 15 mm de diámetro interno). Se adicionaron 50 mL de agua que contenía azul de bromofenol acuoso (4 mg/L), en esta fase se comenzó a tomar el tiempo. Se mezcló de manera manual y ligeramente horizontal alternando de izquierda a derecha en un espacio de 7 pulgadas., durante 12 veces por dirección en un tiempo de 5 seg. Se dejó reposar hasta alcanzar los 2 min y se mezcló por 30 seg, creando un efecto pivote en el centro, 18 veces. Después se agregaron 25 ml de alcohol isopropílico - ácido láctico (alcohol isopropílico (20 %) y ácido láctico (18 %), aforado con agua a 1 L) mezclándose 4 veces con el cilindro invertido, se deja reposar 1.75 min, una vez más se mezcla durante 30 segundos, dejándose reposar 1.5 min y por ultima vez se mezcla durante 15 segundos colocándose inmediatamente el cilindro en su posición original dejándolo reposar durante 5 min. Al final de los 5 min. Se lee el volumen en mL del sedimento en el cilindro, el cual es un dato incorrecto y se corrige multiplicándose con un factor según su porcentaje de humedad establecido en la tabla de factores en el método.

Diseño Experimental y Analisis Estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar de un solo factor (corriente de molienda) con las variables respuesta de: 1. contenido de humedad, 2. contenido de proteína, 3. contenido de

ceniza, 4. contenido de PPI, 5. índice de sedimentación, 6. Área bajo la curva cromatográfica en cada una de las proteínas (gluteninas, gliadinas, albuminas, globulinas).

Se llevaron a cabo análisis de varianza (ANDEVA). La diferencia entre medias se analizó con la prueba de tukey, ambos procedimientos con un nivel de significancia del 95%. Para reducir la dimensionalidad y poder observar gráficamente la relación de las variables y las corrientes e molienda, se hizo un análisis multivariado de componentes principales.

Se utilizó el software XLSTAT (2018) para llevar a cabo los análisis estadísticos.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Análisis de Componentes Químicos

En la tabla 1 se muestran los resultados del análisis del contenido de proteína total (PT), Proteína Polimérica Insoluble (PPI), Humedad (HUM) y Ceniza (CEN). Se encontraron diferencias significativas con un nivel de significancia del 95 % .

La diferencia de los valores de humedad es de 10.23 % a 14.13 %. Se demuestra con la variación de los contenidos de humedad, que durante el acondicionamiento no se distribuye en forma homogénea en el grano de trigo. Resultados similares reporto Kweon (2009) en muestras de harina de 3 variedades de trigo rojo invernal. En su investigación se menciona que el impacto del acondicionamiento depende del tipo de grano que se vaya a utilizar, y el fin de este proceso es extraer el mayor porcentaje de harina del grano.

La correlación de la humedad con el contenido proteico de las harinas es mínima en cuanto a los resultados obtenidos y es muy probable que no tenga un efecto directo en su funcionalidad, sin embargo ayuda a saber si se está empleando de manera adecuada el acondicionamiento del grano relacionándolo con el índice de extracción de harina el cual no se evaluó en este proyecto (Hook 1982).

Los resultados de contenido de ceniza se mostraron bajos en el sistema de rompimiento (T1, T2, T3), mientras que en los primeros pasajes del sistema de reducción tuvo una disminución ($p < 0.05$) en las corrientes C1 y C2 en su contenido con tendencia en aumento ($p < 0.05$) en las siguientes corrientes C3 y C4 y un aumento ($p < 0.05$) en las corrientes del sistema de purificación Div c, centrifugo DF y centrifugo 2 como se ha reportado por otras investigaciones sobre las corrientes de molinos de trigo, esto es debido a la función que se tiene en cada parte del proceso de molienda en donde el sistema de purificación se encarga de separar la harina del pericarpio y germen de trigo produciendo diferentes subproductos y obteniendo harina de la parte externa del endospermo. (Sutton & Simons 2006; Wang *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2011).

La corriente C6 H1 (corriente 6 harina 1) mostró un contenido de proteína de 18.84 % y un contenido de ceniza de 2.04 % siendo la corriente con los valores más elevados en estos dos

Tabla 1. Principales componentes químicos de las harinas de trigo.

Corrientes de Harina	HUM (%)	PPI (%) b.s.	PT (%) b.s.	CEN (%) b.s.
T1	14.01a	5.77i	13.205k	0.64ij
T2	14.05a	6.59h	14.444i	0.55lm
T3	13.91a	7.87ef	16.271e	0.81h
C1 H1	13.47b	5.32i	12.661m	0.56klm
C2 H1	12.85c	6.72h	12.308no	0.56klm
C2 H3	12.7cd	6.76gh	12.118p	0.62ijkl
C3 H1	12.37ef	8.13de	11.874q	0.54klm
C3 H2	13.53b	10.08ab	12.237op	0.53mn
C3 H3	10.78k	9.72bc	12.424n	0.56jklm
C4	11.1j	9.81bc	15.376f	1.51d
C5 H1	12.42def	5.88i	11.683r	0.54lmn
C5 H2	11.75gh	6.85gh	11.561r	0.52mn
C6 H1	11.47hi	7.07gh	18.841a	2.04b
C6 H2	12.12f	8.51d	12.318no	0.62ijkl
C7 U.C.	12.86c	7.38fg	14.442i	0.98g
C8 U.C.	11.25ij	8.33de	13.786j	1.04fg
C9 U.C.	10.99jk	8.33de	14.636h	1.52d
CDF	11.22ij	6.59h	15.149g	1.90c
Centrifugo 2	10.23l	10.54a	16.546d	1.08f
Div 1	13.87a	8.17de	12.942l	0.63ijk
Div 2	11.81a	7.00gh	17.623b	1.33e
Div C.	12.64cde	6.68h	16.887c	2.65a
D1	14.13a	9.35c	12.133p	0.46n
Sinnay	11.7gh	10.03. ab	12.650m	0.67i

Nota: b.s. Base Seca; PPI: Proteína Polimérica insoluble; PT: Proteína total; CEN: Ceniza; T1: Triturador 1; T2: Triturador 2; T3: Triturador 3; C1 H1: Corriente Harina 1; C2 H1: Corriente 2 Harina 1; C2 H3: Corriente 3 Harina 3; C3 H1: Corriente 3 Harina 1; C3 H2: Corriente 3 Harina 2; C3 H3: Corriente 3 Harina 3; C4 U.C.: Corriente 4 Única Corriente; C5 H1: Corriente 5 Harina 1; C5 H2: Corriente 5 Harina 2; C6 H1: Corriente 6 Harina 1; C6 H2: Corriente 6 Harina 2; C7 U.C.: Corriente 7; C8 U.C.: Corriente 8 Única Corriente; C9 U.C.: Corriente 9 Única Corriente; CDF: Centrifugo de fuerza; Div 1: Divisor 1; Div 2: Divisor 2; Div C: Divisor Cepillador; D1: Reductor 1; Sinnay: Producto final; Dentro de una columna, promedios con la misma letra no muestran diferencias significativas ($p>0.05$).

parámetros. La cantidad de proteína en esta corriente pudo verse afectada por el salvado de trigo contenido en esta corriente y la presencia de las capas más externas del endospermo, incluida la capa aleurona, al igual que la corriente Div C., con un contenido de ceniza del 2.65 % y proteína total de 16.88 % (Wang *et al.*, 2007).

También se puede observar una tendencia ascendente ($p < 0.05$) en el contenido proteico de los primeros rodillos de rompimiento T1, T2 y T3 (triturador 1, 2, y 3), mientras que en los primeros rodillos de reducción se observa un bajo contenido proteico ($p < 0.05$) de la C1, C2, C3 (corriente 1, 2 y 3), hasta la C4 (corriente 4) donde comienza un incremento inconsistente disminuyendo ($p < 0.05$) en la C5 y llegando a su contenido máximo en la C6 H1 (18.84 %). Prabhansankar y col. (2000), encontraron la misma tendencia de aumento en rodillos de trituración (T1 9.2-10.7 %, T2 9.3-12 % y T3 11-13.3 %). Se compararon corrientes de 3 molinos comerciales de molienda de harina de trigo que contaban con 5 rodillos de rompimiento y 6 rodillos de reducción, donde se analizó su contenido proteico en cada una de las corrientes. Los 3 molinos mostraron la misma tendencia en rodillos de rompimiento y un menor contenido proteico en rodillos de reducción, con tendencia ascendente en contenido proteico de los rodillos de reducción.

Resultados similares encontró Brüttsch y col. (2017), donde se analizaron muestras provenientes de 7 rodillos de rompimiento y 21 rodillos de reducción. El contenido proteico en los rodillos de rompimiento fue mayor que el contenido de los rodillos de reducción. También se observó a través del progreso de la molienda que, en los pasajes con mayor índice de extracción de harina, aumentó el contenido proteico. El mayor contenido de proteína se encontró en corrientes del sistema de reducción (C4, C6 H1), en donde la distancia de los rodillos disminuye y aumenta la presión con el fin de conseguir extracción mayor de los componentes del endospermo (Pojic *et al.* 2014). En el proceso de molienda evaluado en este trabajo se presentan diferencias considerables en el flujo del grano con relación a trabajos publicados, siendo el sistema de reducción una harina con mayor contenido proteico y calidad.

En el sistema de purificación (Div C, Div 2, centrifugo DF y centrifugo 2) la cantidad de proteína varía de 12.13- 17.02 %, siendo un mayor contenido de proteína en comparación con los pasajes del sistema de reducción, resultados similares se encuentran en el trabajo reciente publicado por

Brütsch y col. (2017). Esto se debe al paso progresivo de la molienda donde se va en aumento el rango de extracción y con ello las proteínas mas cercanas al pericarpio donde se encuentran principalmente albuminas y globulinas, con un aumento en cenizas. A diferencia del sistema de reducción donde se extrae la parte del endospermo al máximo, el sistema de purificación extrae la harina externa por lo que se tiene un mayor índice de extracción de harina con una calidad baja.

Contenido de PPI de las Harinas

En la tabla 1 se muestra el contenido de proteína polimérica insoluble (PPI) en las harinas de trigo donde se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$). La harina que presenta un mayor contenido de proteína polimérica insoluble se encuentra en el sistema reductor de la C4 (corriente 4). En los rodillos de reducción se observa nsimilitudes entre algunas corrientes según su PPI. Wang (2007) reportó que la relación de proteína polimérica insoluble a monomérica es mayor en los rodillos de rompimiento, teniendo una harina con mejores cualidades de panificación con un contenido mayor de gluteninas, obteniendose una harina más fuerte, por lo que, la cuantificación del contenido de PPI insoluble se considera de gran utilidad para predecir el volumen panadero.

El mayor contenido PPI se encuentra en el endospermo del grano, mientras que las proteínas albuminas y globulinas las encontramos en el embrión distribuidas en el pericarpio y en el endospermo harinoso (Daniel & Triboi, 2001). En este trabajo de tesis se encontraron diferencias en el contenido de PPI con lo reportado hasta el momento, siendo los rodillos de reducción C4, C5 H1, C2 H3, C3 H3 y C6 H1 los que obtuvieron un rango en su contenido de PPI de 5.32-10.54 %, esto debido al tipo de sistema de molienda que se utilizó en este molino comercial ya que difiere del flujo del grano y subproductos comparándolo con lo publicado hasta el momento. En particular, los rodillos lisos encargados de la reducción de partículas en este sistema de molienda, son los encargados de llegar a la parte del endospermo periférico y nuclear donde se encuentra el mayor contenido de PPI mientras que, en el sistema de rompimiento la harina obtenida proviene del endospermo externo (Luliana *et al.*, 2010).

Electroforesis de los Granos de Trigo (SDS-PAGE)

En la figura 2, se presenta el electroferograma de las bandas de gluteninas de peso molecular alto; se puede identificar de manera cualitativa el par de subunidades de gluteninas 5+10 en los 3 granos estudiados (*T. Aestivum*, var. Onavas, *T. Aestivum*, var. Tacupeto y *T. Aestivum*, var. Norman) comparándose con el estándar Karl 92. Payne (1987) identificó alelos de glutenina de alto peso molecular (G-APM), entre los pares 1 y 2* (genoma A), 17+18 (genoma B) y 5+10 (genoma D). A pesar de que las gluteninas representan del 5-10% del contenido total proteico, son las que brindan la mayor fuerza y elasticidad a la masa (Payne *et al.*, 1986; Shewry *et al.*, 1992; Cruz *et al.*, 2007). Se observa con claridad que genéticamente estos granos son ideales para la elaboración de productos panaderos obteniendo subunidades de G-APM de 80-120 kDa. Resultados similares mostró Johansson (2001), con electroforesis (SDS-PAGE) comparó el genotipo en los efectos de la calidad panadera, de los pares de subunidades de G-APM de 2+10 y 5+10 en variedades de trigo suizo, donde se mostró que las variedades que contenían las subunidades 5+10, cuentan con mayor fuerza en el gluten para características de calidad panadera.

Electroforesis (SDS-PAGE) de Proteínas Totales

En la figura 3 se muestran los patrones de separación en electroforesis desnaturizante y reductora (SDS-PAGE) de las proteínas totales de las harinas de las corrientes de molienda. La región del gel donde se identifican las bandas que corresponden a las subunidades de gluteninas de peso molecular bajo tipo D (G-BPM) y las gliadinas ω , muestra claras diferencias entre las corrientes. Las corrientes presentadas en el electroferograma provienen del sistema de purificación, de reducción y el producto final (Sinnay). Se pueden observar diferencias en la presencia de estas bandas, así como en la intensidad, relacionada con la concentración de estas proteínas en la solución estudiada. Estos resultados, sugieren una segregación proteica en el proceso de molienda, por lo que la fracción proteica de G-BPM y gliadinas ω varía cualitativamente en las corrientes de harina de trigo de la mezcla de los 3 granos (*T. Aestivum* var. Onavas, *T. Aestivum* var. Tacupeto y *T. Aestivum* var. Norman). También se realizó la separación por electroforesis desnaturizante y reductora (SDS-PAGE) de las proteínas a las cuales se le extrajeron las proteínas de la fracción soluble en 50 % propanol, en donde se

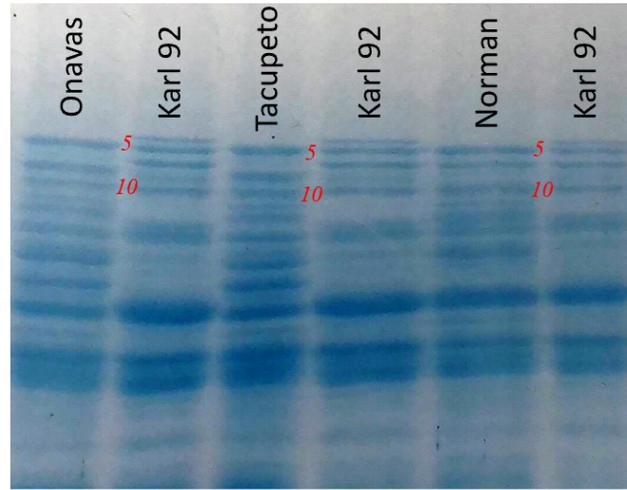


Figura 2. Electroforegrama (SDS-PAGE) de trigo entero molidao Onavas: *Triticum Aestivum* var. Onavas; Karl 92: Estándar Karl 92; Tacupeto: *Triticum Aestivum* var.Tacupeto; Norman: *Triticum Aestivum* var. Norman.

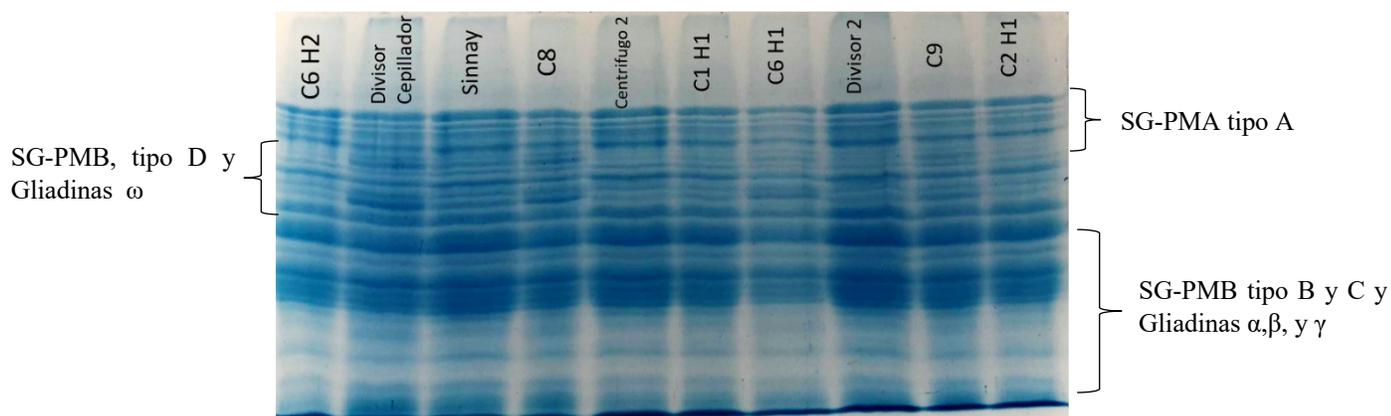


Figura 3. Electroforegramas de proteínas totales, de harinas de corrientes de molienda. C6 H2: harina 2; Divisor Cepillador; Sinnay: Producto final; C8: Corriente 8; Centrifugo 2; C1 H1: Corriente 1 Harina 1, C6 H1: Corriente 6 Harina 1, Divisor 2, C9: Corriente 9, C2 H1: Corriente 2 Harina 1. SG-PMA, subunidades de gluteninas de peso molecular alto; SG-PMB, subunidades de gluteninas de peso molecular bajo.

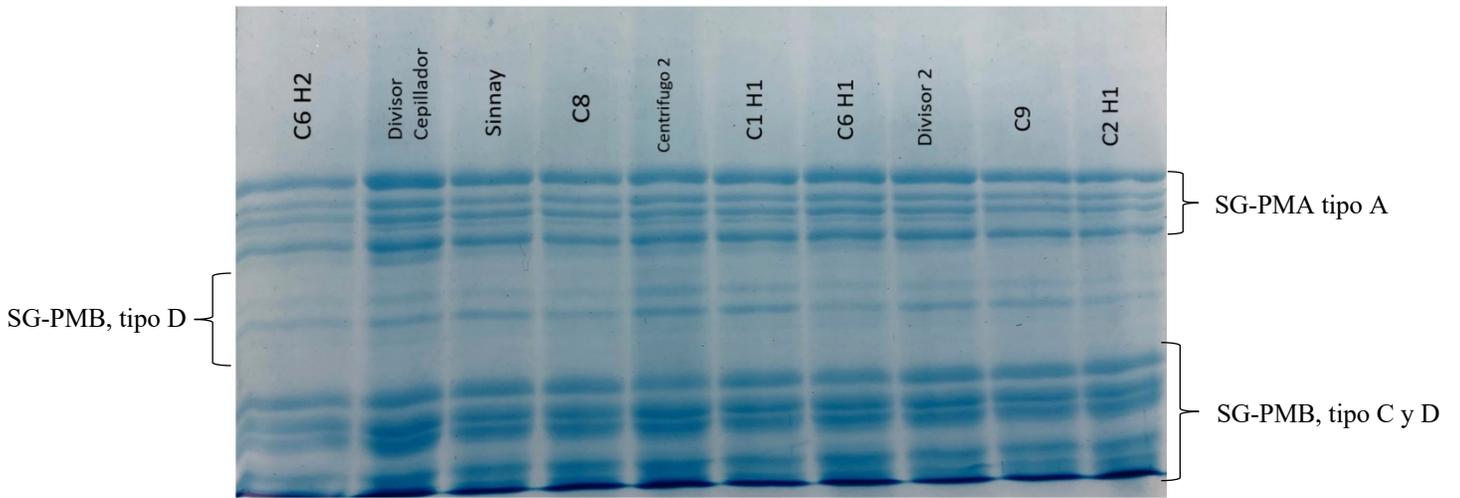


Figura 4. Electroforegramas de proteínas de harinas de trigo de diferentes corrientes, en donde se removieron albúminas, globulinas y gliadinas. C6 H2: Corriente 6 Harina 2; Sinnay: Producto comercial; C8: Corriente 8; C1 H1: Corriente 1 Harina 1; C6 H1: Corriente 6 Harina 1; C9: Corriente 9; C2 H1: Corriente 2 Harina 1. SG-PMA, subunidades de gluteninas de peso molecular alto; SG-PMB, subunidades de gluteninas de peso molecular bajo.

incluyen las gliadinas. El electroferograma de la figura 4 muestra la separación de las subunidades de gluteninas; no se encontraron diferencias en cuanto a presencia de las subunidades tipo D, pero si en la intensidad, y estos resultados confirman que la diferencia cualitativa más importante entre las proteínas de las harinas de las diferentes corrientes se da en las gliadinas omega. Wang y col. (2007) realizaron electroforesis con diferentes porcentajes de acrilamida cuantificando las proporciones de subunidades a una mezcla de 3 granos donde se tomaron muestras a 18 corrientes en un molino comercial harinero. Ellos concluyeron que los rodillos de rompimiento contienen las subunidades ideales para la panificación.

Cromatografía Líquida de Exclusión Molecular de Alto Rendimiento

A través de la cromatografía líquida de exclusión molecular, se identificaron en todos los cromatogramas 4 fracciones diferentes que son: gluteninas solubles (proteína soluble), gliadinas, albuminas y globulinas. Esto se pudo identificar comparándose con el trabajo de Bean y col. (1998), donde se presentó cada una de estas fracciones.

En las figuras 5, 6, 7 y 8 se muestra las diferentes distribuciones proteicas obtenidas en los pasajes T1, C4, Div 2 y Sinnay (producto final). Se observa claramente patrones cromatográficos diferentes, se tienen diferencias cualitativas en las proteínas solubles y no solo cuantitativas. Sutton & Simmons (2006) reportaron un análisis de proteínas de trigo suave por cromatografía líquida de exclusión molecular a corrientes de un molino harinero piloto donde tomaron muestras de 14 corrientes 4 de ellos rodillos de trituración. En ese estudio (Sutton & Simmons 2006) se demostró que la distribución proteica es diferente y que la fracción soluble de la glutenina y gliadinas es mayor en los rodillos de trituración, específicamente en el T1 y T2, y entre el T3 y T4 se reportó un descenso, esto debido al tipo de molino empleado, además de la variedad de los granos.

Comparando los cromatogramas (ver en anexos) y los resultados de su porcentaje de área en la tabla 3, los rodillos de trituración (T1, T2, T3), las corrientes de purificación (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9) y reducción (Divisores, D, Centrifugas) cuentan con una distribución proteica diversa en las harinas, mostrando variación en su calidad, esto pudiera indicar la aplicación de estas harinas para elaborar productos específicos de panificación. Una diferencia

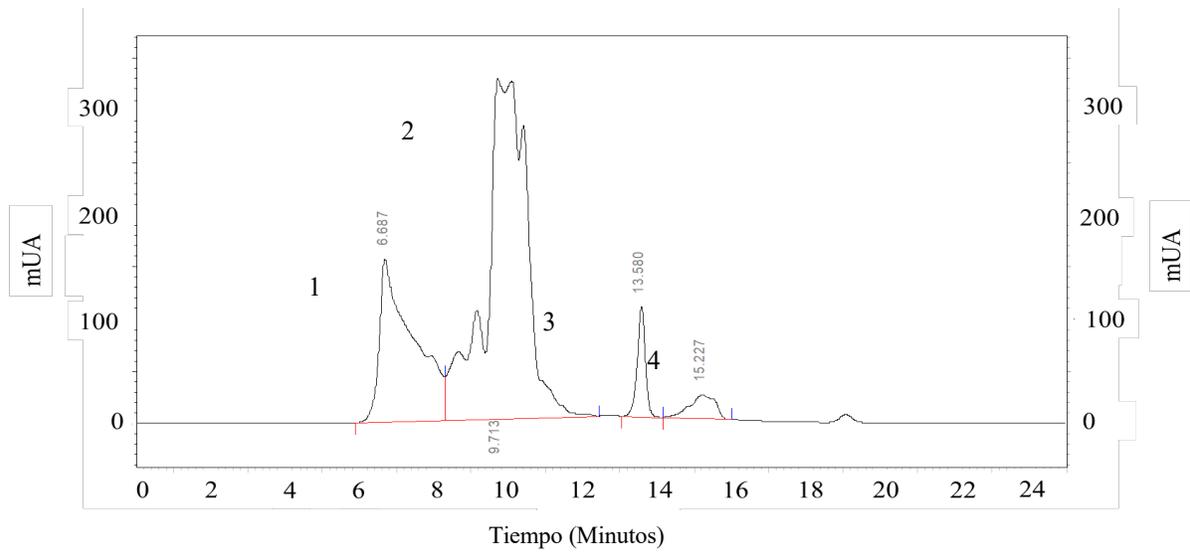


Figura 5. Cromatografía líquida de exclusión molecular de las corrientes de trigo; T1: Triturador 1. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas

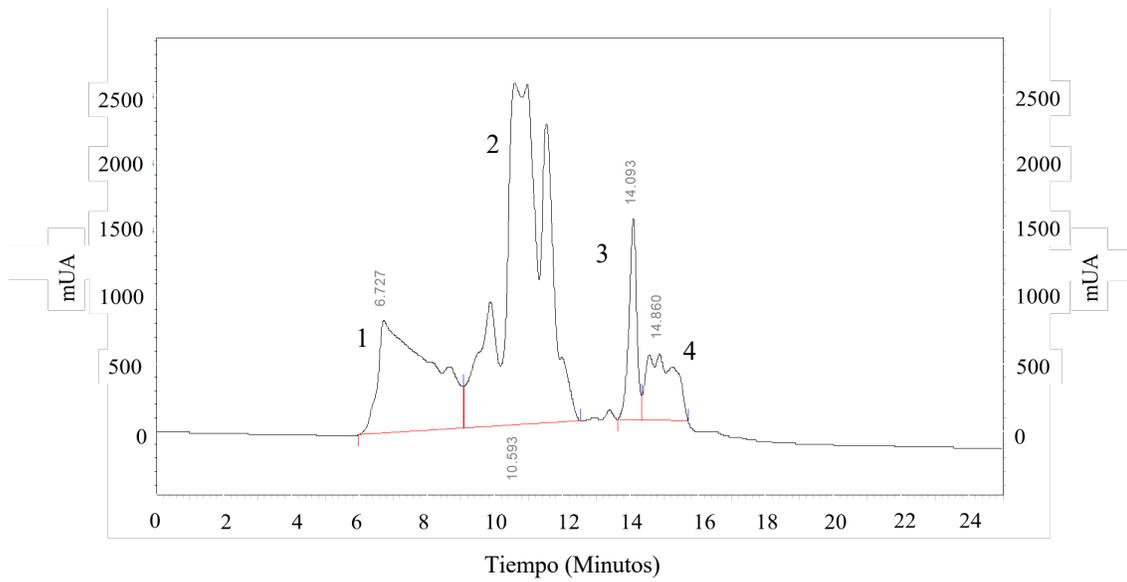


Figura 6. Cromatografía líquida de exclusión molecular de las corrientes de trigo; C4: Corriente 4. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas

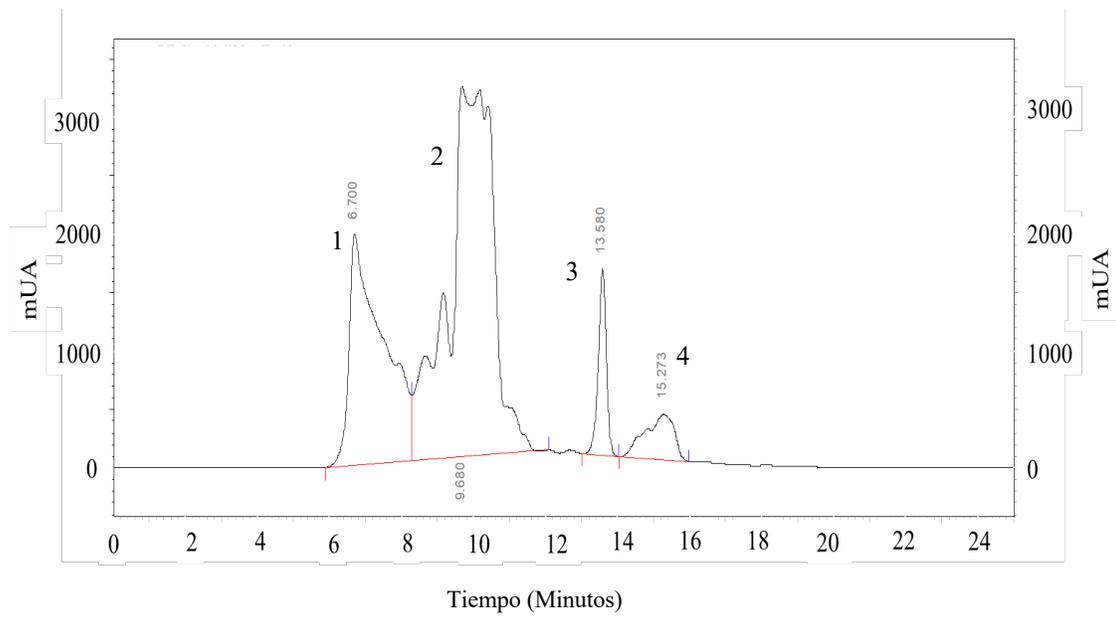


Figura 7. Cromatografía líquida de exclusión molecular de las corrientes de trigo;
Div. 2: Divisor 2. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas

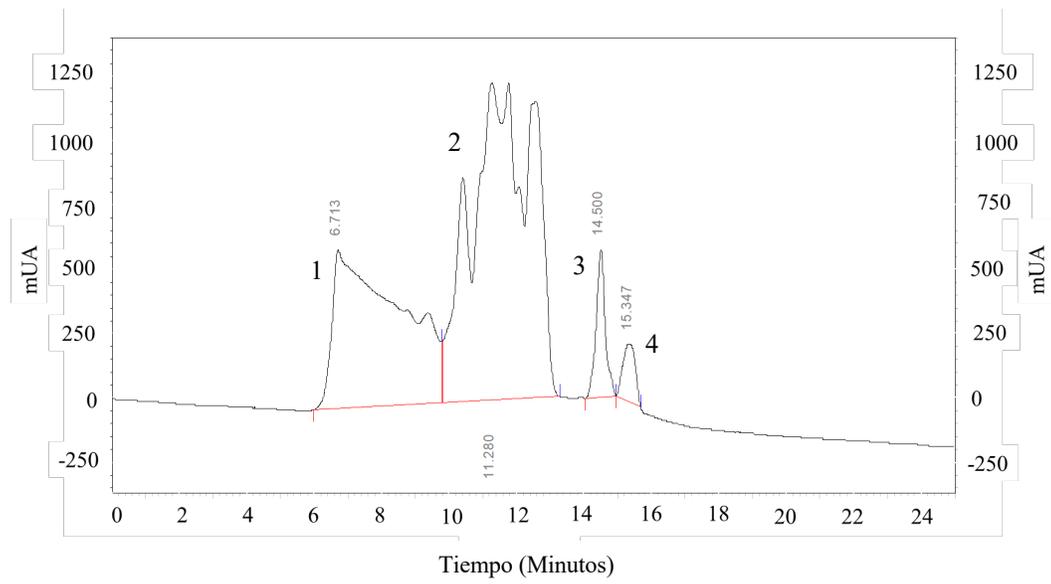


Figura 8. Cromatografía líquida de exclusión molecular de las corrientes de trigo; Sinnay: El producto comercial. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas

Tabla 2. Área bajo la curva de las fracciones identificadas a través de la cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento.

Corrientes de Harina	PPS (10⁻⁷ UA)	Gliadinas (10⁻⁷ UA)	Albuminas (10⁻⁶ UA)	Globulinas (10⁻⁶ UA)
T1 U.C.	15.6 efg	35.86 abcd	23.47 g	16.59 def
T2 U.C.	15.81 cde	35.17 bcdef	21.49 gh	18.34 cdef
T3 U.C.	18.03 a	36.73 abc	22.66 g	13.55 def
C1 H1	13.28 hij	34.88 cdefg	19.46 hi	13.14 def
C2 H1	13.83 fghij	32.66 fgh	20.03 hi	18.78 cdef
C2 H3	13.67 ghij	33.81 defg	20.23 h	13.97 def
C3 H1	13.22 hijk	35.68 abcd	21.36 gh	19.05 cdef
C3 H2	13.46 ghij	35.35 abcde	19.66 hi	13.49 def
C3 H3	13.90 fghij	35.72 abcd	20.36 h	14.44 def
C4 U.C.	11.92 kl	29.61 i	32.15 d	38.08 cde
C5 H1	13.93 fghij	35.99 abcd	18.00 i	11.80 def
C5 H2	13.19 ijk	32.46 gh	20.33 h	75.95 ab
C6 H1	14.50 efg	35.52 abcd	41.08 b	51.01 abc
C6 H2	5.67 m	12.99 k	9.93 k	4.53 f
C7	15.05 def	37.64 ab	29.34 e	34.59 cdef
C8 U.C.	12.85 jk	32.86 efgh	28.39 ef	43.42 bcd
C9 U.C.	11.45 l	32.68 fgh	33.59 cd	50.89 abc
Div 1	14.17 fghi	36.17 abcd	22.94 g	15.62 def
Div 2	17.1 abc	37.94 a	32.74 cd	29.46 cdef
Div. C	16.1 bcd	36.20 abcd	34.87 c	27.36 cdef
Centrifugo 2	17.26 ab	29.21 i	26.33 f	21.21 cdef
CDF	11.01 l	31.06 hi	44.27 a	78.16 a
D1 U.C.	13.42 ghij	34.59 cdefg	19.85 hi	12.81 def
Sinnay	11.31 l	21.03 j	14.36 j	7.54 ef

Nota: PPS: Proteína Polimérica Soluble; T1: Triturador 1; T2: Triturador 2; T3: Triturador 3; C1 H1: Corriente Harina 1; C2 H1: Corriente 2 Harina 1; C2 H3: Corriente 3 Harina 3; C3 H1: Corriente 3 Harina 1; C3 H2: Corriente 3 Harina 2; C3 H3: Corriente 3 Harina 3; C4: Corriente 4; C5 H1: Corriente 5 Harina 1; C5 H2: Corriente 5 Harina 2; C6 H1: Corriente 6 Harina 1; C6 H2: Corriente 6 Harina 2; C7: Corriente 7; C8 U.C: Corriente 8; C9: Corriente 9; CDF: Centrifugo de fuerza; Div 1: Divisor 1; Div 2: Divisor 2; Div C: Divisor Cepillador; D1: Reductor 1; Sinnay: Producto final; Dentro de una columna, promedios con la misma letra no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$).

evidente ($p < 0.05$) es el producto final Sinnay y el T3, donde se observa que la proporción de proteínas solubles (PS) en estos resultados es mayor en la corriente T3 que en los primeros rodillos donde se encuentra una mayor proporción de gliadinas y gluteninas basándonos en el análisis de sus porcentajes de área en la tabla 2, estos resultados, en general, indican que el producto final contiene una calidad diferente que las harinas provenientes de trituration, purificación y reducción respectivamente. Se debe tomar en cuenta que en el proceso industrial para el producto, harina Sinnay, se le añaden diferentes aditivos con el fin de mejorar sus características de panificación.

Albuminas y globulinas

En la tabla 2 se muestran los resultados del área bajo la curva, de los cromatogramas. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las fracciones proteicas, especialmente en las fracciones de globulinas y albuminas. La harina del centrifugo DF presentó la mayor cantidad de estas dos fracciones con 44.27×10^{-6} (UA) de albuminas y 78.16×10^{-6} (UA) de globulinas, mientras que las harinas con los valores menores ($p < 0.05$) fueron la muestra C6 H2 con valores de 9.93×10^{-6} (UA) de albuminas y 4.53×10^{-6} (UA) de globulinas. En el análisis multivariado de componentes principales, cuya gráfica se muestra en la Figura 8, se observa que existe una correlación fuerte de las variables de contenidos de ceniza (0.78), proteína total (0.67), albuminas (0.92) y globulinas (0.55) con relación al Factor 1 (F1). Lo que indica que las muestras de contenido más alto de ceniza y proteína total, presentaran un alto contenido de albuminas y globulinas. En estas harinas, en general con relación a las proteínas totales, gran parte de la proteína viene de la parte externa del grano, mientras que el mayor contenidos de gliadinas y PPS se encuentran en la parte interna (Tossi *et. al.* 2011).

Se ha reportado hasta el momento que la calidad panadera en diferentes variedades de trigo está relacionada a la fracción de gluteninas y gliadinas con una correlación negativa a albuminas y globulinas (Huebner *et. al.*, 1999). Dicha relación concuerda con el resultado obtenido con el análisis multivariado de la figura 9. Sutton & Simmons (2006), realizaron una prueba de calidad galletera (Cookie spread test) a 14 corrientes de un molino piloto con diferentes cultivos de trigo blando. Ellos evidenciaron una correlación negativa entre gluteninas vs albuminas y globulinas, similares a los resultados obtenidos en el presente trabajo.

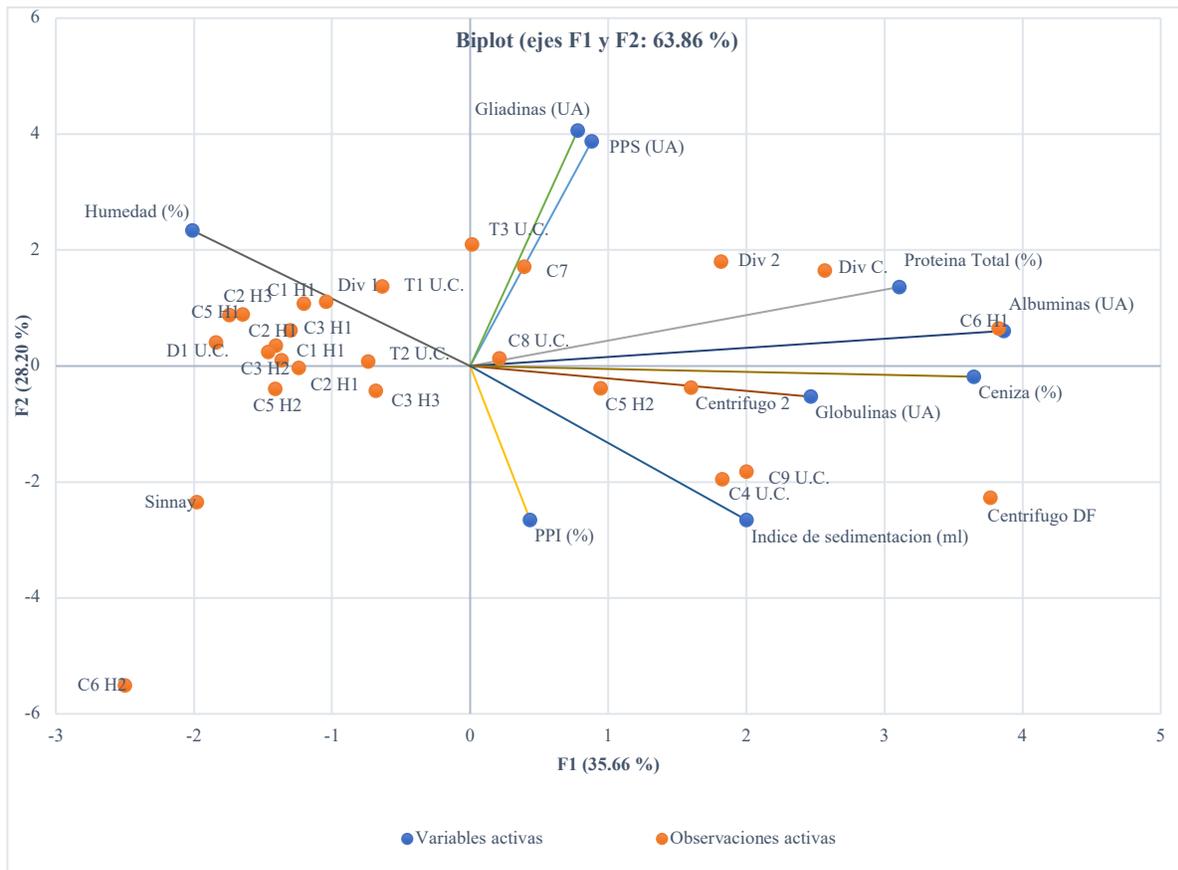


Figura 9. Análisis multivariado de componentes principales. Las dimensiones del análisis son: Humedad (%), PPS (proteína polimérica soluble UA), gliadinas (UA), proteína total (%), albuminas (UA), ceniza (%), globulinas (UA), índice de sedimentación (mL) y PPI (proteína polimérica insoluble %). Centrifugo DF: Centrifuga de fuerza, Centrifugo 2, C9 U.C.: Corriente 9 Única Corriente; C4: Corriente 4 única corriente; C6 H1: Corriente 6 Harina 1, C6 H2: Corriente 6 Harina 2, C1 H1: Corriente 1 Harina 1, T3 U.C.: Triturador 3 Única Corriente, T2: Triturador 2; D1: Reductor; C3 H3: Corriente 3 Harina 3; T1: Triturador 1; C3 H2: Corriente 3 Harina 2; C3 H1: Corriente 3 Harina 1; C2 H1: Corriente 2 Harina 1; C2 H3: Corriente Harina 3; Sinna: Producto final; Div. 1: Divisor 1; C5 H2: Corriente 5 Harina 2; C5 H1: Corriente 5 Harina 1; C8 U.C.: Corriente 8 Única corriente; C7: Corriente 7; Div 2: Divisor 2; Div C: Divisor Cepillador; (UA): Unidades de Absorbancia.

albuminas y globulinas que toman un papel importante de calidad en la producción de galletas, por lo que el resultado en corrientes con un contenido predominante de proteínas solubles sobre el contenido de las proteínas de reserva, podrían dar pie a una opción diferente de productos, por lo que es importante investigar su funcionalidad tomando en cuenta que esta harina proviene de un proceso complejo de molienda y que se produce con una mezcla de trigos panaderos (*T.aestivum*, hexaploide).

Proteína polimérica soluble y gliadinas

El área bajo las curva de los cromatogramas de exclusión molecular, en la separación de las fracciones proteicas solubles, proteína polimérica soluble (PPS) y gliadinas de las harinas, se muestran en la tabla 2. Se observaron diferencias significativas, ($p < 0.05$).

La harina con el mayor contenido de PPS ($p < 0.05$) fue la proveniente del sistema de trituración T3 con un contenido de 18.03×10^{-7} (UA), mostrando una tendencia de aumento en esta fracción proteica en el sistema de trituración desde el triturador 1 hasta llegar al 3. Esto, debido al flujo del subproducto que se encuentra en este sistema en constante rompimiento, aproximándose a la parte interna del grano, obteniendo estas fracciones presentes en las harinas (Wang *et al.*, 2007). La harina con el menor contenido de PPS, fue C6 H2 con un contenido de 5.67×10^{-7} (UA) %. Esta harina con valores bajos de PPS y gliadinas 12.99×10^{-7} (UA) y tomando en cuenta los valores de sedimentación (tabla 3), podemos decir que los valores de proteína polimérica insoluble (tabla 1) es mayor es mayor y potencialmente una harina con buena calidad panadera.

Los cambios significativos encontrados en las gliadinas y tomando en cuenta las otras variables, muestran resultados predictorios de funcionalidad diferente en los productos finales que se deseen obtener en cada una de estas corrientes o bien al realizar las mezclas de estas intentando conseguir diferentes productos. Esto se debe a que al modificarse el radio entre gliadinas y gluteninas se ve afectada la funcionalidad del producto final (Sutton *et al.* 2006).

Índice de Sedimentación

En la tabla 3 se puede observar los resultados del índice de sedimentación. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las harinas de las corrientes de trigo, mostrando valores

Tabla 3. Índice de sedimentación de las harinas de trigo

Corrientes de Harina	mL
T1	14k
T2	18i
T3	18.811h
C1	19.87g
C2 H1	12.74m
C2 H3	12.74m
C3 H1	13.86l
C3 H2	13.86l
C3 H3	14k
C4	30d
C5 H1	11.76p
C5 H2	11.76p
C6 H1	26.73e
C6 H2	26.46f
C7	10.78r
C8	11q
C9	30.3c
Div 1	11.88o
Div 2	8.91s
Div C.	4.9t
Centrifugo DF	41a
Centrifugo 2	30.9b
D1	17j
Sinnay	12n

Nota: T1: Triturador 1; T2: Triturador 2; T3: Triturador 3; C1 H1: Corriente Harina 1; C2 H1: Corriente 2 Harina 1; C2 H3: Corriente 3 Harina 3; C3 H1: Corriente 3 Harina 1; C3 H2: Corriente 3 Harina 2; C3 H3: Corriente 3 Harina 3; C4: Corriente 4; C5 H1: Corriente 5 Harina 1; C5 H2: Corriente 5 Harina 2; C6 H1: Corriente 6 Harina 1; C6 H2: Corriente 6 Harina 2; C7: Corriente 7; C8: Corriente 8; C9: Corriente 9; CDF: Centrifugo de fuerza; Div 1: Divisor 1; Div 2: Divisor 2; Div C: Divisor Cepillador; D1: Reductor 1; Sinnay: Producto final; Dentro de una columna, promedios con lamisma letra no mostraron diferencias significativas ($p>0.05$).

desde 4.9 a 41 mL. Esta prueba fisicoquímica no muestracambios en relación al flujo del grano y subproductos en el proceso de molienda; sin embargo, en cuanto su comportamiento de sedimentación y los resultados de proteína total, anteriormente evaluados, se encuentra una correlación positiva con la cantidad de proteína total. Estos resultados se contradicen en parte con los encontrados por Sakhare y col. (2015), donde se obtuvieron índices de sedimentación de 41-61mL en 12 corrientes de trigo provenientes del sistema de rompimiento, purificación y reducción, mientras que la harina proveniente del T4 obtuvo el valor más alto de índice de sedimentación con 61ml, a causa de que se encuentra un mayor valor en esta corriente de gluten seco. Sin embargo, el proceso de molienda que se evaluó en dicho estudio es diferente, y se obtuvieron mejores resultados de calidad proteica y cantidad en el sistema de rompimiento, mientras que en nuestro estudio los resultados con mayor calidad y cantidad proteica se encuentran en los primeros rodillos de reducción. Considerando el índice de sedimentación como una prueba rápida para evaluar la hidratación proteica, la información obtenida en estos resultados en conjunto con los anteriores resultados de proteína sugieren una relación entre la cantidad total de proteínas y la fuerza que puede llegar a formar la masa de estas harinas debido a la hidratación proteica.

CONCLUSIONES

1. En las corrientes del sistema de reducción se encontraron las harinas con mejor distribución de las fracciones protéicas incluyendo la harina sinnay y también con valores más altos de los indicadores de panificación como son índice de sedimentación y contenido de proteína polimérica insoluble.
2. El índice de sedimentación mostró relación positiva con el contenido de globulinas y ceniza. Las harinas con mayor índice de sedimentación presentan mayor capacidad de hidratación proteica en especial, las corrientes con más alta extracción provenientes de los rodillos lisos.
3. El contenido de proteínas polimérica insoluble mayormente encontrado en el sistema de reducción, presenta una correlación negativa con el contenido de gliadinas y proteína polimérica soluble.
4. La harina comercial obtenida, Sinnay está relacionada con un alto contenido de proteína polimérica insoluble.
5. Las diferencias cualitativas más importantes en cuanto a la composición proteica de las harinas provenientes de las diferentes corrientes, se encuentran en la fracción de las gliadinas- ω .
6. Las harinas provenientes de los rodillos de trituración se relacionan en forma negativa con el índice de sedimentación contenidos de globulinas, cenizas, albuminas y proteína total.
7. Se confirma que al aumentar el nivel de extracción aumenta el contenido de ceniza, proteína total, albuminas y globulinas existiendo una correlación fuerte entre estos parámetros en las muestras de harina de trigo.

RECOMENDACIONES

1. Cuantificar el contenido proteico a traves de la cromatografia de alto rendimiento liquida con estandares internos de las proteinas evaluadas para aumentar la precision del conteo de proteinas.
2. Evaluar la funcionalidad de las harinas de menor calidad y considerarlas para elaboraci3n de diferentes productos adem3s de la panificaci3n (galletas, tortillas, harina de pastel).
3. Continuar con esta metodolog3a para establecer un modelo matematico de predicci3n en la calidad panadera.
4. Evaluar si es conveniente para la industria la producci3n de harinas de diferentes usos, provenientes de las diversas corrientes con esta combinaci3n de granos de trigo.

REFERENCIAS

- AACC (1999). *Approved Methods of the AACC*. American Association of Cereal Chemists: St. Paul, MN. EUA.
- Aghagholizadeh, R., Kadivar, M., Nazari, M., Mousavi, F., Azizi, M. H., Zahedi, M., & Rahiminezhad, M. R. (2017). Characterization of wheat gluten subunits by liquid chromatography–Mass spectrometry and their relationship to technological quality of wheat. *Journal of cereal science*, 76, 229-235.
- Autran, J.-C., Laignelet, B., and Morel, M.-H. (1987). Characterization and quantification of low-molecular-weight glutenins in durum wheats. Pages 266-283 in: *Proc. Int. Workshop on Gluten Proteins*, 3rd. R. Laszity and F. Bekes, eds. World Scientific: Singapore.
- Barak S., Mudgil D. Khatkar B.S. (2013). Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. Department of food technology, G.J. Univeristy of science and technology: Hisar 125001, Haryana, India.
- Bean, S. R., Lyne, R. K., Tilley, K. A., Chung, O. K., & Lookhart, G. L. (1998). A rapid method for quantitation of insoluble polymeric proteins in flour. *Cereal Chemistry*, 75(3), 374-379.
- Brütsch L., I. Huggler, Kuster S. Windhab E. J. (2017). *Industrial Roller Milling Process Characterization for Targeted Bread Quality Optimization*. Springer Science Bussines Media New York: USA.
- Campbell, G. M., Fang, C., & Muhamad, I. I. (2007). On predicting roller milling performance VI: Effect of kernel hardness and shape on the particle size distribution from first break milling of wheat. *Food and Bioproducts Processing*, 85(1), 7-23.
- CANIMOLT. (2016). Reporte Estadístico. Recuperado de: URL (<http://canimolt.org/wp-content/uploads/2018/05/Canimolt2016-190717.pdf>).
- Cruz Martinez E., Espitia Rangel E., Benitez Riquelme I., Peña Bautista J., Santa Cruz A., Villaseñor Mir H. (2011). Effect of different high molecular weight glutenin alleles of a and b genomes of bread wheat on rheological properties and bread volume of bread wheat. *Agrociencia: México*.
- Daniel, C., and Triboi, E. (2001). Isolation of wheat grain compartments and their protein composition. *Cereal research communications: France*.
- Delcour J.A., Joye I. J., Pareyt B., Wilderjans E., Brijs K., and Largain B. (2013). Wheat Gluten Functionality as a Quality Determinant in Cereal-Based Food Products. Laboratory of Food Chemistry and Biochemistry, and Leuven Food Science and Nutrition Research Center, Katholieke Universiteit Leuven, B-3001: Leuven, Belgium.

- Hook, S. C., Bone, G. T., & Fearn, T. (1982). The conditioning of wheat. The influence of varying levels of water addition to UK wheats on flour extraction rate, moisture and colour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 33(7), 645-654.
- Hoseney R. C. (1991). *Principles of Cereal Science and Technology*. A.A.C.C.: St. Paul, Minnesota, USA.
- Huebner, F. R., Bietz, J. A., Nelsen, T., Bains, G. S., & Finney, P. L. (1999). Soft wheat quality as related to protein composition. *Cereal chemistry*, 76(5), 650-655.
- Johansson, E., Prieto-Linde, M. L., & Jönsson, J. Ö. (2001). Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. *Cereal Chemistry*, 78(1), 19-25.
- Kweon, M., Martin, R., & Souza, E. (2009). Effect of tempering conditions on milling performance and flour functionality. *Cereal chemistry*, 86(1), 12-17.
- Laemmli, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227, 880-685.
- Liu, Y., Ohm, J. B., Hareland, G., Wiersma, J., & Kaiser, D. (2011). Sulfur, protein size distribution, and free amino acids in flour mill streams and their relationship to dough rheology and breadmaking traits. *Cereal chemistry*, 88(2), 109-116.
- Luliana, B., Georgeta, S., Violeta, I., & Iuliana, A. (2010). *Physicochemical and Rheological Analysis of Flour Mill Streams*. *Cereal Chemistry Journal: USA*.
- Nakai, Shuryo I., Modler Wayne H. (2000). *Food Proteins: Processing Applications*. Wiley-VCH, Inc.: United States of America.
- Nelson P.N., Mcdonald C.E. (1977). *Properties of Wheat Flour Protein In Flour From Selected Mill Streams*. A.A.C.C. St. Paul Minnesota: USA
- Okrajová A., Prieto-Linde M.L., Muchová Z., Johansson E. (2007). Protein Concentration and Composition in Wheat Flour Mill Streams. *Cereal Research Communication: Budapest, Hungria*.
- Osella A. C. Et. Al. (2006). *Wheat Milling: Comparative tests between experimental and commercial mills*. Instituto de Tecnología de Alimentos; Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral: Santa Fe-Argentina.
- Pareyt, B., Finnie, S. M., Putseys, J. A., & Delcour, J. A. (2011). Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*, 54(3), 266-279.
- Payne, P. I. (1987). Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread making quality. *Ann. Rev. Plant Physiology: USA*.
- Payne, P. I. (1986). Endosperm proteins. In: *Plant Gene Research: a Genetic Approach to Plant Biochemistry*. Springer-Verlag. New York.

- Pojic, M., Hadnadev, M., & Hadnadev, T.D. (2013). Gelatinization properties of wheat flour as determined by empirical and fundamental rheometric method. *European Food Research and Technology*, 237, 299–307.
- Pomeranz Y. (1988). *Wheat chemistry and technology*. A.A.C.C.: St. Paul, Minnesota, USA.
- Prabhasankar, P., Kumar, M. V., Lokesh, B. R., & Rao, P. H. (2000). Distribution of free lipids and their fractions in wheat flour milled streams. *Food Chemistry*, 71(1), 97-103.
- Prabhasankar, P., & Rao, P. H. (1999). Lipids in wheat flour streams. *Journal of Cereal Science*, 30(3), 315-322.
- Prabhasankar, P., Sudha, M. L., & Rao, P. H. (2000). Quality characteristics of wheat flour milled streams. *Food Research International: USA*
- Sakhare, S. D., Inamdar, A. A., Indrani, D., Kiran, M. M., & Rao, G. V. (2015). Physicochemical and microstructure analysis of flour mill streams and milled products. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 407-414.
- Schofield, J. D. (1994). Wheat proteins: structure and functionality in milling and breadmaking. In *Wheat* (pp. 73-106). Springer, Boston, MA.
- Shewry, P. R., N. G. Halford, and A. S. Tatham. (1992). High molecular weight subunits of wheat glutenin. *J. Cereal Sci: USA*
- Shewry, P. R. (2009). Wheat. *Journal of experimental botany: USA*. 60(6), 1537-1553
- Sutton K.H., Simmons L.D. (2006). Molecular Level Protein Composition of Flour Mill Streams from a Pilot-Scale Flour Mill and Its Relationship to Product Quality. *Cereal Chemistry: USA*.
- Tosi, P., Gritsch, C. S., He, J., & Shewry, P. R. (2011). Distribution of gluten proteins in bread wheat (*Triticum aestivum*) grain. *Annals of botany*, 108(1), 23-35.
- Wang Y.G., Khan K., Hareland G., Nygard G. (2007). Distribution of Protein Composition in Bread Wheat Flour Mill Streams and Relationship to Breadmaking Quality. A.A.C.C.: USA.

ANEXOS

Anexo 1: Tablas de análisis de varianza Contenido de humedad

Fuente	GL	F	Pr > F
Modelo	23	125.206	< 0.0001
Error	48		
Total	71		

Valores del análisis de varianza del contenido de humedad de las muestras de las corrientes del molino de trigo MUNSA para el producto Sinnay. GL: Grados Libertad; F: Valor crítico; Pr>F: Promedio mayor que valor crítico.

Contenido de cenizas

Fuente	GL	F	Pr > F
Modelo	23	442.632	< 0.0001
Error	48		
Total corregido	71		

Análisis de varianza del contenido de ceniza de las muestras de las corrientes del molino de trigo MUNSA para el producto Sinnay. GL: Grados Libertad; F: Valor crítico; Pr>F: Promedio mayor que valor crítico.

Contenido de proteínas

Fuente	GL	F	Pr > F
Modelo	23	1579.540	< 0.0001
Error	48		
Total	71		

Análisis de varianza del contenido de proteína de las muestras de las corrientes del molino de trigo MUNSA para el producto Sinnay. GL: Grados Libertad; F: Valor crítico; Pr>F: Promedio mayor que valor crítico.

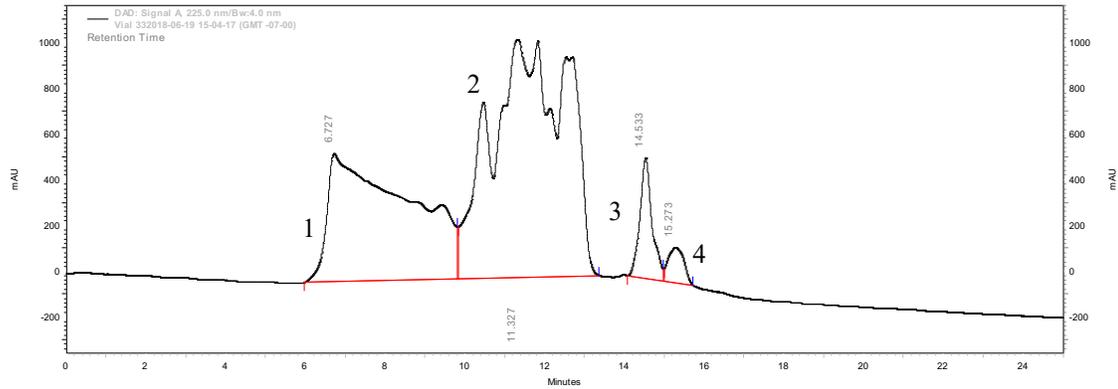
Índice de Sedimentación

Fuente	GL	F	Pr > F
Modelo	23	641362.637	< 0.0001
Error	48		
Total	71		

Análisis de varianza de índice de sedimentación de las muestras de las corrientes del molino de trigo MUNSA para el producto Sinnay. GL: Grados Libertad; F: Valor critico; Pr>F: Promedio mayor que valor critico.

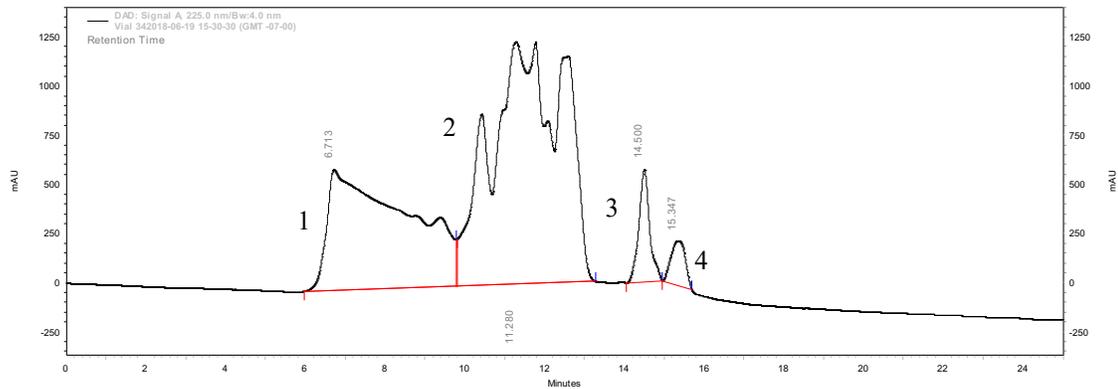
Anexo 2: Cromatogramas

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



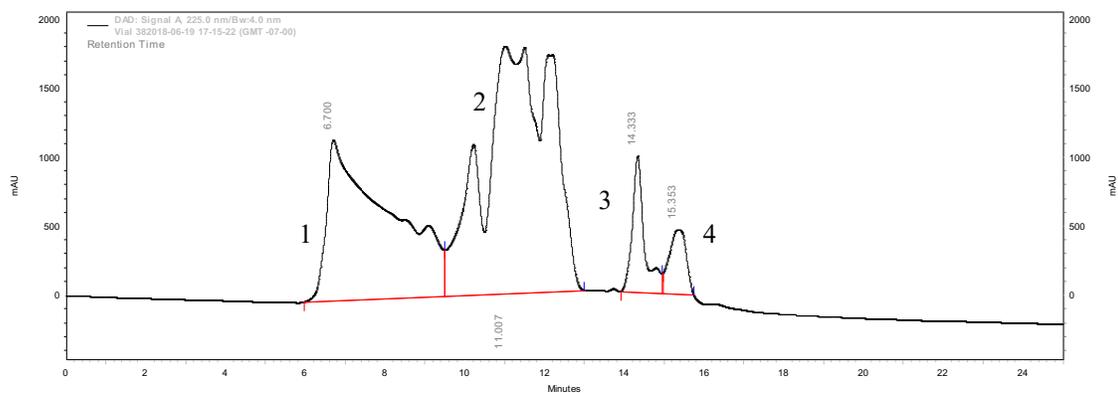
6 H2: Corriente 6 Harina 2. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



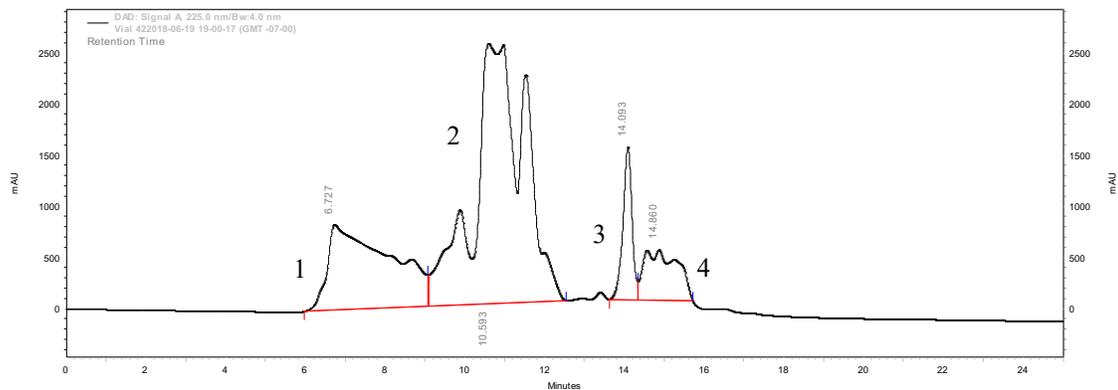
Sinnay: Mezcla de las harinas producidas en el molino comercial como producto final. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



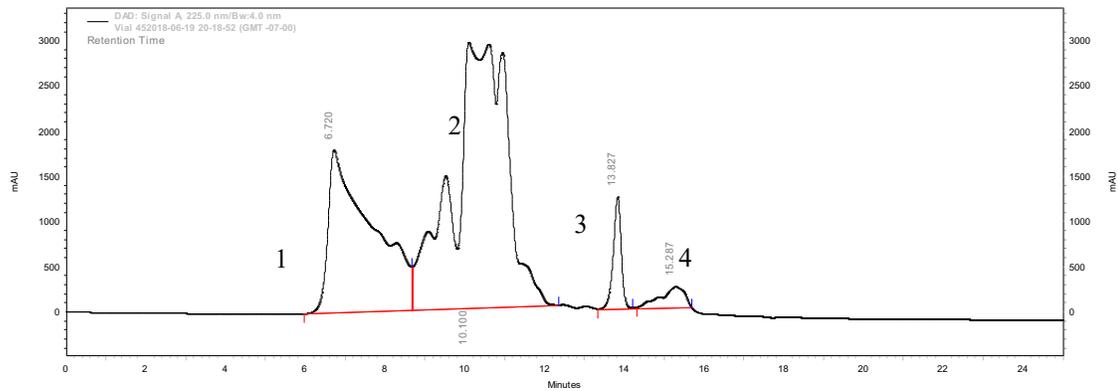
Centrifuga 2. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



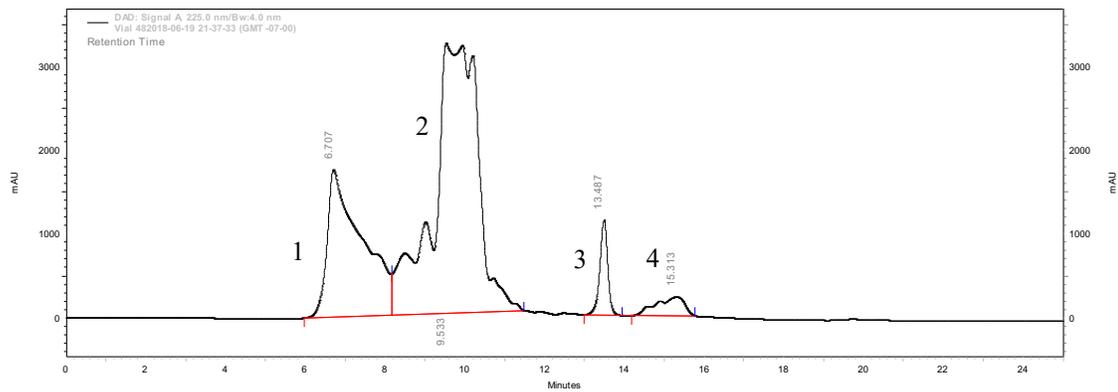
C4: Corriente 4 Única Corriente. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



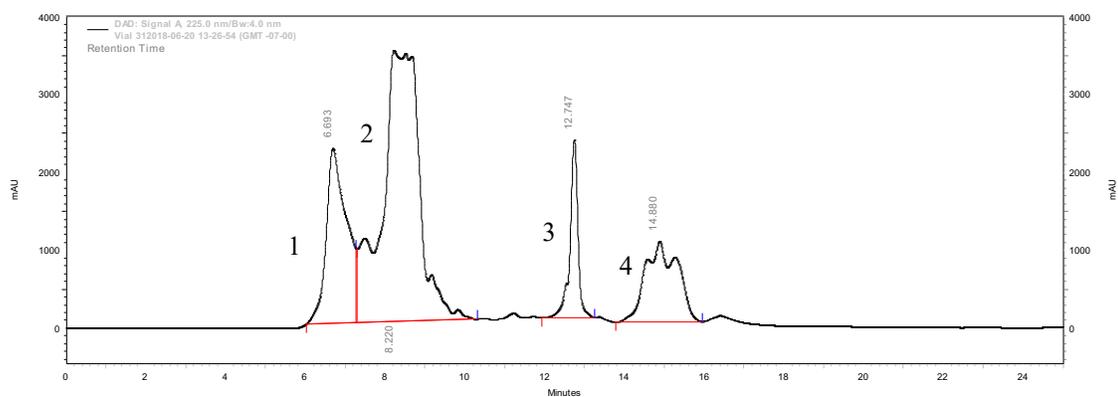
T3: Triturador 3. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



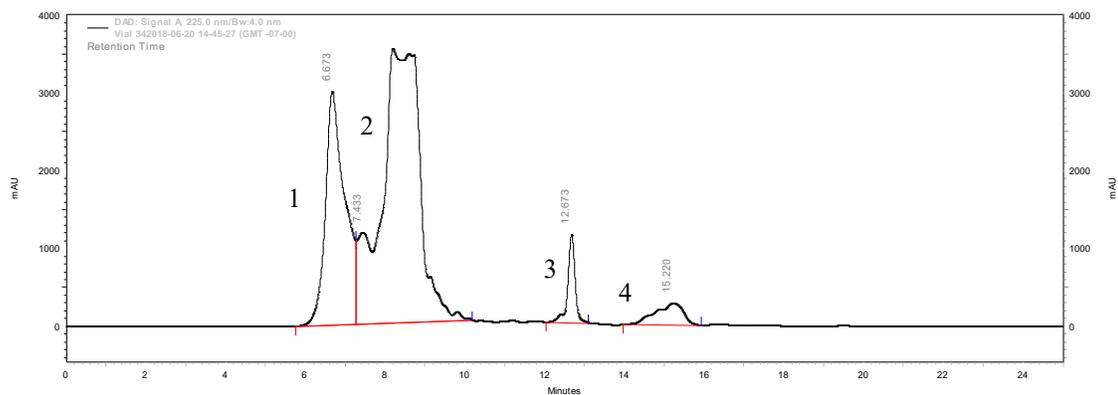
C2 H3: Corriente 2 Harina 3. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



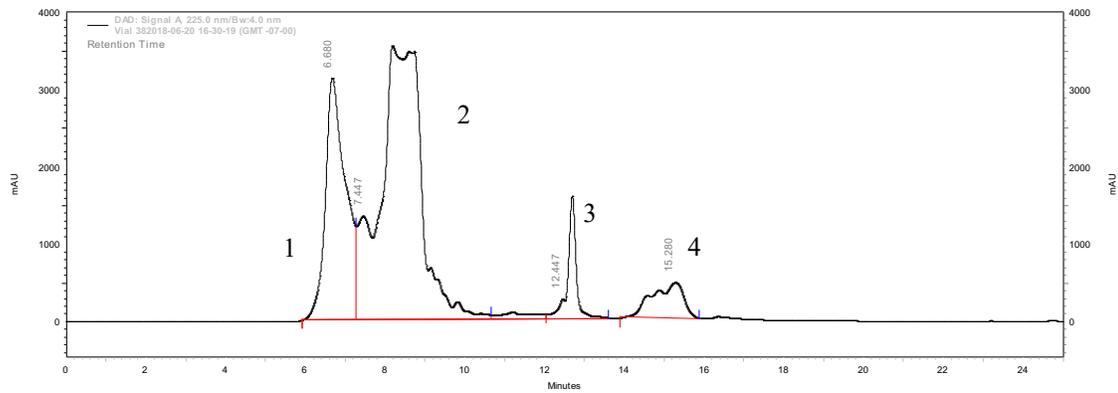
Centrifugo DF: Centrifuga de Fuerza. Nota: 1: Proteina Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



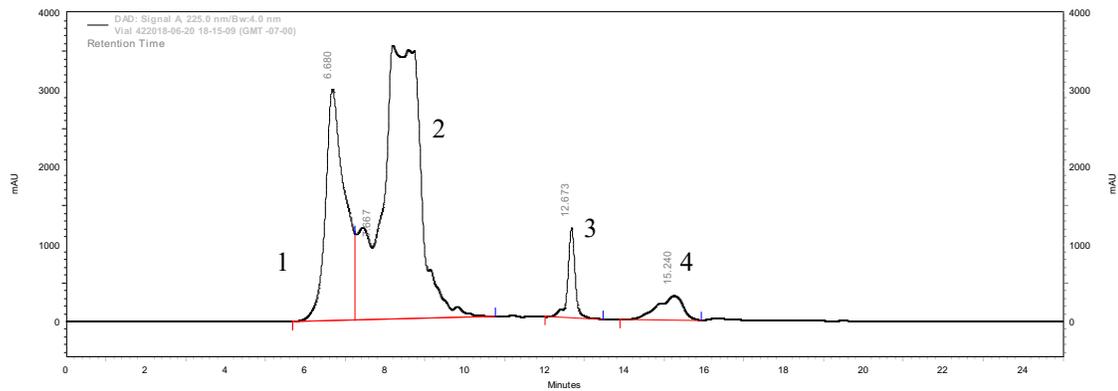
C2 H1: Corriente 2 Harina 1. Nota: 1: Proteina Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



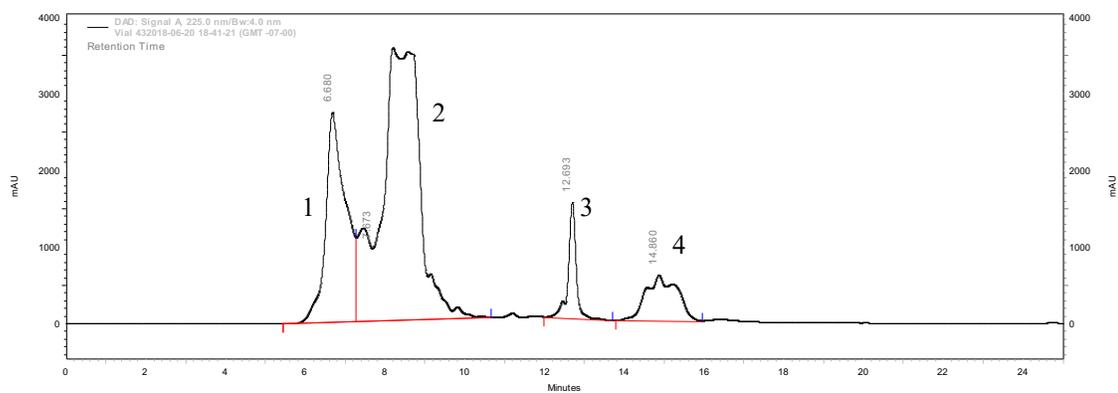
C7: Corriente 7. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



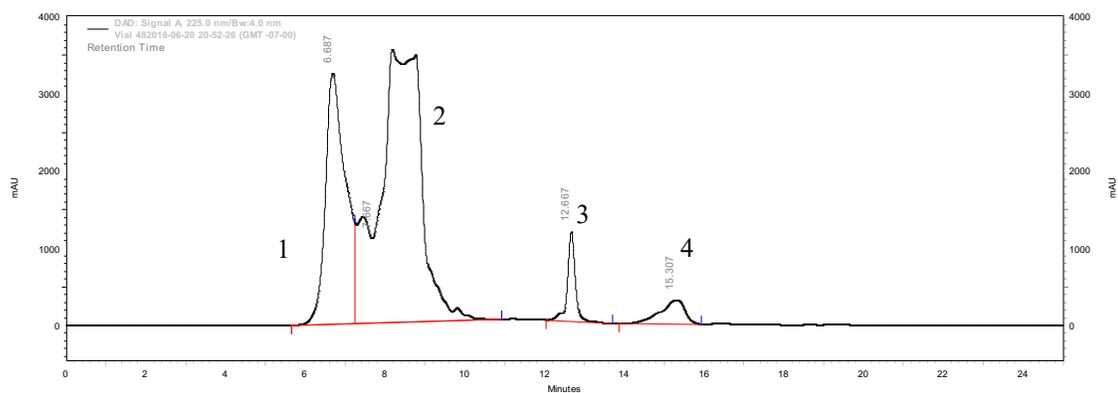
C5 H2: Corriente 5 Harina 2. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



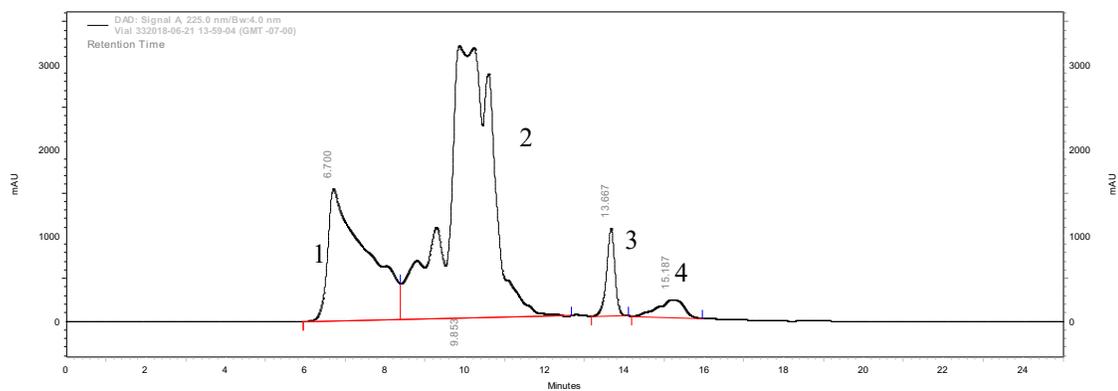
C8 U.C.: Corriente 8 Única Corriente. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



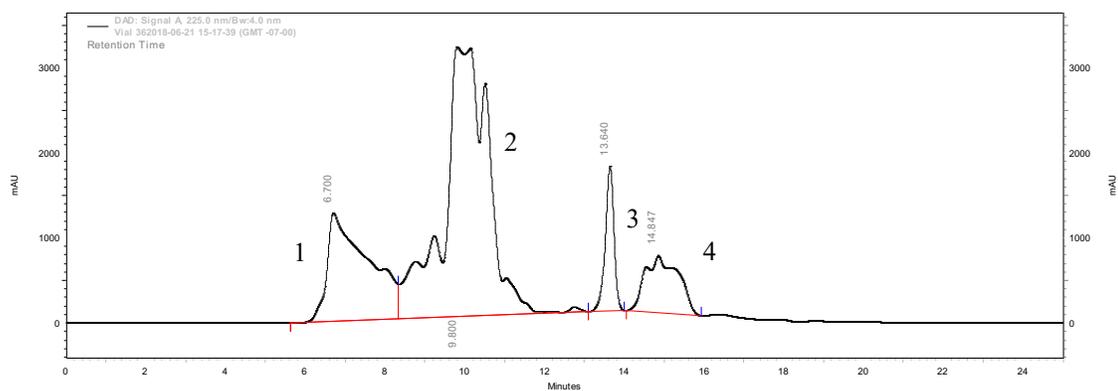
T2 U.C.: Triturador 2. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



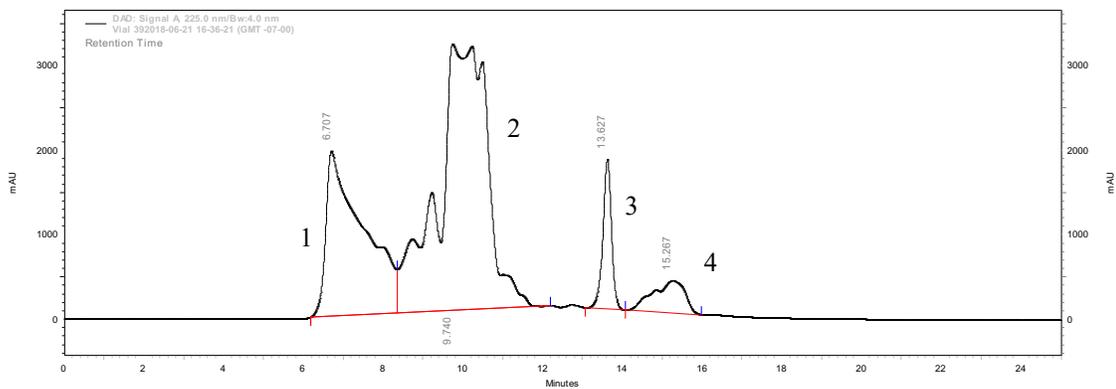
D1: Reductor. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



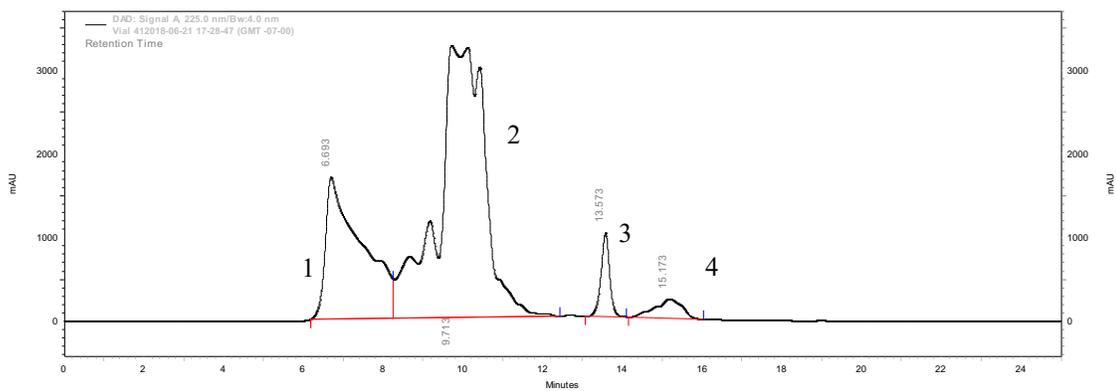
C9 U.C.: Corriente 9. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



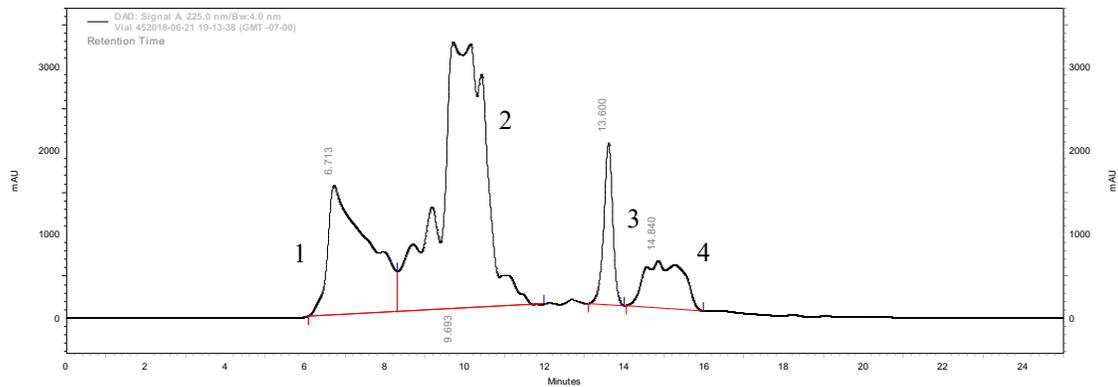
Div C: Divisor Cepillador. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



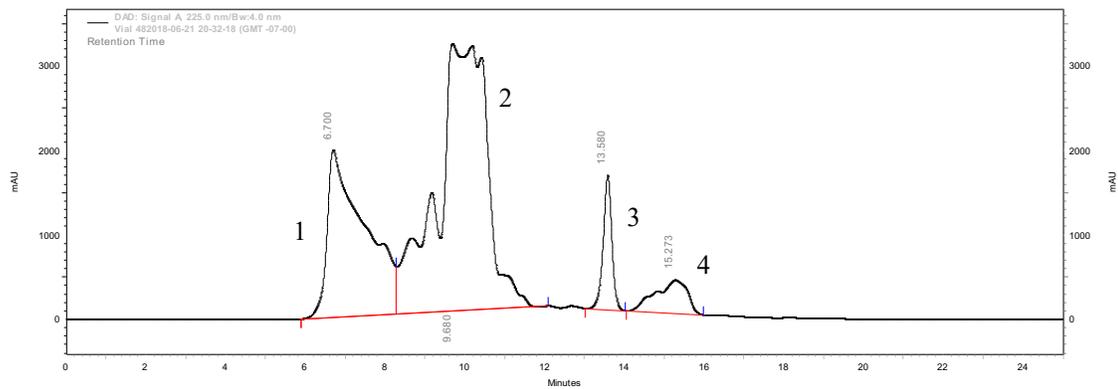
C3 H2: Corriente 3 Harina 2. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



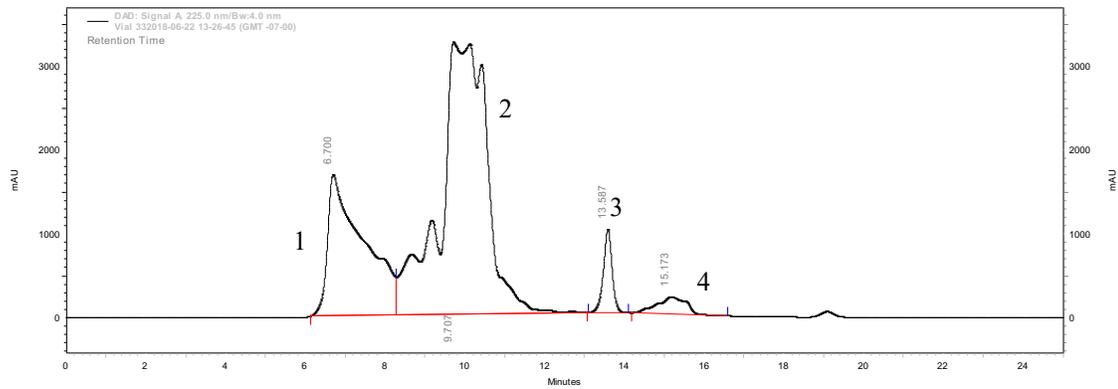
C6 U.C.: Corriente 6 Única Corriente. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



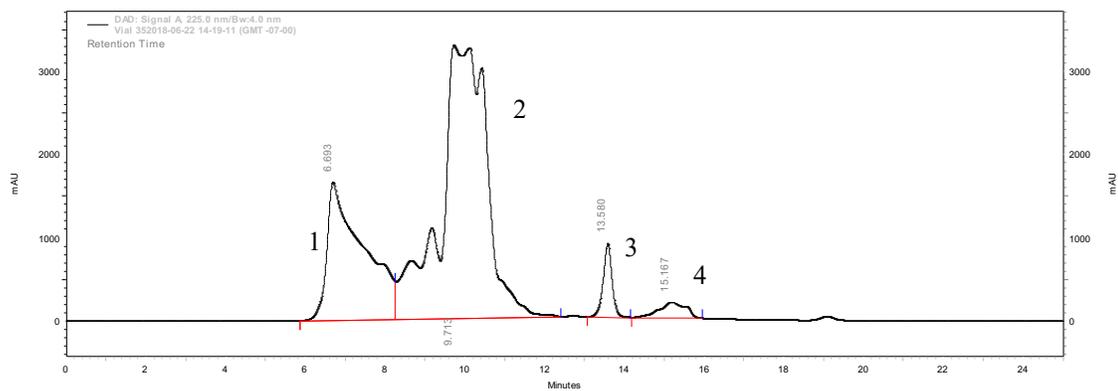
Div 2: Divisor 2. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



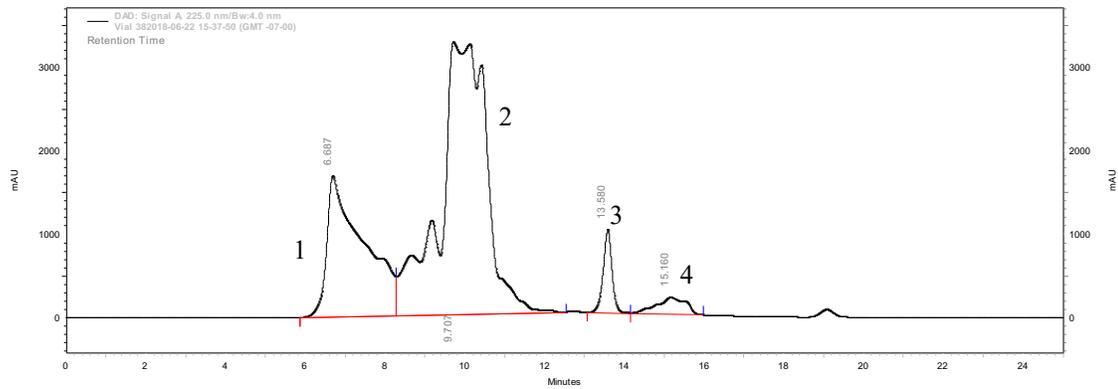
C3 H3: Corriente 3 Harina 3. Nota: 1: Proteina Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



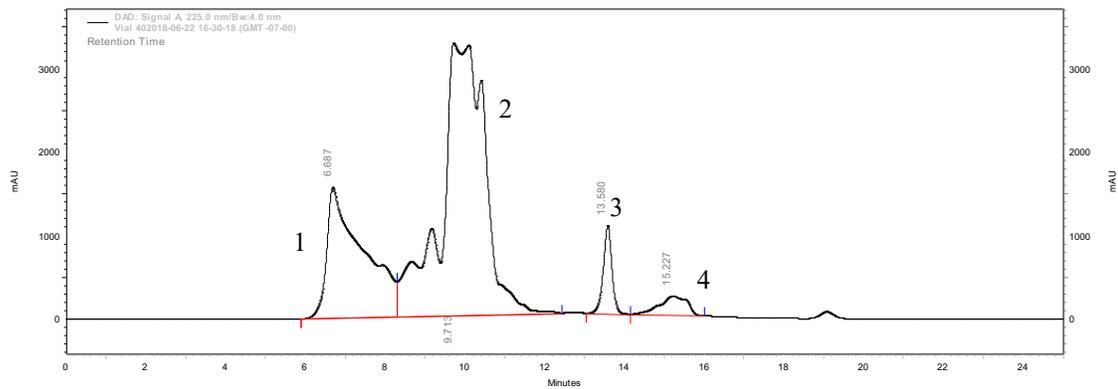
C5 H2: Corriente 3 Harina 3. Nota: 1: Proteina Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



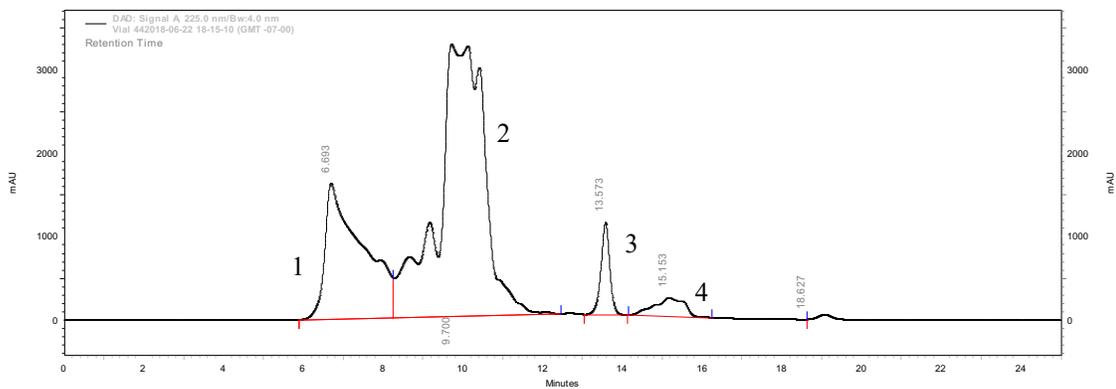
C1 H1: Corriente 1 harina 1. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



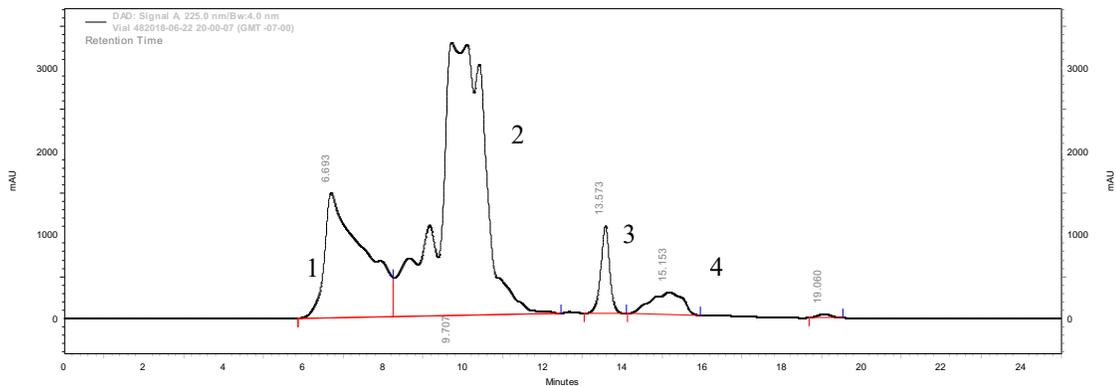
T1 U.C.: Tritrador 1 Unica Corriente. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



Div 1: Divisor 1. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

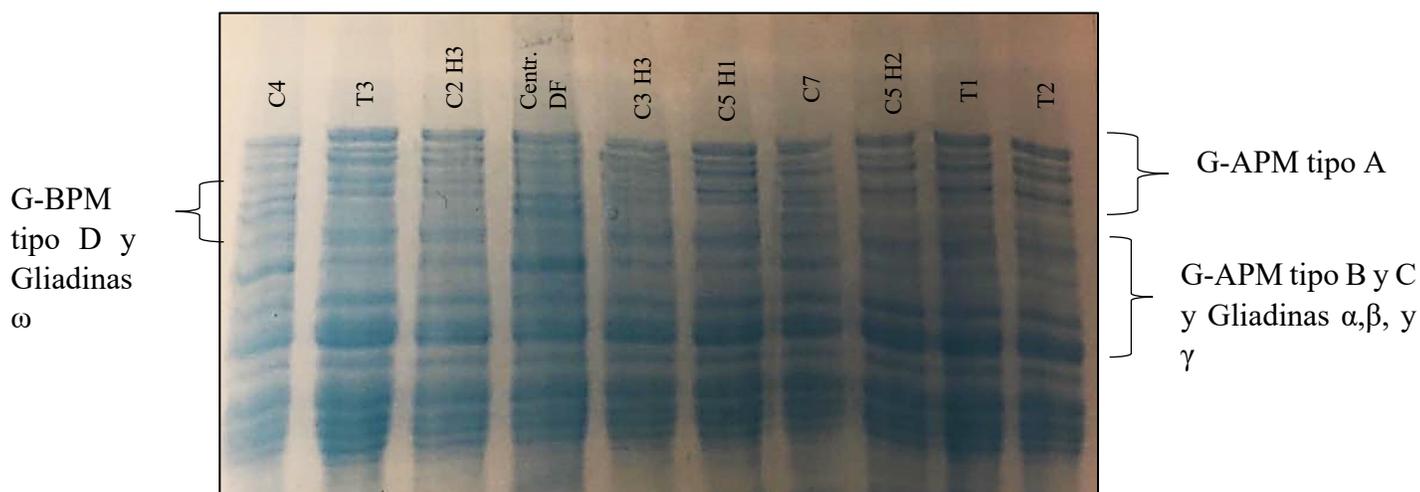
Cromatografía líquida de exclusión molecular de alto rendimiento



C3 H1: Corriente 3 harina 1. Nota: 1: Proteína Soluble (PS); 2: Gliadinas; 3: Albumina; 4: Globulinas.

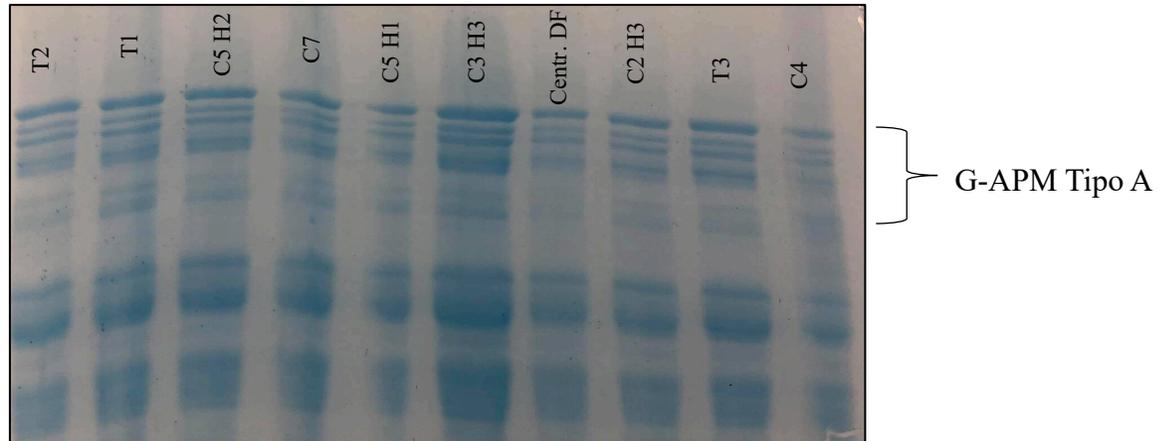
Anexo 3: Electroferogramas

Electroforesis (SDS-PAGE) de proteínas totales en las corrientes del
molino harinero



C4: Corriente reductora 4, T3: Triturador 3, C2 H3: Corriente reductora 2 harina 3, Centr. DF: Centrifuga de fuerza, C3 H3: Corriente reductora 3 harina 3, C5 H3: corriente reductora 5 harina 3, C5 H1: Corriente reductora 5 harina 1, C7: Corriente reductora 7, C5 H2: Corriente reductora 5 harina 2, T1: Triturador 1, T2: Triturador 2.

Electroforesis (SDS-PAGE) de subunidades de gluteninas en las harinas de las corrientes de molienda



T2: Triturador 2, T1: Triturador 1, C5 H2: Corriente reductora 5 harina 2, C7: Corriente reductora 7, C5 H1: Corriente reductora 5 harina 1, C3 H3: Corriente reductora 3 harina 3, Centr. DF: Centrifuga de fuerza, C2 H3: Corriente reductora 2 Harina 3, T3: Triturador 3, C4: Corriente reductora 4.