

Proteína de harinas de maíz, cebada, quinua, trigo nacional y papa: características y funcionalidad como sustitutos de la proteína de harina de trigo importado en la producción de pan y fideos

Liliana Cerda-Mejía^{1,2,4*}, Víctor Rodrigo Cerda Mejía², Araceli Pilamala Rosales¹, Carlos Moreno Miranda¹, Amaury Pérez Martínez^{2,3}

¹ Carrera de Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato. Campus Huachi. Av. de Los Chasquis. Ambato – Tungurahua – Ecuador.

² Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal Amazónica. Campus Central. Paso Lateral Km. 2 1/2 Vía a Napo, Troncal Amazónica E45. Puyo – Pastaza – Ecuador.

³ Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Facultad de Ciencias Aplicada a la Industria, Circunvalación Norte Km 5 1/2, Camagüey, Cuba.

⁴ Departamento de Genética, Microbiología y Estadística, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona, Av. Diagonal 643, 08028, Barcelona, España

lilianacerdamejia@gmail.com
lilianacerda@hotmail.com

Resumen

El trigo es uno de los cereales más importantes en la elaboración de pan, ya que la funcionalidad que poseen sus proteínas lo hace único. Se realizó análisis físico - químicos a todas las muestras de harinas que se seleccionaron. Con el fin de obtener una harina que se adapte a los procesos de elaboración de pan y pastas alimenticias. Se seleccionaron cinco harinas procedentes de cereales y un tubérculo (trigo, maíz, cebada, quinua y papa), el diseño experimental que se siguió fue el diseño de un solo factor completamente aleatorizado. Los parámetros que se utilizaron para determinar las características y la funcionalidad de las proteínas de estas harinas fueron la capacidad de retención de disolventes y la determinación de grupos disulfuro y sulfhidrilo, ya que estos se encuentran ligados directamente a la estructura cuaternaria y terciaria de las proteínas. Se estableció como mejores tratamientos a la harina de cebada cañicapa y el trigo nacional cojitambo. La presente investigación tuvo como objetivo determinar qué tipo de harina proveniente de distintos cereales (maíz, cebada, quinua, trigo nacional) y tubérculo (papa) podría sustituir a la harina de trigo según las características y funcionalidad de las proteínas en panificación y fideos.

Palabras claves: Proteínas, Características, Funcionalidad, Sustitución

Abstract

Wheat is one of the most important cereals in bread making, since the funcio-

nality that their proteins possess makes it unique. Physicochemical analyzes were performed on all samples of flours selected. In order to obtain a flour that suits the processes of making bread and noodles. Five flours from cereals and one tuber (wheat, maize, barley, quinoa and potato) were selected. The experimental design was the design of a single completely randomized factor. The parameters that were used to determine the characteristics and the functionality of the proteins of these flours were the capacity of solvent retention and the determination of disulfide and sulfhydryl groups, since these are directly bound to the quaternary and tertiary structure of the proteins. It was established as better treatments to the barley flour and the national wheat. The objective of this research was to determine which type of flour from different cereals (maize, barley, quinoa, domestic wheat) and tuber (potato) could substitute wheat flour according to the characteristics and functionality of the proteins in the elaboration of bread and noodles.

Keywords: Proteins, Characteristics, Functionality, Substitution.

Introducción.

Desde hace varios años el pan ha sido el principal constituyente de la dieta, el proceso de elaboración de panes fermentados y fermentados con levadura son conocidos como uno de los procesos biotecnológicos más antiguos del mundo. El trigo es el cereal más importante dentro de la panificación, en algunos lugares de mundo el uso del centeno es importante. Mientras que otros tipos de cereales se utilizan en menor medida. (Goesaert *et al.* 2005).

(Osborne 1924) introdujo una clasificación basada en solubilidad de proteínas vegetales usando extracción secuencial en la siguiente serie de disolventes: (1) agua, (2) solución de sal diluida, (3) alcohol y (4) ácido diluido o álcali. Utilizando este esquema de clasificación, las proteínas de trigo se clasificaron en las albúminas,

globulinas, gliadinas y gluteninas, respectivamente. Sin embargo, una fracción significativa de proteínas de trigo se excluye de las fracciones de Osborne porque no son extraíbles en todos los disolventes anteriormente mencionados. Investigaciones adicionales acompañadas de mejoras significativas en herramientas para el análisis bioquímico/genético mostraron gradualmente que el fraccionamiento de Osborne no proporciona una separación definida de proteínas de trigo que difieren bioquímicamente/genéticamente o en funcionalidad durante la panificación. (Goesaert *et al.* 2005)

Las proteínas no solo son fuentes de aminoácidos, sino que debido a su naturaleza polimérica, su presencia influye decididamente en las características reológicas del alimento, que hacen que éste sea más aceptado por el consumidor (Cherry 1998).

Una proteína puede tener una alta calidad nutritiva y sin embargo no poseer propiedades funcionales adecuadas para su incorporación en un determinado sistema alimentario o proceso. La funcionalidad de las proteínas es por lo tanto de gran importancia tecnológica, existiendo un gran interés por conocer los mecanismos implicados en la funcionalidad de las mismas, para de esta forma, poder modificarlas y extender su rango de aplicabilidad (Badui Dergal *et al.* 1993).

Una de las propiedades funcionales que presentan las proteínas se debe a sus grupos ionizables carboxilo, amino, disulfuro y otros, los aminoácidos son capaces de desarrollar una carga (+) o (-) de acuerdo con el pH en el que se encuentren, es decir, su carácter anfotérico les confiere la capacidad de recibir y de donar electrones, esta situación hace que exista un estado químico conocido como punto isoeléctrico o de doble ión. (Badui Dergal *et al.* 1993).

El trigo se usa fundamentalmente en la fabricación de los distintos derivados de panificación, ya que presenta la particularidad de que durante su fermentación se produce un esponjamiento, característica que solo el centeno comparte parcialmente ya que los demás cereales no la tienen (avena, sorgo, cebada, maíz, arroz, etc.)(Badui Dergal *et al.* 1993).

Esta capacidad de esponjamiento se debe principalmente a las proteínas, la harina de trigo contiene de un 10 a

12 por ciento de proteínas, que al igual que las del maíz, son básicamente glutelinas y prolaminas (Badui Dergal *et al.* 1993).

Las glutelinas del trigo reciben el nombre de gluteninas, mientras que las prolaminas, el de gliadinas y ambas suman 85 por ciento de la fracción proteínica; estas, junto con los lípidos y el agua forman el llamado gluten, responsable de las propiedades de cohesividad y de viscoelasticidad de la masa de panificación (Kinsella *et al.* 1986).

Las gliadinas solubles en etanol al 70 por ciento representan 50 por ciento del total de las proteínas, son una clase heterogénea de 40 – 60 polímeros que por electroforesis se han dividido en cuatro grupos (α , β , γ , ω), su conformación se estabiliza por enlaces disulfuro intramoleculares, al hidratarse forman una masa visco extensible (Zhou *et al.* 2014).

(Kobrehel *et al.* 1988) mencionan que el papel funcional de las proteínas de trigo, especialmente del gluten en la calidad panadera está bien establecido. Las propiedades específicas visco elásticas de la masa son usualmente explicadas por la presencia y la interacción de los grupos thiol y disulfuro.

(Flores 2014) mencionan que la harina de trigo es la única que posee proteínas que al mezclarse con agua o líquidos conteniendo agua forma una sustancia firme, gomosa y elástica denominada gluten. La proteína es un

factor determinante en las características tecnológicas del trigo, tanto en cantidad como en calidad. En la calidad desempeñan un rol relevante las proteínas de reserva, específicamente las gliadinas y las gluteninas, que durante el mezclado por acción del agua forman el gluten. Las gliadinas (cadena monomérica, de bajo peso molecular) presentan propiedades de plasticidad y las gluteninas (cadenas poliméricas, de alto y bajo peso molecular) de elasticidad. Ambas contribuyen a las propiedades visco-elásticas necesarias para un buen comportamiento de la masa durante la panificación, por la formación de una red tridimensional continua, llamada gluten. (Flores 2014)

Durante el proceso de elaboración de pan y fideos, se producen cambios dramáticos en las proteínas del gluten, ya que son probablemente una combinación de cambios en la hidrofobicidad superficial de la proteína, interpolaciones de sulfhidrilo/disulfuro y formación de nuevos reticulados disulfuros. Como resultado de estos cambios inducidos por el calor se forma la estructura de espuma típica del pan horneado. (Goesaert *et al.* 2005)

Consecuentemente, el objetivo del presente trabajo es determinar qué tipo de harina proveniente de distintos cereales (maíz, cebada, quinua, trigo nacional) y/o tubérculo (papa) podría sustituir a la harina de trigo según las características y funcionalidad de las proteínas en panificación y fideos.

Materiales y métodos

Se utilizó harina de trigo importado CWRS #1 y Hard Red Winter, como muestras control, las muestras provenientes de harinas de Cereales Nacionales como maíz, cebada, trigo, quinua y papa variedad Gabriela.

Como equipos se utilizó una centrifuga, incubadora, micro centrífuga, agitador magnético, baño termostático, balanza analítica, balanza infrarroja, material de vidrio como cajas petri, tubo de ensayo, vasos de precipitación, matraz erlenmeyer, probetas graduadas, tubos de centrifuga.

Metodología

Los análisis en las harinas se tomó en cuenta análisis físico – químicos como: El Porcentaje de Gluten (INEN-ISO 21415-1:2013 2013), Volumen de Sedimentación (INEN-ISO 5529:2013 2013), Perfil de Capacidad de Retención de Solventes (AACC 56 – 11), Absorción de Agua por Proteínas y Estabilidad de geles se utilizó los Métodos descritos por Pilosof *et al* (2000), para la Determinación de Grupos Disulfuro y Sulfhidrilo se utilizó el método de Beveridge *et al.* (1974), con una adaptación en el uso de urea en lugar de la mezcla Urea – GuHCl. El análisis bromatológico se realizó en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) donde se manejan los métodos de la AOAC (2005), además se utilizó un equipo de HPLC Shimadzu para determinar el perfil de aminoácidos.

Resultados y discusion

Determinación del porcentaje de gluten

Según Badui (1993), el gluten en su conjunto tiene una composición de aminoácidos de aproximadamente 6% ionizables, 45% polares y 49% apolares; el mismo que se caracteriza por su elevado contenido de prolina y de glutamina (ácido glutámico), 14% y 37%, respectivamente, del total de

aminoácidos. (Cerdea-Mejía 2010; Cerdea-Mejía *et al.* 2017)

En la figura 1 se presenta la diferencia en el porcentaje de gluten de las muestras de harinas de trigo importado (CWRS#1 y Hard Red Winter) con la harina de trigo nacional (Cojitambo), presentado esta última un valor igual a la mitad del que se reporta para la harina de trigo importado. (Cerdea-Mejía 2010; Cerdea-Mejía *et al.* 2017)

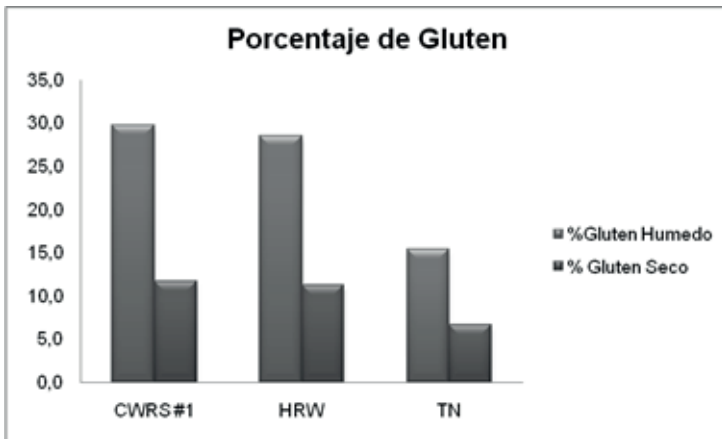


Figura 1. Porcentaje de Gluten. Fuente: (Cerdea-Mejía *et al.* 2017)

Los valores de porcentaje de gluten de la harina de trigo nacional Cojitambo fueron debido a que posee menor cantidad de proteínas por tanto menor cantidad de glutaminas (ácido glutámico) y prolaminas (prolina), responsables de la formación de la glutenina y la gliadina, respectivamente, proteínas responsables de la formación de gluten. (Cerdea-Mejía 2010; Cerdea-Mejía *et al.* 2017)

Las prolaminas son responsables de la viscosidad y extensibilidad, las gluteninas de las características elásticas del gluten, ya que se encuentran

en una fracción proteica de 69 y 16 gr./100 gr. de proteína, respectivamente. (Cerdea-Mejía 2010; Cerdea-Mejía *et al.* 2017)

En el caso del trigo nacional Cojitambo tiene un exceso de gliadina (prolina) en relación con las gluteninas, el gluten es débil, permeable y no es capaz de retener el CO₂ por lo tanto la masa en lugar de endurecerse colapsa. Un contenido de gluten menor al 20% da como resultado un deterioro de la masa durante el amasado y la cocción. (Cerdea-Mejía *et al.* 2017)

Determinación del volumen de sedimentación

Un parámetro asociado con la calidad de la proteína del trigo es el volumen de sedimentación que determina la capacidad de hidratación y expansión de la proteína del gluten en un medio ligeramente ácido. En la Figura 2, se presenta el volumen de sedimentación, el índice de sedimentación consiste en medir el volumen

de las partículas que se sedimentan (principalmente proteínas hinchadas que han absorbido agua) en una solución ácida de agua y ácido láctico. El volumen de sedimentación está condicionado por la cantidad y la calidad de proteínas que, al ser desnaturalizadas por el ácido láctico, la harina que tenga mayor calidad enlazará más agua, flotará y precipitará lentamente. (Cerde-Mejía *et al.* 2017)

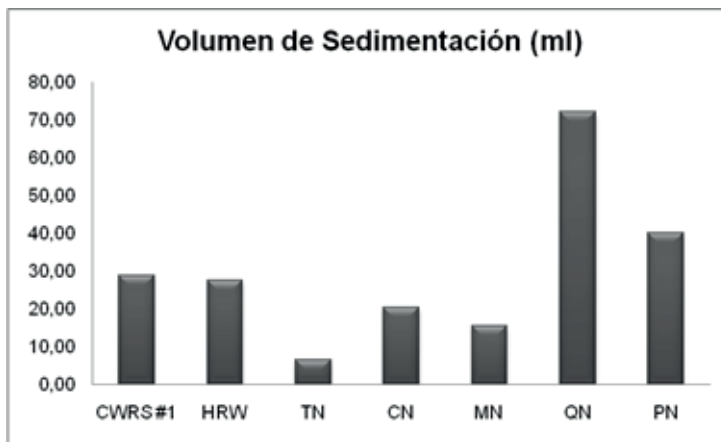


Figura 2. Volumen de Sedimentación (ml). Fuente: (Cerde-Mejía *et al.* 2017)

El volumen de sedimentación de las harinas de trigo importado son considerablemente altos por su contenido en gluteninas (glutaminas), que al entrar en contacto con la disolución de ácido láctico y alcohol isopropílico se desnaturalizan y absorben agua (Kobrehel *et al.* 1988). La harina de trigo nacional cojitambo al contener aproximadamente la mitad de glutaminas que el trigo importado presenta una menor desnaturalización, por lo que la acción del ácido láctico es menor y por lo tanto el volumen de sedimentación tiende a bajar. Las harinas de cebada, maíz, quinua y papa presenta-

ron valores de sedimentación altos, ya que se mide la absorción de agua por desnaturalización de las proteínas por la hidrólisis ácida a la que es sometida. Pero sobre todo en las muestras de harinas de papa y quinua el volumen de sedimentación que presentaron se debió a la cantidad de almidón que tienen, ya que el contenido de ácido glutámico no aportó en gran medida al volumen de sedimentación. Para estas harinas el almidón juega un papel muy importante, debido a que en el proceso de molienda sufre modificaciones, provocando un mayor contenido de almidón dañado y justificando

de esta manera el volumen de sedimentación que presentan. (Cerda-Mejía *et al.* 2017)

Determinación de la capacidad de retención de disolventes

Capacidad de retención de agua

La absorción de agua de una harina es un factor importante en la panificación ya que ella contribuirá a la calidad del producto, su vida útil y el rendimiento del proceso. Son varios los factores que inciden en este pará-

metro: grado de molienda, calidad y cantidad de gluten, porcentaje de almidón dañado, presencia de fibra.

En cuanto al %SRC H₂O se observa en el Figura 3, que ninguna de las muestras se encontró dentro de los parámetros que establece el método ya que para el uso en panificación el método indica un valor menor a 57, este valor se ve influenciado por todos los componentes de la harina como grasa, proteína, cenizas, fibra y la humedad de las muestras.



Figura 3. Capacidad de Retención de Agua. Fuente: elaboración propia

Los valores más altos del %SRC presentó la muestra de harina de papa, este valor en la muestra se debe a que esta harina fue precocida, por lo tanto la capacidad de absorción de agua de sus componentes es mayor.

Capacidad de Retención de Sacarosa

El % SRC sacarosa se vió afectado por los pentosanos (Figura 4), que

contenga la muestra de harina, para el caso de las muestras de harina de trigo importado CWRS#1 y el trigo Cojitaambo se encontró dentro del rango que establece el método, el mismo que recomienda que el valor para el proceso de elaboración de pan deber ser menor a 96 %, y la harina de trigo importado HRD se presenta 4 puntos fuera del valor establecido.

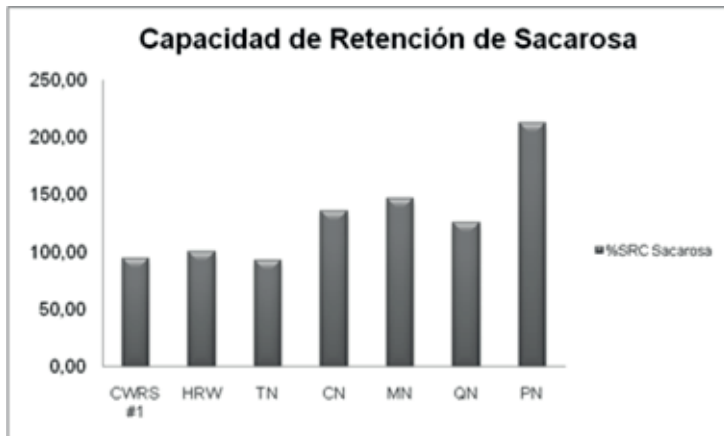


Figura 4. Capacidad de Retención de Sacarosa. Fuente: Elaboración propia

Estas muestras presentaron un porcentaje de pentosanos solubles entre 6.6 – 8.5% ya que los valores oscilan entre el 85 – 105 % SRC de sacarosa. En las muestras de harina de maíz, cebada, quinua y papa, los valores del SRC son altos, la harina de cebada en un promedio de 135.3%, la harina quinua con 146.1%, la harina de maíz con 125.3% y la harina de papa que presenta el valor masa alto con 211.9% de SRC sacarosa lo que indica que contienen aproximadamente un porcentaje de pentosanos solubles de 10.95, 11.82, 10.14 y 17.15 respectivamente.

Los pentosanos solubles modifican la reología de las masas, favoreciendo al volumen del pan aproximadamente en un 25%, mejora la extensibilidad de las masas y disminuye la elasticidad, pero sin la aparición de grietas, se obtiene migas más flexibles y con alveolos más parejos (Martínez-Crus *et al.* 2010).

Capacidad de Retención de Na_2CO_3

Un aumento de almidón dañado empieza produciendo un aumento del volumen del pan, debido a que la levadura tiene más azúcares en forma de maltosa disponible para su acción en consecuencia, si la red de proteína (gluten) encargado de retener el gas, lo soporta, el tamaño del pan será mayor.

Sin embargo, si se incrementa los niveles de almidón dañado, el volumen de pan comenzará a decrecer, porque la red de proteína (gluten) no será capaz de retener este mayor gas generado y empezará a aparecer porosidad en la masa durante la fermentación, perdiendo volumen y fuerza (Pérez Lumus & García Reina 2013).

El %SRC Na_2CO_3 (Figura 5) está influenciado por los niveles de almidón dañado que se encuentre en las muestras de harinas, ninguna muestra

se encuentra dentro de los valores que establece el método ya que este porcentaje para la utilización de las

harinas para la elaboración de pan se debe encontrar en cifras inferiores a 72.



Figura 5. Capacidad de Retención de Na₂CO₃.. Fuente: Elaboración propia

Las harinas en estudio presentaron valores de %SRC Na₂CO₃ promedio de 92.2, 78.8, 87.7, 102.5, 131.9, 92.7 y 252.3 correspondiendo cada valor a harina de trigo CWRS #1, hard red Winter, trigo cojitambo, cebada cañi-capá, quinua tuncahuan, maíz I – 122, y papa Gabriela.

En las harinas que presentaron valores hasta 75%, los niveles de almidón dañado se encuentran entre 5.5 – 9.8%, la misma será ideal para los procesos de panificación. Al contrario las muestras analizadas mostraron porcentajes de almidón dañado de 12.1, 10.3, 11.5, 13.4, 17.2, 12.1 y 32.9 respectivamente, presentando los niveles de almidón dañado mas alto la muestra de harina de papa, que al ser precocida tenía mas almidón disponible y gelatinizado por lo que su capacidad de absorción es mucho más alta.

Capacidad de retención de ácido láctico

El %SRC ácido láctico hace referencia a la calidad panadera de una harina, está relacionado con la cantidad y calidad de proteínas del gluten, esto para las muestras de harina de trigo que son las que contienen el gluten (Figura 6), en la harina de trigo CWRS #1 presentó un porcentaje promedio de 117.7 y los porcentajes recomendados para la elaboración de pan es de 100 adaptandose a las condiciones de los procesos de panificación.

Para las otras muestras de harina de trigo son inferiores a 100, para la muestra de hard red winter tiene un promedio de 94.9%, lo que indicó que esta harina estaría orientada para su uso en galletería; la harina de trigo nacional se observó que se encuentra

bajo los dos valores que el método establece, lo que quiere decir que no tiene la cantidad suficiente de proteína

para poder sostener la red de gluten y el CO_2 necesarios en procesos de panificación. (Kohli *et al.* 2013)



Figura 6. Capacidad de Retención de Ác. Láctico. Fuente: Elaboración propia

En las muestras de harinas de cebada, quinua, maíz y papa, se observó que las proteínas pueden absorber el ácido láctico, esto se comprobó en la Prueba de Sedimentación (Figura 2), pero esta absorción no se debe a que posean proteínas del gluten sino a otro tipo de proteína o almidones presentes en las muestras.

Determinación de la estabilidad de Geles

porcentaje de sinéresis de los geles de las proteínas de las harinas de trigo, cebada, papa, quinua y maíz. Las proteínas de trigo y cebada al formar gel con agua y ser sometidas a un calentamiento y enfriamiento provoca que la cantidad de enlaces de hidrogeno aumenté, induciendo un alineamiento paralelo, provocando que la molécula de agua retenida sea expulsada fuera de la red, permitiendo que cristalicen juntas.

En el Figura 7, se observa el



Figura 7. Estabilidad de Geles (%Sinéresis). Fuente: Elaboración propia.

La quinua posee un alto valor biológico de sus proteínas, aunque estas no son capaces de resistir procesos térmicos largos y enfriamiento brusco, por lo que la formación de los cristales de proteína es bajo y por ende el porcentaje de sinéresis. Mientras que el contenido de proteína en las harinas de papa y maíz es menor cantidad de proteínas, razón por la que la cantidad de las mismas no permite la formación de geles y la cristaliza-

ción de las mismas.

Determinación de la absorción de agua

La proteína en la harina absorbe alrededor de 1.3 veces su peso en agua. Este valor es una estimación de la importancia que tienen estos componentes en la determinación de la absorción de agua de la harina.

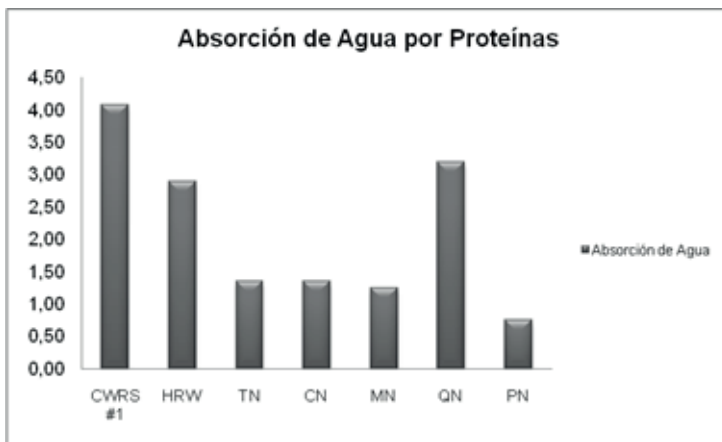


Figura 8. Absorción de agua por proteínas. Fuente: Elaboración propia.

En el Figura 8, se presentan las medidas de absorción de agua expresados en ml agua/ gr. Materia Seca, se utilizó un concentrado proteico para eliminar la posibilidad de que la absorción se vea aumentada o disminuida por otro componente de la harina. La proteína del trigo importado CWRS #1, mostró mayor medida de absorción de agua, debido a que es una harina fuerte, por la cantidad y calidad de las proteínas y gluten que contiene.

Al comparar con la medida de absorción de agua de las proteínas de

las otras muestras de trigo se observó que la misma disminuye según el contenido de proteína, el mismo que tenía un comportamiento directamente proporcional; la proteína de trigo nacional Cojitambo, la proteína absorbió un 33% con respecto a la proteína del trigo CWRS#1.

La proteína de la quinua tiende a absorber una cantidad de agua considerable, pero este comportamiento se debió a su alto contenido de aminoácidos hidrosolubles, que al entrar en contacto con agua y la humedad relativa del ambiente tienden a hidratarse.

Las proteínas de las harinas de cebada, maíz y papa presentan la menor hidratación de todas las muestras, esto se debe a su bajo contenido en proteínas hidrosolubles, hay que descartar la presencia de proteínas de gluten, ya que su contenido en glutaminas y prolaminas es relativamente bajo al compararlos con el trigo.

Determinación de grupos disulfuro y sulfhidrilo

El Figura 9, se muestra la cantidad de grupos sulfhidrilos libres y totales que contienen las muestras de harina. La cantidad de grupos sulfhidrilo es importante en panificación, debido a que se producen intercambios disulfuro – sulfhidrilo, que proporcionan la estabilidad de las masas panaderas.

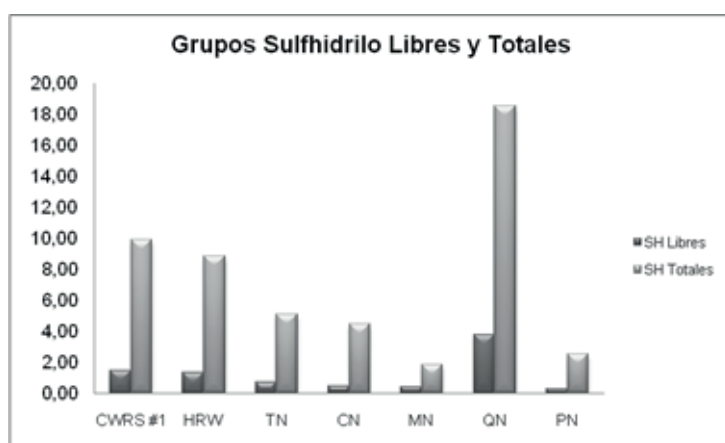


Figura 9. Grupos Sulfhidrilo Libres y Totales. Fuente: Elaboración propia.

En la harina de trigo importado CWRS#1, la cantidad de grupos sulfhidrilos, se puede considerar como buena ya que existe una mayor posibilidad de oxidación de estos grupos para la formación de grupos disulfuro que son los responsables de la estabilidad de la estructura tridimensional de la red proteica del gluten que se forma.

Para las harinas de trigo HRW, cojitambo, cebada, maíz, quinua y papa, el contenido de grupos sulfhidrilos totales y libres se encuentra relacionado con el contenido de cistina (Tabla 1), a la harina de quinua posee alto contenido de proteína y pobre en el contenido de cistina por lo que presenta menor cantidad de grupos sulfhidrilo al igual que la harina de papa.

Tabla 1. Composición de aminoácidos g/gr de proteína

%Aminoácidos	CWRS	HRW	T _N	C _N	M _N	Q _N	P _N
Ácido aspartico	3,98	4,20	5,05	5,37	6,64	7,88	17,86
Treonina	2,61	2,66	2,86	3,13	3,26	3,07	3,57
Serina	4,44	4,70	4,62	3,91	4,43	3,61	3,57
Ácido glutámico	52,32	50,53	41,43	32,71	20,31	15,87	24,52
Prolina	11,02	10,86	10,55	11,13	8,20	3,19	3,45
Glicina	3,65	3,71	4,18	3,71	3,51	5,71	3,33
Alanina	2,87	2,94	3,74	3,52	7,81	4,21	3,57
Cistina	1,50	1,47	1,21	1,37	1,30	0,84	0,71

Fuente: Proyecto “Desarrollo de Mezclas Farináceas de Cereales y Papas ecuatorianas como Sustitutos parciales de Trigo importado para la Elaboración de pan y fideos” - PHPPF

Por lo tanto el contenido de grupos sulfhidrilos libres pudo ser bajo en estas muestras, ya que estos son altamente reductores y la presencia excesiva de estos disminuye considerablemente la elasticidad de la masa; los puentes disulfuro tienden a romperse desestabilizando la red proteica

que se forma durante el amasado.

Grupos Disulfuro

En la Figura 10, se puede observar la cantidad de grupos disulfuro que contienen las muestras de harina.

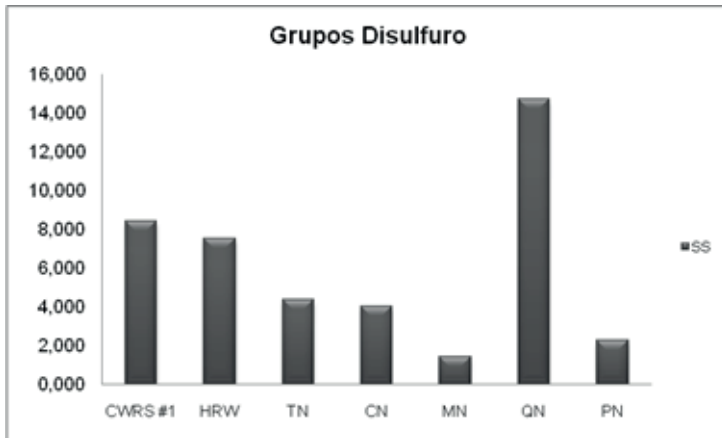


Figura 10. Grupos Disulfuro. Fuente: Elaboración propia.

Según Badui (1993), los enlaces disulfuros provenientes de la cisteína son los responsables de la estabilidad de la red proteica aun cuando las proteínas del trigo no forman una estructura tridimensional (Badui Dergal *et al.* 1993).

En las harinas de trigo HRW y trigo nacional cojitambo se observó que la cantidad de grupos disulfuro disminuye conforme baja el contenido de cisteína, bueno esto se puede apreciar para todas las muestras de harinas.

En la harina de quinua presenta altos valores de grupos disulfuro provenientes de la cisteína y de otros compuestos como la tiamina, sulfito, tiosulfato, sulfuro de hidrogeno, cianuro y sulfuro, y otras sustancias que contienen un anión sulfurado a pH 8, que también reaccionan con el DTNB (Andrews *et al.* 1995).

La harina de papa es rica en almidones y tiene un bajo contenido de proteína y de igual manera el contenido de aminoácidos sulfurados y cisteína, por lo que la acción del DNTB no es eficiente y la cantidad de grupos disulfuro liberado es mínima.

En la harina de cebada el contenido de enlaces disulfuro es similar al del trigo nacional, ya que tiene un contenido de proteína similar y la cisteína se encuentra aproximadamente en la misma concentración que en el trigo nacional cojitambo. La harina de maíz es muy pobre en contenido de proteína y cisteína por lo que se corroboran que la presencia de grupos disulfuro es bajo.

Conclusiones

La harina que presentó un perfil de capacidad de solventes (%SRC) más adecuado para panificación es la de cebada, ya que su contenido de pentosanos, almidón dañado y glutaminas favorecen los procesos de obtención de pan, otra harina que beneficiaría los procesos de obtención de pan y pastas es la harina de trigo nacional cojitambo, ya que mejora la calidad y canti-

dad de proteínas de la harina de trigo importado, además que contribuye directamente a la estabilidad de la red de gluten, mejoran volumen, extensibilidad, elasticidad y absorción de agua.

Las harinas de maíz, papa y quinua por su alto contenido en almidones bajan la calidad de gluten y lo vuelven débil, por lo tanto, no se recomiendan como sustitutos en la elaboración de pan y pastas.

Los porcentajes de sinéresis para la elaboración de pan y fideos debe encontrarse entre 23 y 26, por lo que las harinas de trigo nacional y cebada son las apropiadas para ser destinadas en este uso, mientras que las harinas de papa, quinua y maíz no son aptas por la baja capacidad de cristalizar proteínas en procesos térmicos o mecánicos

Literatura citada

AOAC Official Methods of Analysis, 18th Edition (2005), métodos 925.40, 981.10, 942.05, 978.10

Andrews, D.C., Caldwell, R.A. & Quail, K.J., 1995. Sulfhydryl Analysis. I. Determination of Free Sulfhydryls in Wheat Flour Doughs. *Cereal Chemistry*, 72(3), pp.326–329. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/7501/4546803a185836b0768b94ffb7b77e13bda6.pdf> [Accessed March 26, 2018].

Badui Dergal, S., Bourges, H. & Anzaldúa Morales, A., 1993. *Química de los alimentos*, Addison Wesley Longman.

Cerda-Mejía, L., 2010. Estudio de las propiedades funcionales de las proteínas de la harina de maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), quinua (*Chenopodium quinoa*), papa (*Solanum tuberosum*) y trigo (*Triticum aestivum*) nacional e importado para orientar su uso en pan y pastas.

Cerda-Mejía, L., Cerda Mejía, V.R. & Sandoval Chasi, G.A., 2017. Study of the functional properties of the corn flour proteins (Zea mays), barley (Hordeum vulgare), quinoa (Chenopodium quinoa), potato (Solanum tuberosum), and wheat (Triticum aestivum) national and imported intended for use in baking and noodles. In Proceedings of MOL2NET 2016, International Conference on Multidisciplinary Sciences, 2nd edition. Basel, Switzerland: MDPI, p. 3896. Available at: <http://sciforum.net/conference/mol2net-02/paper/3896> [Accessed July 11, 2017].

Cherry, J., 1998. Protein Functionality in Foods,

Flores, R.V., 2014. El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. , 32, pp.1025–9929.

Goesaert, H. et al., 2005. Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. Trends in Food Science and Technology, 16(1–3), pp.12–30. Available at: <http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-22244442208&origin=inward&txGid=QX6hCSRG-Wik3CQxSYSEUVA:8>.

INEN-ISO 21415-1:2013, 2013. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO

21415-1:2013, Available at: http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/DRO/nte_inen_iso_21415_1extracto.pdf [Accessed July 13, 2017].

INEN-ISO 5529:2013, 2013. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 5529:2013, Available at: http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/KCA/12092014/nte_inen_iso_5529extracto.pdf [Accessed July 13, 2017].

Kinsella, J.E., Fox, P.F. & Rockland, L.B., 1986. Water sorption by proteins: Milk and whey proteins. C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 24(2), pp.91–139.

Kobrehel, K., Reymond, C. & Alary, R., 1988. Low Molecular Weight Durum Wheat Glutenin Fractions Rich in Sulfhydryl Plus Disulfide Groups. American Association of Cereal Chemists, 65(1), pp.65–69.

Kohli, M.M., Cubilla, L.E. & Cabrera, G., 2013. Cuarto Seminario Nacional del Trigo. “Del grano al pan.” In Asunción -Paraguay. Available at: <http://capeco.org.py/wp-content/uploads/2017/09/Capeco-4to-seminario-trigo-1.pdf> [Accessed March 26, 2018].

Martínez-Crus, E. et al., 2010. Diferencias reológicas de la masa de trigo en líneas recombinantes. II. Relación con combinaciones de los Loci Glu-1 y Glu-3. Agrociencia, 44(6), pp.631–641. Available at: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000600003 [Accessed March 26, 2018].

Osborne, T., 1924. Vegetable proteins Second Edi.,

Pérez Lumus, A.P. & García Reina, R.D., 2013. Evaluacion Del Comportamiento Reologico De Dos Muestras. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería Duitma. Available at: http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/1532/1/Evaluación_del_comportamiento_reológico_de_dos_muestras_de_harina_de_trigo_%28triticum_aestivum_l%29_acondicionada_con_mezcla_de_fibras_comerciales.pdf [Accessed March 26, 2018].

Zhou, P. et al., 2014. Stability of whey protein hydrolysate powders: Effects of relative humidity and temperature. *Food Chemistry*, 150, pp.457–462.