



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**



FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA
EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES
Y TECNO-FUNCIONALES DE LA HARINA DE LENTEJA
(*Lens culinaris* M.) POR EFECTO DE LA IMBIBICIÓN**

TESIS

QUE PRESENTA

Q.F.B. YULIZA GUADALUPE MORALES HERREJÓN

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Directora de Tesis: Doctora en Tecnología Avanzada
Berenice Yahuaca Juárez

Morelia, Mich., México. Abril 2024

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar por el grado académico de Maestra en Ciencias Biológicas. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el Laboratorio de Biotecnología “M.C. Víctor Manuel Rodríguez Alcocer” de la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, bajo la dirección de la Dra. Berenice Yahuaca Juárez.

AGRADECIMIENTOS

A través de estas líneas expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que con su aporte científico y humano han colaborado en la realización de este trabajo de investigación.

Quiero agradecer en primer lugar a las instituciones que han hecho posible la realización del presente trabajo por la ayuda económica brindada, por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Agradezco a mi directora de tesis, Dra. Berenice Yahuaca Juárez por su esfuerzo y su gran dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios de maestría con éxito.

Finalmente agradezco a mi familia por sus consejos y ánimos constantes. De manera muy especial a una persona muy importante en mi vida José, quien ha estado a mi lado compartiendo mis alegrías y angustias, por el estímulo para que me supere día a día, el apoyo incondicional y la ayuda de siempre. Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, especialmente amigo Gerardo por consejos, apoyo, ánimo y compañía.

Agradezco a la vida por permitirme realizar otra meta más en mi carrera.

S.

ÍNDICE GENERAL

<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	6
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
<i>I. INTRODUCCIÓN GENERAL</i>	11
<i>II. JUSTIFICACIÓN</i>	15
<i>III. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</i>	17
<i>IV. HIPÓTESIS</i>	17
<i>V. OBJETIVOS</i>	17
5.1 Objetivo General.....	17
5.2 Objetivos Específicos.....	17
<i>VI. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL</i>	18
<i>CAPÍTULO I. Caracterización de la semilla de lenteja (Lens culinaris M.) de dos variedades roja y verde, identificando la presencia de compuestos con carácter nutritivo y funcional en la legumbre.</i>	20
1.1 Resumen.....	20
1.2 Estado del arte.....	21
1.3 Objetivo.....	29
1.4 Materiales y métodos.....	29
1.5 Análisis estadístico.....	34
1.6 Resultados y Discusión.....	35
1.7 Conclusión.....	41
1.8 Referencias.....	42

CAPÍTULO II. Determinación del efecto de la imbibición sobre las propiedades	
<i>nutricionales y funcionales de la harina de lenteja variedades verde y roja.</i>	45
2.1 Resumen	45
2.2 Estado del arte	46
2.3 Objetivo	55
2.4 Materiales y métodos	55
2.5 Análisis estadístico	60
2.6 Resultados y discusión	61
2.7 Conclusión	78
2.8. Referencias	79
CAPÍTULO III. Propiedades tecno-funcionales de la harina de lenteja imbibida.	
3.1 Resumen	82
3.2 Estado del arte	83
3.3 Objetivo	89
3.4 Materiales y Métodos	89
3.5 Análisis estadístico.	93
3.6 Resultados y discusión.	93
3.7. Conclusión.....	119
3.8. Referencias	119

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Composición química proximal de la lenteja (<i>Lens culinaris</i> M.) variedades verde y roja (%).	35
Tabla 2. Fracciones de fibra dietética total (FDT), fibra insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS) en la harina de lenteja cruda de ambas variedades (verde y roja).	39
Tabla 3. Concentración de medias del total de las fracciones proteicas en la lenteja de la variedad verde y roja, imbibidas y controles.	61
Tabla 4. Puntaje químico y Escore de aminoácidos corregidos por digestibilidad en la harina de lenteja verde y roja.	68
Tabla 5. Contenido de Polifenoles Totales en la harina de lenteja verde y roja imbibidas	73
Tabla 6. Valores medidos de actividad antioxidante en las harinas de lenteja verde.	75
Tabla 7. Valores medidos de actividad antioxidante en las muestras de harinas de lenteja roja.	76
Tabla 8. Color de las harinas controles (cruda y cocida) y las deshidratadas a 70°C para la variedad de la lenteja verde y roja.	100
Tabla 9. Capacidad de retención de aceite (CRAc). (ml/g ms) de ambas variedades de lenteja (roja y verde) y la harina de lenteja deshidratada a 70°C.	103
Tabla 10. Capacidad de Absorción de agua (CAA) (ml/g ms) de ambas variedades de lenteja (roja y verde) y la harina de lenteja deshidratada a 70°C.	

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Variedades de lenteja diferenciadas por su color y tamaño (Uranda, 2020).....	25
Figura 2. Harina de lenteja imbibición variedad verde y roja.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3. Harina de lenteja cruda verde y roja.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Harina de lenteja cocida verde y roja.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5A. Fracciones albúminas y globulinas para el tratamiento de deshidratación a 70 °C con respecto a la harina verde control y cocida. ($R^2 = 0.98$). Cada valor representa la media \pm la desviación estándar de tres repeticiones de la misma muestra. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p \leq 0.05$	63
Figura 6B. Fracciones albúminas y globulinas para el tratamiento de deshidratación a 70 °C con respecto a la harina roja control y cocida ($R^2 = 0.98$). Nota: Cada valor representa la media \pm la desviación estándar de tres repeticiones de la misma muestra. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p \leq 0.05$	65
Figura 7. Fracciones fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS) en la harina de lenteja imbibida, cruda y cocida verde ($R^2 = 0.96$). Nota: cada valor representa la media \pm la desviación estándar de tres repeticiones de la misma muestra. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p \leq 0.05$	69
Figura 8. Fracciones fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS) en la harina de lenteja imbibida, cruda y cocida roja ($R^2 = 0.96$). Nota: cada valor representa la media \pm la desviación estándar de tres repeticiones de la misma muestra. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p \leq 0.05$	71
Figura 9. Tasa de imbibición (agua absorbida) por las semillas de lenteja verde y roja a 50 °C a diferentes tiempos de imbibición en agua, utilizando la humedad inicial en las semillas y modelado con la ecuación de Weibull.....	94
Figura 10. Cinética de imbibición a 50 °C en relación al peso y tamaño de la lenteja verde después del remojo.....	96
Figura 11. Cinética de imbibición a 50 °C en relación al peso y tamaño de la lenteja roja después del remojo.....	98
Figura 12. Fotografías de microscopía electrónica de barrido en harina de lenteja verde y roja cruda. (A) Harina de lenteja verde x500 (B) Harina de lenteja verde x100. (C) Harina de lenteja roja x500. (D) Harina de lenteja roja 1000x.....	111
Figura 13. Fotografías de microscopía electrónica de barrido en harina de lenteja verde y roja cocida. (A) Harina de lenteja verde x500 (B) Harina de lenteja verde x100. (C) Harina de lenteja roja x500. (D) Harina de lenteja roja 1000x.....	113

“

Figura 14. Micrografías obtenidas a 500x y 2500x por MEB de las harinas de lenteja verde imbibida y deshidratada a 70°C. (A, B) imbibida 1 hora (C, D) imbibida 2 horas. (E, F) Harina de lenteja roja x500. (G, H) imbibida 3 horas. (I, J) imbibida 4 horas. 116

Figura 15. Micrografías obtenidas a 500x y 2500x por MEB de las harinas de lenteja verde imbibida y deshidratada a 70°C. (A, B) imbibida 1 hora (C, D) imbibida 2 horas. (E, F) Harina de lenteja roja x500. (G, H) imbibida 3 horas. (I, J) imbibida 4 horas. 118

RESUMEN

En México, Michoacán es el principal productor de lenteja (*Lens culinaris* M.) con 93 % de la producción nacional. La lenteja es nutritiva, brinda seguridad alimentaria y es cultivo sostenible. Contienen un alto porcentaje de proteína (25-35 %), son ricas en aminoácidos: arginina, ácido aspártico, glutámico y lisina. Contiene fibra dietaria, vitaminas, minerales, compuestos bioactivos, entre otros. La lenteja presenta además componentes anti-nutricionales que afectan la calidad proteica, biodisponibilidad, utilización digestiva y metabólica de estas y otros compuestos nutritivos. Sin embargo, los anti-nutricios tienen actividad antioxidante (AOX) y en su mayoría se atribuye a los polifenoles totales (PT). La calidad nutricional de la lenteja puede diferir con respecto a la variedad y el procesamiento al que se le destine. Las lentejas generalmente son consumidas después de procesarse por cocción hidrotérmica. Otro de los procedimientos de transformación es el remojo (imbibición) que antecede a la cocción. La imbibición puede aumentar la digestibilidad proteica y la eliminación o reducción de componentes anti-nutritivos mejorando la biodisponibilidad proteica, la digestibilidad, las cualidades nutricionales, sensoriales y tecno-funcionales de las legumbres. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la imbibición de lenteja (*Lens culinaris* M.) de dos variedades sobre el valor nutricional y sus propiedades tecno-funcionales como harina. Se utilizaron dos variedades de lentejas: roja y verde. Las lentejas se caracterizaron mediante un análisis químico proximal: (AOAC, 2005). Posteriormente las lentejas fueron imbibidas a 50 °C por 1, 2, 3 y 4 horas, deshidratadas a 70°C y pulverizadas para la obtención de harina. Los controles fueron Control 1: lenteja cruda y Control 2: lenteja cocida. La lenteja verde con respecto a la roja presenta un mayor valor nutricional y de actividad fisiológica, referido a su contenido en proteína y fibra dietaria. La imbibición a 2 h promueve los mayores cambios nutricionales, tecno-funcionales y morfológicos en la matriz alimentaria, harina de lenteja.

Palabras clave: Remojo, cocción, fracciones proteicas, propiedades tecno-funcionales, Antinutricionales.

ABSTRACT

In Mexico, Michoacán is the main producer of lentils (*Lens culinaris* M) with 93% of national production. Lentils play an important role in human nutrition, in addition to providing food security and being a sustainable crop. Lentils contain a high percentage of protein (25-35 %). They are rich in amino acids: arginine, aspartic acid, glutamic acid and lysine. Compared to other legumes, they contain dietary fiber, vitamins, minerals, bioactive compounds, among others. The composition of lentils can change with respect to the variety of the seed, on the other hand, they contain anti-nutritional compounds that affect the protein quality, bioavailability, digestive and metabolic utilization of nutritional compounds. However, many of these compounds have antioxidant activity (AOX) and are mostly attributed to total polyphenols (TP). The nutritional quality of lentils may differ with respect to the variety and the processing for which it is intended. Lentils are generally consumed later, when processed by hydro-thermal cooking. Another processing procedure for the legume is soaking (imbibition), which precedes cooking. Studies suggest that imbibition increases protein digestibility and promotes the elimination or reduction of anti-nutritive components, improving protein bioavailability. There are also technological treatments that increase digestibility and improve the nutritional, sensory and techno-functional qualities of legumes. The objective of this research was to characterize lentils of green and red varieties, evidencing the presence of compounds with nutritional and functional character, and to determine the effect of lentil imbibition on protein fractions, dietary fiber, AOX and techno-functional properties. The study material was two varieties of lentils: red and green. Initially, lentils were pulverized and characterized by proximate chemical analysis: (AOAC, 2005). Subsequently for the imbibition treatments, green and red lentils were imbibed at 50 °C for 1, 2, 3 and 4 hours, subsequently dehydrated at 70°C. Green lentils, compared to red lentils, had a higher nutritional value and physiological activity in terms of protein and dietary fiber content. The flour imbibed at 1h obtained the lowest TDF content (25.03%), with no significant difference with respect to the raw flour. In the imbibed flours of the red variety, a decrease in TDF was observed with respect to the cooked flour. PT and AOX decreased in the flour of both lentil varieties. In relation to CAAC there was no difference ($p \leq 0.05$) with respect to control and imbibed flours for both varieties. Luminosity was found to be white positive, there was no difference between control and imbibed flours. The flours presented yellow tonality, however, the red lentil flour had red tonalities. Finally, the SEM results indicate that the imbibed flours, as well as the lentils cooked, presented greater changes in the morphology of the starch granules, which are reflected in the changes in the techno-functional properties of the food matrix, due to the changes in the starch granules and proteins.

Keywords: Soakin, cooking, protein fractions, techno-functional properties, antinutritionals.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los alimentos contienen compuestos con efectos fisiológicos que benefician la salud de las personas. Una dieta balanceada aporta los nutrientes necesarios para que el organismo lleve a cabo sus funciones correctamente. El ámbito alimentario, correspondiendo al estilo de vida actual ha tenido que llevar a cabo investigaciones en torno al aporte nutricional de los alimentos, que permitan ofertar productos alimenticios que cumplan no solo con la función de satisfacer la necesidad de “comer”, sino también la nutrición básica en beneficio a la salud, disminuyendo la desnutrición y previniendo el riesgo de obesidad, Diabetes Mellitus, así como enfermedades crónico-degenerativas. Lo anterior, ya sea por los compuestos que contiene el alimento o por enriquecimiento de éste al añadirlos, convirtiéndose en alimentos nutritivos y funcionales, proporcionando beneficios para la salud más allá de la nutrición básica (Amparo, 2013). Ackemann (2015) menciona que el 56 % de los consumidores norteamericanos adquiere alimentos y bebidas nutritivas y funcionales, de ellos, la mayoría consume productos con propiedades que reducen el colesterol sérico, previenen enfermedades obstructivas coronarias (aterosclerosis) o que retrasen el envejecimiento celular. Le continúan los productos vinculados con el control de hipertensión, prevención del cáncer de colon y Diabetes Mellitus.

México es un país con una economía emergente y una sociedad con diversas asimetrías en lo referente al tipo de calorías y al desarrollo de enfermedades con componentes metabólicos, esto se debe en parte a que la sociedad mexicana lleva un estilo de vida en transición, debido a la industrialización y las migraciones de la zona rural a la urbana, lo que origina la disminución del nivel de actividad física y aumento en la ingesta de calorías y por consecuencia, un incremento en la prevalencia de sobrepeso u obesidad, potencializando el riesgo de desarrollar diversas patologías presentes en el síndrome metabólico (Pérez Gil Romo et al., 2022).

La sociedad mexicana es una de las principales a nivel mundial con una alta prevalencia del síndrome metabólico, años atrás se presentaba solo en personas de 20 a 69 años, actualmente afecta a niños y adolescentes debido a la cultura y estilo de vida (Romo et al., 2022).

“

En la actualidad, las propiedades nutritivas y funcionales de ciertos frutos, legumbres y hortalizas son relevantes debido a su impacto en la salud humana, al disminuir el riesgo de enfermedades crónico-degenerativas y la desnutrición (Napa et al., 2013). El consumo de legumbres en países en vías de desarrollo y emergentes cobra valor debido a su fácil adquisición y calidad nutricional (alto contenido de proteína de calidad nutrimental, carbohidratos digeribles e indigeribles, fibra dietaria, minerales, vitaminas, compuestos bioactivos como polifenoles, entre otros). En diversos países industrializados se ha incrementado la incorporación de legumbres en formulaciones dietéticas para la prevención de diabetes, cáncer de colon y disminución del colesterol en sangre, lo cual está relacionado con su alto contenido de antioxidantes, bajo contenido de lípidos saturados y bajo índice glicémico (Fernández et al., 2003), además de combatir la desnutrición a través del aporte proteico. Por otra parte, la presencia de ciertos compuestos en las legumbres tales como oligosacáridos, al ingerirse son fermentados por la microflora colónica produciendo ácidos grasos de cadena corta (butirato, por ejemplo) favoreciendo la salud del consumidor. La lenteja (*Lens culinaris* M.) con respecto a otras legumbres destaca por su alto porcentaje de proteína biodisponible, fibra dietaria y compuestos bioactivos como polifenoles y antocianinas; por lo que su consumo podría jugar un papel importante en la prevención de las patologías antes mencionadas (Silva et al., 2010).

El consumo tradicional de las lentejas requiere de un proceso de cocción, tradicionalmente es utilizado el hidrotérmico, para posteriormente elaborarse una menestra. Sin embargo, estas legumbres pueden ser transformadas en harina con la finalidad de obtener una matriz alimentaria, que pueda ser utilizada como base para la elaboración de otros alimentos o como sustituto de otras harinas permitiendo incrementar su valor nutritivo y funcional. Además, cabe destacar, que las lentejas poseen compuestos antioxidantes, su concentración puede diferir con respecto a la variedad, tal es el caso de las variedades rojas en comparación con las verdes, por lo que la variedad consumida puede estar relacionada con el aporte de compuestos antioxidantes, entre algunos otros compuestos con carácter nutricional. Las legumbres representan una oportunidad para establecerse como alimento en semilla, como sustitutos, o como complemento en la elaboración de productos alimenticios, al aportar beneficios nutricionales y funcionales.

“ Sin embargo, las legumbres además de tener compuestos de carácter nutritivo presentan una serie de compuestos que influyen negativamente en su valor nutricional, estos se conocen como factores antinutritivos, destacando los inhibidores de proteasas, las lectinas, los α -glucósidos, fitatos y taninos condensados. Estos factores antinutritivos afectan la digestibilidad y disponibilidad de nutrientes. A pesar de sus efectos no nutritivos muchos de estos compuestos tienen un papel importante como compuestos bioactivos. Por lo tanto, si se quiere incrementar el consumo de esta legumbre es necesario reducir los niveles de dichos compuestos. Existen diversos métodos que promueven la eliminación o reducción de compuestos antinutritivos, estos se basan en la aplicación de tratamientos térmicos y en procesos como germinación, fermentación o remojo (imbibición), siendo este último parte de un tratamiento común para la eliminación de compuestos anti-nutricionales solubles en el agua de imbibición (Dávila et al., 2003).

Durante la imbibición o remojo, el material se expone a una alta humedad a temperaturas relativamente bajas (Davila et al., 2003). La imbibición promueve cambios estructurales debido a la difusión de agua en los componentes de la semilla, favoreciendo una estructura más organizada (Davila et al., 2003). La hidratación permite que las enzimas y estructuras presentes en la semilla deshidratada, necesarias para el reinicio del metabolismo, se activen (Matilla, 2008). Las modificaciones derivadas de la imbibición y deshidratación de la lenteja pueden promover cambios en las propiedades fisicoquímicas y la organización de los componentes celulares, cambios que no se pueden conseguir en los materiales que solamente son deshidratados (Vertucci, 1989). Así mismo, estudios demuestran que acompañar la imbibición con una temperatura mayor en el agua de remojo, podría mejorar las propiedades tecno-funcionales y la digestibilidad en la harina de lenteja (Ovando-Martínez et al., 2013; Sandhu et al., 2017).

Las propiedades tecno-funcionales en la harina de lenteja han adquirido gran importancia debido al incremento en el uso de harinas de legumbres, dirigidas al desarrollo de formulaciones alimentarias, asegurando la calidad en la formulación de alimentos (Martín-Cabrejas, 2009). Entre las propiedades tecno-funcionales destacan aquellas que están relacionadas con el agua, como la capacidad de absorción y retención de agua. Respecto a la fracción lipídica de las lentejas, la proporción en la que se encuentra es baja en comparación a

“
otras legumbres, sin embargo, determinar el índice de retención de aceite es determinante en la elaboración y almacenamiento de alimentos fritos a base de harinas de lenteja (Martín-Cabrejas, 2009). Finalmente, el tratamiento de imbibición o remojo puede incidir en las propiedades del almidón, así mismo en las proteínas y desarrollar un papel importante en los principales cambios que tienen lugar durante el procesado de alimentos, tecno-funcional y nutrimental. Con base en lo anterior, en el presente proyecto de investigación se plantea determinar el efecto que tiene la imbibición de lenteja (*Lens culinaris* M.) de dos variedades (verde y roja) sobre el valor nutricional y sus propiedades tecno-funcionales como harina.

II. JUSTIFICACIÓN

Los frutos, legumbres y hortalizas poseen propiedades con impacto en la salud humana, sus componentes son capaces de disminuir el riesgo de desarrollar enfermedades crónico-degenerativas, Diabetes Mellitus (Napa et al., 2013) y combatir la desnutrición. Las legumbres son de fácil adquisición y de calidad nutricional. La lenteja (*Lens culinaris* M.) tiene un alto porcentaje de proteína biodisponible, fibra y compuestos bioactivos como polifenoles y antocianinas (Silva-Cristobal et al., 2010), convirtiéndolo en un alimento valioso en factores nutricionales y funcionales. En México, la producción de lenteja es importante, Michoacán ha incrementado significativamente la superficie dedicada a este cultivo, sin embargo, uno de los riesgos importantes, es la sobreproducción y baja demanda, que conduce al abaratamiento del producto o pérdida de este. La baja demanda puede corresponder al estilo de vida actual, las personas buscan alimentos que sean de rápido acceso, fácil preparación y que tengan un aporte nutricional, por lo cual es importante diversificar la forma de consumir la lenteja (*Lens culinaris* M.), siendo la harina una alternativa para la elaboración de otros productos, por lo que las cualidades sensoriales, nutricionales y tecno-funcionales son los criterios de mayor importancia. Las propiedades nutricionales y tecno-funcionales de las lentejas están relacionadas con su variedad, destacando las variedades rojizas y verdes. Las diferencias entre ellas se encuentran en el tipo y cantidad de compuestos antioxidantes, propios de sus coloraciones, contenido de proteína y fibra, entre otros. La harina de (*Lens culinaris* M.) al ser una excelente fuente de proteínas puede ser una opción para sustituir y complementar el uso de harinas de otras fuentes, ya que aun cuando tiene un bajo contenido de aminoácidos esenciales como metionina y cistina, puede complementarse con cereales como el trigo (Lara, 2013).

Además del valor nutricional de la lenteja, también se han estudiado los compuestos anti-nutricionales, que si bien, están relacionados con la actividad antioxidante en la semilla, también se caracterizan por tener un efecto adverso, ya que afectan la biodisponibilidad y digestibilidad de los compuestos nutricionales. Uno de los métodos más comunes para la eliminación de compuestos anti-nutricionales (FAN), es el remojo o imbibición. Este tratamiento consiste en exponer las semillas de lenteja a una alta humedad, que al acompañarse de un

tratamiento térmico puede mejorar la permeabilidad en la semilla aumentando la tasa de absorción de agua. Investigaciones indican que las semillas imbibidas podrían mejorar las propiedades texturales y la digestibilidad. La mejora de la digestibilidad no solo se debe a la desnaturalización proteica y a la inactivación de FAN, sino también a la eliminación de estos por lixiviación en el agua de remojo (Drulyte et al., 2019). Por otro lado, el método de procesado influye en la digestibilidad de las legumbres y depende de ciertos factores como la variedad, composición y estructura (Abbas et al., 2018). Por tanto, se busca mejorar la calidad nutricional y tecno-funcional en la lenteja a través de la imbibición, identificando el tiempo óptimo de remojo de las semillas en función de su calidad nutricional y tecno-funcional. Considerando lo anteriormente expuesto, es importante evaluar el efecto que tiene la imbibición, sobre las características nutricionales y tecno-funcionales de la harina de lenteja, identificando los cambios que pueden propiciarse en las propiedades fisicoquímicas, en la reorganización de los componentes celulares y nutricionales, mejorando las propiedades texturales y la digestibilidad, reduciendo anti-nutrientes y mejorando la biodisponibilidad de las proteínas.

III. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo incrementar la calidad nutricional y tecno-funcional de dos variedades de lenteja?

IV. HIPÓTESIS

La imbibición de la lenteja (*Lens culinaris* M.) incrementa en la harina su calidad en referencia a las propiedades nutritivas y tecno-funcionales. Este incremento en la calidad de la harina está relacionado con la variedad de la lenteja.

V. OBJETIVOS

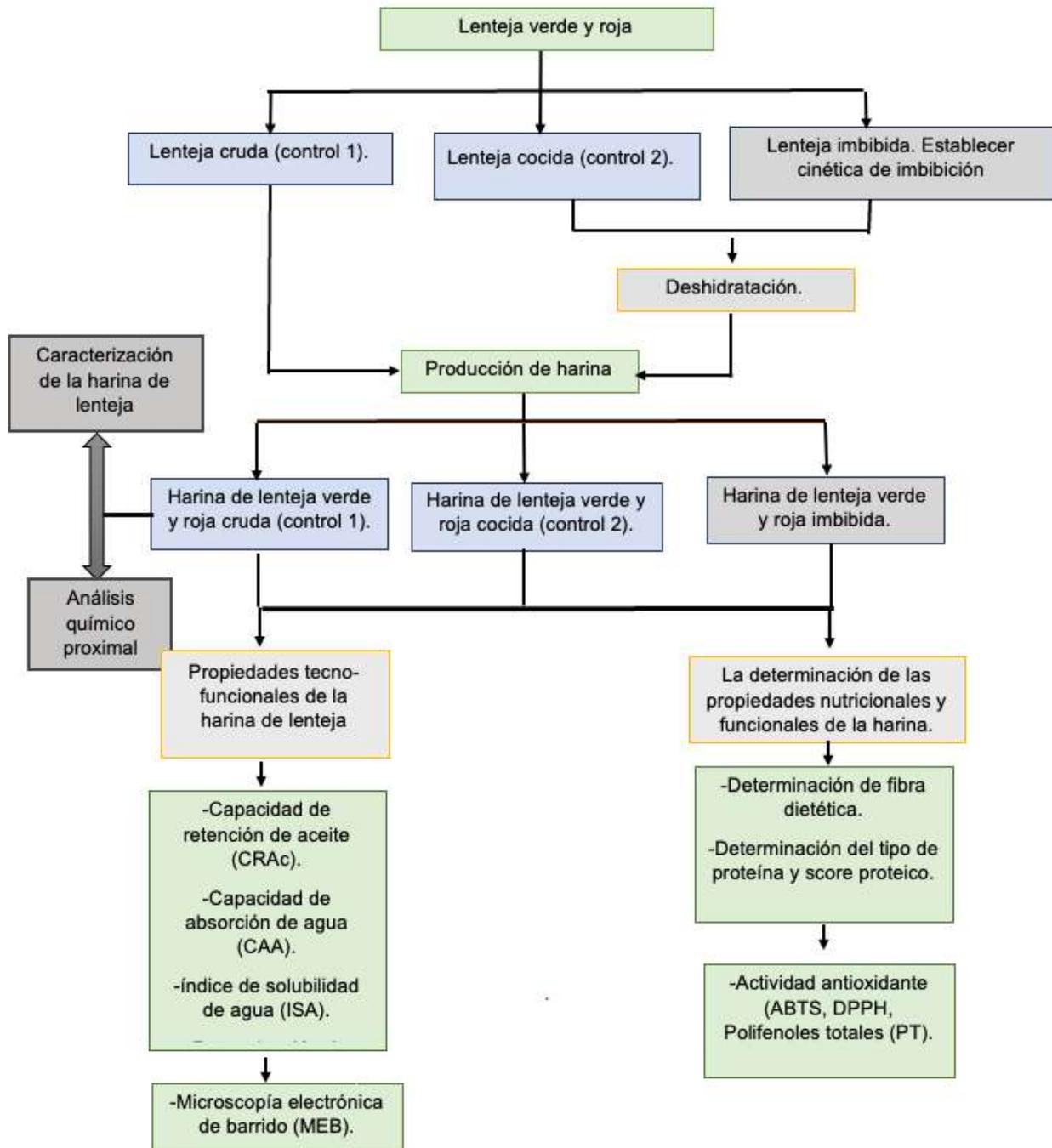
5.1 Objetivo General

Determinar el efecto de la imbibición de lenteja (*Lens culinaris* M.) de dos variedades sobre el valor nutricional y sus propiedades tecno-funcionales como harina.

5.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar a la lenteja (*Lens culinaris* M.) de dos variedades roja y verde, identificando la presencia de compuestos con carácter nutritivo y funcional en la legumbre.
2. Precisar la cinética de imbibición y establecer el protocolo para la obtención de la harina de dos variedades de lentejas.
3. Determinar el tipo de proteínas y la calidad proteica en la harina de dos variedades de lenteja posterior al proceso de imbibición.
4. Analizar el efecto de la imbibición sobre la actividad antioxidante de la harina de (*Lens culinaris* M.) y compuestos relacionados a dicha actividad.
5. Establecer las propiedades tecno-funcionales en la harina de lenteja imbibida.

VI. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL



“

Derivado de los objetivos planteados en la presente investigación, así como de la estrategia experimental planteada, a continuación, se presentarán tres capítulos que hacen referencia a los resultados obtenidos. Cada capítulo incluye: resumen, estado del arte, objetivo, materiales y métodos, diseño y análisis estadístico, resultados y discusión, conclusión y referencias bibliográficas.

Capítulo I. Presenta los resultados obtenidos del análisis de caracterización de la lenteja (*Lens culinaris* M.) de dos variedades roja y verde. A través de esta caracterización se identifican los compuestos con carácter nutritivo y funcional en la legumbre.

Capítulo II. Presenta los resultados alcanzados del estudio de las fracciones proteicas, calidad proteica (score proteico), fibra dietética, polifenoles totales (PT) y actividad antioxidante (AOX) posterior al proceso de imbibición en la harina de lenteja (*Lens culinaris* M.) de dos variedades roja y verde.

Capítulo III. Presenta los resultados obtenidos del estudio de las propiedades tecnofuncionales en la harina de lenteja (*Lens culinaris* M.) imbibida de dos variedades verde y roja. Analiza los principales cambios que se tiene lugar durante la imbibición o remojo.

CAPÍTULO I. Caracterización de la semilla de lenteja (*Lens culinaris* M.) de dos variedades roja y verde, identificando la presencia de compuestos con carácter nutritivo y funcional en la legumbre.

1.1 Resumen

En México, Michoacán es el principal productor de lenteja (*Lens culinaris* M.) con 93 % de la producción nacional. La lenteja tiene un papel importante en la nutrición humana, además, de brindar seguridad alimentaria y ser cultivo sostenible. Las lentejas contienen un alto porcentaje de proteína (25-35 %) con respecto a otras legumbres, contiene fibra dietaria, vitaminas, minerales, compuestos bioactivos, entre otros. La composición de la lenteja puede cambiar con respecto a la variedad de la semilla. El objetivo de la presente investigación fue caracterizar a la lenteja de las variedades verde y roja, evidenciando la presencia de compuestos con carácter nutritivo y funcional. El material de estudio fueron dos variedades de lentejas: roja y verde. Las lentejas se pulverizaron y se caracterizaron mediante un análisis químico proximal: cenizas, humedad, aceite, azúcares, fibra dietaria y proteínas (AOAC, 2005). Los resultados indican una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las dos variedades de lenteja, siendo la semilla verde quien posee el mayor valor proteico (27.07 %) a diferencia de la roja (25.83 %). En el resto de los parámetros se observó un comportamiento similar entre ambas variedades de lenteja: humedad (8.16 % lenteja verde; 7.3% roja), aceite (1.56 % lenteja verde; 1.03 % lenteja roja), cenizas (2.27 % lenteja verde; 2,92 % lenteja roja) y fibra dietaria en la que la lenteja verde obtuvo 26.93% mayor que la lenteja roja (23.20%). Comparando estos parámetros obtenidos, se observa que difieren con los valores reportados para otras legumbres (garbanzo, frijol, soya, etc). La lenteja verde con respecto a la roja presenta un mayor valor nutricional y de actividad fisiológica, referido a su contenido en proteína y fibra dietaria.

Palabras clave: Proteína, compuestos nutricionales y funcionales, nutrición.

1.2 Estado del arte

Antecedentes y estadísticas del cultivo de lenteja

El cultivo de la lenteja tiene ancestros silvestres, es considerado uno de los más antiguos con alrededor de 8000 a 9000 años aproximadamente y es una de las primeras especies de plantas domesticadas. Se cree que la lenteja cultivada se originó en la región actual de Turquía y Chipre (Rashid et al., 2012). La producción de lentejas se centra en Asia, el norte de África, Europa Occidental y parte de Latinoamérica. En los últimos años se ha observado un incremento en su consumo, sin embargo, hasta el 2009 aún se consideraba una legumbre de consumo limitado (Erskine et al., 2009). A nivel mundial el cultivo de lenteja representa el 5.4 % de las legumbres de semillas cultivadas. El cultivo presentó un aumento detonante del año 1961 al 2019 incrementando su superficie en un 298 %. En el año 2019 los 4.8 millones de hectáreas sembradas produjeron 5.7 millones de toneladas, con un rendimiento promedio de una tonelada por hectárea (FAO, 2019).

Los principales países productores de lenteja son India, Canadá y Turquía, quienes para el año 2019 concentraron el 72,8 % de la superficie sembrada con lenteja. Durante el período comprendido entre 1993 y 2019, India y Turquía importaron en promedio más de 100,000 toneladas anuales, esto debido a que su consumo se encuentra fuertemente arraigado en su cultura. Asia y América concentraron el 85.4 % de la producción mundial durante el periodo 1994 a 2019. La producción de lentejas en los países asiáticos se destina principalmente al autoconsumo (Cárdenas et al., 2014).

A partir de la década de 1980, Canadá aumentó sus zonas productivas de legumbres convirtiéndose en uno de los principales exportadores a nivel mundial, abasteciendo a más de 150 países (González et al., 2017). En lo que respecta a México, son el segundo grupo de plantas más diversas, se siembra una superficie aproximada de 8,550 hectáreas, con un rendimiento total de 8,931 toneladas (Zagoruyko, et al. 2020). El estado de Michoacán ocupa el primer lugar con una superficie de 7,373 hectáreas, con una producción de 7,689 toneladas y es actualmente el principal productor de lenteja, con un 90-95 % de la producción nacional (FAO, 2023).

Lenteja (*Lens culinaris* M.)

Las legumbres son vitales para la seguridad alimentaria, son de producción económica, sostenibles para el medio ambiente, de cualidades nutricionales y representan para México un pilar importante en la soberanía alimentaria.

Una de las características de sostenibilidad en esta legumbre, es que es capaz de fijar el N₂ atmosférico en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* y reducirlo a amoníaco (NH₃) en estructuras radiculares especializadas denominadas nódulos. Esta naturaleza de las legumbres es de gran interés para la entrada de Nitrógeno a los sistemas agrícolas (Dixon et al., 2004; Herridge et al., 2008). Debido a esta capacidad, las legumbres permiten reducir el uso de fertilizantes nitrogenados durante su ciclo de desarrollo, además de que la incorporación de residuos vegetales aumenta el Nitrógeno orgánico del suelo (Shah et al., 2003). De igual forma, este beneficio es aprovechado en la agricultura mediante la rotación de cultivos estimulando la productividad de estos (Espinoza et al., 2011; Espinoza et al., 2015).

La producción de lenteja presenta un panorama alentador, debido a los bajos costos de cultivo, sin embargo, aunque su productividad es baja es una opción idónea en la dieta de los grupos de población de bajos ingresos en los países en desarrollo, por su contenido en proteínas, además de tener un efecto benéfico en la salud humana (Strasburger et al., 2002).

Clasificación taxonómica de la lenteja (*Lens culinaris* M.).

Las legumbres son plantas dicotiledóneas que pertenecen a la familia *Fabaceae*. Se denomina legumbre, del latín *legumen*, a un tipo de fruto seco, también llamado comúnmente vaina o capi, asimismo reciben este nombre las semillas comestibles que crecen y maduran dentro de este fruto y a las plantas que las producen (Tharanatan, 2003).

Dentro de la familia *Fabaceae* existen distintos tipos de crecimiento, tanto perennes (árboles y arbustos) como anuales (plantas herbáceas). La lenteja es una planta herbácea anual, con una apariencia similar al de un arbusto por presentar ramificaciones como el tallo del que parten. La clasificación taxonómica de la lenteja se presenta a continuación:

Taxonomía de la lenteja (Olmedilla et al., 2010)

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Familia: Fabaceae
Orden: Fabales
Género: *Lens*
Especie: *Lens culinaris* M.

Morfología de la planta.

La planta de *Lens culinaris* M. posee tallo delgado y rígido, llega a alcanzar una altura aproximada de 20 a 50 cm, de características ramosas y estriadas, en algunas ocasiones más alta pero nunca sobrepasa los 70 cm (Rebello et al., 2014; Davila, 2013). Una vez sembrada, la semilla absorbe humedad, se activan los procesos germinativos y al emerger la planta, se inicia la fase de crecimiento formándose el sistema radical y la parte aérea; los incrementos de temperatura favorecen la ramificación y la producción de hojas, estructuras importantes ya que son los sitios de producción de nutrientes que serán utilizados para la formación de vainas y llenado de las semillas (Aparicio-Tejo, 2008).

En lo que se refiere a las hojas, están formadas por un raquis de 50 mm de longitud en donde se insertan más de 15 folíolos, son paripinnadas con presencia de zarcillos en las hojas superiores. Los folíolos son ovalados y aplanados (Salvador, 2004). Por otra parte la aparición de flores marca el inicio de la fase reproductiva de la planta, momento en que los nutrientes almacenados en las hojas comienzan a ser transportados a los órganos florales, un factor importante es la humedad durante la floración y fructificación de la planta, requiriendo solo la humedad en el suelo durante la fase reproductiva, ya que es necesario para llenar las vainas que la planta ha logrado producir y formar la semilla, es entonces que el crecimiento de la semilla inicia una vez que la vaina ha alcanzado gran parte de su tamaño y peso definitivo. La semilla va a adquirir su coloración típica una vez que su humedad baja hasta un 15 %, de esta forma culmina el ciclo biológico de la planta (Pérez et al., 2014).

Las flores se encuentran insertadas en unos pedúnculos florales en un número de una a tres, son de pequeño tamaño con dos tipos de coloraciones, blancas o azules (Salvador,

2004). De 1 a 4 flores nacen en un solo pedúnculo y una sola planta puede producir hasta 10 a 150 pedúnculos, cada uno de 2.5 a 5 cm de largo (Muehlbauer et al., 1985).

Finalmente, la semilla de lenteja se caracteriza por tener un diámetro variable de entre 4 y 8 mm, con un peso promedio de 4 y 9 g/100 semillas, presentan forma de lente con colores que van del rojo al anaranjado, verde, marrón y negro. Se distingue por presentar dos cotiledones que constituyen los reservorios de proteína, siendo fundamental ya que suministran la energía necesaria para la germinación del embrión y crecimiento de la plántula durante sus primeros estadios de desarrollo. Por otro lado, el embrión es el órgano que da origen a la planta, está compuesto por la plúmula y la radícula, a partir de esta se formará el tallo principal y la raíz (Rebello et al., 2014; Davila, 2013).

Variedades de lentejas.

Existen diversas variedades de lentejas que se diferencian por color: amarillas, naranja, rojo, verde, marrón y negro, sus diferencias radican en la textura, la composición y la apariencia.

Por ejemplo, la lenteja negra conocida también como Beluga, se caracteriza por tener un tamaño pequeño, redondeado, de color negro y brillante. Tiene su origen en Canadá y Estados Unidos. Otra variedad es la llamada lenteja Reina, ésta a comparación de otras variedades de lenteja presenta un tamaño más grande. Es de color amarillo y de forma plana. La lenteja roja se caracteriza por sus tonalidades rojizas o anaranjadas, que después de la cocción cambia de tonalidad y pasa al amarillo. Otra característica es que están desprovistas de piel, por consecuencia esta variedad pierde parte de su sabor vegetal, su digestión es más fácil y disminuye su tiempo de cocción, tiene un contenido de fibra menor que las otras variedades de lentejas que conservan su piel. Por otro lado, está la lenteja parda, su tamaño es pequeño y su color es marrón claro. La lenteja Verdina, también conocida como lenteja verde de Puy, es de tamaño pequeño, su color varía entre el verde y el verde amarillento, esta variedad es la que mayormente se produce y se consume en México (Lara, 2013).

La estructura de las distintas variedades es similar, a excepción que algunas variedades que están desprovistas de su cubierta como se mencionó con anterioridad, sin embargo,

generalmente las principales partes de la semilla de lenteja son la cubierta de la semilla, el cotiledón (89 %), la testa (10 %) y el eje embrionario (1 %). El cotiledón contiene las principales sustancias de reserva, principalmente proteínas y carbohidratos. La testa es una barrera de protección para el cotiledón y contiene altas concentraciones de compuestos polifenólicos (Dueñas et al., 2006).



Figura 1. Variedades de lenteja diferenciadas por su color y tamaño (Uranda, 2020).

Valor nutrimental y propiedades de la lenteja.

Las legumbres desempeñan un papel importante en la nutrición humana, es un alimento con alta concentración de nutrientes, lo cual incide en la seguridad alimentaria nutricional, particularmente en países en vías de desarrollo. Las legumbres son fuente proteica destacable, contienen alrededor de 22 a 32 % de proteínas, este porcentaje depende entre otros factores de la variedad. El contenido en proteínas en las legumbres es superior al de los cereales, sin embargo, se complementan con respecto al tipo de aminoácidos esenciales disponibles. La lenteja es una fuente importante de aminoácidos esenciales principalmente leucina, lisina, treonina y fenilalanina, no obstante, es deficiente en aminoácidos azufrados: metionina, cisteína y triptófano (Mefleh et al., 2022). Por otra parte, también son fuente de carbohidratos, la lenteja contiene entre un 50-60 %, la mayoría en forma de almidón (Yadav et al., 2007). La parte de la semilla de la lenteja más abundante es el cotiledón, dispersado en la matriz proteica y

presentado en forma granular, el cual está formado en gran parte por almidón, representa la fracción mayoritaria llegando a constituir entre 41.55 a 45.6 % (Wang et al., 2006).

El almidón está formado por dos polisacáridos, amilosa y amilopectina. En la semilla de lenteja el contenido de amilosa varía entre el 20.7 % y el 45.5 %, esto dependerá de las condiciones del cultivo y la variedad analizada. El contenido de amilosa del almidón en la lenteja es considerado como un indicador de la capacidad que tiene el almidón para formar un gel (Joshi et al., 2013). La amilosa constituye generalmente entre el 15 % al 20 % del almidón y la amilopectina que es una molécula ramificada más grande, es el componente principal del polisacárido (Villarroel et al., 2018). Además del almidón aparecen otros hidratos de carbono como monosacáridos, disacáridos, trisacáridos, oligosacáridos que van desde el 5 % al 9 % (Olmedilla et al., 2010). Los azúcares libres mayoritarios son rafinosa y estaquiosa. En el consumo de lentejas, la rafinosa es considerada causante de flatulencias debido a que el cuerpo humano no tiene la enzima α -galactosidasa para su digestión, esto ocasiona que cuando las lentejas llegan al intestino, la rafinosa es degradada por bacterias, las descomponen y fermentan anaeróticamente produciendo metano (Villarroel et al., 2018).

Las legumbres y otras semillas son consideradas la mayor fuente alimentaria de fibra y de carbohidratos no digeribles. El término de fibra alimentaria o dietética consiste en el residuo vegetal no digerible, que incluye los polisacáridos no amiláceos y la lignina (Silva-Cristobal, 2010), es entonces que las fracciones de lignina y otros componentes (celulosa, hemicelulosa, lignina, B-glucanos, pectinas, gomas, oligosacáridos, galacto-oligosacáridos) que están íntimamente asociados a los polisacáridos, son las que se incluyen en la definición de fibra dietética considerando que su aporte es benéfico (Gray, 2006). La fibra dietética se divide en fibra soluble (FS) e insoluble (FI), cada una tiene diferentes propiedades fisiológicas. El término de fibra soluble se utiliza porque forman geles viscosos en el intestino delgado (pectinas y β -glucanos) influyendo en la absorción y retraso del vaciado gástrico, lo que dificultará la mezcla en la parte superior del intestino delgado, cambiando el lugar de absorción que a su vez disminuye el tiempo de tránsito en el intestino delgado y por consecuencia afecta principalmente la absorción de glucosa y lípidos consiguiendo un mayor control en el índice glucémico (Gray, 2006). En cuanto a la fibra insoluble (celulosa, parte de las hemicelulosas y lignina) tienen una gran influencia en el funcionamiento del intestino grueso, debido a que

incrementa el volumen fecal y disminuye el tiempo de tránsito intestinal, por lo que permite disminuir las interacciones entre la mucosa intestinal. La FI se distingue por ser un sustrato fermentativo de la microflora provocando por consecuencia una modificación o reducción de la producción de mutágenos que son eliminados en las heces (Jiménez-Escrig, 2001). El contenido de fibra en las legumbres se asocia a efectos benéficos a la salud. La relación entre fibra dietética insoluble (FDI) y soluble (FDS) tiene importancia nutricional. Se sugiere que la proporción de FDS y FDI está entre 1:4 y 1:3 (Mildner-Szkudlarz et al., 2013). Estudios señalan que una distribución del 30-50 % de FDS y un 50-70 % de FDI se consideran proporciones equilibradas para obtener los máximos efectos sobre la salud.

Por otra parte, el contenido de lípidos es bajo en comparación con el resto de los macronutrientes (3 %), sin embargo, se caracterizan por presentar un elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados. Estas grasas tienen beneficios importantes para la salud, siempre y cuando estén dentro de una dieta equilibrada. Entre sus beneficios destaca la reducción de los niveles de colesterol ayudando a prevenir problemas cardiovasculares, mejorar la respuesta inflamatoria del organismo y reducir la formación de placa en las paredes de las arterias. Las semillas de lenteja son ricas en vitaminas, principalmente B3, B6, B1, biotina, ácido pantoténico en cantidades bajas excepto la vitamina A, se encuentran E, K y D, son pobres en vitaminas liposolubles y vitamina C (Araneda, 2022). Las legumbres también constituyen una excelente fuente de minerales, en particular el hierro y el zinc. Se han observado niveles elevados de zinc en altramuza, lenteja y garbanzo (24- 176 µg/g de semilla seca) (Sparvoli et al., 2015). Los niveles de hierro más elevados lo presentan las judías, habas y lentejas (55-280 µg/g de semilla seca).

Compuestos bioactivos en la lenteja.

En la lenteja también se encuentra una gran variedad de compuestos bioactivos de presentes en las semillas de las legumbres, como los ácidos fenólicos, fitoesteroles, flavonoides y taninos condensados, estos compuestos bioactivos que están intrínsecamente relacionados con su actividad antioxidante, responsables de retrasar o inhibir el daño oxidativo (Chung-Wa et al, 2013). Las sustancias fenólicas son compuestos polihidroxilados que se sintetizan por las vías del ácido shikimico, pentosa fosfato y fenilpropanoides (Balasundram et al., 2006). Su

incorporación a la dieta ha sido relacionada con el control y prevención de diversas enfermedades metabólicas, tales como hipertensión, diabetes mellitus, afecciones cardiovasculares y cáncer de colon (Bernardi et al., 2019; Fraga et al., 2019; Mattioli et al., 2019). Además, estos compuestos están involucrados con ciertos atributos de los alimentos como el color, sabor y flavor, a raíz de esto, en los últimos años, las legumbres han sido estudiadas por su potencial uso en el desarrollo de alimentos funcionales.

Por otra parte, la parte lipídica insaponificable es una fuente de compuestos bioactivos como fitoesteroles y tocoferoles. Los fitoesteroles (β -sitosterol, campesterol y el estigmasterol) se hallan en pequeñas concentraciones en las legumbres. Estudios han demostrado su eficacia en la reducción del colesterol sanguíneo (Chen et al., 2019; Trautwein et al., 2018).

Factores anti-nutricionales de la semilla de lenteja.

Otro punto por destacar es que, si bien son abundantes los compuestos con valor nutricional y funcional en las semillas de lenteja, también existe la presencia de factores anti-nutricionales (FAN). Los FAN son una serie de metabolitos secundarios presentes en las legumbres que se generan como mecanismo de defensa de las plantas frente a situaciones de estrés o ataques de plagas o para atraer polinizadores (Bessada et al., 2019). Estos influyen principalmente en la digestibilidad proteica, entre ellos se encuentran los inhibidores de proteasas (tripsina y quimiotripsina), específicamente los inhibidores de tripsina y quimotripsina se unen a los aminoácidos esenciales, por lo tanto, la digestibilidad proteica se ve disminuida (Ros et al., 2017), los taninos condensados, ácido fítico, oligosacáridos, lectinas (hemaglutininas), entre otros, disminuyendo la función de las enzimas digestivas o secuestran nutrientes esenciales, y reducir su digestibilidad (Dhull et al., 2021; Nosworthy et al., 2018; Kumar et al., 2022). Por esta razón las legumbres necesitan un procesado previo al consumo con la finalidad de mejorar su perfil nutricional y reducir los factores anti-nutricionales (Corredor, 2013 & Martín-Cabrejas et al., 2009).

Finalmente, es importante mencionar que en la actualidad a las legumbres se les reconoce como alimentos funcionales debido a que ejercen un efecto positivo en distintas funciones metabólicas como por ejemplo el índice glucémico, la tasa de colesterol, el tránsito

intestinal o en el control lipídico del organismo, reducción del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes mellitus e hipertensión (Rooney et al., 2013 & Vaz-Patto et al., 2015).

1.3 Objetivo

Caracterizar los parámetros químicos de la lenteja (*Lens culinaris* M.) de dos variedades e identificar la presencia de compuestos con carácter nutritivo y funcional en la legumbre.

1.4 Materiales y métodos

Material de estudio.

El material de estudio consistió en semillas de lenteja (*Lens culinaris* M.) de las variedades verde y roja adquiridas en un mercado local de Morelia, Michoacán. La lenteja verde fue de la marca comercial verde valle® y la variedad roja de la marca comercial lima limón®. Fueron trasladadas al Laboratorio de Biotecnología “M.C. Víctor Manuel Rodríguez Alcocer” de la Facultad de Químico Farmacobiología de la UMSNH para su procesamiento y análisis.

Previo a la caracterización de cada una de las variedades de lenteja seleccionadas, la semilla se pulverizó en seco con el objetivo de reducir el tamaño de partícula, la trituration se llevó a cabo en un molino eléctrico Goldewall® hasta obtener un tamaño de partícula de 0.25 mm. El pulverizado obtenido se colocó en bolsas selladas al vacío y se almacenaron hasta su análisis.

Caracterización química de la lenteja roja y verde.

A continuación, se presentan las metodologías utilizadas para llevar a cabo la caracterización de las semillas de lenteja pulverizadas.

Determinación de los parámetros químicos proximales.

La composición de la lenteja verde y roja se determinó a través de un análisis químico proximal mediante la determinación de humedad, cenizas, proteína cruda, aceite, fibra dietaria total y carbohidratos. Los carbohidratos se obtuvieron por diferencia del total de lo analizado. Los análisis se desarrollaron de acuerdo con lo establecido por la AOAC (2005). Los análisis se llevaron a cabo en base seca y por triplicado para cada variedad de lenteja.

Determinación de humedad. Para determinar el porcentaje de humedad en la lenteja, se colocó en una cápsula de porcelana a peso constante 3g de la muestra. Posteriormente se llevó a secado en estufa a 105 °C durante 3 horas. Al término se transfirió a un desecador hasta peso constante. La determinación se llevó a cabo por triplicado. Para calcular el porcentaje de humedad se utilizó la siguiente fórmula.

Cálculos:

$$\% \text{ de Humedad} = (Pm - Ps) / m \times 100$$

Donde:

Pm = peso de la cápsula y la muestra húmeda en gramos.

Ps = peso de la cápsula y la muestra seca en gramos.

m = peso de la muestra húmeda en gramos.

Determinación de cenizas. El término de cenizas se refiere al material de carácter inorgánico que tiene la muestra. La metodología utilizada fue gravimétrica. En primer lugar, se acondicionó la harina de lenteja de ambas variedades (roja y verde), llevándolo a peso constante. A continuación, se pesó 3 g de harina de lenteja que fueron colocados en un crisol, la determinación se realizó por triplicado. Las muestras primeramente se carbonizaron a la flama directa en parrilla hasta que se dejó de emitir humo blanco, a continuación, se llevó a incineración en la mufla a 550 °C por 3 horas, hasta obtener cenizas blancas o grisáceas. Posteriormente el crisol con la muestra incinerada se colocó en el desecador por 30 min hasta enfriamiento y peso constante. Se registró el peso del crisol con la muestra y se utilizó la siguiente fórmula para realizar el cálculo del porcentaje de cenizas en la muestra:

“
Cálculos:

$$\% \text{Cenizas secas} = \frac{\text{Peso del crisol más cenizas (g)} - \text{Peso del crisol (g)}}{\text{Peso muestra seca (g)}} \times 100$$

Determinación de aceite. La determinación del contenido de aceite se realizó por el método Soxhlet descrito por la AOAC, para ello se colocaron 3 g de harina de lenteja (roja y verde) en un cartucho extractor de celulosa. Seguidamente se armó el sistema Soxhlet, para ello previamente se registró el peso de cada matraz balón vacío a utilizar. El cartucho con la muestra se colocó en el equipo de extracción Soxhlet y se efectuó la extracción por reflujo o la extracción con el solvente, utilizando el Hexano como solvente orgánico interactuando con la muestra durante 4 horas a una temperatura de 68.7 °C; el proceso se realizó bajo una campana de extracción. a un goteo constante. Al terminar el método, se prosiguió a recuperar el solvente. Posteriormente los matraces de balón con el hexano y el aceite extraído se llevaron a la estufa a una temperatura de 100 °C por 30 min. Para la evaporación del hexano, en seguida se colocaron en un desecador para atemperar y llevarlos a peso constante y se procedió a determinar el porcentaje de aceite. La determinación se efectuó por triplicado. El porcentaje de aceite, también identificado como porcentaje de extracto etéreo se calculó utilizando la siguiente fórmula:

Cálculos:

$$\% \text{ de Extracto etéreo} = (P - p / M) 100$$

Donde:

P = peso en gramos del matraz con grasa

p = peso en gramos del matraz sin grasa y

M = peso en gramos de la muestra

% de lípidos como extracto etéreo = N / P x 100

Determinación de nitrógeno proteico. Para la determinación de nitrógeno proteico se utilizó el método Kjeldahl descrito por la AOAC para la cuantificación de nitrógeno orgánico. Esta determinación se llevó a cabo en 3 etapas: digestión, destilación y titulación. Esta metodología se realizó por triplicado.

Digestión: En esta metodología se implementó un blanco. Posteriormente para cada repetición se pesó 1 g de muestra en base seca y se colocó en un papel filtro, los reactivos utilizados fueron: óxido de mercurio rojo 0.7 g (catalizador) y sulfato de sodio anhidro grado reactivo (10 g). El papel filtro con la muestra se colocó en un matraz Kjeldahl (balón Kjeldahl). Posteriormente al matraz se le adicionaron 25 ml de H₂SO₄ concentrado y finalmente el matraz balón se colocó en el equipo digestor a calentamiento para generar una combustión (método de digestión húmedo) por 1 hora hasta la aparición de un color transparente. Después de completar la digestión de la materia orgánica se generan sales inorgánicas (sulfato de amonio).

Destilación: Después de la digestión, los matraces Kjeldahl se dejaron atemperar para la cristalización de las sales inorgánicas, posteriormente estas sales se disolvieron con 220 ml de agua destilada y se añadió 25 ml de solución de tiosulfato de sodio al 8 % para precipitar el mercurio, se añadieron 75 ml de NaOH al 45 %, se tapó el matraz y se colocó en el destilador. Por otro lado, en un matraz Erlenmeyer de 500 ml se adicionaron 50 ml de H₂SO₄ 0.0952N y 5 gotas de rojo de metilo, posteriormente se conectó al matraz con el condensador inmerso en la solución receptora de H₂SO₄ 0.1 N y 4 gotas de la solución indicadora de rojo de metilo, se inició el calentamiento destilando el amoníaco liberado.

Titulación: Finalmente se tituló el exceso de solución ácida destilada con una solución NaOH 0.1 N. Los volúmenes gastados tanto del blanco y las muestras fueron registrados para posteriormente realizar el cálculo del porcentaje de proteína.

Cálculos:

$$\% \text{ Nitrógeno proteico} = (B-S) \times N \times 0.01401 \times Fp / Pm \times 100$$

Donde:

B = ml de solución alcalina utilizados en la titulación en retroceso del blanco

“
S = ml de la solución alcalina utilizado en la titulación de la muestra
N = normalidad de la solución alcalina utilizada en las titulaciones
Fp=Factor proteico 6.25
Pm = peso de la muestra en gramos.

Determinación de Fibra dietética total. Para la determinación de fibra dietética total contenida en la lenteja verde y roja se siguió el método enzimático gravimétrico (Asp, N.G., Johansson, C.G., Hallmer, H., and Siljeström, M., Rapid Enzymatic Assay of Insoluble and Soluble Dietary Fiber, J. Agric. Food Chem., 1983, 31, 476 - 482, y por la AOAC (Official Method 991.43). Para esta determinación se pesó 1g de muestra, se realizaron dos repeticiones para la muestra y el valor blanco (sin muestra). Posteriormente en vasos de precipitados de 400 ml se pesó la muestra. Se adicionaron 40 ml de solución tampón MES/TRIS. La degradación enzimática en el vaso de precipitado se mantuvo en agitación constante en baño María. Posteriormente, se añadieron 50 µl de solución de α -amilasa, se incubó durante 30 minutos a 95 - 100 °C, y se enfrió a 60 °C. Posterior a los 30 minutos, se adicionaron 50 µl de solución de proteasa y se incubó durante 30 minutos a 60 °C. Se ajustó el valor de pH a 4,0 - 4,7 a 60 °C utilizando hidróxido de sodio al 5 % o con ácido clorhídrico al 5 % ácido clorhídrico (0,56 mol/l). Finalmente se adicionaron 150 µl de solución de amiloglucosidasa e incubó durante 30 minutos a 60 °C.

Tras la degradación enzimática, se adicionaron cantidades de 220 ml de etanol al 95 % calentada a 60°C. El precipitado formado se dejó reposar por 1 h a temperatura ambiente, se decantó, el residuo se transfirió a un papel filtro con etanol al 78 %. El residuo se lavó 3 veces con 15 ml de etanol al 78 %, 2 veces con 10 ml de etanol al 95 %, y 3 veces con 10 ml de acetona. Se secó por 8 hrs a 105 °C., posteriormente se dejó enfriar y se pesó con una exactitud de 0,1 mg. Un papel filtro de cada muestra y otro del blanco, se utilizaron para la determinación de proteínas, y dos para la determinación de cenizas.

Determinación de fibra dietaria insoluble. Tras la degradación enzimática, el sobrenadante se filtró al vacío. Posteriormente se lavó el precipitado dos veces con 10 ml de agua a 70 °C y se transfirió conjuntamente el filtrado y el agua de lavado a vasos de precipitados previamente tarados. Posteriormente los residuos se lavaron 2 veces con 15 ml de etanol al 78 %, etanol al 95 % y acetona. Se prosiguió a secar por 8 hrs a 105°C y se pesaron con una exactitud de 0,1 mg.

Determinación de fibra dietaria soluble. Al filtrado y los lavados hechos a los vasos de precipitado se adiciona una cantidad de 4 veces mayor de etanol al 95 % a 60 °C. El precipitado formado se dejó reposar 1 h a temperatura ambiente, posteriormente se decantó al vacío en papel filtro. Los residuos se lavaron 3 veces con 15 ml de etanol al 78 %, 2 veces con 10 ml de etanol al 95 % y 3 veces con 10 ml de acetona. Finalmente se dejó secar por 8 hrs a 105 °C y se pesó.

Cálculos:

$$\% \text{ Fibra dietética total} = \{[R1+R2/2]-P-A-B\}/[(M1+M2)/2]*100$$

Donde:

R1, R2= peso promedio de los residuo (g)

P=peso promedio de proteína (g)

A=peso promedio cenizas(g)

M1, M2=peso promedio de las muestras(g)

Determinación de carbohidratos totales. El contenido de carbohidratos totales en las muestras de ambas variedades de lenteja fue determinado por diferencia después de que se completaron los análisis de ceniza, proteína, grasa y fibra. Se tomó como valor referencia 100 g de muestra y los otros componentes de la muestra como porcentaje.

$$\% \text{ Carbohidratos totales} = 100 - (\% P + \% F + \% C + \% A)$$

%P: porcentaje de proteínas

%F: porcentaje de fibras.

%C: porcentaje de cenizas.

%A: porcentaje de aceite.

1.5 Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico JMP versión 11. Se realizó un análisis factorial y una prueba de comparación de medias de Tukey, se trabajó con un nivel de significancia de ($\alpha=0,05$) para establecer las diferencias entre las medias.

1.6 Resultados y Discusión

Composición química proximal de las lentejas variedad verde y roja

Los resultados del análisis de los parámetros químicos estudiados en las muestras de lenteja de la variedad verde y roja se encuentran representados en la **Tabla 1**, los resultados se expresan en porcentaje \pm la desviación estándar, obtenidos del promedio de los resultados llevados a cabo por triplicado.

En la composición química se observó que la lenteja verde presentó el mayor contenido de humedad (8.16 %) con respecto a la variedad roja (7.3 %) mostrando diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$). Estos valores fueron inferiores a los reportados por (Costa et al., 2006., Polo et al., 2012) de 9.41 % y 10.12 %. Sin embargo, con respecto a otros autores la humedad de las lentejas estudiadas fue mayor a las reportadas para garbanzo (2.29 %), frijol (5.25 %) y haba (11.77 %) (Silvia et al., 2007 & Polo et al., 2007).

Tabla 1. Composición química proximal de la lenteja (*Lens culinaris* M.) variedades verde y roja (%).

Muestra (%)	Variedad de lenteja	
	Verde	Roja
Humedad	8.16 \pm 0.27 ^a	7.3 \pm 0.15 ^b
*Proteína	27.07 \pm 0.14 ^a	25.83 \pm 0.02 ^b
Aceite	1.56 \pm 0.39 ^a	1.03 \pm 0.16 ^a
Cenizas	2.72 \pm 0.03 ^b	2.92 \pm 0.03 ^a
Fibra dietaria total	26.93 \pm 0.15 ^a	23.20 \pm 0.02 ^a

“

Carbohidratos totales	33.56±0.33 ^b	39.72±0.28 ^a
------------------------------	-------------------------	-------------------------

Media de 3 repeticiones ± error estándar,
Media de 3 repeticiones ± error estándar, en base seca.

*Nx6.25

Carbohidratos totales, por diferencia

Medias dentro de cada fila con letras iguales no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Hay que resaltar que determinar el contenido de humedad es fundamental, ya que, si se tiene un valor mayor al 15 %, durante el almacenamiento puede llegar a crecer hongos, generando contaminación y descomposición afectando la estructura de la semilla, además de que se puede llegar a activar el proceso de germinación tras la activación de enzimas metabólicas. La NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008 cita el límite máximo de 15 % de humedad establecido para la comercialización de las legumbres.

Uno de los componentes de mayor valor nutricional en las legumbres y específicamente en la lenteja es el contenido en proteínas. En el estudio llevado a cabo se encontró que la lenteja verde tuvo un contenido de proteína de 27.07 % significativamente mayor ($p \leq 0.05$) que la lenteja roja (25.83 %). Zulet et al., 2001 encontraron valores de 20-28 % de proteína en lenteja verde y roja, los cuales coinciden con los reportados en este estudio y 30.7 % para otras variedades de lentejas (Polo et al., 2007). Otros autores han reportado valores inferiores a los reportados en este trabajo de 22.40 % (Silva et al., 2007) y de 25.16 % (Polo et al., 2007). Comparando estos valores con otras legumbres se reportan valores inferiores para el garbanzo (23.56% - 21.34 %), frijol negro (18.50 %), haba (27.17 %) y arveja (22.64 %) (Silva et al., 2007). Con respecto a la soya, esta posee el mayor contenido de proteína (40 %) (Aparicio et al., 2016), Hernández, (2017) reporta 36.49 % de proteína de soya con respecto al grupo de las legumbres. La soya es considerada una buena fuente de proteína vegetal, caracterizada por su fácil digestibilidad, además posee la mayoría de los aminoácidos esenciales, esto en comparación a los cereales que contienen relativamente menor cantidad de proteína en un promedio de 10-12 % en peso seco.

Por otro lado, se considera que las legumbres llegan a tener incluso mayor contenido de proteína que la carne. El contenido de proteína en la carne animal oscila entre 16 – 22 %, pero la soya por ejemplo duplica el porcentaje, sin embargo, aproximadamente el 40 % de los aminoácidos que componen las proteínas de la carne son esenciales, lo que hace que este producto sea considerado como un alimento de elevado valor biológico. En lo que se refiere a los cereales y legumbres tienen aminoácidos limitantes como Triptófano y Metionina, por lo que no pueden llegar a ser una proteína de alto valor biológico, no obstante, al combinarse entre ambas semillas mejora su calidad, ya que se complementan entre sí y además sus beneficios se multiplican, dando como resultado una opción para las personas que no deseen incorporar carne roja a su dieta. Así, los cereales y legumbres son considerados saludables, no solo por su fuente de proteína, sino que además contienen compuestos que no se encuentran en los alimentos de origen animal tales como antioxidantes, fibra y los elementos fitoquímicos (Pamplona, 2006). Las diferencias en el contenido de proteína entre las variedades de lentejas, al igual que otros tipos de legumbres puede deberse a ciertos factores, por ejemplo, las prácticas agrícolas, la época de cosecha, el almacenamiento, condiciones ambientales, entre otros. Estudios realizados incluso, han reportado que los factores anti-nutricionales (inhibidores de proteasas, fitatos, lectinas incluyendo la fibra dietética) pueden llegar a contribuir en los cambios hallados en los resultados con respecto al contenido de proteínas (Sandberg, et al., 2001; (Silva et al., 2007).

En referencia al contenido de aceite la concentración más alta estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$), fue encontrada en lenteja verde (1.56 %) a diferencia de la variedad roja (1.03 %), la diferencia entre ambas fue de 0.53 %. Por su parte Zulet et al (2001); Candela et al., 1997) encontraron un valor de 1-3 % de aceite para diferentes variedades de lentejas. Otros autores han reportado valores inferiores (0.73 % - 0.98 %) (Silva et al., 2007).

En general las legumbres son de un contenido bajo de aceite, excepto la soya y el cacahuate que tienen porcentajes altos (23.31 % y 50.46 % respectivamente) (Polo et al., 2007; Carmona et al., 2007). Por otra parte, entre el resto de las legumbres sobresale el garbanzo que tiene aproximadamente 6.34 % (Silva et al., 2001) y las que tienen menor contenido como haba (1.62 %), arveja (1.18 %) y frijol negro (1.59 %) (Marconi et al., 2005; Carmona et al., 2007). Las variaciones entre las distintas variedades de lentejas y otras legumbres en el

contenido de aceite pueden deberse a factores como la localización del cultivo, el tipo de suelo, condiciones ambientales, precipitaciones pluviales (Paredes-López et al., 2006).

Por lo que concierne al porcentaje de cenizas, en las legumbres como la lenteja los minerales aportan beneficios a la salud. Los minerales son elementos inorgánicos esenciales para el organismo como componentes estructurales y reguladores de los procesos corporales. El contenido de cenizas en un alimento es un valor genérico que representa al contenido de minerales, en las legumbres este valor varía de 2 a 5 %, este contenido es afectado por las condiciones de cultivo, ambientales, el genotipo y el cultivar (Hall et al., 2017). Las legumbres son principalmente altas en potasio, magnesio, hierro y manganeso, otros minerales de interés incluyen zinc, cobre, selenio y calcio. En los resultados mostrados en la Tabla 1 puede observarse que la lenteja verde contiene un valor promedio de 2.72 % de cenizas, significativamente menor que el observado en la variedad roja (2.92 %). Estos valores son similares a los reportados por otros autores (2.83 %) (Polo et al., 2007; Lqbal et al., 2006 & Zhao et al., 2005). Con respecto a otras legumbres, los valores de cenizas en las lentejas estudiadas son inferiores, por ejemplo, la soya (5.36 %) y garbanzo (4.05 %) son las semillas con mayor contenido de minerales (Cai et al., 2001).

Con relación al contenido de carbohidratos totales, la lenteja roja presentó un contenido de carbohidratos (39.72 %) significativamente ($p \leq 0.05$) mayor en comparación con la lenteja verde (33.56 %). Entre los compuestos que se encuentran en este grupo destacan el almidón, los oligosacáridos y la fibra. Estos compuestos influyen positivamente a la salud, ya que están relacionados con disminuir el índice glucémico, asimismo existe una relación entre el consumo de estos compuestos y la incidencia de la obesidad, insuficiencia cardiaca, enfermedades cardiovasculares etc. La ingesta de almidón, oligosacáridos y fibra ejercen un control del apetito al producir una sensación de saciedad más duradera que cualquier otro alimento, siendo esto fundamental en el control del peso corporal.

Fibra dietética total (FDT) y sus fracciones soluble (FDS) e insoluble (FDI) en lenteja.

Por último, en lo que respecta al contenido de fibra dietética total (FDT), se conoce que las legumbres se caracterizan por presentar cantidades altamente significativas, por consecuencia las convierte en uno de los alimentos con mayor aporte de fibra convirtiéndose en una opción saludable (Guillon et al., 2002).

Con relación a los resultados se observó que la lenteja verde presentó mayor porcentaje de FDT (26.93 %) y la variedad roja el valor más bajo de (23.20 %), con diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) (Tabla 2). Lo anterior tiene razón a que la variedad verde al estar provista de su cascarilla, se refleja en un mayor contenido de fibra, la cubierta de las semillas contienen niveles elevados de celulosa. Otros autores han llegado reportar de 18.75 %; 20.89 % para las semillas de lenteja, con lo que respecta a otras legumbres han reportado valores de 31.24 % para el frijol y 21.78 % para garbanzo (Polo et al., 2007; Silva et al., 2007).

Tabla 2. Fracciones de fibra dietética total (FDT), fibra insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS) en la harina de lenteja cruda de ambas variedades (verde y roja).

HARINA DE LENTEJA	% FRACCIONES FIBRA DIETÉTICA		
	FDT	FDS	FDI
<i>Verde cruda</i>	26.93 ± 0.87a	3.1 ± 0.97d	23.83 ± 2.62b
<i>Roja cruda</i>	23.2 ± 0.36b	2.28 ± 0.33d	20.97 ± 0.04c

Cada valor representa la media ± la desviación estándar de tres repeticiones de la misma muestra. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p \leq 0.05$.

Los resultados sobre la FDI y la FDS en la harina de lenteja verde se encuentran en la tabla 2. Respecto al nivel de FDI presente en la lenteja verde (23.83%), se observa que es más alto con respecto a la harina de lenteja roja (20.97%), estadísticamente hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$). En lo que se refiere al contenido de DFS en las muestras crudas, se observa en la tabla 2, que el contenido de esta fracción fue asimismo más mayor ($p \leq 0.05$) en la harina cruda verde (3.1 %), observándose un valor menor en la harina cruda roja (2.28%). Y estadísticamente el modelo obtuvo un coeficiente de determinación ajustado de ($R^2=0.99$) nos

dice que el porcentaje de variación de la variable dependiente es explicado bien por todas las variables independientes.

Estos resultados coinciden con lo reportado (Wang et al., 2009) estudiaron el efecto del descascarado sobre la variedad de lenteja roja y encontraron una disminución significativa en los contenidos de fibra dietética total (FDT), fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS), debido a que la cubierta de la semilla contiene una cantidad significativa de fibra y almidón.

Identificación de los compuestos con carácter nutritivo y funcional en la lenteja verde y roja.

Las legumbres constituyen unas de las familias botánicas más relevantes desde el punto de vista nutricional, con respecto a los compuestos con interés nutricional destaca principalmente las proteínas, el contenido proteico para ambas variedades de lenteja fue en un promedio de 25-27%, siendo mayor en la variedad verde, que asimismo su contenido proteico de su genotipo y factores medioambientales (Duranti,2006).

El contenido de lípidos totales representa igualmente un valor nutricional y en ambas variedades de lenteja se mantuvo en valores bajos (1.56- 1.03%). Sin embargo, representan un grupo heterogéneo que incluye ácidos grasos poliinsaturados (ácido oleico) y monoinsaturados (linoleico, y el α -linolénico), a razón de ello se sugiere el consumo regular de lentejas con el objeto de disminuir la ingesta de grasa saturadas. Por otra parte, los minerales también son compuestos nutricionales y la cantidad de cenizas representa el contenido total de minerales en la harina de lenteja (Olmedilla,2010).

En lo que se refiere a los carbohidratos, si bien representa un compuesto con carácter nutritivo, representa gran importancia por su aporte funcional. El almidón, la fibra y los oligosacáridos constituyen los componentes principales de carbohidratos presentes en las legumbres y siendo el almidón el polisacárido mayoritario, su carácter funcional destaca por sus propiedades tecno-funcionales, son particularmente dos los compuestos involucrados en la tecno-funcionalidad, el almidón y las proteínas, la propiedad que tiene el almidón de

gelatinizar puede promover cambios en las propiedades fisicoquímicas y funcionales que permita usarse en el desarrollo de formulaciones alimentaria a base de harina de lenteja. Ambas variedades se caracterizan por un alto contenido de fibra dietaría total, predominado en la variedad verde, lo cual contribuye al bajo índice glucémico. Químicamente, la fibra está formada por un conjunto de moléculas heterogéneas, como hemicelulosas, pectinas y lignina, este tipo de fibra actúan como almidón resistente a la degradación de las enzimas digestivas y alcanza el colon, donde es parcialmente fermentado por el microbiota intestinal, produciendo como principales metabolitos ácidos grasos de cadena corta que representan propiedades beneficiosas en la salud (Fernández et al.,2015 & Periago et al, 2005).

1.7 Conclusión

La caracterización de los parámetros químicos de las dos variedades de lentejas, verde y roja muestran diferencias significativas en cuanto a sus aspectos nutricionales y funcionales. La lenteja verde destaca por su elevado contenido de proteínas, superando a la lenteja roja en este aspecto, mientras que esta última presenta un mayor valor en carbohidratos y cenizas. En términos de componentes funcionales, ambas variedades exhiben un notable contenido de fibra dietética total, siendo la lenteja verde la que presenta una cantidad superior en comparación con la roja.

Los resultados de caracterización sugieren que la elección entre las variedades de lentejas podría depender de los objetivos nutricionales y tecnológicos específicos. Estas características proporcionan ventajas tanto en el consumo directo como en la utilización de la lenteja procesada.

1.8 Referencias

Abbas, Y., & Ahmad, A. (2018). Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: a Review. *Annals. Food Science and Technology*, 19(2), 199-215.

Bessada, S. M. F., Barreira, J. C. M., & Oliveira, M. B. P. P. (2019). Pulses and food security: Dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 93, 53– 68. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.08.022>

Bhatty, R. S. (1988). Composition and quality of lentil (*Lens culinaris* Medik): a review. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 21(2), 144-160.

Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial byproducts: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203.

Bernardi, S., Del Bo', C., Marino, M., Gargari, G., Cherubini, A., Andrés-Lacueva, C., Kroon, P., Kirkup, B., Porrini, M., Guglielmetti, S., & Riso, P. (2019). Polyphenols and intestinal permeability: rationale and future perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(7), 1816-1829.

Bøckman, O.C. (1974). "Fertilizers and biological nitrogen fixation as sources of plant nutrients." *Perspectives for future agriculture. Plant and Soil*, 194(1-2), 11-14, nutrients: *Perspectives for future agriculture*. https://doi.org/10.1007/978-94-011-7113-7_2

Cárdenas Travieso, R.M. "Comportamiento agronómico de la lenteja (*Lens culinaris* Medik.) en la localidad de Tapaste, Cuba." *Cultivos Tropicales*, 35(4), 92-99.

Chen, Y., She, Y., Kaur, R., Guo, N., Zhang, X., Zhang, R., & Gou, X. (2019). Is plant sterols a good strategy to lower cholesterol. *Journal of Oleo Science*, 45, 91-166.

Corredor, M.P., Quevedo, K. (2013). Efecto combinado de la imbibición y la germinación sobre la calidad del quinchoncho (*Cajanus cajan* L) Millsp). *Ciencia*. 21(4). 192-200.

Chung-Wa, M., & Mengying, F. (2013). Optimization for the extraction of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* and their antioxidant and antiproliferative activities. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 886-894.

Dhull, SB, Kidwai, MK, Siddiq, M. y Sidhu, JS (2022). Faba (amplia) producción, procesamiento y perfil nutricional del frijol. En *frijoles secos y legumbres: producción, procesamiento y nutrición*, 359–381. <https://doi.org/10.1002/9781119776802.ch14>

Drulyte, D. & Orlie, V. (2019). The Effect of Processing on Digestion of Legume Proteins. *Foods*, 8(6), 224.

Dixon, R., and D. Kahn. "Genetic regulation of biological nitrogen fixation." *Nature Reviews Microbiology*, vol. 2(8), 2004, 621-631, <https://doi.org/10.1038/nrmicro954>.

Dueñas, M., Hernandez, I & Estrella, I. (2006). Assessment of in Vitro antioxidant capacity of the seed coat & the cotyledon of legumes in relation to their phenolic contents. *Food Chemistry*. 98:95-100.

Davila, M., Sangronis, E., & Granito, M. (2019). Leguminosas germinadas o fermentadas: alimentos o ingredientes de alimentos funcionales. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222003000400003

Estrada, A.E & Martinez, A.M. (2003). Los géneros de leguminosas del Norte de México. Ed. Brit Press. México. pp.1-2.

Espinoza, S., et al. (2011). "Biological fixation of N₂ in mono and polyspecific legume pasture in the humid Mediterranean zone of Chile." *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(1), 32-139, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392011000100016>.

Espinoza, S., et al. (2015) "Contribution of legumes to the availability of soil nitrogen and its uptake by wheat in Mediterranean environments of central Chile." *Chilean Journal of Agricultural Research*, vol. 75(1), 111-121, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392015000100016>

Fraga, C.G., Croft, K.D., Kennedy, D.O., & Tomás-Barberán, F.A. (2019). The effects of polyphenols and other bioactives on human health. *Food and function*, 10(2), 514-528.

“
FAO (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de: <http://www.fao.org/pulses-2016/es/>.

FAO. 2023. Día Mundial de las Legumbres. [Consultado: 24 de mayo 2023].

Jiménez-Escrig, A., Rincón, M., Pulido, R., Saura-Calixto, F. (2001). Guava Fruit (*Psidium guajava* L.) as a New Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 5489-5493.

Fernández-Orozco, R., Zielinski, H., & Piskula, M. (2003). Contribution of low-molecular-weight antioxidants to the antioxidant's capacity of raw and processed lentil seeds. *Die Nahrung*, 291-299.

Guillon, F., & Champ, M.J. (2002). Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health. *British Journal of Nutrition*, 88(S3), 293-306.

González, J., K. Tay. (2017). “Producción de porotos y garbanzos en el secano costero del Valle del Mataquito.”

Joshi, M., Aldred, P., Panozzo, J., Kasapis, S., Adhikari, R., & Adhikari, B. (2013). Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. *Carbohydrate Polymers*, 2, 1484-1496.

Mattioli, A.V., Farinetti, A., & Gelmini, R. (2019). Polyphenols, Mediterranean diet, and colon cancer. *Supportive Care in Cancer*, 27(11), 4035-4036.

Mefleh, Marina, et al. (2022). “Legumes as basic ingredients in the production of dairy-free cheese alternatives: a review.” *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 102, 2-18, DOI 10.1002/jsfa.11502.

Martín-Cabrejas, M.A., Díaz, M.F., Aguilera, Y., Benítez, V. Mollá, E. & Esteban, R.M. (2008). Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non-conventional legumes. *Food Chemistry*, 107(3), 1045-1052.

Nosworthy, MG, Medina, G., Franczyk, AJ, Neufeld, J., Appah, P., Utioh, A., Frohlich, P. y House, JD (2018). Efecto del procesamiento sobre la calidad proteica in vitro e in vivo de lentejas rojas y verdes (*Lens culinaris*). *Química de los Alimentos*, 240, 588–593. <https://doi.org/10.1016/j.>

Napa, S., Imran, A., & Thanakorn, D. (2013). Comparative analysis of antioxidant and anti-melanogenesis properties of three local guava (*Psidium guajava* L) varieties of Thailand, via different extraction solvents. *Food Measure*, 207-214.

Olmedilla Alonso, B., Farré Rovir, R., Asensio Vegas, C., y Martín Pedrosa, M. (2010). Papel de las leguminosas en la alimentación actual. *Actividad Dietética*, 14(2), 72–76. [https://doi.org/10.1016/S1138-0322\(10\)70014-6](https://doi.org/10.1016/S1138-0322(10)70014-6).

Rashid, H. (2012). “Genetic diversity of rhizobia nodulating lentils (*Lens culinaris*) in Bangladesh.” *Systematic and Applied Microbiology*, 35(2), 98-109, <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2011.11.008>.

Ros Berruezo, G., & Periago Castón, M. J. (2017). Calidad y composición nutritiva de hortalizas, verduras y legumbres. In *Tratado de Nutrición* (3a , pp. 251–263). Ed. Médica Panamericana.

Silva-Cristobal, L., Osorio-Díaz, P., Tovar, J., & Bello-Pérez, L. (2010). Chemical composition, carbohydrate digestibility, and antioxidant capacity of cooked bean, chickpea, and lentil Mexican varieties. *CyTA Journal of Food*, 7-14.

Su, H.L., & Chang, K.C. (1995). Physicochemical and sensory properties of dehydrated bean paste products as related to bean varieties. *Journal of Food Science*, 60, 764-794.

Shah, Z., et al. “Crop residue and fertilizer N effects on nitrogen fixation and yields of legume-cereal rotations and soil organic fertility.” *Field Crops Research*, vol. 83(1), pp. 1-11, rotations and soil organic fertility. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00005-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00005-4).

Strasburger, E., Noli, F., Schenck, H., y Schimpe, A. F. W. (2002). *Tratado de Botánica* (35° Edición).

Tharanathan, R. N & Mahadevamma, S. (2003). Grain legumes-a boon to human nutrition. *Trends in Food Science and Technology*. 14:507-518.

- Uranda. 2020. Lentejas, la legumbre más digestiva y de más rápida cocción. <https://ecovegetariano.com/2020/03/24/lentejas-la-legumbre-masdigestiva-y-de-mas-rapida-coccion/>.
- Vaz Patto, M. C., Amarowicz, R., Aryee, A. N., Boye, J. I., Chung, H. J., Martín Cabrejas, M. A., & Domoney, C. (2015). Achievements and challenges in improving the nutritional quality of food legumes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(1-3), 105-143
- Villarroel Pia. (2018). "Resistant starch: Technological characteristics and physiological interests." *Revista Chilena Nutrición*, 45(3), 2018, 271-278, <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000400271>.
- Wang, N., & Daun, J. K. (2006). Effects of variety and crude protein content on nutrients and anti-nutrients in lentils (*Lens culinaris*). *Food Chemistry*, 95(3), 493-502.
- Wu, Y., & Inglett, G. E. (1974). Denaturation of plant proteins related to functionality and food applications. A review. *Journal of Food Science* 39(2), 218-225.
- Wang, N., Hatcher, DW, Toews, R. y Gawalko, EJ (2009). Influencia de Cocinar y descascarar sobre la composición nutricional de varias variedades de lentejas (*Lens culinaris*). *LWT-Ciencia y tecnología de los alimentos*, 42,842–848. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.10.007>
- Zulet, M., & Martínez, J. (2001). Dieta Mediterránea: legumbres y colesterolemia. *Revista Chilena de Nutrición*, 28, 312-320.

CAPÍTULO II. Determinación del efecto de la imbibición sobre las propiedades nutricionales y funcionales de la harina de lenteja variedades verde y roja.

2.1 Resumen

La lenteja (*Lens culinaris* M.) es de valor nutritivo y funcional. Su concentración en proteínas es de 22 a 32 % (25.1-31.8 % albúminas, 26.2-34.6.5 % globulinas y ≤ 5 % prolaminas). Son ricas en aminoácidos: arginina, ácido aspártico, glutámico y lisina. Contiene compuestos anti-nutricionales que afectan la calidad proteica, biodisponibilidad, utilización digestiva y metabólica de compuestos nutritivos. Sin embargo, muchos de estos compuestos tienen actividad antioxidante (AOX) y en su mayoría se atribuye a los polifenoles totales (PT). La calidad nutricional de la lenteja puede diferir con respecto a la variedad y el procesamiento al que se le destine. Las lentejas generalmente son consumidas posterior, al ser procesadas por cocción hidro-térmica. Otro de los procedimientos de transformación de la legumbre es el remojo (imbibición) que antecede a la cocción. Estudios sugieren que la imbibición aumenta la digestibilidad proteica y promueve la eliminación o reducción de componentes anti-nutritivos mejorando la biodisponibilidad proteica. Por lo anterior, el objetivo del presente capítulo fue determinar el efecto de la imbibición de la lenteja variedad verde y roja sobre las fracciones proteicas, fibra dietética y la AOX de la harina. Las lentejas fueron imbibidas en agua (50 °C/0, 1, 2, 3 y 4 h), las semillas se deshidrataron (70°C/12h), pulverizaron y empacaron al vacío. La muestra control 1 fue harina de lenteja cruda y control 2 cocida (94°C/30 min). Se determinaron las fracciones proteicas (Método Osborne, 1924). La AOX se determinó por ABTS y DPPH. Se determinaron PT (método Folin-Ciocalteu). Los resultados indican que la cocción por ebullición disminuye la fracción albúminas/globulinas con respecto a la harina de lenteja cruda, contrario a la harina de lenteja imbibida a 1 y 2 h donde se obtuvo un mayor porcentaje de dichas fracciones, disminuyendo a las 4 h. Con relación a PT, la harina control 1 tuvo el mayor contenido de PT seguido de la roja. La cocción disminuye significativamente los PT al igual que la imbibición de lenteja en harina verde y roja respecto al control 1 y no presenta diferencias con el control 2. Por ABTS y DPPH, el control 1 tiene el mayor porcentaje de inhibición, siendo superior en verde que en roja y disminuye en el control 2. La imbibición disminuye el porcentaje de inhibición, sin embargo, es a las primeras horas donde se obtiene la mayor inhibición, sobresaliendo en verde. Se concluye que la imbibición induce el mayor porcentaje de extracción proteica. La cocción por ebullición disminuye significativamente el contenido de proteínas. Con respecto al score de aminoácidos corregidos por digestibilidad y de acuerdo a los valores obtenidos, la lenteja verde tuvo el menor score proteico en los aminoácidos de metionina y cisteína (aminoácidos azufrados) (0.66%), con un valor de PDCAAS de 0.52 y para la lenteja roja presentó un score proteico (0.93), con un valor de PDCAAS de 0.76. Referente a la determinación de fibra, la harina de lenteja verde cocida se registró el mayor porcentaje de FDT (38.68%) con respecto a la harina de lenteja cocida de la variedad roja (31.49%). La harina

imbibición a las 4h, presentó el mayor contenido de FDT, asimismo en sus dos fracciones FDI (23.54%) y FDS (7.96%). La harina imbibición a 1h, obtuvo el menor contenido de FDT (25.03%), sin diferencia significativa con respecto a la harina cruda. En las harinas imbibidas de la variedad roja se observó una disminución en la FDT con respecto a la harina cocida. Los PT y la AOX disminuyen en la harina de ambas variedades de lenteja.

Palabras clave: imbibición, anti-nutricionales, propiedades tecno-funcionales, fracciones proteicas.

2.2 Estado del arte

Las lentejas son un alimento con implicaciones importantes para la seguridad alimentaria, son accesibles física y económicamente, tienen un impacto benéfico en la salud humana, por su aporte proteico pueden disminuir el riesgo de desnutrición y de enfermedades crónico-degenerativas, son consideradas un recurso soberano y sostenible ya que son productos estables, de larga conservación, que pueden almacenarse tanto en seco como en conserva durante meses, esto debido a su bajo contenido de agua y por otro lado por su fácil adaptabilidad al clima, enriqueciendo los suelos, favoreciendo otras formas de cultivo y disminuyendo el uso de fertilizantes nitrogenados (Marbelly et al., 2003).

En México, su cultivo se centra en el estado de Michoacán (95-90 %), en los últimos años se ha incrementado significativamente la superficie dedicada a este cultivo (SIAP, 2020), principalmente de lenteja verde. En el caso de la lenteja roja, es una variedad de legumbre valorada, aunque poco extendida en la gastronomía mexicana. Esta lenteja es producida en Canadá e introducida a México por importación.

El consumo de lenteja llega a ser normalmente en guisos, harinas, purés, guarniciones, aperitivos o postres; al ser una fuente rica en proteínas sirve de complemento a los cereales y a la par aporta una cantidad importante de hidratos de carbono, micronutrientes, así como fibra alimentaria de calidad. Desde el punto de vista gastronómico, las legumbres son un alimento versátil, ya que son el ingrediente principal de múltiples platos típicos regionales de alto valor cultural. Además, esta legumbre en ciertos lugares representa tradiciones como el consumirla a fin de año como un presagio de prosperidad y riqueza, o en épocas de cuaresma, ambas tradiciones hacen que este sea un plato típico. Sin embargo, entre las razones principales por

la cual ha disminuido su consumo es por el cambio en los hábitos alimenticios de las personas, ha disminuido el consumo de alimentos básicos dando paso al consumo excesivo de proteínas, grasas animales y alimentos procesados, hábitos alimentarios que ocasionan riesgos a la salud (Avilés-Gaxiola et al., 2018). Otra razón que limita su consumo es el tiempo requerido para la cocción y preparación, lo que se contrapone con el acelerado ritmo de vida actual. Por otro lado, destaca también la impresión negativa que las personas tienen sobre estos alimentos, conceptualizando a la lenteja como alimentos pasados de moda y a esto se une la falta de presentaciones innovadoras que faciliten su preparación y consumo

El perfil del consumidor ha cambiado en la sociedad actual y en tal sentido, el desarrollo de productos que incorporan harina de lenteja, aislados proteicos, productos extruidos, resultan alternativas interesantes para diversificar el consumo de lenteja y a la par expandir el aprovechamiento de sus ventajas nutricionales: aporte proteico, minerales, carbohidratos, entre otros (Gilani et al., 2012). El contenido proteico en las lentejas es de entre 20-25 %, la mayoría de estas proteínas (80 %) son principalmente globulinas (65-70 %) y albúminas (10-15 %), son encontradas en forma de proteínas de almacenamiento (reserva). La composición aminoacídica de las proteínas de las lentejas se caracteriza por una baja concentración de aminoácidos azufrados (metionina y cisteína) y ricas en aminoácidos como arginina, ácido aspártico, glutámico y contenidos relativamente altos de lisina (Rubio et al., 2004).

Además, cabe destacar la presencia de compuestos con actividad fisiológica o los denominados compuestos funcionales, entre ellos la fibra y aquellos compuestos bioactivos como los que poseen actividad antioxidante, considerándose un factor dietético protector en la aparición de enfermedades crónico-degenerativas. Las lentejas en sus distintas variedades poseen una mayor o menor cantidad de compuestos nutricionales y funcionales (Chandler y McSweeney, 2022).

Compuestos con carácter nutricional en las lentejas.

Proteínas. Clasificación y fraccionamiento de las proteínas de reserva

La complejidad y diversidad son características que predominan en las proteínas, resultando difícil establecer una clasificación. Los diversos métodos utilizados para la determinación de proteínas se basan en su composición, forma, solubilidad y función biológica. Las proteínas en las semillas de lenteja están formadas principalmente por tres grupos:

Proteínas estructurales, forman parte estructural de la célula.

Proteínas con actividad biológica, generalmente enzimas.

Proteínas de reserva o almacenamiento.

En relación con las proteínas de reserva o almacenamiento, una de las técnicas utilizadas para la separación de las fracciones proteicas de estas legumbres se basa en su solubilidad proteica (método de Osborne), en el cual las proteínas se fraccionan y clasifican de acuerdo con su solubilidad en diferentes solventes y pH isoelectrico; reportándose cuatro tipos de fracciones: **Albúminas** (25.1-31.8 %), estas generalmente son solubles en agua. Las albúminas incorporan a las moléculas que tienen propiedades funcionales, muchas son enzimas y lectinas que metabolizan las sustancias almacenadas en las semillas, por ejemplo, las glucosidasas y las proteasas, importantes en la degradación proteica durante la germinación, otras proteínas son importantes en la defensa de la planta: inhibidores de tripsina y lectinas. En la mayoría de las semillas de las legumbres, las albúminas son fuente de lisina y de aminoácidos azufrados, principalmente metionina (Boye et al., 2010). **Globulinas** (26.2-34.6.5 %), constituyen el grupo de proteínas de reserva en mayor proporción en la familia de las legumbres; generalmente son insolubles en agua, pero solubles en soluciones salinas diluidas, están compuestas mayoritariamente por legumina y vicilina, en menor proporción se encuentran las prolaminas conocidas por su solubilidad en mezclas alcohol-agua 50-80 % y forman la fracción proteica principal en cereales como maíz y trigo, presentan altos niveles de prolina y glutamina y por último las glutelinas, caracterizadas por ser solubles en medios ácidos o alcalinos (Boye et al., 2010).

Las fracciones más importantes en el caso de las legumbres son las albúminas y globulinas, mientras que para los cereales son las prolaminas y glutelinas. Una de las propiedades que define la calidad de las proteínas es la composición en aminoácidos

esenciales. Las legumbres, en general son ricas en lisina y leucina, sin embargo, carecen de aminoácidos azufrados (metionina y cisteína) y triptófano. Al contrario, los cereales son ricos en metionina, pero deficientes en lisina (Vaz Patto, 2016), por lo que legumbres y cereales serían nutricionalmente complementarios para obtener proteína vegetal de alto valor biológico.

Por otra parte, existen algunos puntos importantes en el proceso de fraccionamiento: a) Identificar el punto isoeléctrico para la precipitación de las distintas fracciones proteicas. Hace referencia al valor del pH donde las proteínas tienen su mínima solubilidad (Guerrero et al., 2003). La solubilización de los materiales proteicos es el resultado del balance entre fuerzas subyacente proteína-proteína e interacciones proteína-solvente, lo cual involucra que se establezca una fuerte interacción proteína-solvente para que el material proteico se solubilice en alto grado, esto a su vez depende de los cambios de pH del medio, la concentración, temperatura, tamaño de partícula, la fuerza de agitación, la relación harina/solvente, naturaleza del solvente, presencia de otros componentes, así como del tipo de aminoácidos que contenga (Guerrero et al., 2003). b) En función de las condiciones de extracción, algunas fracciones proteicas estarán presentes en otras fracciones, la fracción de globulinas en la de gluteninas o ambas.

Compuestos anti-nutritivos o factores anti-nutricionales (FAN) en las lentejas.

Las legumbres, además de los elementos con carácter nutricional también incluyen un conjunto de compuestos que influyen negativamente en su valor nutricional, estos se conocen como componentes anti-nutritivos, destacando los inhibidores de proteasas, las lectinas, los α -glucósidos, fitatos y taninos condensados. Estos compuestos afectan la disponibilidad de nutrientes y su digestibilidad en el organismo humano, provocando distensión abdominal y flatulencias, siendo estas últimas de las principales razones por las que los consumidores han dejado de incorporarlas en su dieta (Marbelly et al., 2003).

Existen diversos métodos de transformación de la lenteja para su consumo, entre estos destacan la cocción mediante un proceso hidrotérmico, germinación, fermentación o remojo (imbibición) y actualmente se emplean tecnologías emergentes como la extrusión. Estos

métodos permiten, por un lado, la transformación de las propiedades tecno-funcionales de la lenteja para que pueda consumirse o utilizarse con calidad culinaria y por otro lado promueven la eliminación o reducción de compuestos anti-nutritivos (Gallegos et al., 2004). Estos componentes no nutritivos son un factor importante que incide en la disminución en su consumo, está relacionado con la presencia de oligosacáridos: verbascosa y estaquiosa principalmente, que llegan a provocar indigestión y flatulencias, además de otros componentes anti-nutritivos o factores anti-nutricionales (FAN) que influyen negativamente en el valor nutricional de la legumbre.

Los FAN son metabolitos secundarios de origen natural cuya función es proteger a la planta frente a ataques de plagas. Algunos ejemplos de estos son: inhibidores de proteasas, lectinas, α -glucósidos como rafinosa, estaquiosa y verbascosa, fitatos y taninos condensados (Avilés-Gaxiola et al., 2018). El ácido fítico forma complejos con los minerales (Ca, Zn, Fe y Mg) inhibiendo su disponibilidad para su absorción (Joye, 2019; Parca et al., 2018).

En el caso de los taninos, tienen la capacidad de formar complejos y precipitar las proteínas reduciendo su digestibilidad. Pueden llegar a inhibir la actividad enzimática de la amilasa, lipasa, tripsina y quimiotripsina, provocando una disminución de la digestibilidad de los nutrientes (Gilani et al., 2012; Abbas y Ahmad, 2018). Las lectinas son proteínas que se unen a los azúcares, otra característica es que son resistentes a la proteólisis y son estables en un amplio rango de pH (Joye, 2019).

La eliminación o reducción de compuestos anti-nutritivos, los cuales se basan en las propiedades fisicoquímicas de los compuestos para ser inhibidos, disminuidos o eliminados, por ejemplo los taninos, el ácido fítico y los oligosacáridos son solubles en agua, esta hidratación puede ir acompañada de sustancias salinas (NaCl o Ca(OH)_2) permitiendo disminuir aún más los FAN debido al potencial iónico de la solución, incrementa la permeabilidad de la cascarilla y los compuestos que son hidrosolubles y que pueden escindir-se en medios alcalinos, lixivian de la semilla (Avilés-Gaxiola et al., 2018). En el caso de los inhibidores de proteasas se caracterizan por ser termolábiles y su actividad inhibitoria puede disminuir considerablemente con tratamientos térmicos, además tienen un papel importante en la palatabilidad de las legumbres (Sandra et al., 2009).

Las proteínas generalmente se encuentran formando estructuras moleculares o se encuentran atrapadas físicamente en estructuras celulares dificultando el acceso de las enzimas digestivas para iniciar su hidrólisis (Bhattarai et al., 2017). Por lo tanto, los tratamientos térmicos desencadenan alteraciones en dichas estructuras, desnaturalizan a las proteínas permitiendo que las enzimas digestivas accedan más fácilmente, mejorando la digestibilidad proteica. La razón por la que estos procesos térmicos llegan a desactivar factores anti-nutricionales, por ejemplo, los inhibidores de tripsina, en el proceso térmico se promueve la ruptura de los enlaces intermoleculares, responsables de mantener la estructura terciaria y la actividad del mismo (Avilés-Gaxiola et al., 2018).

Por otra parte, en diversos estudios se ha observado que la imbibición con adición de un tratamiento térmico podría alterar las fracciones proteicas y por consecuencia afectar la biodisponibilidad de dichas fracciones. En estudios de digestibilidad in vitro llevados a cabo en legumbres, la globulina sujeta a imbibición combinada con un tratamiento térmico es velozmente hidrolizada por enzimas proteolíticas. La fracción proteica de albúmina tras calentarse y ser imbibida presenta mayor digestibilidad respecto a su forma nativa, pudiendo deberse al proceso de desnaturalización de las proteínas. Es importante enfatizar que la calidad de una proteína es fundamental, esta depende de su contenido de aminoácidos esenciales, es decir, aquellos que son indispensables. Conocido el contenido de aminoácidos esenciales es posible predecir, dentro de ciertas limitaciones, su comportamiento en el organismo humano; para ello solo es necesario contar con un adecuado patrón de comparación, es decir con una proteína de referencia (Suárez et al., 2006).

Calidad nutricional de las fuentes de proteínas en la lenteja.

Así, la calidad proteica hace referencia a la proporción de aminoácidos esenciales disponibles en una molécula de proteína y su digestibilidad. En general, las legumbres presentan una calidad proteica inferior a las de origen animal tales como las de la leche o huevo, esto se debe a diversas causas, entre los que podemos destacar su menor contenido de aminoácidos azufrados (metionina y cisteína), la resistencia a la digestión de ciertas proteínas y a la presencia de compuestos antinutricionales que dificultan sus digestibilidad

(Lynch et al., 2018). Sin embargo, por su elevado contenido de lisina, las proteínas de legumbres se complementan con las proteínas de cereales, ya que estos tienen un bajo contenido en este aminoácidos (Lynch et al., 2018).

Los aminoácidos esenciales deben suministrarse a través de los alimentos que integran la dieta, ya que el organismo humano no tiene la capacidad de sintetizarlos. Ellos son: leucina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, valina, triptófano y arginina, para los lactantes hay que considerar además la histidina (Servilla et al., 2012). Para que una proteína sea considerada biológicamente completa debe contener todos los aminoácidos esenciales en una cantidad igual o superior a la establecida para cada aminoácido en una proteína de referencia o patrón. Por lo tanto, las proteínas que poseen uno o más aminoácidos limitantes son consideradas biológicamente incompletas, a razón de que limitan la síntesis proteica, no pudiendo ser utilizadas completamente por el organismo. La relación del aminoácido limitante que se encuentra en menor proporción con respecto al mismo aminoácido en la proteína patrón, se denomina cómputo aminoacídico (CA) o score proteico. Este sistema permite comparar la cantidad de aminoácidos en la proteína de un alimento o alimentos con una proteína de referencia (Servilla et al., 2012). Para la determinación del cómputo aminoacídico de la mayoría de los alimentos se recomienda emplear los valores de referencia de los aminoácidos lisina, triptófano, treonina y los azufrados (metionina + cisteína) porque estos son los aminoácidos indispensables, que en algunos alimentos se hallan limitados (Hernández, 2004).

Por otro lado, la digestibilidad de una proteína corresponde a la proporción de nitrógeno ingerido que se absorbe. El organismo por lo regular excreta entre 10 y 25 % del nitrógeno ingerido y sólo una parte de éste proviene directamente del nitrógeno dietético que no se absorbió, la otra parte resulta de la proteína. Este valor se puede expresar en fracción o en porcentaje (López et al., 2006). El método del cómputo de aminoácidos corregido por digestibilidad fue propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS), con el objetivo de evaluar la calidad nutricional de diferentes fuentes de proteínas. Para calcular el PDCAAS de una proteína se determina primeramente el cómputo de aminoácidos, que puede estar entre 0 y 1, este se multiplica por el valor de digestibilidad de la proteína. En la lenteja el PDCAAS está alrededor de 0.8 % (López et al., 2006).

Compuestos con actividad antioxidante en las semillas de lenteja.

El remojo (imbibición) es el método más utilizado como parte de un tratamiento común para la eliminación de compuestos anti-nutricionales dada su solubilidad en el agua de remojo. No obstante, a pesar de sus efectos anti-nutricionales, muchos de estos compuestos a su vez representan un papel importante como compuestos bioactivos (polifenoles), con diversas estructuras, pesos moleculares y propiedades particulares, por lo que pueden estar relacionados con el aporte de actividad antioxidante (Marbelly et al., 2003). La mayoría de estos compuestos se encuentran en las cubiertas de las legumbres y son considerados un grupo químicamente heterogéneo, principalmente se trata de ácidos fenólicos, flavonoides y taninos condensados (Singh et al., 2017).

Estos compuestos se consideran esenciales para la calidad de productos alimenticios, debido a que son determinantes para el color, gusto y sabor de los alimentos, además de los beneficios a la salud. Desde el punto de vista nutricional se pueden dividir en polifenoles extractables en disolventes orgánicos y son considerados en su mayoría bio-accesibles durante la digestión en el intestino delgado (Giusti et al., 2019).

Entre los beneficios de los compuestos fenólicos destacan sus propiedades antioxidantes, son capaces de neutralizar radicales libres al donar un electrón o átomo de hidrógeno debido a su sistema altamente conjugado. Su actividad antioxidante está relacionada con su estructura química, número y posición de los grupos hidroxilo (Cirkovic Velickovic et al., 2017). Sin embargo, para que los efectos benéficos se puedan ejercer, estos compuestos bioactivos deben estar biodisponibles, es decir, que la fracción del componente ingerido esté disponible para su utilización en funciones fisiológicas normales (Cilla et al., 2018). Durante la digestión, los fenoles pueden interactuar con otras moléculas de la matriz, como por ejemplo las proteínas, esto afectaría tanto a la disponibilidad de los fenoles como a la digestión de las proteínas y por consecuencia a la posible liberación de péptidos bioactivos. Además de las proteínas, los fenoles pueden interactuar con iones de hierro o zinc durante la digestión, proceso que provoca la pérdida de compuestos fenólicos debido a la formación de quelatos (Karaš et al., 2017).

En las legumbres, los polifenoles en principio se consideran factores anti-nutricionales debido a su capacidad de precipitar las proteínas y atrapar iones metálicos, disminuyendo el valor nutritivo de las mismas. Sin embargo, estos compuestos pueden tener un efecto positivo en la prevención de enfermedades crónicas, debido a sus propiedades antioxidantes. Los polifenoles actúan como inhibidores de la lipoperoxidación e interactúan directamente con las especies reactivas de oxígeno (EROS), además de actuar como agentes quelantes (García, 2019). Por lo tanto, los antioxidantes son considerados nutrientes que tienen la capacidad de neutralizar la acción oxidante de radicales libres, el mecanismo de estos es que donan electrones y evitan que los radicales libres los capturen las células.

La lenteja al ser un producto vegetal, contiene además otros compuestos que pueden ser biológicamente activos. Estos provienen de diversas clases químicas, se incluyen los fenoles, de los que destacan ácidos fenólicos, así como sus derivados, además de tocoferoles y vitamina C. Se pueden encontrar otros compuestos bioactivos como el ácido Fítico, este es un ácido orgánico presente principalmente en la cascarrilla de las legumbres, si bien también es considerado un componente antinutricional, ya que tiene una gran capacidad de unirse a los iones minerales (hierro, calcio, magnesio y zinc) bloqueando su absorción por parte del intestino, también tiene virtudes asociadas a su gran capacidad antioxidante debido a sus grupos hidroxilo (Bernardi et al., 2019; Fraga et al., 2019; Mattioli et al., 2019).

Asimismo, el remojo o imbibición y la cocción pueden ser proclives para eliminar el contenido de polifenoles solubles en el agua de remojo y otros compuestos asociados a la actividad antioxidante como el ácido fítico, taninos, además de tener un papel fundamental en la disminución de componentes anti-nutricionales, promueve cambios estructurales en las semillas debido a la difusión de agua en las diferentes estructuras anatómicas y componentes de estas. Las modificaciones derivadas de la imbibición promueven cambios en las propiedades fisicoquímicas. Estudios demuestran que acompañar la imbibición con una temperatura mayor en el agua de remojo podría mejorar las propiedades texturales y la digestibilidad, así como las propiedades tecno-funcionales de la harina de lenteja (Ovando-Martínez et al., 2013). Por ejemplo, las proteínas por su parte intervienen en la capacidad de absorción de agua y aceite las cuales determinan la textura, apariencia, retención de sabor, entre otras propiedades. En particular la absorción de agua depende del pH del medio debido a que las interacciones

proteína-agua se efectúan por medio de los aminoácidos polares y cada uno de ellos tiene diferente capacidad de retención de agua, siendo mayor cuando el aminoácido se encuentra ionizado y a la par los grupos hidrofílicos deben estar expuestos al exterior en contacto con el agua para que sea efectiva la interacción (Subedi et al., 2019).

2.3 Objetivo

- Determinar el tipo de proteínas y la calidad proteica en la harina de dos variedades de lenteja posterior al proceso de imbibición.
- Analizar el efecto de la imbibición sobre la actividad antioxidante de la harina de (*Lens culinaris* M.) y compuestos relacionados a dicha actividad.

2.4 Materiales y métodos.

Semillas de lenteja (*Lens culinaris* M.) de las variedades verde y roja. La marca comercial verde valle® y la variedad roja de la marca comercial lima limón ® fueron adquiridas en un mercado local de Morelia, Michoacán. Fueron trasladadas al Laboratorio de Biotecnología “M.C. Víctor Manuel Rodríguez Alcocer” de la Facultad de Químico Farmacobiología de la UMSNH para su procesamiento y análisis.

Tratamiento de imbibición de la semilla de lenteja verde y roja.

De cada variedad de lenteja se formó un lote de semillas de 125 gr, cada lote se imbibió en 400 ml de agua destilada a una temperatura de 50°C, los tiempos de imbibición fueron 1, 2, 3 y 4 horas. Al término de cada tiempo las semillas se retiraron y se llevaron a deshidratación por un periodo de 12 h a 70°C utilizando un deshidratador de alimentos Hamilton Beach®. Las muestras deshidratadas fueron procesadas mediante el protocolo para la obtención de harinas que se presenta a continuación.

Obtención de harina de lenteja imbibida variedades verde y roja.

Harina de lenteja imbibida. Las semillas imbibidas y deshidratadas obtenidas del tratamiento de imbibición de ambas variedades, se trituraron en un molino eléctrico GoldeWall® para reducir el tamaño de partícula. La harina obtenida se colocó en bolsas selladas al vacío. Se produjeron dos harinas más, consideradas como harinas control: Harina de lenteja cruda (**Control 1**) y harina de lenteja cocida por tratamiento hidro-térmico convencional (**Control 2**). A continuación, se describe cada una:

Harina de lenteja cruda (Control 1). La semilla de lenteja cruda se trituró en seco en un molino eléctrico Golden Wall® para reducir el tamaño de partícula a 0.25 mm. La harina obtenida se colocó en bolsas herméticas selladas al vacío y se almacenaron hasta su uso.

Harina de lenteja cocida (Control 2). Las lentejas se llevaron a una cocción hidro-térmica por ebullición directa a 94 °C por 15 minutos. Al término, las semillas cocidas se deshidrataron en un deshidratador de alimentos Hamilton Beach® por 12h a 50 °C. Una vez deshidratadas, las lentejas se trituraron en un molino eléctrico Golden Wall® a un tamaño de partícula de 0.25 mm. La harina obtenida se colocó en bolsas selladas al vacío y se almacenó hasta su uso.

Propiedades nutricionales de la harina de lenteja imbibida verde y roja.

Determinación de las fracciones proteicas de la harina de lenteja imbibida. Se realizó siguiendo el método reportado por Osborne (1924). Los solventes utilizados para la extracción de las fracciones proteicas fueron: agua destilada, cloruro de sodio al 5 %, etanol al 70 %, hidróxido de sodio 0.01 N. Se pesaron muestras con 1 gramo de harina de lenteja (imbibida, control 1, control 2) y se colocaron en 14 ml del solvente con un tiempo de disolución de 12 horas. Posteriormente, se centrifugaron a 5500 rpm por 20 min, al sobrenadante obtenido se le ajustó el pH a 4.5 agregando HCL 1N y se centrifugó nuevamente a 5500 rpm por 10 min. Las fracciones proteicas precipitadas se lavaron con agua destilada y se secaron a una temperatura de 40 °C por 12h. Se realizaron 3 ensayos y se calculó el porcentaje de proteína obtenida en cada fracción con la ecuación:

$$\% \text{ Proteína} = ((\text{proteína extraída en la fracción (g)}) / ((\text{cantidad de harina (g)})) \times 100.$$

Determinación de la calidad proteica de la harina de lenteja imbibida, variedades verde y roja. La calidad proteica de la harina de lenteja se determinó a través del cálculo de score de aminoácidos corregidos por digestibilidad (PDCAAS). Para ello, en la literatura se consultaron tablas de composición química de alimentos sobre la cantidad de proteínas en harina de lenteja, además se investigó el contenido de aminoácidos indispensables y la digestibilidad proteica de la lenteja. Como proteína patrón se utilizó el patrón de aminoácidos para niños y adultos especificado en las tablas corregidas de la WHO/FAO/UNU (2007). El score proteico se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Score} = \frac{\text{mg aminoácidos en proteína de estudio}}{\text{mg aminoácidos proteína patrón}} \times 100$$

Finalmente, con base en la digestibilidad para la harina de lenteja encontrada en la literatura, se calculó del PDCAAS por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{PDCAAS} = \frac{\text{Score} \times \text{digestibilidad proteica}}{100}$$

Propiedades funcionales de la harina de lenteja imbibida verde y roja.

Determinación de la actividad antioxidante en las harinas de lenteja variedades verde y roja imbibidas. Se utilizó la metodología de polifenoles totales, ABTS y DPPH. Para llevar a cabo dichas determinaciones, se realizó en primer orden la extracción de los compuestos con actividad antioxidante mediante una solución madre.

Extracción de compuestos (solución madre). La extracción de compuestos con actividad antioxidante de la harina de lenteja imbibida (*Lens culinaris* M.) verde y roja consistió en dos fases: 1. Primera extracción, se utilizó una solución con metanol/agua (50:50) acidificada a pH 2, se agitó y centrifugó a 5000 rpm. 2. Segunda extracción, se utilizó una solución acetona/agua

(70:30), se agitó y centrifugó a 5000 rpm. Los sobrenadantes se mezclaron y aforaron a 100 ml con agua destilada y finalmente se almacenaron a una temperatura de -20°C. Se pesó un tamaño de muestra para la extracción de 3g.

Cuantificación de polifenoles totales (PT). Se empleó el método descrito por Folin-Ciocalteu. De la solución madre se tomaron alícuotas de 100 µl a los que se adicionaron: 7600 µl de agua destilada, 500 µl del reactivo de Folin-Ciocateau y 2000 µl de carbonato de sodio al 20 %, se reposaron en ausencia de luz por 2 horas. Se registró la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm en un espectrofotómetro UV/Vis Smartec Plus, marca Bio-rad. Se usó ácido gálico como estándar del cual se hizo una curva de calibración. Los resultados se expresaron como miligramos de ácido gálico por cada 100 g de muestra (mg EAG g^{-1}), empleando la fórmula obtenida a partir de la curva de calibración $x = (x=Y-0.0241)/0.195$. Una ecuación de la recta puede expresarse en la forma $y=mx + b$. En esta ecuación:

y = Promedio de las absorbancias a una longitud de onda de 765 nm.

x = Concentración de ácido gálico (mg de ácido gálico/100g).

m =Pendiente de la ec. de la recta.

b =Ordenada al origen de la ec. de la recta.

Determinación de la actividad antioxidante (AOX) en la harina de lenteja verde y roja imbibidas.

Determinación por ABTS. Se empleó el método RE, et al. 1999 y descrita por Kukoski. et al., 2004. Se preparó una solución de ácido 2,2-azinobis-(9etibenzotiazolin-6- sulfónico) 7 mmol y persulfato de potasio 2.45 mmol, se dejó reposar a 4°C durante 12 horas. Posteriormente se adicionó etanol absoluto hasta obtener una absorbancia de 0.700 ± 0.02 a una longitud de onda de 734 nm. Se utilizó como blanco etanol. Se tomaron 30 µL de solución de extracción, y se le adicionaron 970 µL del radical ABTS. Las absorbancias fueron medidas a 734 nm pasados 6 minutos de reacción en ausencia de luz. Los resultados se reportaron en µmol equivalentes a Trolox por cada 100 gramos de muestra ($\mu\text{mol ET g}^{-1}$), utilizando Trolox como patrón en la curva

de calibración. Para realizar la curva de calibración se necesita al menos 5 puntos para realizar la curva correspondiente. Al igual que para realizar polifenoles todo este proceso se tiene que realizar en completa oscuridad. Se calculó además el porcentaje de inhibición con la siguiente fórmula: %Inhibición = ((Abs Inicial-Abs final)/Abs inicial)*100.

Curva de calibración:

1. Inicialmente se preparó una solución de Trolox 10,000 µM. Se mantuvo en un frasco ámbar o en un matraz forrado.
2. Se prepararon 2 trolox uno para ABTS y otro para DPPH, el tolox para ABTS se disuelve con etanol y el de DPPH con metanol.
3. Se prepararon 6 diluciones (**1.** 0µl trolox: 5000 µl etanol o metanol **2.** 150 µl trolox: 4,850 µl etanol o metanol **3.** 300 µl : 4,700 µl, **4.** 450 µl :4,550 µl **5.** 600: 4,400µl y **6.** 750:4,250) en tubos falcón de 14 ml cubiertos de aluminio.
4. Se mezcló muy bien y se realizó el protocolo de ABTS o DPPH dependiendo de qué metodología se esté realizando, sólo que en este caso se sustituye el volumen de la muestra problema por el mismo volumen pero ahora con cada uno de los estándares o diluciones preparados.

Se empleo la fórmula obtenida a partir de la curva de calibración y se utilizó la siguiente fórmula:

Donde:

X= Concentración equivalente a Trolox (ET)

Y= Absorbancia de la muestra

m=-0,001 (Pendiente de la ec. de la recta).

b= -1,5266 (Ordenada al origen de la ec. de la recta).

Se calculó además el porcentaje de inhibición:

%Inhibición = ((Abs Inicial-Abs final)/Abs inicial)*100.

Determinación por DPPH. La actividad antioxidante determinada por DPPH se realizó con base en la metodología de (Karamác et al., 2005). Se tomaron 3.8 ml del radical 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH) a 100 μmol , posteriormente se adicionaron 200 μL de solución extractora y la absorbancia se midió a 536 nm posterior a 1 hora de reposo en ausencia de luz. Se utilizó Trolox como estándar en la curva de calibración, los resultados se expresaron en μmol equivalentes a Trolox por cada 100 gramos de muestra ($\mu\text{mol ET g}^{-1}$):

Se utilizó la siguiente fórmula: $y = -0,0011x + 1,2744$

Donde:

X=Concentración equivalente a Trolox (ET)

Y= Absorbancia de la muestra.

%Inhibición = $((\text{Abs Inicial} - \text{Abs final}) / \text{Abs inicial}) * 100$.

Determinación de Fibra dietética total. Para la determinación de fibra dietética total contenida en la lenteja verde y roja se siguió el método enzimático gravimétrico. El método se basa en un procedimiento enzimático (Asp, N.G., Johansson, C.G., Hallmer, H., and Siljeström, M., Rapid Enzymatic Assay of Insoluble and Soluble Dietary Fiber, J. Agric. Food Chem., 1983, 31, 476 - 482, y por la AOAC (Official Method 991.43) descrito anteriormente en el apartado 1.4 del Capítulo I.

2.5 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico JMP versión 11. Se realizó un análisis factorial y una prueba de comparación de medias de Tukey, se trabajó con un nivel de significancia de ($\alpha=0,05$) para establecer las diferencias entre las medias.

2.6 Resultados y discusión

Fracciones proteicas en la harina de lenteja de la variedad verde y roja.

Con la finalidad de observar la fracción proteica mayoritaria en las lentejas de las variedades verde y rojas analizadas, se concentraron las medias de los resultados de las diferentes fracciones proteicas (%) correspondientes a las lentejas imbibidas y las lentejas control por cada variedad (Tabla 1). Se observa que el porcentaje mayoritario de fracciones proteicas para ambas variedades fueron las globulinas (19.19%- 18.35%) y las albúminas (17.10%-16.76%), siendo significativamente más altas ambas fracciones en la variedad verde. Este hallazgo coincide con lo reportado en la literatura, ya que las fracciones de albúminas y globulinas son más abundantes en legumbres en tanto que prolaminas y glutelinas son superiores en cereales (Subedi et al., 2019). De acuerdo con Boulter y Sosulski (1984), las semillas de las legumbres no contienen prolaminas o su porcentaje es bajo en comparación con el de otras fracciones proteicas.

Tabla 3. Concentración de medias del total de las fracciones proteicas en la lenteja de la variedad verde y roja, imbibidas y controles.

<i>Fracción proteica</i>	<i>Lenteja verde</i>	<i>Lenteja roja</i>
	Proteína extraída (%)	Proteína extraída (%)
<i>Globulinas</i>	19.193±0.02 ^{aa}	18.35±0.02 ^{aa}
<i>Albúminas</i>	17.107 ± 0.02 ^{aa}	16.76 ± 0.02 ^{aa}
<i>Glutelinas</i>	5.612 ± 0.03 ^{ba}	6.612 ± 0.03 ^{ba}
<i>Prolaminas</i>	3.177 ± 0.01 ^{ba}	1.177 ± 0.01 ^{cb}

Nota. Los valores son medias en base seca \pm DE (n=3) de fracciones proteicas extraídas (%). Medias con una letra minúscula con diferentes letras son significativamente diferentes entre la misma variedad de lenteja y las medias con una letra mayúscula diferente son significativamente diferentes entre distinta variedad de lenteja ($p \leq 0.05$) entre cada fracción proteica.

Considerando que las fracciones proteicas mayoritarias en las lentejas son albúminas y globulinas, en lo subsecuente solo se presentan los resultados de dichas fracciones para ambas variedades de lentejas.

Determinación de las fracciones proteicas albúminas y globulinas en lenteja verde imbibida.

En la **figura 5A** se muestran los resultados obtenidos sobre el porcentaje obtenido de las fracciones proteicas albúminas y globulinas para la harina de lenteja verde en los diferentes tiempos de imbibición y los controles (harina de lenteja verde cruda y harina de lenteja verde cocida), deshidratadas 70 °C.

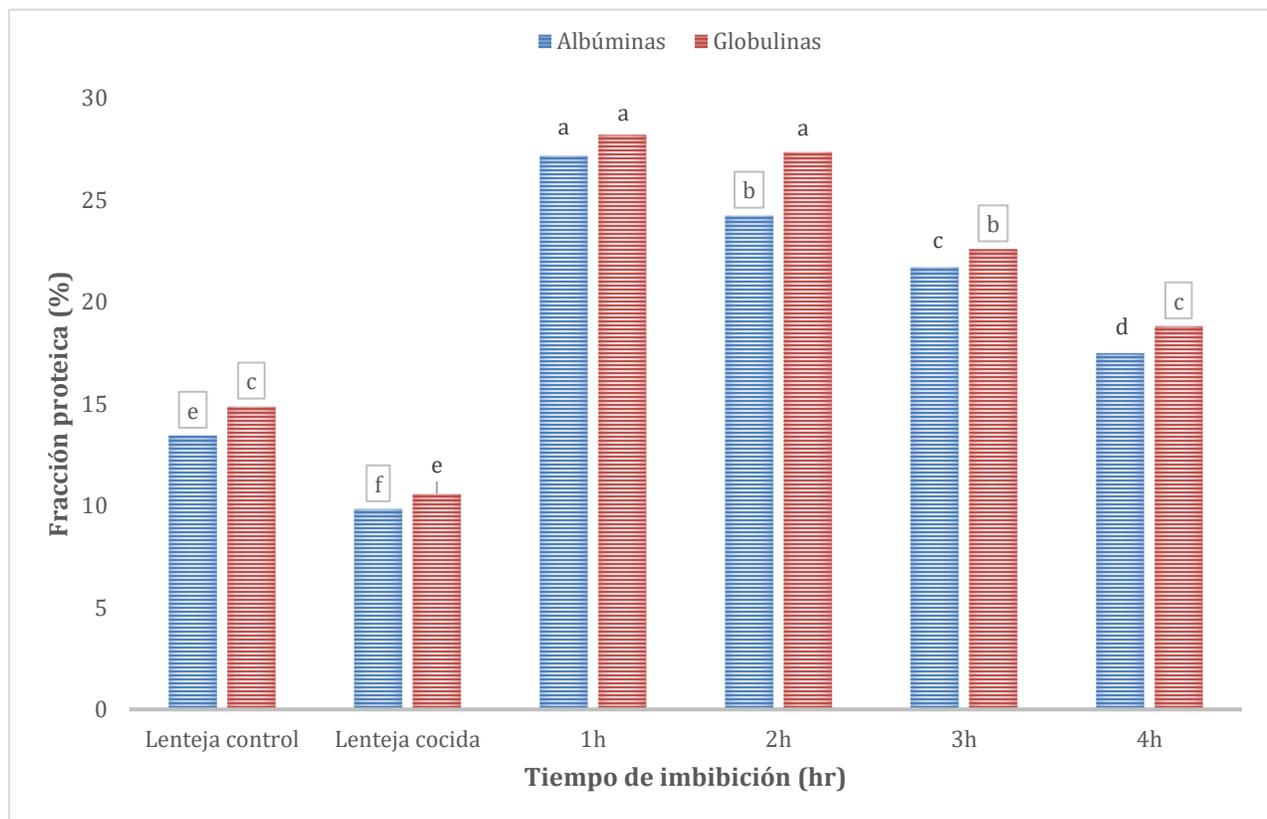


Figura 2A. Fracciones albúminas y globulinas para el tratamiento de deshidratación a 70 °C con respecto a la harina verde control y cocida. ($R^2 = 0.98$). Cada valor representa la media \pm la desviación estándar de tres repeticiones de la misma muestra. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p \leq 0.05$.

Fracción proteica albúminas y globulinas en harina de lenteja verde imbibida a 50 °C y deshidratada a 70 °C.

Las fracciones albúminas y globulinas para lenteja verde imbibida a 50 °C y deshidratada a 70 °C se muestran en la Figura 5A. En general puede observarse que la imbibición incrementa el porcentaje de albúminas y globulinas en aproximadamente un 50 % en referencia a los controles 1 y 2, este incremento es más notable en las globulinas. En los diferentes tiempos de imbibición el mayor porcentaje de las fracciones proteicas fue a 1 h de imbibición, el cual disminuye al transcurrir el tiempo de imbibición hasta llegar a su valor más bajo a las 4 h siendo mayor el efecto en las globulinas, sin embargo, estos valores son mayores a los obtenidos en los controles 1 y 2. En este sentido, es el control 2 donde se observan los menores porcentajes de dichas fracciones proteicas, indicando que la cocción hidrotérmica afecta significativamente a las proteínas.

Con respecto a la fracción proteica albúmina, los resultados indican que el porcentaje de dicha fracción a 1 h de imbibición incrementó significativamente de 13.60% (control 1 lenteja cruda) ($p \leq 0.05$) a 27.71 %. A partir de la segunda hora de imbibición el porcentaje de extracción de la fracción albúmina se redujo a 24.24 % hasta llegar a 17.49 % al término de la imbibición (4 h). Finalmente, con respecto a la lenteja llevada solamente a cocción el porcentaje de extracción fue de (9.83 %) siendo significativamente diferente con respecto a la lenteja cruda control 1 y la lenteja imbibida.

Las albúminas destacan por su solubilidad en agua, esto está relacionado con el tiempo de imbibición y el tratamiento térmico. A 1 y 2 horas de imbibición de la lenteja se observó el mayor crecimiento en la semilla (Capítulo III), con el agua absorbida se favorece la interacción proteína-agua, complejo que inicialmente está unido por puentes de hidrógeno en forma de micelas; el acompañamiento térmico en la imbibición acelera la hidratación de estas estructuras provocando cambios en su forma nativa, pudiendo deberse parcialmente al proceso de

desnaturalización de las proteínas (Lam et al., 2018) y como resultado se observa el mayor porcentaje de la fracción albúmina a las primeras horas de imbibición, caso contrario, al transcurrir el tiempo de imbibición se percibe una disminución y esto puede estar relacionado a que los gránulos de almidón tienen su máximo crecimiento a las primeras horas de imbibición, si las semillas de lenteja permanecen más horas en contacto con el agua, esto puede promover cambios y por tanto no permitir una adecuada interacción proteína-agua (Boye et al., 2010). Finalmente, en referencia a lo observado en el control 2, la temperatura utilizada en la cocción hidrotérmica disminuye significativamente la fracción albúmina, esto se explica considerando que a altas temperaturas (94 °C) se induce la formación de agregados o complejos con las proteínas, los cuales son hidrolizados por las enzimas (Chaparro, 2009).

Los resultados con relación a la fracción globulinas (Figura 5A), los resultados indican que a 1 h de imbibición el porcentaje de globulinas se incrementa de 13.83 % (Control 1) a 28.20 %, este incremento se mantuvo estadísticamente ($p \leq 0.05$) constante a las 2 h de imbibición (27.36 %) y fue hasta las 3 h de imbibición que el porcentaje de extracción se redujo a 22.59 % hasta 18.81 % (4 h). Por último, la lenteja llevada a cocción (Control 2) (10.26 %) al igual que en albúminas disminuye significativamente ($p \leq 0.05$) el porcentaje con respecto a la lenteja control y la lenteja imbibida.

Determinación de las fracciones proteicas albúminas y globulinas en lenteja roja imbibida.

Los porcentajes de la fracción proteica albúminas y globulinas en los diferentes tratamientos de imbibición a 50 °C correspondiente a la variedad de la lenteja roja se muestran en la **Figura 6B**. La harina de lenteja roja imbibida a 50 °C y deshidratada a 70°C presenta un comportamiento similar al observado en la harina de lenteja verde, la imbibición promueve un incremento en el porcentaje de las fracciones proteicas albúmina y globulina en los diferentes tiempos de imbibición con respecto al resto de los tratamientos. El mayor incremento significativo en ambas fracciones es a las primeras horas de imbibición. El mayor porcentaje de la fracción de albúminas se registró a las 2 h (22.98 %) siendo diferentes significativamente con

la harina de lenteja control 1 (14.48 %) y la harina de lenteja control 2 (9.33 %). De forma análoga el contenido en globulinas fue superior a las 2 h (28.79 %). Ambas fracciones proteicas (albúminas y globulinas) disminuyeron a las 3 h y 4 h de imbibición. La harina de lenteja llevada a cocción por ebullición disminuye significativamente el porcentaje de las fracciones proteicas con respecto a la harina de lenteja control cruda y la harina de lenteja imbibida.

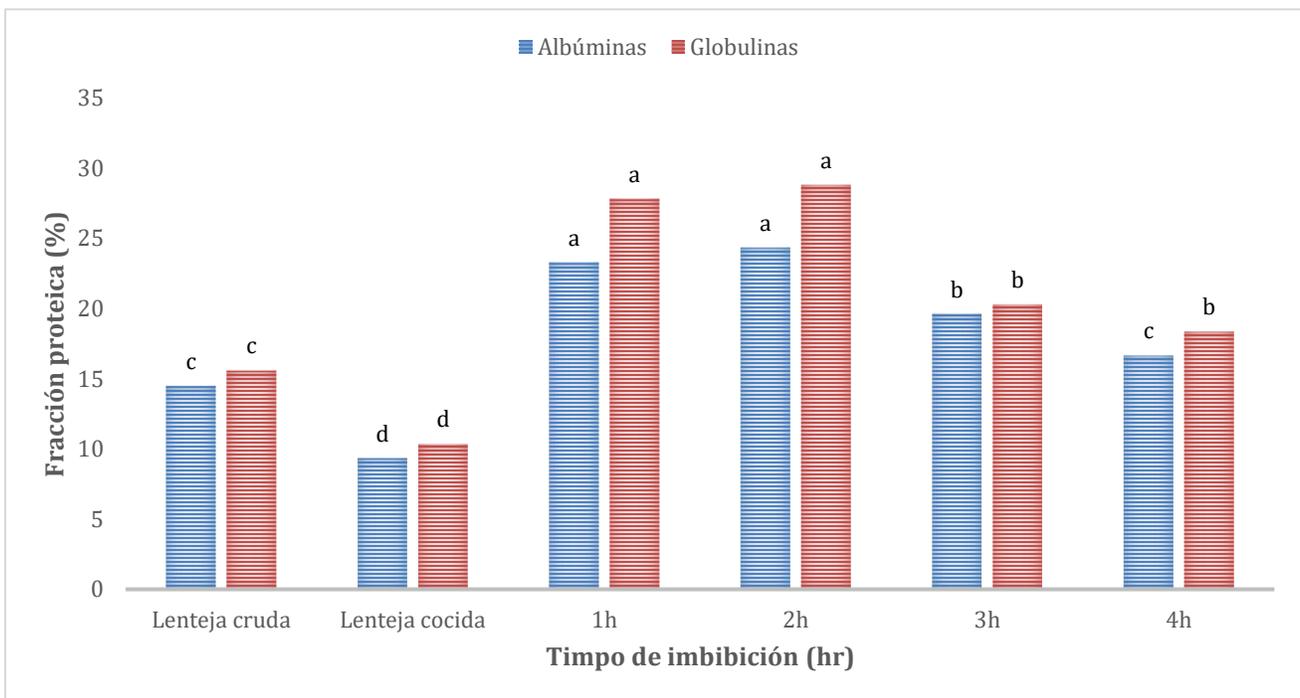


Figura 3B. Fracciones albúminas y globulinas para el tratamiento de deshidratación a 70 °C con respecto a la harina roja control y cocida ($R^2 = 0.98$). Nota: Cada valor representa la media \pm la desviación estándar de tres repeticiones de la misma muestra. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p \leq 0.05$.

Por otra parte, haciendo una comparación entre la harina de lenteja imbibida de ambas variedades el incremento en el porcentaje de las fracciones proteicas (albúminas y globulinas) fue mayor en la variedad de la lenteja verde que en la roja y fueron las globulinas quienes están en mayor concentración. Las proteínas vegetales pueden fraccionarse de acuerdo con su solubilidad y el porcentaje de extracción de cada fracción obtenida es influenciado por el tiempo de extracción, pH, temperatura, tamaño de partícula, la fuerza de agitación, la relación harina-solvente, entre otros. Asimismo, los tratamientos como por la imbibición o remojo, la temperatura de deshidratación también influyen. Por lo tanto, es posible considerar que la

combinación entre las condiciones de imbibición y la temperatura de deshidratación a 70 °C favorece la interacción proteína-agua, complejo que inicialmente está unido por puentes de hidrógeno en forma de micelas; es entonces que la hidratación previa de las semillas acelera la hidratación de estas estructuras, con esa humedad en el interior de la semilla y la adición de la deshidratación a 70°C se produce la gelatinización de almidón provocando cambios en su forma nativa.

La temperatura de deshidratación posiblemente modifica la solubilidad proteica, al aumentar la temperatura, la organización de la proteína se modifica, el desorden en las propiedades naturales de la proteína se altera perdiendo la solubilidad (Bessada et al ., 2019). Asimismo, se generan interacciones entre el almidón-proteína, aglomerando y ayudando a la precipitación proteica (Bessada et al.,2009).

Entonces las fracciones proteicas predominantes en la lenteja son las globulinas y albúminas y las albúminas comprenden enzimas, inhibidores de proteasa, inhibidores de amilasa y lectinas, por otro lado, las globulinas se clasifican en diferentes fracciones. Las principales globulinas encontradas son legumina (11S) y vivilina (7S), básicamente proteínas de almacenamiento y una tercera proteína de almacenamiento es la convicilina, diferente de legumina y vicilina. Posee un perfil aminoácidos diferente, presenta aminoácidos azufrados que están ausentes en vicilina y como señalan los resultados las prolaminas y glutelinas son proteínas encontradas en menor proporción, las prolaminas se caracterizan por una elevada proporción de prolina y glutamina. Por último las glutelinas son de interés nutricional por sus contenidos de metionina y cisteína (Los et al.,2018). Y la calidad nutricional de las proteínas está determinada por los requerimientos de aminoácidos de nuestro organismo y sus disponibilidad al ser ingeridos (Lynch et al., 2018).

Determinación de la calidad proteica de la harina de lenteja imbibida. Score Proteico y PDCAAS.

El score o cómputo aminoacídico determina el porcentaje del aminoácido limitante en una matriz alimentaria, este es el que se encuentra en menor proporción con respecto al mismo aminoácido en la proteína de referencia. Las legumbres presentan un porcentaje importante de proteína de alta calidad, ya que son una excelente fuente de lisina, sin embargo, es limitada en

aminoácidos azufrados como la metionina y cisteína. Dichos aminoácidos deben suplementarse con el aporte de otros alimentos como por ejemplo los cereales, cuyo aminoácido limitante es la lisina (Vallejos, 2018).

A continuación, en la **tabla 4** se resume el cálculo correspondiente al score proteico y el cómputo de aminoácidos corregido por digestibilidad de la proteína, asimismo se incluye los aminoácidos limitantes. Para calcular el PDCAAS se determina primeramente el cómputo aminoacídico que puede estar entre 0 y 1 y se multiplicó por la digestibilidad verdadera de la proteína, que por lo general está en 0.8 (Lynch et al.,2018).

De acuerdo con los valores obtenidos, la lenteja tuvo el menor score proteico en los aminoácidos de metionina y cisteína (0.66%), con un valor de PDCAAS de 0.52, de esta manera se identifica como aminoácidos limitantes en la lenteja a los aminoácidos azufrados. El resto de aminoácidos esenciales estudiados presentaron valores de score proteico de 1.5 (lisina), 1.69 (treonina), 1.5 (triptófano) y valores de PDCAAS de 1.2, 1.35, y 1.2. Estos resultados coinciden con los encontrados con que mencionan que los únicos aminoácidos limitantes en la lenteja corresponden a los aminoácidos azufrados (Wani et al., 2016). El máximo PDCAAS en todos los aminoácidos esenciales es 1 y corresponde a la proteína de la leche, el huevo y la soja (Fernández et al., 2022).

Las legumbres y cereales superan a algunos aminoácidos de la carne, sin embargo, cuentan con aminoácidos limitantes afectando su calidad proteica. No obstante, existe la posibilidad de combinar los cereales con las legumbres para obtener una mayor calidad proteica, debido a que se complementan los aminoácidos esenciales limitantes, convirtiéndose de esta forma en una opción al consumo de carne roja, tomando en cuenta que las proteínas de origen vegetal se asocian con beneficios al organismo, previniendo o reduciendo enfermedades (Cervilla et al.,2012).

Tabla 4. Puntaje químico y Escore de aminoácidos corregidos por digestibilidad en la harina de lenteja verde y roja.

Alimento	Cantidad peso (g)	Proteína (g).	N ^a	Contenido de aminoácidos esenciales en la proteína de los alimentos (mg/g de N) ^c .			
				Lisina	Metionina + cisteína	Treonina	Triptófano
Lenteja verde	30	8.42	1.34	653.25	139	387.12	86.43
Mg por g de N				487.5	103.73	288	64.5
Patrón de referencia aminoácidos esenciales.				320	156	170	43.0
Cómputo de aminoácidos mg/g de N.				1.5	0.66	1.69	1.5
PDCAAS.				1.2	0.52	1.35	1.2
Lenteja roja	30	7.85	1.25	608.75	139	360	80.62
Mg por g de Ne				487	103.73	288	64.49
Patrón de referencia aminoácidos esenciales.				320	111.2	170	43.0
Computo de aminoácidos mg/g de N.				1.52	0.93	1.69	1.49
PDCAAS				1.24	0.76	1.38	1.22

a= Corresponde a la cantidad de proteína que hay en 30 g de lentejas.

bN=Nitrógeno.

c= Equivalentes de g de nitrógeno. Se obtiene al dividir el contenido de proteínas de las lentejas por 6.25.

d=valores obtenidos al multiplicar la cantidad de nitrógeno de la lenteja por la cantidad de lisina, metionina + cisteína, treonina y triptófano.

e=Representa el contenido de cada aminoácido en un gramo de nitrógeno de la muestra.

f= Valores obtenidos al aplicar la fórmula del cálculo del cómputo aminoacídico.

Contenido de fibra dietaria total y las fracciones fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS) en la harina de lenteja imbibida.

A continuación, en la figura 7 se resumen los resultados en lo que respecta al contenido de fibra dietética total (FDT), fibra dietética soluble (FDS) y fibra dietética insoluble (FDI) . Con relación a los resultados se observó que las harinas imbibidas de la variedad verde presentó mayor porcentaje de FDT con respecto a las harinas imbibidas de la variedad roja, harina imbibida 1h (25.05%), harina imbibida 2h (25.17%), harina imbibida 3 h (26.97), harina imbibida 4h (31.5%). A las primeras horas de imbibición no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) con respecto al control 1 (harina de lenteja cruda) ,sin embargo, sí hubo con respecto a la harina de lenteja cocida. La harina imbibida a las 4 h, obtuvo el mayor porcentaje de fibra dietética total (FDT) con respecto al resto de las harinas imbibidas y al control 1.

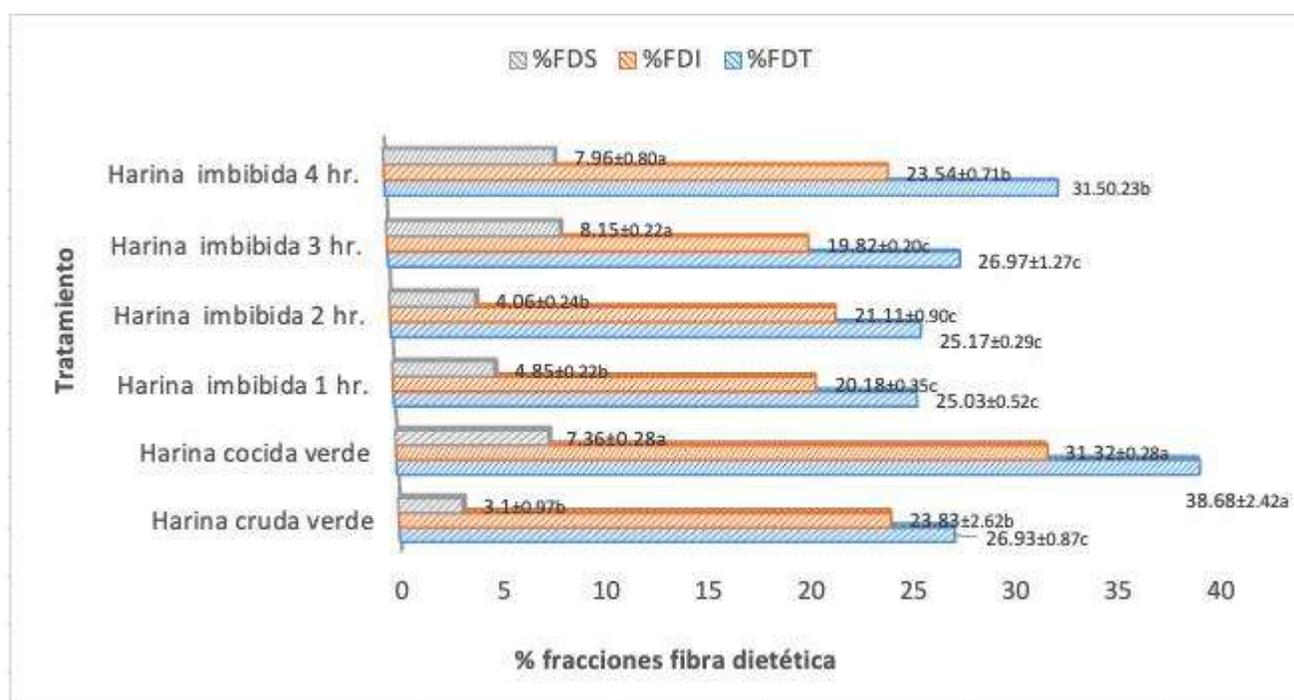


Figura 4. Fracciones fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS) en la harina de lenteja imbibida, cruda y cocida verde ($R^2 = 0.96$). Nota: cada valor representa la media \pm la desviación estándar de tres repeticiones de la misma muestra. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p \leq 0.05$.

Con lo que respecta al contenido de FDI en la harina de lenteja verde imbibida, se observa que a las primeras horas de imbibición 1 h (25.03%), 2 h (21.11%) y 3 h (26.97%) no

hubo diferencia estadística significativa, pero la harina imbibida a las 4 h obtuvo el mayor porcentaje de FDI (23.54%), sin diferencia significativa con respecto al control 1. En lo que se refiere al contenido de FDS en las muestras imbibidas a las 3 h (8.15%) y 4 (7.96%) obtuvieron el mayor porcentaje de FDS, sin diferencia significativa con respecto a la harina cocida (control 2). En general la cocción y la imbibición a 4 h con acompañamiento de una temperatura de imbibición produce cambios significativos en el contenido de FDS.

En lo que se refiere al contenido de DFS en las muestras cocidas, se observa que el contenido de esta fracción fue asimismo más mayor ($p \leq 0.05$) en la harina cocida verde (7.36%), observándose un valor menor en la harina cruda verde (3.1%).

En general, al someter las muestras a cocción se observan cambios significativos en el contenido de fibra alimentaria. El tratamiento térmico (cocción) produjo un aumento del 7.49% de FDI en la muestra de lenteja cocida y de FDS se produjo un aumento de 4.26% en la lenteja cocida a comparación de la lenteja cruda.

Según Su y Chang. 1995, los incrementos que experimentan las fracciones de fibra soluble e insoluble se deben principalmente a la formación de almidón resistente a los productos de reacción de Maillard que se forman durante el proceso de cocción. Los cambios que se producen a lo largo del proceso se reflejan en la relación FDI/FDS, mostrando por un lado que la fracción de FDI predomina en ambas variedades de lentejas (verde y roja) y por otro lado como el tratamiento térmico (cocción a 94°C) de las semillas puede llegar a modificar las características fisicoquímicas de las fracciones de la fibra alimentaria.

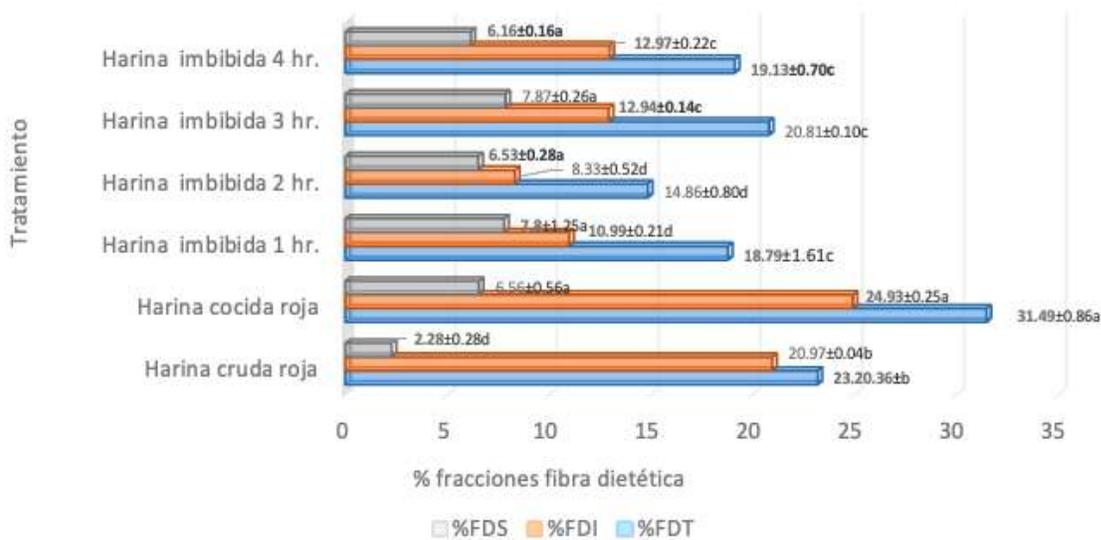


Figura 5. Fracciones fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética soluble (FDS) en la harina de lenteja imbibida, cruda y cocida roja ($R^2 = 0.96$). Nota: cada valor representa la media \pm la desviación estándar de tres repeticiones de la misma muestra. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p \leq 0.05$.

De acuerdo con los resultados de la variedad de la lenteja roja (figura 8), la fracción de FDT en las harinas imbibidas 1 h (18.79%), 3 h (20.81%) y 4 h (19.13%) obtuvieron los mayores porcentaje de FDT, sin embargo, fue menor con respecto a la harina de lenteja cruda y cocida. En lo que se refiere a la FDI inicialmente la variedad verde obtuvo mayor porcentaje con respecto a la variedad roja, y esto a razón a que la lenteja roja está desprovista de cascarilla. En las harinas imbibidas hubo una disminución significativa con respecto a la harina de lenteja cruda y cocida. Las harinas imbibidas a las 3 h (12.94%) y 4 h (12.97%) obtuvieron los mayores porcentajes de FDI.

El porcentaje de la FDS fue mayor numéricamente en las harinas imbibidas 1 h (7.8 %), y 3 h (7.87%), seguido de las harinas imbibidas a la 2 h (6.53%) y 4 h (6.16%) sin diferencia significativa con respecto a la harina cocida.

De acuerdo a los resultados de la variedad de la lenteja roja (Figura 8) el porcentaje total de la FDI en la harina cruda roja fue de (20.97%), que comparación a la harina de lenteja roja cocida hubo un incremento significativo ($p \leq 0.05$). En lo que respecta a la FDS en la lenteja roja

cocida (6.56%) fue significativamente mayor ($p \leq 0.05$) en comparación de la lenteja cruda roja (2.28%).

Según Aguilera, (2009) durante el procesado térmico (cocción) afecta de diferentes formas el contenido total de carbohidratos de la DFI, y este aumento puede deberse al hinchamiento o dilatación de los gránulos de almidón provocado por la acción de calor, de esta forma estos granos permanecen atrapados en la matriz de la fibra, y resulta más difícil su solubilización por la acción de las enzimas en el proceso de extracción de la fibra” (p.91). De este modo, los tratamientos térmicos producirán la insolubilización que contienen glucosa y en consecuencia se observará cambios en el contenido de fibra alimentaria presente en las harinas de lentejas cocidas. Asimismo, otros trabajos muestran que el proceso de cocción aumenta el contenido de FDI, incluso llegando a ser mayores cuando se utiliza la presión y el vapor. Los diferentes resultados encontrados en la literatura se pueden atribuir bien a las distintas características que presentan los tipos de legumbres estudiadas, incluso la metodología utilizada para la extracción de fibra alimentaria.

Polifenoles totales (PT) en las harinas de lenteja verde y roja imbibidas

La presencia de moléculas oxidantes provoca un desequilibrio en el organismo, que en consecuencia es causante de la muerte celular, sin embargo, los compuestos fenólicos tienen un papel importante debido a su actividad antioxidante que al captar radicales libres disminuye la probabilidad de riesgo de enfermedades cardiovasculares. Los polifenoles son importantes dentro de los antioxidantes, entre ellos se encuentra el ácido gálico, que además de actuar como un antirradical, tiene acción quelante sobre metales como el cobre o el plomo para ser excretados del cuerpo (Brodkorb et al., 2019).

En la tabla 5, se presentan los resultados de PT para la harina de lenteja verde y roja. La harina de lenteja cruda (Control 1) presenta una concentración de PT de 85.93 mg EAG g⁻¹, esta disminuye significativamente ($p \leq 0.05$) cuando la lenteja es llevada a cocción por ebullición (Control 2) (50.42 mg EAG g⁻¹). La imbibición en general disminuye significativamente el contenido de PT, el cual es menor conforme se incrementa el tiempo de

imbibición pasando de 55.46 mg EAG g⁻¹ en una 1h a 50.08 mg EAG g⁻¹ a las 4 h, tiempo de imbibición donde se encuentra una similitud significativa con el control 2.

La reducción de PT observada en la presente investigación también fue descrita por Gujral, et al., (2011), Pez et al., (2016), Nithiyantham et al., (2012), Sasipriya et al., (2012) y Siddhuraju et al., (2007) quienes atribuyeron la disminución de polifenoles totales a un tratamiento hidrotérmico y el remojo ocasionando la disolución de los compuestos fenólicos, la descomposición de estos compuestos durante la cocción térmica y la formación de complejos fenólico-proteína.

Tabla 5. Contenido de Polifenoles Totales en la harina de lenteja verde y roja imbibidas

Polifenoles Totales (PT) mg EAG g ⁻¹ Harina de lenteja verde	Imbibición 50°C/ deshidratada 70°C	Polifenoles Totales (PT) mg EAG g ⁻¹ Harina de lenteja roja.
85.93±0.10a	Harina cruda	52.93±1.85a
50.42±0.24c	Harina cocida	45.83±1.30b
55.46±1.10b	1hr	46.60 ±0.09b
51.91±0.02c	2hr	47.47±1.34b
51.57±0.51c	3hr	47.60±0.03b
50.08±0.25c	4hr	46.78±1.06b

Nota: Polifenoles totales ± desviación estándar. Literales iguales en las columnas Indican que no hay diferencia estadística ($P \leq 0.05$).

En cuanto a la concentración de PT para la variedad roja, la práctica de imbibición reduce significativamente ($p \leq 0.05$) el contenido de PT (46.60 a 46.78 mg EAG g⁻¹) con respecto al Control 1 (52.93 mg EAG g⁻¹), sin embargo, no presenta diferencias significativas con el Control 2 (45.83 mg EAG g⁻¹). La variedad verde presentó mayor concentración de PT en comparación con la variedad roja, esto a razón de que la lenteja roja está desprovista de cascarilla presentando un menor contenido de polifenoles, ya que la mayoría de estos compuestos se encuentran en la envoltura. Sin embargo, la disminución en PT por efecto de la cocción y la

imbibición es mayor en las harinas de lenteja verde que en las rojas atribuido a que el tiempo de cocción en la variedad verde es mayor, provocando una mayor pérdida de PT, además de otros factores como el remojo en el que parte de estos PT se pierden por solubilidad en el agua de imbibición junto con otros compuestos relacionados a la actividad antioxidante como el ácido fítico, taninos, etc. En el estudio de Durazzo et al., (2013) demostraron un alto contenido de PT en la variedad de lentejas con tonalidades verdes, en comparación con las lentejas con tonalidades rojizas.

Algunos de los compuestos que son anti-nutricios forman parte de los compuestos fenólicos, entre ellos se encuentran los taninos condensados. La concentración de taninos es mayor en legumbres, son termoestables, por tanto, no se pierden en su totalidad con los tratamientos térmicos, su mayor pérdida se debe a que estos compuestos fenólicos son especialmente hidrosolubles o a la activación de enzimas que los degradan, presentan un sabor amargo y astringente característico. Y son considerados compuestos anti-nutricios, son capaces de formar complejos con proteínas, disminuyendo su digestibilidad, y con elementos minerales divalentes (hierro, magnesio, zinc o calcio) disminuyendo su absorción y al presentarse una disminución por la imbibición esto no representa algo adverso, sino favorable, ya que estos factores antinutricionales limitan el buen perfil nutricional de las legumbres ya que afectan la digestibilidad de algunos nutrientes (proteínas, biodisponibilidad de algunos aminoácidos y minerales) (Kumar et al., 2022).

Cuantificación de la actividad antioxidante por ABTS y DPPH de la harina de Lenteja (*Lens culinaris* M.) verde y roja imbibidas.

Harina de lenteja verde

La actividad antioxidante de la harina de lenteja verde medida por ABTS y DPPH se muestra en la **Tabla 6**. En relación con ABTS, las concentraciones más altas se observaron en la harina Control 1 (1157.26 $\mu\text{mol ET/ g}^{-1}$) con un porcentaje de inhibición de 76.18 %. Esta actividad antioxidante disminuye significativamente en 60 unidades cuando la lenteja es llevada a cocción (Control 2) o por efecto de la imbibición hasta 222 unidades. La harina cocida obtuvo

un valor de 1097.26 $\mu\text{mol ET/g}^{-1}$ con un 54.69 % de inhibición y cuando se lleva a imbibición a partir de 1 h disminuye ABTS hasta 983.6 $\mu\text{mol ET/g}^{-1}$ con un 64.99 % de inhibición, la cual disminuyó progresivamente hasta llegar a la menor concentración en la harina imbibida a las 4h (935.25 $\mu\text{mol ET/g}^{-1}$ / 68.12% de inhibición). Cabe resaltar que si bien, ABTS disminuye conforme se incrementa el tiempo de imbibición, no hay diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

Tabla 6. Valores medidos de actividad antioxidante en las harinas de lenteja verde.

Harina de lenteja roja imbibida a 50°C/ deshidratada a 70°C.	ABTS $\mu\text{mol de ET/g}^{-1}$	DPPH $\mu\text{mol de ET/g}^{-1}$
Control 1. Harina de lenteja verde cruda	1157.26±0.05a	910.36±0.05a
Control 2. Harina de lenteja verde cocida	1097.26±0.02b	879.75±0.02b
Harina de lenteja verde imbibida 50°C/ deshidratada 70°C.		
1hr.	983.6±0.05c	870.66±0.01b
2hr	936.93±0.02d	801.87±0.08d
3hr	935.50±0.07d	797.18±0.05d
4hr	935.25±0.01d	842.18±0.03c

Nota: Actividad antioxidante \pm desviación estándar. Literales Iguales en las Columnas Indican que no hay Diferencia Estadística ($p \leq 0.05$).

Diversos autores han reportado valores para la lenteja verde cruda de 22, 26, 21.70 $\mu\text{mol ET/g}^{-1}$, para el caso de la lenteja roja se reporta un valor de 16.59 $\mu\text{mol ET/g}^{-1}$. Morales-Cortes (2016). Las concentraciones dadas por ABTS están relacionadas además de otros factores, con el contenido de polifenoles totales, entre mayor sea la concentración de fenoles totales, mayor será la actividad antioxidante. Las harinas de la variedad verde obtuvieron la mayor concentración de PT y se vio reflejado con una mayor actividad antioxidante, sin embargo, hubo una disminución de PT en la harina de lenteja cocida, y los tratamientos de imbibición/ deshidratación y asimismo esto puede asociarse con una disminución en ABTS.

Referente a la concentración de DPPH, las medias más altas obtenidas fueron para el Control 1 (910.36 $\mu\text{mol ET/g}^{-1}$), con un porcentaje de inhibición de 85.66 %, existiendo

diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control 2 y las harinas imbibidas; la harina cocida (879.75 $\mu\text{mol ET/g-1}$ / 78.45% de inhibición), seguido de la harina de lenteja imbibida a 1hr (870.66 $\mu\text{mol ET/g-1}$ / 74.86% de inhibición) 4hr (842.18 $\mu\text{mol ET/g-1}$ / 72.38% de inhibición) y 2hr (801.87 $\mu\text{mol ET/g-1}$ / 68.86% de inhibición). La menor concentración correspondió a la harina de lenteja imbibida por 3hr (797.18 $\mu\text{mol ET/g-1}$ / 68.45% de inhibición). Se observó una disminución en la concentración tanto de ABTS como de DPPH en las harinas de lenteja Control 2 e imbibidas con respecto a la harina de lenteja cruda (Control 1). Gujral et al, (2011) afirman al igual que en el presente estudio, una reducción significativa de la actividad eliminadora de DPPH en legumbres cocidas.

Harina de lenteja roja

El promedio de la concentración de ABTS Y DPPH para la harina de lenteja roja se presenta en la tabla 7. En ABTS la harina de lenteja cruda (Control 1) tuvo una concentración de 877.26 $\mu\text{mol ET/g-1}$, indicando un porcentaje de inhibición de 60.13 %. Cuando la lenteja es llevada a cocción (Control 2), el valor de ABTS es afectado por la temperatura (94°C) disminuyendo significativamente ($p \leq 0.05$) a 857.26 $\mu\text{mol ET/g-1}$ y en consecuencia el porcentaje de inhibición (54.69 %). En DPPH se observa el mismo comportamiento que para ABTS, la harina cruda tiene la concentración más alta (624.30 $\mu\text{mol ET/g}^{-1}$) con una inhibición de 53.35 %, valor que disminuye significativamente cuando la lenteja roja se procesa por ebullición a 94°C (595.81 $\mu\text{mol ET/g-1}$ y porcentaje de inhibición de 50.87%). Cabe resaltar que las concentraciones más altas referidas a la actividad antioxidante para las harinas de lenteja roja se aprecian en ABTS.

Tabla 7. Valores medidos de actividad antioxidante en las muestras de harinas de lenteja roja.

Harina de lenteja roja imbibida a 50°C/ deshidratada a 70°C.	ABTS ($\mu\text{mol ET/g}^{-1}$)	DPPH ($\mu\text{mol ET/g}^{-1}$)
Control 1. Harina de lenteja verde cruda	877.26±0.02a	624.30±0.06a
Control 2. Harina de lenteja verde cocida	857.26±0.01b	505.81±0.08c

Harina de lenteja verde imbibida 50°C/ deshidratada 70°C		
1 h	836.26±0.01c	609.75±0.03b
2 h	837.26±0.03c	610.21±0.08b
3 h	837.93±0.03c	609.63±0.05b
4 h	848.46±0.09bc	609.42±0.06b

Nota: Actividad antioxidante \pm desviación estándar. Literales Iguales en las columnas indican que no hay Diferencia Estadística ($p \leq 0.05$).

En cuanto a la imbibición, esta práctica muestra cambios significativos en ABTS y DPPH con respecto a los controles (harina de lenteja cruda y cocida). En ABTS, la actividad antioxidante disminuye a partir de la primera hora de imbibición, manteniéndose en un valor constante en las siguientes horas de remojo. Es importante mencionar que entre los diferentes tiempos de imbibición ABTS no difiere significativamente. En el caso de DPPH, la imbibición disminuye la actividad antioxidante en la matriz alimentaria estudiada, sin embargo, puede apreciarse que esta disminución es menor que la suscitada por la cocción, manteniendo las harinas imbibidas una mayor cercanía con la harina de lenteja cruda que con la cocida. Finalmente, es importante destacar que en las harinas imbibidas no hubo diferencias significativas entre los tiempos de imbibición.

En la literatura se ha reportado que una vez que las legumbres son sometidas a una etapa de remojo, se observaron reducciones significativas en la actividad antioxidante en la lenteja pardina y la judía Pinta, hasta del 40%. Respecto a la cocción, también se han reportado reducciones (63 %) en la lenteja pardina. Los cambios de la actividad antioxidante experimentados durante la cocción e imbibición podrían ser atribuidos principalmente a dos factores, uno de ellos, la lixiviación de compuestos fenólicos al agua de cocción y por la naturaleza de algunos compuestos de ser hidrosolubles (taninos condensados), si las semillas de lenteja están desprovista de su cascarilla, como es el caso de la variedad roja, se facilita la entrada de agua hacia el interior de la semilla y promueve la difusión de los compuestos hidrosolubles (Abbas et al., 2021); otro factor, la degradación de otros compuestos, por ejemplo los carotenoides (no sólo compuestos fenólicos) (Manzocco et al., 2001).

2.7 Conclusión

El estudio sobre las harinas de lenteja revela que la imbibición de la semilla durante 2 h induce el mayor porcentaje de proteínas extraídas, específicamente albúminas y globulinas. Este aumento es más notable en comparación con la cocción directa mediante tratamiento hidrotérmico y se asemeja al contenido presente en la harina de lenteja cruda. En cuanto a la actividad antioxidante y los polifenoles totales en las harinas de lenteja, se observa una marcada disminución durante las dos primeras horas de imbibición de la legumbre. No obstante, esta reducción es menor en comparación con la cocción, indicando que las harinas imbibidas mantienen una mayor similitud con la harina de lenteja cruda. Con respecto al contenido de fibra dietaria total y FDI se observó el mayor porcentaje en la harina imbibida a las 4hr en la variedad verde, en la variedad roja se observa una disminución en el contenido de FDT Y FDI con respecto al harina cruda y cocida, pero un aumento en la FDS. Cabe destacar que la variedad de lentejas verde presenta la mayor concentración de las fracciones proteicas, actividad antioxidante, PT y contenido de fibra dietética total.

2.8. Referencias

- Arango Bedoyo, O., Bolaños Patiño, V., Ricaurte García, D., Caicedo, M., & Guerrero, Y. (2012). Obtención de un extracto proteico a partir de harina de chachafruto (*Erythrina edulis*). *Revista Universidad y Salud*, 14(2), 161 - 167.
- Abbas, Y., Ahmad, A. (2021). Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: A review. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 20(3), 199–215. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2433>.
- Avilés-Gaxiola, S., et al. "Inactivation Methods of Trypsin Inhibitor in Legumes: A Review." *Journal of Food Science*, 83(1), 2018, 17-29.
- Abbas, Y., and A. Ahmad. "Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes." *Annals. Food Science and Technology*, 19(2),199-215.
- Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., & Rajamohamed, S.H. (2010). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43(2), 537-546.
- Bessada, S.M., Barreira, J.C., & Oliveira, M.B.P. (2019). Pulses and food security: Dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 53-68.
- Bernardi, S., Del Bo', C., Marino, M., Gargari, G., Cherubini, A., Andrés-Lacueva, C., Kroon, P., Kirkup, B., Porrini, M., Guglielmetti, S., & Riso, P. (2019). Polyphenols and intestinal permeability: rationale and future perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(7), 1816-1829.
- Bhatty, RS; Slinkard, AE; Sosulski, FW Composición química y características proteicas de las lentejas. (1976). *J. Planta Science*.1(56), 787–794.
- Bhatty, R. S. (1988). Composition and quality of lentil (*Lens culinaris Medik*): a review. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 21(2), 144-160.
- Bhattarai, R., Dhital, S., Wu, P.; Chen, X. D. y Gidley, M. J. (2017). Digestion of isolated legume cells in a stomach-duodenum model: Three mechanisms limit starch and protein hydrolysis. *Food and Function*, 8(7), 2573-2582.
- Brodkorb, A.; Egger, L.; Alminger, M.; Alvito, P.; Assuncao, R.; Ball, S.; Bohn, T.; et al. (2019). INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, 14 (4), 991-1014.
- Bhattarai, R.R. (2017). "Digestion of isolated legume cells in a stomach-duodenum model: Three mechanisms limit starch and protein hydrolysis." *Food and Function*, 8(7),2573-2582.
- Chaparro Acuña, S. P., Aristizabal Torres, I. D., & Gil González, J. H. (2009). Reducción de factores antinutricionales de la semilla de vitabosa (*Macuna deeringiana*) mediante procesos físico-químicos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(2), 5157-5164.
- Chel Guerrero, L. A., & Corzo Ríos, L. (2003). Estructura y propiedades funcionales de proteínas de leguminosas. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, (227), 34-42.
- Chandler, S.L., & McSweeney, M.B. (2022). Characterizing the properties of hybrid meat burgers made with pulses and chicken. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27, 100492.
- Campaña, L. E., Sempé, M. E., y Filgueira, R. R. (1993). Physical, chemical and baking properties of wheat dried with microwave energy. *Cereal Chemistry*., 70(6), 760-762. https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1993/Documents/70_760.pdf.
- Circovic Velickovic, T. D. & Stanic-Vucinic, D. J. (2017). The Role of Dietary Phenolic Compounds in Protein Digestion and Processing Technologies to Improve Their Antinutritive Properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 82–103.
- Drulyte, D. y Orlien, V. (2019). The Effect of Processing on Digestion of Legume Proteins. *Foods*, 8(6), 224.
- Durazzo, A., Turfani, V., Azzini, E., Maiani, G. y Carcea, M. (2013). Fenoles, lignanos y propiedades antioxidantes de las harinas de leguminosas y castañas. *Química de los alimentos*, 140,666–671.

- Fratianni, F., Cardinale, F., Cozzolino, A., Granese, T., Albanese, D., Di Matteo, M. & Nazzaro, F. (2014). Polyphenol composition and antioxidant activity of different grass pea (*Lathyrus sativus*), lentils (*Lens culinaris*), and chickpea (*Cicer arietinum*) ecotypes of the Campania region (Southern Italy). *Journal of functional foods*, 7, 551-557.
- Fernández-Orozco, R., Zielinski, H., & Piskula, M. (2003). Contribution of low-molecular-weight antioxidants to the antioxidant's capacity of raw and processed lentil seeds. *Die Nahrung*, 291-299.
- Fraga, C.G., Croft, K.D., Kennedy, D.O., & Tomás-Barberán, F.A. (2019). The effects of polyphenols and other bioactives on human health. *Food and function*, 10(2), 514-528.
- Galaz-Pérez EA, Velazquez G, Mendez-Montealvo G. (2020). Improvement of physicochemical properties of baked oatmeal (*Avena sativa* L.) by imbibition. *Cereal Chem*,97:981–990. <https://doi.org/10.1002/cche.10320>.
- González, I. N., Periago, M. J., & García, F. J. (2017). Estimación de la ingesta diaria de compuestos fenólicos en la población española. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 320 - 326.
- Giusti, F.; Capuano, E., Sagratini, G. & Pellegrini, N. (2019). A comprehensive investigation of the behaviour of phenolic compounds in legumes during domestic cooking and in vitro digestion. *Food Chemistry*, 285, 458–467.
- García, M. D. (2019). Polifenoles y vitaminas en la protección en la protección del daño genético inducido por metales con potencial cancerígeno. *Nutrición Clínica Medica*, 129-139.
- Gujral, HS, Angurala, M., Sharma, P. y Singh, J. (2011). Contaminación fenólica Actividad carpa y antioxidante de legumbres germinadas y cocidas. *Revista Internacional de Propiedades de los Alimentos*, 14,1366-1374.
- Gilani, G.S. (2012). "Effects of Antinutritional Factors on Protein Digestibility and Amino Acid Availability in Foods." *Journal of AOAC International*, 88(3), 967-987.
- Gama,G. et al. (2020) .Evaluación de la harina de chachafruto como ingrediente en la elaboración de un producto libre de gluten. *Actualización en nutrición*,21(3).103-109
- Joye, I. "Protein Digestibility of Cereal Products." *Foods*, 8(6),1-14.
- Sotomayor, C., Frías, J., Fornal, J., & Sadowska, J. (1999). Lentil starch content and its microscopical structure as influenced by natural fermentation. *Starch-Stärke*, 51(5), 152-156.
- Khazaei, H., Subedi, M., Nickerson, M., Martínez-Villaluenga, C., & Vandenberg, A. (2019). Proteína de semilla de lentejas: estado actual, progreso y aplicaciones alimentarias. *Revista Alimentos*, 8(391), 4-23. doi:10.3390/alimentos8090391.
- Karas, M.; Jakubczyk, A.; Szymanowska, U.; Zlotek, U. & Zielinska, E. (2017). Digestion and bioavailability of bioactive phytochemicals. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(2), 291-305.
- Kumar, Y., Basu, S., Goswami, D., Devi, M., Shivhare, U. S., & Vishwakarma, R. K. (2022). Anti-nutritional compounds in pulses: Implications and alleviation methods. *Legume Science*, 4(2), e111. <https://doi.org/10.1002/LEG3.111>.
- Lynch, H., Johnston, C., & Wharton, C. (2018). Plant-based diets: Considerations for environmental impact, protein quality, and exercise performance. *Nutrients*, 10(12), 1841.
- Lam, A.C.Y., Can Karaca, A., Tyler, R.T., & Nickerson, M.T. (2018). Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality. *Food reviews international*, 34(2), 126-147.
- Mattioli, A.V., Farinetti, A., & Gelmini, R. (2019). Polyphenols, Mediterranean diet, and colon cancer. *Supportive Care in Cancer*, 27(11), 4035-4036.
- Moreno, F.; G. A. Plaza y S. V. Magnitskiy. (2006). Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). *Agronomía Colombiana* 24 (2): 290-295.
- Neves, VA; Lourenco. (1995).EJ Aislamiento e hidrólisis in vitro de globulina G1 de lentejas (*lens culinaris* médico). *J. Bioquímica alimentaria*,19, 109–120.

- Napa, S., Imran, A., & Thanakorn, D. (2013). Comparative analysis of antioxidant and anti-melanogenesis properties of three local guava (*Psidium guajava* L) varieties of Thailand, via different extraction solvents. *Food Measure*, 207-214.
- Oguntunde, A. C. y O. O. Adebawo. (1989). Wateruptake pattern during traditional soaking of cereal grains. *Tropical Science* 29 (3): 189-19.
- Parca, F., et al. "Nutritional and Antinutritional Factors of Some Pulses Seed and Their Effects on Human Health." *International Journal of Secondary Metabolite*, 5(4),331-342.
- Pez, A., El-Naggar, T., Dueñas, M., Ortega, T., Estrella, I.Hernández, T.Carretero, ME (2016). Influencia del procesamiento en la composición fenólica y propiedades promotoras de la salud de las lentejas (*Lens culinaris* L.). *Revista de procesamiento y conservación de alimentos*.<https://doi.org/10.1111/jfpp.13113>.
- Saint-Clair, (1972). Respuestas de *Lens Esculenta* Moench a factores ambientales controlados. Doctor. Tesis, Comité de Agricultura, Universidad de Wageningen, Países Bajos, 72–77.
- Suleiman, MA; Amro, BH; Gamaa, AO; Mohamed, MET; Elhadi, AIEK; Abdullahi, HET; Elfadil, EB. (2008). Cambios en la digestibilidad total de proteínas, contenido de fracciones y estructura durante la cocción de cultivares de lentejas. *Pakistan Journal Nutrition*, 7, 801–805.
- Singh, B.; Singh, J. P.; Kaur, A. & Singh, N. (2017). Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food Research International*, 101, 1-16.
- Sarmadi, B. H. & Ismail, A. (2010). Antioxidative peptides from food proteins: A review. *Peptides*, 31(10), 1949-1956.
- SIAP. (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Datos abiertos. Estadística de Producción Agrícola. Obtenido de <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>.
- Singh, U. (2001). Functional properties of grain legume flour. *Journal of Food Science and Technology*, 38 (3), 191-199.
- Singh, U. (1993). Protein quality of pigeon pea as influenced by seed polyphenols and cooking process. *Plant Food and Human Nutrition*, 43, 171–179.

CAPÍTULO III. Propiedades tecno-funcionales de la harina de lenteja imbibida.

3.1 Resumen

Existen tratamientos tecnológicos que aumentan la digestibilidad, mejoran las cualidades nutricionales, sensoriales y tecno-funcionales de las legumbres. La cocción es el proceso más común, sin embargo, puede alterar la calidad nutritiva o tecno-funcional de las matrices alimentarias, debido a la pérdida o degradación de sus componentes. Estudios sugieren que la imbibición mejora las propiedades antes mencionadas, durante la imbibición hay un ingreso de agua del medio de remojo al interior de las semillas, incrementando su tamaño y peso. Estos cambios se relacionan a su vez con la hidratación de los gránulos del almidón, interacción agua/proteínas/almidón. Las propiedades tecno-funcionales brindan información sobre cómo se comportaría un componente en la matriz de un alimento. De tal modo que identificar y mejorar las propiedades tecno-funcionales en las harinas de lentejas es esencial para determinar sus usos como ingrediente alimentario. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue caracterizar la cinética de imbibición y estudiar las propiedades tecno-funcionales en la harina de lenteja (verde y roja) imbibida. El material de estudio fueron lentejas verde y roja imbibidas a 50 °C por 1, 2, 3 y 4 horas. Se determinó el tamaño (cm) y peso (gr) de la lenteja. Las semillas imbibidas se deshidrataron (70 °C/12 h), pulverizaron y empacaron al vacío. Los controles 1 y 2 fueron harina de lenteja cruda y cocida (94°C/30 min). Se determinaron las propiedades tecno-funcionales (Capacidad de absorción de agua CAA, índice de solubilidad en agua ISA, capacidad de retención de aceite CRA, imágenes por microscopía electrónica de barrido MEB y Color). La lenteja imbibida presenta la mayor hidratación en las primeras horas de remojo, observada por un mayor tamaño (6.5 cm a 7.0 cm) y peso (261.2 gr a 295.56 gr) en la semilla. La mayor CAA se obtuvo en la harina cocida control 2 (3.00ml/g m.s), sin embargo, las harinas imbibidas/deshidratadas presentaron valores de CAA menores y similares a la harina cruda. La variedad roja presentó mayores valores de CAA en los diferentes tratamientos de imbibición y deshidratación. En relación con la CAAC no hubo diferencia ($p \leq 0.05$) con respecto a las harinas control y las imbibidas para ambas variedades. La luminosidad se encontró hacia el tono blanco positivo, no hubo diferencias entre las harinas control y las imbibidas. Las harinas presentaron tonalidad amarilla, sin embargo, la harina de lenteja roja tuvo tonalidades rojas. Finalmente, los resultados de MEB indican que las harinas imbibidas, así como la lenteja llevada a cocción presentó mayores cambios en la morfología de los gránulos de almidón, que se ven reflejados en los cambios en las propiedades tecno-funcionales de la matriz alimentaria, debido a los cambios en los gránulos de almidón y las proteínas.

Palabras clave: Tecno-funcionalidad, capacidad de absorción de agua, MEB.

3.2 Estado del arte

La aplicación de tratamientos tecnológicos especialmente térmicos, así como el remojo o imbibición, permiten aumentar la digestibilidad y mejorar las cualidades sensoriales (textura, sabor y aroma), los atributos nutricionales y tecno-funcionales de las legumbres. El remojo o imbibición, es una práctica que antecede a la cocción de la lenteja, consiste en la inmersión de las semillas de lenteja en agua durante cierto periodo de tiempo, conforme el tiempo de imbibición transcurre, la lenteja al haber un ingreso de agua del medio de remojo al interior de la semilla se hidrata, provocando un incremento en el tamaño y peso de la lenteja, la velocidad de hidratación está directamente relacionada con el tipo de semilla y la temperatura del agua de remojo (Subedi et al., 2019). La imbibición promueve cambios estructurales en las semillas debido a la difusión de agua en las diferentes estructuras anatómicas y componentes de estas. Estudios demuestran que acompañar la imbibición con una temperatura mayor en el agua de remojo podría mejorar las propiedades texturales y la digestibilidad, así como las propiedades tecno-funcionales de la lenteja (Ovando-Martínez et al., 2013). Los atributos tecno-funcionales son todas las propiedades no nutricionales que imparten a los productos alimenticios. Debido al incremento en el uso de harinas de legumbres para el desarrollo de formulaciones alimentarias, dichos atributos han adquirido importancia (Roussel-Philippe et al., 2000). Las características tecno-funcionales proporcionan información útil para la formulación de alimentos, pudiendo usarse como guía en el desarrollo de harinas mixtas, por ejemplo de trigo-legumbres, donde las proteínas, además de su importancia nutricional se usan como principal componente tecno-funcional influyendo determinantemente en las características reológicas (elasticidad, cohesión, viscosidad, gelificación, entre otras) (Aguilera, 2009). Así, por sus cualidades de tecno-funcionalidad, las proteínas se usan comercialmente en la fabricación de productos, no obstante, estas características están determinadas no sólo por el contenido de proteínas en las harinas, sino también por el contenido de carbohidratos complejos y otros componentes de la fibra alimentaria como por ejemplo las pectinas y hemicelulosas (Achouri et al., 2012).

Las propiedades tecno-funcionales se definen como cualquier propiedad fisicoquímica que proporciona información sobre cómo un ingrediente o componente en particular (proteína, carbohidrato) podría afectar o modificar alguna característica de la matriz alimentaria y que

contribuye a la calidad final del producto correlacionándose a su vez se con las propiedades sensoriales. Estas propiedades se establecen por la composición y estructura molecular de los componentes individuales y las interacciones que se suscitan entre ellos, de tal forma que dichas propiedades podrían ser consideradas como el resultado de los distintos cambios conformacionales o de las distintas interacciones que tienen lugar entre los componentes del alimento, tales como las interacciones entre proteínas, entre proteínas y polisacáridos, lípidos, compuestos fenólicos ó ácido fítico (Ismond et al., 1986 y Patane et al., 2004). La importancia de estas propiedades radica en que permiten predecir el comportamiento de los ingredientes proteicos dentro de un producto alimenticio, por consiguiente determinará su campo de aplicación en la industria de alimentos. Entre las propiedades tecno-funcionales destacan aquéllas que están relacionadas con el agua, comprendidas como propiedades de hidratación, entre las que destacan la capacidad de absorción de agua y la capacidad de retención de agua, son particularmente dos los compuestos involucrados en la tecno-funcionalidad, el almidón y las proteínas. El almidón se gelatiniza a través de un débil fortalecimiento de los enlaces entre la amilosa y la amilopectina o entre las moléculas de amilopectina, promoviendo cambios, los cuales influyen directamente en las características que conforman la matriz del alimento. (Patane et al., 2004).

La capacidad de absorción de agua se define como la cantidad de agua que permanece unida al material hidratado tras la aplicación de una fuerza externa. Está característica es importante en las legumbres ya que se relaciona con las características de cocción, resultando fundamental para determinar el comportamiento del alimento durante el procesado térmico (Aguilera, 2009). A través de esta característica se permite también mantener la textura suave de productos elaborados a base de harinas de mezclas cereal-legumbre. Por otra parte, la funcionalidad de las proteínas puede tener un papel relevante en la manutención de la humedad de los alimentos, así como en productos de panadería. La propiedad de absorción de agua es deseable en alimentos como natillas y masa de repostería, por su capacidad de embeber agua sin disolver las proteínas (Seena et al., 2005). Esta propiedad influye también en la textura de los productos cárnicos confiriendo consistencia, viscosidad y mayores propiedades de adhesión, por lo que las harinas de legumbres podrían ser utilizadas en la formulación de este tipo de productos, como salchichas o análogos de carne (Granito et al., 2007).

La capacidad de retención de agua se define como la habilidad del material húmedo para retener agua cuando el material ha sido sometido a fuerzas centrífugas externas o de compresión; por lo tanto, es la suma del agua enlazada y del agua atrapada físicamente, siendo ésta última la de mayor contribución a esta capacidad. Igualmente, las proteínas son las responsables del incremento o reducción que experimenta la capacidad de retención de agua en los alimentos y se manifiesta en otras características como la textura (Granito et al., 2007).

La propiedad de absorción de aceite es fundamental en la elaboración de alimentos fritos a base de harina de legumbres, debido al papel que desempeña en el desarrollo del poder oxidativo y en el enranciamiento del alimento (Chel-Guerrero et al., 2002). El mecanismo de esta propiedad se debe a la retención física por atracción capilar. Esta propiedad es importante y deseable en un alimento para la conservación de aromas, para conseguir una mejor palatabilidad y para incrementar la vida de anaquel de los productos alimenticios (Granito et al., 2007). Asimismo, las proteínas juegan un papel fundamental en la absorción de aceite debido al carácter hidrofóbico de las proteínas que tienden a retener a los lípidos, esto está influenciado por las interacciones proteína-lípido y el arreglo espacial de la fase lipídica, el cual está determinado por las interacciones lípido-lípido. En las interacciones proteína-lípido los enlaces hidrofóbicos, electrostáticos, no covalentes y puentes de hidrógeno son los enlaces principalmente involucrados, los que a su vez tienen relación con la fracción del almidón, responsable de la contribución energética, de las propiedades sensoriales y de los cambios producidos en otras propiedades tecno-funcionales, como por ejemplo la capacidad de hinchamiento y gelificación que tienen numerosas aplicaciones en la industria alimentaria (Aguilera, 2009).

Procesamiento en las semillas de las legumbres

Los diferentes tipos de procesamientos pueden llegar a ocasionar efectos sobre los distintos componentes nutricionales en las legumbres, por ejemplo dentro de un tipo de procesamiento está la cocción directa a 94 °C, que si bien a esta temperatura nos asegura la cocción completa de la legumbre, también puede conllevar una serie de inconvenientes, ya que habitualmente suele ir asociado a una mayor pérdida de características nutricionales y sensoriales.

“

Otro tipo de procesamiento en las semillas de las legumbres es llevarlas a una deshidratación a menor temperatura, pero que se logre la cocción de está. Los tratamientos previos que tenga las legumbres, como por ejemplo la imbibición o remojo, esto acompañado de una temperatura, ayudará a que se lleve la cocción de las semillas a una temperatura de deshidratación menor (70°C) a comparación de la cocción directa, esto tiene razón a que durante la imbibición los gránulos de almidón absorben agua y esto se ve reflejado como un aumento de tamaño y peso en la lenteja, con está agua interna en los gránulos de almidón y seguido del tratamiento de deshidratación permite que la cocción interna de la semilla se lleve a acabo. Es entonces que con este tipo de tratamientos de deshidratación ocasiona efectos principalmente en los gránulos de almidón y también habrá efectos variables sobre otros componentes en las legumbres, entre ellos la fibra y eso se ve reflejado en las propiedades tecno-funcionales al provocar cambios físicos, químicos y estructurales en los componentes de las harinas de legumbres. Por ejemplo como se dijo anteriormente una de las fracciones que mayormente es afectada por el tratamiento térmico es el almidón, en particular la fracción amilácea, produciendo gelatinización del almidón hasta una pérdida irreversible de la estructura cristalina de los gránulos y un incremento de estos. Estos cambios se reflejan en las propiedades de absorción de agua, hinchamiento, gelificación, entre otros, propiedades que también se ven afectadas por los cambios en las moléculas de las proteínas (Chel-Guerrero et al., 2002). La absorción de agua durante la cocción depende principalmente de los gránulos de almidón, estos se encuentran unidos por puentes de hidrógeno en forma de paquetes cristalinos, denominados micelas (Dzudie et al.,1996). Lo que ocurre es que cuando los gránulos de almidón son sometidos a un tratamiento térmico, estas estructuras se hidratan aumentándose la absorción de agua por parte de las harinas de legumbres y a la par se produce la capacidad de hinchamiento, esta es otra propiedad tecno-funcional que igualmente se ve afectada por el calor, experimentando un incremento debido a la gelatinización del almidón.

Es entonces que la temperatura de ebullición de las legumbres puede conllevar a pérdidas y transformaciones en los aminoácidos esenciales (Wu, 1995). Una vez que las proteínas han sido desnaturalizadas como consecuencia de la aplicación de calor, se ven afectadas las propiedades tecno-funcionales, las cuales están directamente relacionadas con las características físico-químicas, principalmente la disociación de las proteínas en sus subunidades, dando lugar a una mayor exposición de los grupos hidrofóbicos (Aguilera, 2009).

Variaciones extremas en las condiciones de la desnaturalización proteica (pH, fuerzas iónicas, presencia de grupos sulfhidrilo o disulfuro, temperatura, tiempo de aplicación de calor y tasa de enfriamiento) pueden afectar significativamente a la funcionalidad de la proteína y como consecuencia a su función tecnológica en el alimento como se mencionó en el Capítulo II. La desnaturalización térmica está normalmente acompañada de una reducción de la solubilidad, debido probablemente a la agregación de moléculas no desplegadas. Como consecuencia de estos cambios, varias propiedades tecno-funcionales se verán alteradas, como la capacidad de gelificación, las propiedades reológicas de los geles, la capacidad espumante y emulsificante, propiedades que están íntimamente relacionadas con las proteínas (Yamagishi et al., 1980).

Es entonces que un tratamiento térmico por ebullición o los tratamientos de deshidratación pueden influenciar en la capacidad de retención de aceite y agua como consecuencia de los cambios en la concentración y en la conformación estructural de las proteínas. Hay autores que relacionan el aumento en la capacidad de retención de agua con el mayor o menor contenido de proteína presente en las harinas, sin embargo, otros autores no encuentran correlación y justifican el aumento en estas propiedades por cambios conformacionales en las proteínas. Por otra parte, el tratamiento por cocción o la deshidratación sobre la capacidad de absorción de aceite en las harinas son menores que los observados en la capacidad de absorción de agua (Adebowale et al., 2004). Esto se debe a que la propiedad de absorción de agua está intrínsecamente relacionada con la fracción de almidón, y el acompañamiento de una temperatura de ebullición o una temperatura menor deshidratación a 70 °C, permitirá que se lleve la gelatinización del almidón y esto se puede medir con los parámetros de solubilidad, absorción de agua que van a permitir mostrar la magnitud de interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas. Estas interacciones se afectan por la relación amilosa/amilopectina y por las características de la amilosa y la amilopectina, estas características son: el peso/distribución, grado y longitud de ramificación y conformación (Hoover, 2001).

Así, las legumbres exhiben propiedades tecno-funcionales diversas y esto también dependerá de la especie, condiciones del cultivo, entre otros factores ya mencionados. Sin embargo, a pesar del creciente interés acerca de las propiedades tecno-funcionales, existen aún diversas áreas que necesitan un estudio con mayor profundidad para comprender el procesado y la utilización de las harinas de legumbres en las aplicaciones en formulaciones

alimentarias. Existen varias investigaciones acerca de las propiedades tecno-funcionales de legumbres específicas como son la soja y el cacahuate, no obstante otras legumbres de gran consumo como judías, lentejas y garbanzos aún no se han estudiado a profundidad. Por tanto, la identificación y mejora de las propiedades tecno-funcionales específicas de las harinas de legumbres resulta esencial para determinar el uso potencial de dichas harinas (Roussel-Philippe et al., 2000).

Otra propiedad importante en la industria de alimentos es el color, es una propiedad que influye especialmente en la aceptación por parte del consumidor. El color es un atributo importante en la medición de la calidad de un alimento, con base a este se identifican diversas propiedades del mismo. El color es el primer contacto que tiene el consumidor con los productos y posteriormente los juzga por sus demás características sensoriales: textura, sabor, etc. (Calvo et al., 2002). Los colores de los alimentos se deben a la presencia de distintos compuestos, principalmente orgánicos, algunos de los cuales son el resultado del procesamiento y manejo del alimento. Otros son pigmentos naturales o colorantes sintéticos añadidos. Cuando se someten a tratamientos térmicos, los alimentos desarrollan tonalidades que van desde un ligero amarillo hasta un café intenso debido a las reacciones de caramelización y de Maillard (Badui, 2006). La mayoría de los alimentos vegetales deben su color a sus correspondientes pigmentos. Los principales pigmentos responsables de la coloración de los vegetales son: carotenoides, cuyo color varía de amarillo a naranja y rojo; clorofilas, el pigmento vegetal que más abunda en la naturaleza, las hojas de la mayoría de las plantas deben su color verde a este pigmento; antocianinas, responsables de los colores rojo, naranja, azul y púrpura; flavonoides, pigmentos, generalmente amarillos; betalainas (Contreras, 2007) entre otros.

La apariencia del color de un objeto percibido por el observador se basa en tres atributos: tono (hue o ángulo de matiz), croma (chroma o índice de saturación) y claridad (value) (Capilla et al., 2002), que permiten identificar un color específico. El tono es el primer atributo que describe un observador y está asociado con la longitud de onda del color dominante, sea este espectral o no (Camporeale et al., 2006), comprende matices como el rojo, amarillo, naranja, verde, azul y púrpura. El croma o saturación se refiere a la pureza cromática de un color respecto al gris; es decir, a medida que un color se satura, más puro es y menos gris posee (Netdisseny, 2009). La claridad o valor es una magnitud que obedece al nivel de intensidad de luz, primaria o secundaria, que percibe el observador. Las variaciones en la claridad de un

color, a medida que se añade blanco o negro a un tono, pueden alterar la apariencia de dicho color.

Por otro lado, existen factores que pueden llegar a afectar el color de un alimento, por ejemplo, la temperatura, es decir, los tratamientos de cocción, deshidratación, molienda, puede ocasionar una pérdida de color. Esto tiene razón ya que algunos compuestos, que son responsables del color en algunos alimentos, por ejemplo, los carotenoides, estas son moléculas de carotenoides, según la conformación, poseen un sistema de dobles ligaciones que constituyen el grupo cromóforo responsable por el color que proporciona a los alimentos, esto se puede llegar a modificar su estructura por efecto de la temperatura (Masatcioglu et al., 2014).

3.3 Objetivo

Caracterizar la cinética de imbibición y estudiar las propiedades tecno-funcionales en la harina de lenteja (verde y roja) imbibida/deshidratada.

3.4 Materiales y Métodos

Material de estudio.

El material de estudio consistió en semillas de lenteja (*Lens culinaris* M.) de las variedades verde y rojas adquiridas en un mercado local de Morelia, Michoacán de la marca lenteja verde valle® y lenteja roja lima limón®. Fueron trasladadas al Laboratorio de Biotecnología “M.C. Víctor Manuel Rodríguez Alcocer” de la Facultad de Químico Farmacobiología de la UMSNH para su procesamiento y análisis.

Imbibición de las semillas de lenteja.

Se formaron dos lotes de 125 g c/u de lenteja, 1 lote de la variedad verde y otro lote de la variedad roja. Cada lote se imbibió en 400 ml de agua destilada a 50 °C sin agitación. La imbibición para ambas variedades constó de 5 tiempos (0, 1, 2, 3 y 4 horas). En cada intervalo de tiempo se registró la variable de respuesta: peso, tamaño de la semilla y absorción de agua de la semilla de lenteja. A continuación, se presentan las metodologías:

Tamaño y peso de la semilla de lenteja. Posterior a cada tiempo de imbibición se midió el tamaño de las semillas utilizando un vernier. El tamaño se registró en cm. en un tamaño de muestra de 125 gr. En referencia al peso de las semillas durante la imbibición, en cada intervalo de tiempo de imbibición las semillas se retiraron del agua de remojo y se pesaron en una balanza granataria, el peso se registró en gramos.

Absorción de agua de la semilla de lenteja. Se estimó la cantidad de agua absorbida por las semillas de lenteja durante la imbibición, para ello se utilizó la **Ec. (1)** que toma en consideración la humedad inicial de las semillas de lenteja.

Ecuación (1) de Weibull

$$A_{\text{abs}} = \frac{WF - Wi}{wi \left(1 - \frac{Hi}{100}\right)}$$

WF: Peso final de las semillas de lenteja.

Wi: Peso inicial de las semillas de lenteja.

Hi: Humedad inicial de las semillas.

Obtención de harina de lenteja imbibida y controles.

Harina de lenteja imbibida. Las semillas imbibidas y deshidratadas obtenidas del tratamiento de imbibición de la semilla de lenteja de ambas variedades, se trituraron en un molino eléctrico GoldeWall® para reducir el tamaño de partícula. La harina obtenida se colocó en bolsas selladas al vacío. Se produjeron dos harinas más, consideradas harinas control: Harina de lenteja cruda (Control 1) y harina de lenteja cocida por tratamiento hidro-térmico convencional (Control 2). A continuación, se describe cada una:

Harina de lenteja cruda (Control 1). La semilla de lenteja cruda se trituró en seco en un molino eléctrico GoldenWall® para reducir el tamaño de partícula a 0.25 mm. La harina obtenida se colocó en bolsas herméticas selladas al vacío y se almacenaron hasta su uso.

Harina de lenteja cocida (Control 2). Las lentejas se llevaron a una cocción hidro-térmico por ebullición directa a 94 °C por 15 minutos. Al término, las semillas cocidas se deshidrataron en

un deshidratador de alimentos Hamilton Beach® por 12h a 50 °C. Una vez deshidratadas, las lentejas se trituraron en un molino eléctrico GoldenWall® a un tamaño de partícula de 0.25 mm. La harina obtenida se colocó en bolsas selladas al vacío y se almacenó hasta su uso.

Determinación de las propiedades tecno-funcionales de la harina de lenteja imbibida.

A continuación, se presenta la metodología utilizada para evaluar las variables de respuesta con relación a las propiedades tecno-funcionales de la harina de lenteja imbibida.

Determinación de la capacidad de retención de aceite. A 1 gr de muestra de la harina de lenteja (verde y roja) imbibida y controles (1 y 2) en un tubo falcon de 15 ml se le añadieron 6 ml de aceite comestible de soya, se mantuvo en agitación durante 30 minutos en un vortex. Posteriormente se centrifugó a 4750 rpm por 30 minutos. Se midió el volumen del sobrenadante. La diferencia entre el volumen inicial de aceite y el volumen recuperado correspondió a la capacidad de retención de aceite (CRAc) expresada en ml/g de materia seca (Chau,C.F. & Huang,Y.L, 2003). Los cálculos se obtuvieron utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 2: CRAc (ml/g)} = (V_i - V_s) / P_m$$

V_i = Volumen inicial de agua destilada (ml)

V_s = Volumen del sobrenadante (ml)

P_m = Peso de la muestra (g)

Determinación de la capacidad de absorción de agua (CAA). La capacidad de absorción de agua (CAA) se realizó con el método descrito por Anderson et al. (1969). Se pesaron 2.5 g de harina de lenteja verde y roja, está se suspendió en 14 ml de agua destilada a 30 °C en tubo de centrífuga. Posteriormente se agitó por 30 minutos con vortex para homogeneizar la muestra, enseguida la suspensión se centrifugó a 4500 rpm durante 30 minutos. El líquido sobrenadante se decantó en cápsulas de porcelana taradas para la determinación de sólidos (índice de solubilidad), enseguida se llevaron a secado en estufa a

100 °C por 24 hrs. El gel formado se pesó y la capacidad de absorción de agua se calculó con este peso como gramos de gel por gramos de muestra seca. Se realizaron tres repeticiones.

Los resultados se expresaron en gramos de agua absorbida de materia seca (g/g m.s.), y calculados mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 2 : CAA (g/g m.s)} = (m2 - m1) / m1$$

Donde:

m1 = Peso seco (g) de la muestra.

m2 = Peso (g) de la muestra húmeda.

Determinación del índice de solubilidad en agua (ISA). El índice de solubilidad de agua se realizó siguiendo el método reportado por Anderson et al. (1969). Se pesó 2.5 g de las harinas de ambas variedades, se dispersó en 14 ml de agua destilada a 30 °C por un periodo de tiempo de 30 minutos, posteriormente se centrifugó a 4500 rpm durante 30 minutos, obteniendo el sobrenadante en cápsulas y se llevó a estufa a 100 °C por 24 hrs. Se evaluó el peso de los sólidos obtenidos después de evaporar el sobrenadante de las muestras. Se expresó como el porcentaje de sólidos secos en 2.5 g de muestra. La evaluación se hizo con 3 repeticiones. Los resultados fueron calculados mediante la ecuación 3 y expresado en porcentaje:

$$\text{Ecuación 3 : ISA (\%)} = (m2/m1) \times 100$$

Donde: ISA (%) = Índice de solubilidad en agua.

m2 = Peso seco en gramo (g) de la muestra posterior a la evaporación de agua.

m1 = Peso seco expresado en gramo (g) inicial de la muestra.

Determinación del color. Para la determinación del color de la harina de lenteja de ambas variedades se realizó con un colorímetro FRU®. Se colocó la harina de las dos variedades de harina de lenteja en una caja Petri con superficie y laterales blancos ubicando el lente sobre la

muestra. Se obtuvo el valor de Luminosidad (L) y las coordenadas de color a y b. A partir de L, a y b se determinó el ángulo de matiz (AM) y el índice de saturación (IS) con base en las siguientes ecuaciones:

$$IS = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$AM = \tan^{-1} b/a \quad \text{Ecuación 5}$$

Imágenes por microscopía electrónica de barrido (MEB) de las harinas de lenteja variedades verde y roja imbibidas. La morfología de los componentes de la harina de lenteja fue evaluada mediante microscopía electrónica de barrido (SEM, *Scanning Electron Microscopy*) a bajo vacío modelo JSM-7600F en el Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Se recogieron imágenes a 500x, 1000x y 2500x. Antes del análisis, las muestras fueron ultracongeladas y liofilizadas en el Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad Autónoma de Querétaro.

3.5 Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico JMP versión 11. Se realizó un análisis factorial y una prueba de comparación de medias de Tukey, se trabajó con un nivel de significancia de ($\alpha=0,05$) para establecer las diferencias entre las medias.

3.6 Resultados y discusión.

Cinética de imbibición en relación al agua absorbida en la semilla de lenteja variedades verde y roja.

En la **figura 9** se presenta la curva de imbibición de la lenteja verde y roja a 50 °C teniendo la variable de respuesta absorción de agua. La lenteja verde absorbió agua en un valor de 2.29 g en los diferentes tiempos de remojo. La mayor tasa de absorción de agua se dio a las dos primeras horas de imbibición, a las 3 y 4 hr no existió un incremento significativo en el agua

absorbida, permaneció con un valor constante. La temperatura utilizada para la imbibición es un factor externo que permite que la difusión de agua sea más rápida en las semillas al romper la testa. Los gránulos de almidón sufren un hinchamiento atrapando moléculas de agua. Sousa et al., (2006) indicaron que durante la imbibición el incremento de la absorción de agua de las semillas de *Swietenia macrophylla* aumentó a partir de las 2 hr de remojo. Resultados análogos fueron reportados por Ogutande y Adebawo (1989) quienes encontraron que la absorción de agua en el cultivo de semillas de chachafruto ocurrió dentro de las primeras 2 hr y 4 hr, además estudiaron los efectos fisiológicos que ocurren durante la imbibición e indicaron que la absorción de agua de las semillas tuvo un incremento marcado durante la fase inicial de la imbibición y luego un incremento lento.

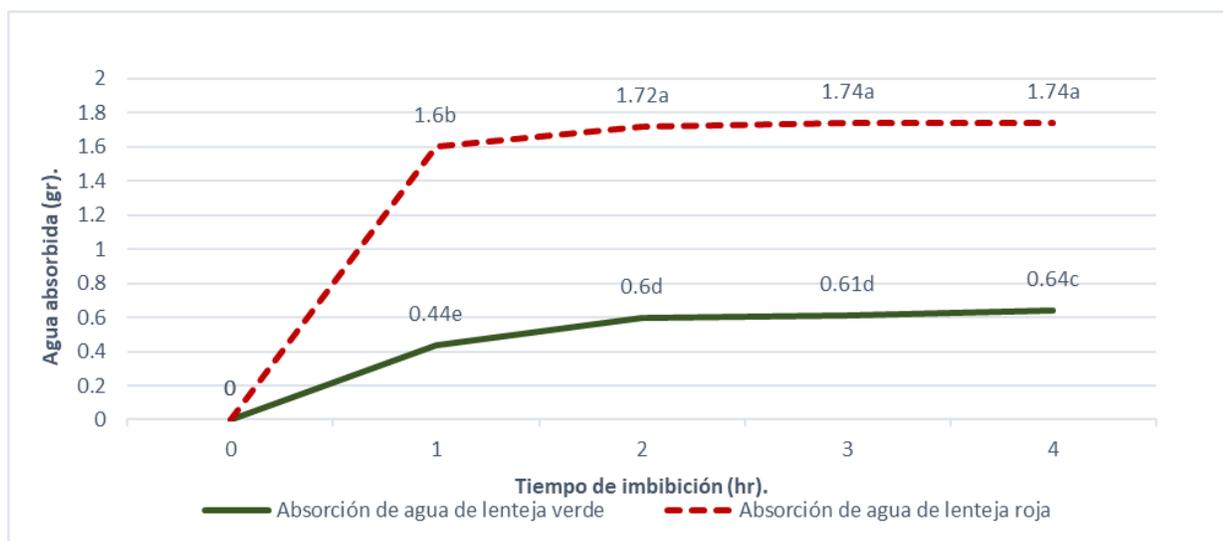


Figura 6. Tasa de imbibición (agua absorbida) por las semillas de lenteja verde y roja a 50 °C a diferentes tiempos de imbibición en agua, utilizando la humedad inicial en las semillas y modelado con la ecuación de Weibull.

La lenteja roja por su parte, la absorción de agua mayor se dio en las dos primeras horas de imbibición, alcanzando su máximo valor a las 3hr, registrando valores de 1.73 gr (2 hr) y 1.75 gr (3 hr y 4 hr). Estadísticamente no hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en las dos últimas horas de remojo, no obstante, en relación con la humedad inicial si existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$), observándose una ganancia final de 1.35 gr. Finalmente, es importante mencionar que la lenteja roja tuvo una mayor ganancia de agua absorbida que la lenteja verde. Esto obedece a que la lenteja roja al ser descascarillada y más pequeña, la difusión de agua hacia el interior de la semilla es más rápido, en la lenteja verde primeramente es necesario un

ablandamiento de la cascarilla para permitir la entrada de agua, es decir permitir que la membrana sea permeable y se genere ese rompimiento de la testa, la cual es una barrera para la absorción de agua en las legumbres (Matthews et. al., 1980). Por consiguiente, las propiedades inherentes de las semillas como por ejemplo el tamaño, la estructura, la permeabilidad de la cubierta de la semilla, contenido de substratos hidratables etc. y de las condiciones durante la exposición al agua (niveles de humedad inicial, composición de la semilla, temperatura) son factores determinantes (Moreno et al., 2006).

Sin embargo otros autores (Ángel, 2016; Doria, 2010 y Oguntude, 1989) por ejemplo estudiaron diferentes variedades de las semillas de Maíz y Millo a varias temperaturas de imbibición a 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C y 50 °C remojadas durante 8 hr, 24 hr y 36 hr . Las curvas de hidratación obtenidas mostraron que la mayor absorción de humedad de este tipo de semillas ocurrió dentro de las primeras 24 hr, mientras que la mayor absorción de agua o el contenido de saturación de agua ocurrió a las 36 hr con una temperatura de remojo de 50 °C, no obstante, la hidratación de los tejidos de las semillas es un proceso físico con una duración variable y esto depende según la especie de estudio (Pérez et al., 2016).

Cinética de imbibición en relación al peso y tamaño en la semilla de lenteja variedades verde y roja.

Imbibición de la lenteja verde a 50 °C.

La ganancia de agua absorbida se refleja en un incremento de tamaño y peso en las semillas de lenteja. En la **figura 10** se presentan los resultados referentes a la cinética de imbibición de las semillas de lenteja verde a 50°C en función de las variables de estudio: tamaño y peso de las semillas.

En relación al tamaño de la lenteja verde a 50 °C (figura 10), se observó de forma similar que en el primer intervalo de imbibición (1 h) el tamaño incrementó 3.5 unidades, creciendo de 3.0 cm a 6.5 cm, estadísticamente hubo diferencia significativa y el máximo crecimiento se observó a las dos horas de imbibición (7.0 cm). A las 3 y 4 horas, no hubo una diferencia

significativa en el tamaño de la lenteja (0.1 cm), permaneciendo en un valor constante al término del remojo (7.1 cm). El incremento total en el tamaño de la lenteja bajo las condiciones mencionadas fue de 4.1 cm.

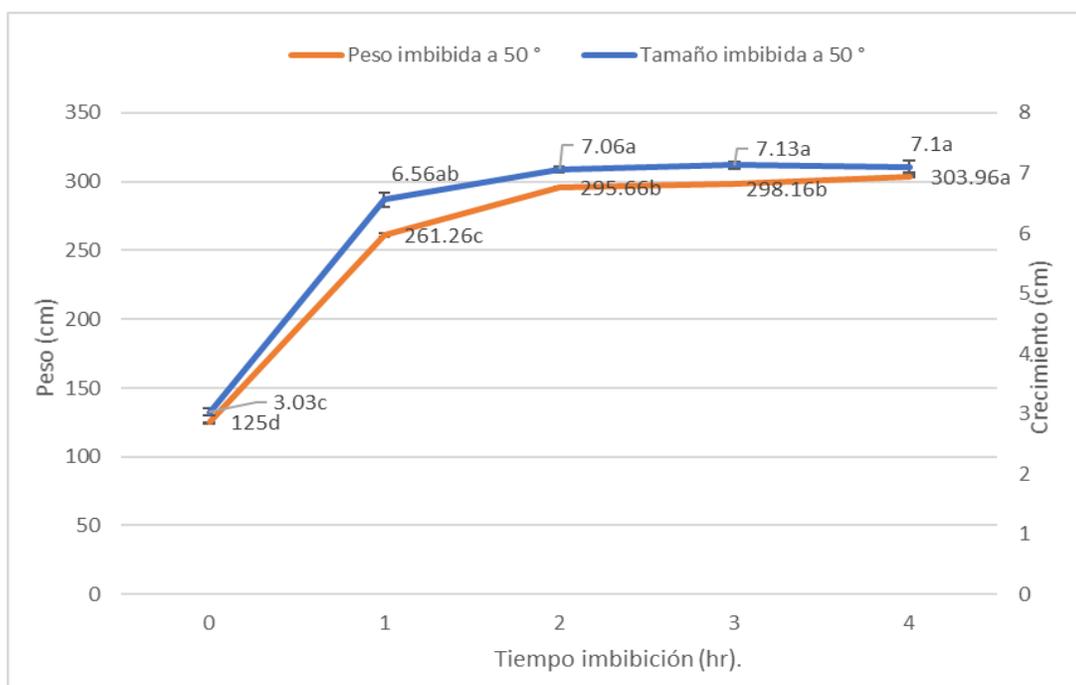


Figura 7. Cinética de imbibición a 50 °C en relación al peso y tamaño de la lenteja verde después del remojo.

Por su parte (Hernández et al., 2019) observó entre las semillas de chile ancho (*Capsicum annuum* L), la mayor velocidad de imbibición ocurrió durante las primeras 2 horas en relación en tamaño y al peso y asimismo registró que el incremento en peso fue más lento a medida que transcurrió el tiempo. Del mismo modo estos resultados coinciden con lo reportado por (Monroy et al., 2016 y María et al., 2017) en un estudio de imbibición de semillas *O. streptacantha* G, *O. megacantha* EM y *O. ficus-indica* EM1 y EM2 y semillas de cuatro especies de *Opuntia* según ellos, después de 4 horas en adelante, las semillas silvestres embebieron mínimas cantidades de agua, resultando sin diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en absorción de agua. Esto coincide con lo descrito por otros autores (Orozco- Segovia et al., 2007) quienes reportan que las semillas de *O. tormentosa* tiene la capacidad de embeber aceleradamente las primeras horas de remojo.

“ Durante el remojo, las paredes celulares de la cascarilla se ablandan y debilitan permitiendo la entrada del agua en la semilla, como resultado el almidón de la semilla comienza a ablandarse y los gránulos de almidón se hinchan porque absorben y retienen el agua. Por otro lado, esto también se relaciona con la disminución de compuestos anti- nutricionales, ya que el remojo no solo hidrata a las semillas de lenteja, sino que también favorece su digestibilidad al eliminar factores anti-nutricionales, principalmente los solubles en el agua de remojo (taninos, ácido fítico, oligosacáridos (Sánchez et al., 2007).

Con respecto a la variable peso de la lenteja verde a 50°C , mostró un comportamiento similar al tamaño de la lenteja, siendo directamente proporcional una con respecto a la otra en los dos intervalos iniciales (1 y 2 h), donde se registró el mayor peso de agua absorbida para las semillas de lenteja verde, partiendo del tiempo cero con un peso de 125 gr, al tiempo 1 de 261.26 gr y al tiempo 2 de 295.66 gr, estadísticamente, hubo significancia ($p \leq 0.05$). Para los tiempos 3 y 4 de imbibición, hubo aún un incremento de peso alcanzando su máximo al tiempo 4 (298.16 gr y 303.96 gr respectivamente) a diferencia de la variable tamaño de la lenteja verde, donde en los tiempos 3 y 4 de imbibición el tamaño ya no fue modificado. La ganancia de peso total de la semilla de lenteja al término de la imbibición fue de 178.96 gr.

La ganancia de peso en la semilla de lenteja verde, así como el incremento de tamaño de esta en los diferentes tiempos de remojo obedece a que se favorece la atracción entre las moléculas de amilosa, formando una red entre sí, que atrapa el agua y los gránulos de almidón comienzan a crecer denotándose en un incremento en el tamaño de la semilla y a la par una ganancia de peso; esto puede promover cambios en las propiedades funcionales de la lenteja. Es entonces que está ganancia de peso y tamaño en las semillas de lenteja durante la imbibición se atribuye a los gránulos de almidón, el agua de remojo y la temperatura que promueve cambios estructurales debido a la difusión del agua (Avilés- Gaxiola, 2018).

Enfatizando lo anterior, la imbibición se relaciona además con las propiedades tecno- funcionales, ya que estas dependen de los gránulos de almidón y de la interacción proteína- agua, los cuales inicialmente están unidos por puentes de hidrógeno en forma de micelas; cuando estos gránulos de almidón tienen contacto con el agua más el acompañamiento de un tratamiento térmico, estas estructuras se hidratan y provocarán cambios en las propiedades de

hidratación tales como la absorción de agua, retención de agua, solubilidad y viscosidad (Singh, 2001).

Peso y tamaño de la lenteja roja imbibida.

Con respecto al tamaño de la lenteja imbibida a 50 °C (figura 11), se registró que a las primeras 3 horas de imbibición (1, 2 y 3 h) el tamaño incremento de 2.8 cm (tiempo cero) a 6,5 cm (2 hr), alcanzando su máximo crecimiento a las 3 horas de imbibición (7 cm) y finalmente a las 4 horas no hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el tamaño de la lenteja. En cuanto a la variable peso (figura 11) igualmente presentó un comportamiento similar al tamaño de la lenteja, siendo proporcional una con respecto a otra en las primeras horas de imbibición, donde en el tiempo 1 se registró un peso de 325.1 g y al tiempo 2 h de 340.8 g y por último para los tiempos 3 y 4 de imbibición hubo un incremento de 0.5 g.

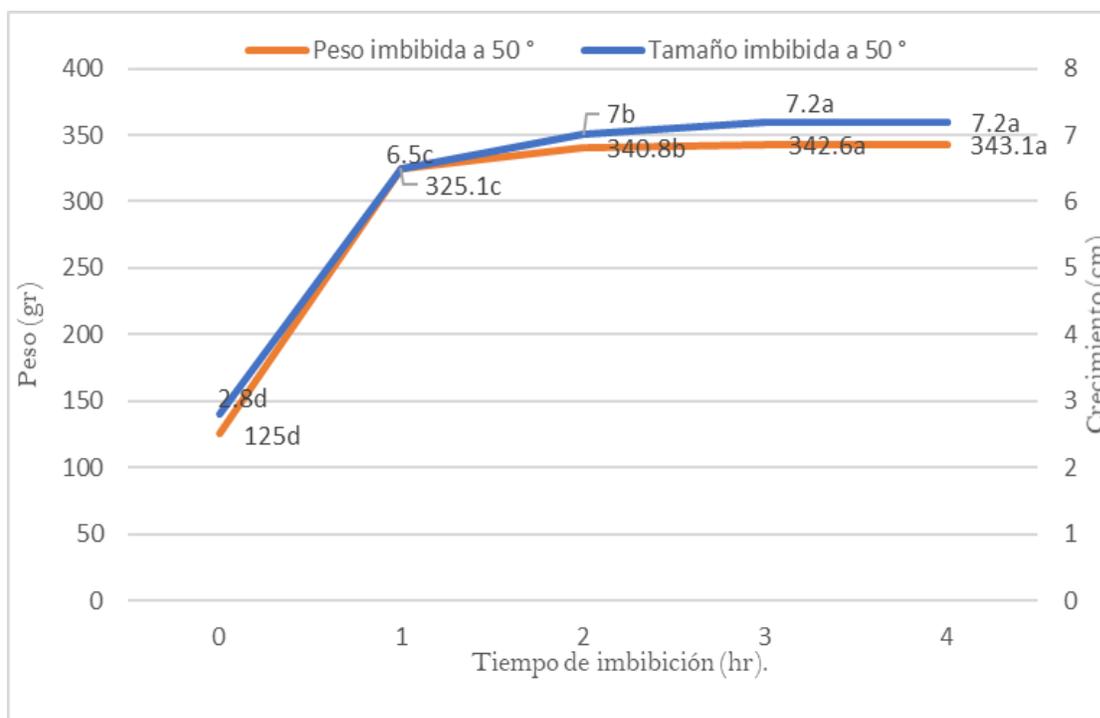


Figura 8. Cinética de imbibición a 50 °C en relación al peso y tamaño de la lenteja roja después del remojo.

Considerando lo expuesto anteriormente, es importante destacar que la temperatura del agua de imbibición influye en la ganancia de peso y tamaño de las lentejas. Las lentejas imbibidas a 50°C se observó un mayor crecimiento, ocurriendo un comportamiento similar en

la variable peso, Comparativamente, la imbibición a 50 °C permite una mayor absorción de agua a un menor tiempo en comparación con el remojo a 20 °C. Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Braganca et al., (2020) donde atribuyen a la temperatura cambios en el tamaño y peso de las semillas, ya que, al calentar el almidón en presencia de agua, los gránulos de almidón se hidratan y modifican su estructura observando ganancias de peso y tamaño de la legumbre. Otros estudios relacionados a tratamientos de remojo indican que la imbibición favorece la capacidad de absorción de agua y poder de hinchamiento en los gránulos de almidón (Avilés-Gaxiola, 2018).

La imbibición consta de varias fases, la primera fase es la más rápida, es decir se observa el mayor incremento de absorción de agua en las primeras horas de remojo y básicamente es la hidratación de las semillas para dar pie a la activación de los procesos metabólicos y comenzar con un proceso de germinación. No obstante, como se mencionó con anterioridad, esta absorción de agua durante cada fase dependerá de las características intrínsecas de la semilla y de las condiciones externas en que se lleve la imbibición (Avilés-Gaxiola, 2018).

Coloración de las harinas de lenteja verde y roja imbibidas.

En la **tabla 8** se presentan los resultados correspondientes a los parámetros de color de la harina de lenteja verde: controles 1 y 2 (harina de lenteja cruda y cocida) y las harinas de lenteja imbibidas. No hubo un cambio significativo ($p \leq 0.05$) en la luminosidad (L) de las harinas, sin embargo, los valores promedio fueron: 80.93 ± 3.28 (control 1), 72.90 ± 0.35 (control 2), harinas imbibidas: $82.26 \pm 0.71/1h$, $82.61 \pm 0.95/2h$, $79.51 \pm 0.02/3h$, $81.27 \pm 1.85/4h$. La luminosidad en los alimentos varía de $L=0$ (negro) a $L=100$ (blanco), lo que indica que la harina de lenteja verde tiende hacia el color blanco. Para la harina de lenteja roja el valor promedio de la luminosidad para el control 1 fue (88.65 ± 3.28), control 2 (86.37 ± 0.35) y las harinas imbibidas presentaron valores similares a los distintos tiempos de imbibición.

El ángulo de matiz (AM) por su parte, indica el color definitivo de una matriz alimentaria y va de 0° a 360° . Los valores de 0° a 90° indican una tendencia del color rojo al amarillo, de 90° a 180° de amarillo a verde, de 180° a 270° de verde al azul y de 270° a 360° de azul al rojo (Nielsen, 2010). En la Tabla 8 puede observarse el AM para las harinas objeto del presente

estudio. Los valores promedio del control 1 y control 2, así como de las harinas imbibidas fueron similares entre sí ($p \leq 0,05$), lo que indica que presentan una misma relación o cociente entre los valores de las coordenadas de color a y b, es decir no presentan la misma tonalidad o matiz. En lo que respecta a la harina de lenteja roja el AM del control 1 fue menor (64.17 ± 0.67) en comparación al control 1 de la lenteja verde, para el control 2 hubo similitud en ambas variedades 71.98 ± 0.21 (verde) y 78.58 ± 0.21 (roja), para las harinas de lenteja imbibidas de la variedad roja el AM fue similar entre sí, pero diferentes a la variedad verde con significancia estadística ($p \leq 0.05$).

Tabla 8. Color de las harinas controles (cruda y cocida) y las deshidratadas a 70°C para la variedad de la lenteja verde y roja.

<i>Harina de lenteja</i>	<i>Harina de lenteja verde</i>			<i>Harina de lenteja roja</i>		
	L	AM	IS	L	AM	IS
Control 1 Cruda	80.93 ± 3.28^a	82.12 ± 0.67^a	13.05 ± 2.72^{ab}	88.65 ± 3.28^a	64.17 ± 0.67^d	21.36 ± 2.72^{ab}
Control 2 Cocida	72.90 ± 0.35^b	71.98 ± 0.21^d	11.21 ± 0.35^b	86.37 ± 0.35^a	78.58 ± 0.21^a	23.57 ± 0.35^a
Imbibida (1h)	82.26 ± 0.71^a	81.05 ± 0.01^{ab}	14.95 ± 0.20^a	88.34 ± 0.71^a	67.03 ± 0.01^{bc}	20.12 ± 0.20^{bc}
Imbibida (2h)	82.61 ± 0.95^a	80.33 ± 0.27^{bc}	14.63 ± 0.26^a	87.99 ± 0.95^a	67.54 ± 0.27^{bc}	16.47 ± 0.26^d
Imbibida (3h)	79.51 ± 0.02^a	80.275 ± 0.63^{bc}	13.025 ± 1.33^a	88.77 ± 0.02^a	66.82 ± 0.63^{bc}	19.37 ± 1.33^c
Imbibida (4h)	81.27 ± 1.85^a	78.64 ± 0.82^c	12.57 ± 0.65^{ab}	88.65 ± 1.85^a	68.69 ± 0.82^b	21.03 ± 0.65^{bc}

Cada valor representa la media \pm la desviación estándar de tres repeticiones de la misma muestra. Los valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes con un $p \leq 0.05$.

Los valores del IS corresponden al grado de saturación del color en la matriz alimentaria. A mayores valores de las coordenadas de color a y b corresponden mayores valores del IS. En las harinas de lenteja verde se presentaron los menores valores del IS, debido a que en la molienda las tonalidades muy fuertes tienden volverse colores pasteles, sin embargo, en las harinas de la variedad de lenteja roja el IS tuvo valores intermedios, relacionado con un color más intenso, asimismo los valores de (a) fueron positivos mayores, esto debido a la tonalidad

de la harina de lenteja roja con una mayor saturación de color. Estadísticamente los valores de IS en ambas variedades de harinas fueron diferentes ($p \leq 0.05$). La coloración en la harina de lenteja roja está dada principalmente por un mayor contenido de carotenoides (Albanese et al., 2014)., no obstante, los tratamientos de imbibición, deshidratación y cocción ocasionan una pérdida de estos.

Este tipo de harinas ricas en carotenoides, en particular la harina de lenteja roja, tienen un efecto notorio e importante en la producción de pastas ya que las harinas pasarán por otros procesos térmicos y mecánicos como por ejemplo la extrusión y evidentemente presentarán otras modificaciones en los carotenoides, que generarán nuevas coloraciones y tendrán un efecto directo en la calidad sensorial de las pastas alimenticias (Ruiz et al., 2008; Masatcioglu et al., 2014).

Referente a los valores de la coordenada b que se mueve entre $-b$ (azul) y $+b$ (amarillo), la harina de lenteja verde presentó el mayor valor en la harina de lenteja cruda (14.78 ± 0.23) sin embargo no es diferente estadísticamente ($p \leq 0.05$) con respecto a la harina imbibida a 1 h, pero a partir de las 2 h hubo disminución. La harina de lenteja verde cocida presentó el menor valor (10.67 ± 0.23), predominando una coloración amarilla ($+b$) posterior al tratamiento de cocción, deshidratación y molienda, esto es debido al hecho de que algunos carotenoides responsables del color amarillo modifican su estructura después del tratamiento térmico, al ser sensibles a la luz o al calor, factores que generan la oxidación y posterior isomerización, llevando a su degradación. Las moléculas de carotenoides, son propensas a la isomerización debido a la presencia de dobles enlaces conjugados carbono-carbono. (Albanese, et al., 2014). Asimismo constituyen el grupo cromóforo responsable del color que proporciona a los alimentos (Masatcioglu et al., 2014). Por otra parte, la harina de lenteja cocida mostró valores promedios bajos hacia la tendencia hacia los rojos ($+a$). Esto en comparación en la harina de lenteja roja, en general también se observó que la lenteja llevada a cocción registró el mayor valor de ($+b$) de 23.11 ± 0.23 , estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) con respecto a la harina cruda (12.23 ± 0.23).

Las coordenadas de color (a) que comprende el intervalo entre $-a$ (verde) y $+a$ (rojo), en la harina de lenteja verde cocida se registró el mayor valor (3.4 ± 0.04), siguiéndole las harinas de lenteja imbibida (2.32 ± 0.15 - 2.48 ± 0.07) y por último la harina de lenteja cruda

(1.78±0.28), mientras que la harina de lenteja roja, en particular la cruda, presentó el mayor valor (9.30±0.28), siguiéndole las harinas de lenteja imbibida (2.32±0.15 - 7.64±0.07) y la harina de lenteja roja cocida registró el menor valor (4.66±0.04). De acuerdo con Rojas-Garbanzo et al., (2016) mayores valores positivos de la coordenada (a) indican mayor contenido de carotenoides en el alimento. Esto sugiere que la harina de lenteja roja posee mayor contenido de carotenoides, pero como se dijo anteriormente los tratamientos de imbibición, deshidratación y cocción ocasionan una pérdida de estos. Y estadísticamente el modelo obtuvo un coeficiente de determinación ajustado de ($R^2=0.96$) nos dice qué porcentaje de variación de la variable dependiente es explicado bien por todas las variables independientes.

Análisis de la tecno-funcionalidad de las harinas de lenteja verde y roja imbibidas con relación a la capacidad de retención de aceite (CRAc).

Esta propiedad indica la capacidad que tiene la matriz del alimento para retener físicamente aceite por atracción capilar, lo que le confiere interesantes propiedades tecnológicas y fisiológicas. La CRAc es una propiedad tecno-funcional relevante para la elaboración de alimentos fritos, así como para la estabilidad en su almacenamiento debido a su influencia en el enranciamiento y el desarrollo de procesos oxidativos. Estos dos últimos aspectos son de especial interés ya que determinan la aceptación del producto por parte del consumidor (Adebowale et al., 2004).

En relación con el índice de absorción de aceite (**Tabla 9**) la harina de lenteja verde cruda (control 1) obtuvo la mayor capacidad de absorción de aceite (1.00 ml/g ms) con respecto a la harina de lenteja cocida (Control 2) (0.9 ml/g ms) y las harinas de lenteja imbibidas de la variedad verde 0.79 (1h), 0.60 ml/g ms (2h), 0.80 ml/g ms (3h) y 0.90 ml/g ms (4h), sin embargo estadísticamente no hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$). En la harina de lenteja verde imbibida se observó una disminución en el tiempo de 1h y después se registró una tendencia a incrementar la CRAc. Con respecto a las harinas de la variedad roja, a diferencia de la verde, la harina de lenteja control 1 presenta la menor capacidad de retención de aceite 0.70 ml/g ms con respecto a los distintos tratamientos de imbibición de su misma variedad 0.91 (1h), 0.93 ml/g ms (2h), 0.90 ml/g ms (3h) y 1.00 ml/g ms (4h) y en referencia al

control 1 de la harina de lenteja verde 1.00 ml/g ms. El control 2 de harina de lenteja roja obtuvo la mayor capacidad de retención de aceite 1.03 ml/g ms igual que el de la harina de lenteja roja imbibida 4 hrs, el resto de los tratamientos de deshidratación obtuvieron valores menores al control 2 pero superiores al control 1. Sin embargo, estadísticamente no existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los dos controles y los tratamientos de imbibición. Es importante destacar que en general la temperatura tuvo una mayor influencia en la capacidad de absorción de aceite en las harinas de la variedad roja en comparación a las harinas de la variedad verde. Estos resultados obtenidos son menores que los observados en soya (1,93 mL/g) (Chau, C.F. & Huang, Y.L, 2003), pero superiores a los de harinas de guisantes (0,69 mL/g) (Prinyawiwatkul et al., 1997) y de judías en las que se han reportado valores de (0,80 mL/g), otros autores han reportado en las judías valores de CRAC distintos de (1,00 y 1,20 mL/g, respectivamente). (Granito et al., 2007).

Tabla 9. Capacidad de retención de aceite (CRAC). (ml/g ms) de ambas variedades de lenteja (roja y verde) y la harina de lenteja deshidratada a 70°C.

Tratamiento	Lenteja verde (ml/g ms)	Lenteja roja (ml/g ms)
Harina de lenteja cruda (Control 1)	1.00 ± 0.01 ^{aA}	0.70 ± 0.05 ^{aA}
Harina de lenteja cocida (Control 2)	0.92 ± 0.01 ^{aA}	1.03 ± 0.05 ^{aA}
Harina de lenteja imbibida		
1 h	0.62 ± 0.02 ^{aA}	0.91 ± 0.01 ^{aA}
2 h	0.79 ± 0.01 ^{aA}	0.93 ± 0.01 ^{aA}
3 h	0.80 ± 0.01 ^{aA}	0.90 ± 0.02 ^{aA}
4 h	0.90 ± 0.01 ^{aA}	1.00 ± 0.05 ^{aA}

Los valores son medias ±DE (n=3). Medias dentro de una columna seguidas con una letra minúscula con diferentes letras son significativamente diferentes, y las medias en una fila seguida con una letra mayúscula diferente son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$). Nota: Estadísticamente el modelo obtuvo un coeficiente de determinación ajustado de ($R^2=0.60$) nos dice qué porcentaje de variación de la variable dependiente es explicado bien por todas las variables independientes.

Estos valores coinciden con lo reportado por otros autores, es decir han observado que con la elevación de la temperatura se reduce la CAAC (Femenia et al., 2003; Garau et al., 2007; Granito et al., 2007). Probablemente, el mecanismo de la CAAC se debe, por una parte a la retención física de aceite por capilaridad, y por otra parte a la hidrofobicidad de las proteínas que puede jugar un papel importante en la absorción de grasas, es decir, a la presencia de cadenas laterales no polares de aminoácidos que se unen a las cadenas laterales hidrocarbonadas del aceite (Chau y Cheung, 1998; Aguilera, 2009). Estas variaciones encontradas en diferentes legumbres aunque no son significativas pueden ser debidas probablemente a la naturaleza y al tipo de proteínas que están presentes en las muestras (Sathe et al., 1981).

Otros estudios realizados en muestras de lenteja verdina y guisantes, (Granito et al., 2007) observaron ligeras reducciones tras el proceso de cocción (33%), sin embargo, no hubo cambios significativos ($p \leq 0.05$) tras el tratamiento de deshidratación (Singh, M, 2021). Las principales variaciones de CAAC entre distintos aperitivos elaborados con diferentes legumbres son atribuidas al tamaño de la partícula de harina y al contenido de almidón y de proteína.

Las altas temperaturas durante el proceso de fritura de los alimentos pueden causar la evaporación del agua transferida del alimento al aceite circulante, mientras que el aceite que es absorbido busca reemplazar el agua liberada hasta en un 40 %, marcando cambios en las propiedades sensoriales. Este comportamiento es importante para la industria, pues la absorción de aceite se da durante y posterior a la fritura porque se utilizan tratamientos previos y posteriores a la misma, donde la utilización de harinas de baja absorción busca minimizar la absorción de aceite al reducir la permeabilidad de la superficie (Moreno & Bouchon, 2008).

En general, estas harinas podrían ser un interesante ingrediente en productos destinados a ser fritos, debido a sus bajos valores de CAAC, se conseguiría una sensación del alimento menos grasa, es decir mejorar la estabilidad de alimentos con alto contenido de grasas y de emulsiones.

Tecno-funcionalidad de las harinas de lenteja verde y roja imbibidas en relación con el ISA y la CAA.

Parte de la tecno-funcionalidad de una matriz alimentaria está definida por las propiedades de hidratación, entre ellas se encuentra la capacidad de absorción de agua (CAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA), ambas propiedades proporcionan información sobre la capacidad de hidratación que tiene una harina y con base en ello su posible uso en la suplementación de otros productos alimenticios (Carvajal-Larenas et al., 2016).

Las propiedades de hidratación están relacionadas con la habilidad de los alimentos para retener agua dentro de su matriz (Figuerola et al., 2005). Estas pueden influir en la incorporación de materiales enriquecidos en fibra a los alimentos (Femenia et al., 2003), ya que tanto la composición química de la fibra como las características físicas de los alimentos, influyen en las propiedades de hidratación. Procesos como molienda, secado, calentamiento y extrusión modifican las propiedades físicas de la matriz de fibra, entre algunos otros componentes, alterando las propiedades de hidratación.

Capacidad de absorción de agua (CAA) en las harinas de lenteja verde y roja imbibidas.

La capacidad de absorción de agua (CAA) es la habilidad de un alimento para absorber agua durante su preparación a lo largo de un período de tiempo corto tras la aplicación de una fuerza externa. La CAA en las muestras de harina de lenteja verde y roja crudas (Control 1 y 2) (**Tabla 10**) presenta valores medios de 2,30 mL/g,ms. y 2.20 ml/g ms, estos valores son próximos a otros estudios realizados en legumbres, por ejemplo, en variedades de judías (2,0 ml/g) y en frijoles verdes (2,1 ml/g) (Adebowale et al ., 2004; Sangronis et al., 2004) .Otros autores reportan valores de capacidad de absorción de agua inferiores en la lenteja pardina de 1,8 ml/g ms (Aguilera, 2009).

Tabla 10. Capacidad de Absorción de agua (CAA) (ml/g ms) de ambas variedades de lenteja (roja y verde) y la harina de lenteja deshidratada a 70°C.

Tratamiento	Lenteja verde (ml/g ms)	Lenteja roja (ml/g ms)
Harina de lenteja cruda (Control 1).	2.34 ± 0.03 ^{dF}	2.20 ± 0.07 ^{cG}
Harina de lenteja cocida (Control 2)	3.00 ± 0.05 ^{aB}	3.02 ± 0.15 ^{bB}
Harina de lenteja imbibida		
Imbibición (h)* /Deshidratación 70°C/12h.		
**Deshidratada 70°C (*1h)	2.53 ± 0.01 ^{cE}	3.18 ± 0.05 ^{aA}
**Deshidratada 70°C (*2h)	2.56 ± 0.08 ^{cDE}	3.20 ± 0.04 ^{aA}
**Deshidratada 70°C (*3h)	2.62 ± 0.04 ^{bcCD}	3.21 ± 0.15 ^{aA}
**Deshidratada 70°C (*4h)	2.68 ± 0.04 ^{bC}	3.21 ± 0.04 ^{aA}

Los valores son medias ±DE (n=3). Medias dentro de una columna seguidas con una letra minúscula con diferentes letras son significativamente diferentes, y las medias en una fila seguida con una letra mayúscula diferente son significativamente diferentes (p<0,05). Nota: Estadísticamente el modelo obtuvo un coeficiente de determinación ajustado de (R²=0.96) nos dice qué porcentaje de variación de la variable dependiente es explicado bien por todas las variables independientes.

En referencia al efecto del tratamiento térmico, ambas variedades de lenteja cuando son sometidas a una cocción por ebullición (Control 2) o a la imbibición y su posterior deshidratación se observa un incremento en la CAA. La cocción por ebullición (Control 2) incrementó la CAA en la harina de ambas variedades de lenteja (verde 3.00 mL/g y roja 3.02 mL/g), sin embargo, no hubo diferencia significativa (p≤0.05). Finalmente, en referencia a las harinas de lenteja imbibidas, las de lenteja verde presentan una CAA menor 2.53 ml/g ms a (1h), 2.56 ml/g ms (2h), 2.62 ml/g ms (3h) y 2.68 ml/g ms (4h) con respecto a su Control 2 (3.00 ml/g ms) y similares al de la harina de lenteja cruda (Control 1) con un valor de 2.30 ml/g ms, no obstante, no hubo significancia estadística (p≤0.05). La harina de lenteja roja por su parte, presenta mayores valores de CAA en los distintos tratamientos de imbibición 3.18 ml/g ms (1h), 3.20 ml/g ms (2h), 3.21 ml/g ms (3h) y 3.22 ml/g ms (4h) con respecto al Control 1 (2.20 ml/g ms), presentando

una mayor similitud con el Control 2 (3.02 ml/g ms), sin embargo, no se observó diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Comparativamente con las harinas de la lenteja verde, las harinas de lenteja roja tienen una mayor CAA. Estos valores son similares a los reportados en estudios realizados en harinas de judías (Sathe et al., 1982) y harinas de cacahuete (Singh, 2012). A partir de temperaturas de deshidratación de 55-70°C.

Lo mencionado anteriormente puede encontrar explicación en el hecho de que la temperatura permite que los enlaces fuertemente unidos entre las cadenas de almidón implicadas en la forma cristalina son disociados y las cadenas se relajan, permitiendo que el agua penetre, y por tanto, que el gránulo de almidón se hinche y se abra (Jeantet et al., 2010). Los gránulos de almidón alterados térmicamente absorben más agua que los gránulos intactos y esto conlleva a un aumento en la absorción de agua en una matriz alimentaria (Cauvain et al., 2002).

Durante la cocción de las lentejas por ebullición (94°C) se produce una gelatinización de los gránulos de almidón a la par de una ruptura molecular, que va a dar lugar a una pérdida en el nivel de cristalización y a un incremento de la capacidad para unirse al agua, esto será reflejado en un aumento en la capacidad de absorción de agua (CAA) (Cabezas, 2012). No obstante, Granito et al., (2007) justifican el incremento que se produce en la CAA durante la cocción no solo por la gelatinización del almidón, sino también como consecuencia de la absorción de agua por parte de la fibra alimentaria y de la disociación de proteínas, dando lugar a una mayor exposición de los grupos polares en las cadenas peptídicas, aumentando así la fijación de las moléculas de agua. Según Oshodi y Adeladun, (1993), legumbres con altos contenidos de fracciones amiláceas y de fibra presentan un mayor valor de CAA, es entonces que la composición química de la fibra en ambas variedades de lenteja, así como sus características fisicoquímicas llegan a influir en las propiedades de hidratación.

Índice de solubilidad de agua (ISA) en las harinas de lenteja verde y roja imbibidas.

El índice de solubilidad de agua está relacionado con la cantidad de sólidos disueltos presentes en una muestra seca después de la evaporación del sobrenadante. Éste índice muestra qué tan severo fue el tratamiento aplicado en función de la degradación, dextrinización y gelatinización del almidón en una harina, esta propiedad tecno-funcional a su vez está

relacionada con la interacción de las proteínas con el agua (Cauvain et al., 2002). El índice de solubilidad y la capacidad de absorción de agua son parámetros que en conjunto pueden usarse como indicativo del grado de modificación que sufre la fracción de almidón, las proteínas por acción de la cocción por ebullición, los tratamientos de imbibición y posterior deshidratación a 70°C.

En la **tabla 11**, se presentan los resultados obtenidos del índice de solubilidad de agua (ISA) de la harina de lenteja imbibida y las harinas control (1 y 2) de ambas variedades. Comparativamente, la harina de lenteja verde (control 1) tiene un ISA mayor (13.64 %), que la harina de lenteja roja (control 1) (12.58 %). Ambos ISA disminuyen en las harinas de las dos variedades, cuando la lenteja es llevada a cocción por ebullición (control 2) (10.81 % verde y 10.40 % roja), sin embargo, no existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Esta disminución en el ISA debido a la temperatura de cocción por ebullición, también fue evidente con respecto al ISA de las harinas de lenteja imbibidas (Verde: 17.33%/1h, 17.2%/2h, 17.59%/3h, 13.32%/4h y roja: 11.53%/1h, 10.95%/2h, 9.75%/3h, 10.26%/4h).

Por otra parte, a diferencia del efecto de la temperatura de ebullición empleada para el control 2, las harinas de lenteja de la variedad verde imbibida a 1h incrementó el ISA en alrededor de 4 unidades porcentuales comparativamente al control 1, habiendo diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en tanto que el tratamiento a 2 y 3 hrs incrementó una unidad porcentual con respecto al control 1 y finalmente el tratamiento a las 4h con respecto al control 1 no fue diferente estadísticamente ($p \leq 0.05$). En la harina de lenteja roja se observó un comportamiento distinto, la harina de lenteja cruda (control 1) tuvo significativamente ($p \leq 0.05$) el mayor valor de ISA (12.58 %) en comparación a las harinas de lenteja imbibidas a excepción del tratamiento de 1 h donde se observaron ISA menores y comparativamente similares con su respectivo control 2, sin diferencia significativa ($p \leq 0.05$) y una disminución en relación al tiempo exceptuando el tratamiento a 3 h, significativamente menor que el resto de los tratamientos y sus respectivos controles 1 y 2. Estos resultados tienen una relación estrecha con el tratamiento previo de imbibición de las lentejas y la posterior deshidratación a 70°C para la producción de las harinas (Seená et al., 2005). Cabe recordar que el ISA está relacionado con la cantidad de almidón dañado en una matriz alimentaria. En el caso específico de las harinas de lenteja objeto del presente estudio, el ISA se vio afectado significativamente ($p \leq 0.05$) por la temperatura.

Tabla 11. Índice de solubilidad de agua (ISA) de las harinas de lenteja verde y roja imbibidas y las harinas control 1 y 2.

<i>Tratamiento</i>	<i>ISA (%)</i>	
	<i>Harina de lenteja verde</i>	<i>Harina de lenteja roja</i>
Harina de lenteja cruda (Control 1)	13.64±0.05 ^{bB}	12.58 ± 0.01 ^{aD}
Harina de lenteja cocida (Control 2)	10.81±0.06 ^{cC}	10.40 ± 0.01 ^{abD}
<i>Imbibición /Deshidratación**</i>		
<i>(h)*</i>		
* 1	17.33±1.46 ^{aA}	11.53 ± 0.07 ^{abD}
* 2	14.2 ± 1.52 ^{abB}	9.95 ± 0.07 ^{bcD}
* 3	14.59 ± 2.47 ^{abB}	8.75 ± 0.01 ^{cdD}
* 4	13.32 ± 0.01 ^{bB}	8.26 ± 0.01 ^{dD}

Los valores son medias ±DE (n=3). Medias dentro de una columna seguidas con una letra minúscula con diferentes letras son significativamente diferentes, y las medias en una fila seguida con una letra mayúscula diferente son significativamente diferentes (p<0,05). Nota: Estadísticamente el modelo obtuvo un coeficiente de determinación ajustado de (R²=0.98) nos dice qué porcentaje de variación de la variable dependiente es explicado bien por todas las variables independientes.

El índice de solubilidad en agua (ISA) como se mencionó anteriormente, es un parámetro directamente proporcional a la cantidad de sólidos que son disueltos por el agua cuando una muestra de harina se somete a un exceso de líquido, también se relaciona con el grado de secado de las harinas. Es entonces que las harinas de la lenteja roja imbibidas a 2h, 3h y 4h y posteriormente deshidratadas presentaron valores inferiores de ISA (9.95%, 8.75%, 8.26%) en comparación a las harinas de lenteja verdes imbibidas y deshidratadas (17.33%/1h, 14.2%/2h, 14.59%/3h, 13.32%/4h) (p≤0.05). Este comportamiento observado en ambas variedades se puede explicar en conjunto con ambos parámetros tecno-funcionales (CAA y ISA). Anteriormente se observó que la harina de lenteja roja registró los mayores valores de CAA en comparación a la variedad verde y a la par hubo una disminución en el ISA, esto indica que el grado de secado en las harinas de lenteja roja imbibidas fue mayor, posiblemente esto se vio

influenciado por un rompimiento de las cadenas de las fracciones de almidón lo que en consecuencia genera que van a permitir retener un mayor número de moléculas de agua, reflejándose en un aumento en la CAA. Caso contrario ocurrió con la lenteja verde, los valores de ISA fueron significativamente ($p \leq 0.05$) superiores en las harinas de lenteja imbibidas y deshidratadas a 70°C, en comparación con el control 2 (10.81%). Esto sugiere que el efecto de la imbibición y la posterior deshidratación a 70°C fue menor en comparación al proceso de ebullición. También se vio reflejado con valores menores de CAA, entonces de ahí que ISA fue mayor, es decir, esto significa que la cantidad de sólidos disueltos en agua fue mayor.

La harina de lenteja roja al tener mayores valores de CAA tuvo mayor capacidad de gelatinización, otorgando información sobre la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas y la gelatinización de las fracciones de almidón contenidas en las harinas de ambas variedades de lenteja. Lo anterior, influye en las propiedades tecno-funcionales de las harinas estudiadas y son responsables del aumento o disminución del ISA y la CAA, así como del poder de hinchamiento de la harina de lenteja. Estas interacciones en la fracción de almidón pueden ser afectadas por la relación amilosa/amilopectina y por sus características en la matriz alimentaria (harina de lenteja) (Rodríguez-Sandoval et al., 2012).

Imágenes por microscopía electrónica de barrido (MEB) de las harinas de lenteja.

Dentro de la matriz alimentaria en la harina de lenteja, las estructuras de importancia destacan las proteínas, el almidón, y fibra. En la naturaleza el almidón se encuentra organizado en partículas llamadas gránulos y según su origen tienen distinto tamaño y formas (elíptica, esférica, angular, etc.). Estas estructuras de interés (proteínas y almidón) pueden visualizarse por esta técnica de MEB. Las imágenes obtenidas por MEB se muestran a distintos aumentos (500x, 1000x, 2500x) para una mayor apreciación y análisis de la morfología de las harinas de lenteja.

Harina de lenteja cruda (Control 1).

Las imágenes por MEB de harina de lenteja cruda verde y roja (Figura 12) mostraron que los gránulos de almidón fueron los componentes de almacenamiento más representativos, la forma general de los gránulos de almidón se aproxima a elipses y/o esferas, formas ovaladas y tamaños que comprenden desde los 10 μm . El aumento de 1000x permite ver como la superficie del gránulo es más perceptible, presentan una estructura lisa exterior y más compacta, sin evidencia de fisuras o grietas indicando una mayor integridad estructural. También se pueden observar partículas con forma globular o irregular unidas a los gránulos de almidón o entre ellos, estas partículas corresponden a cuerpos proteicos procedentes de una matriz proteica. Los gránulos de almidón de la harina de lenteja roja se percibe los gránulos más inclinados a formas esféricas que los de harina de lenteja verde cruda.

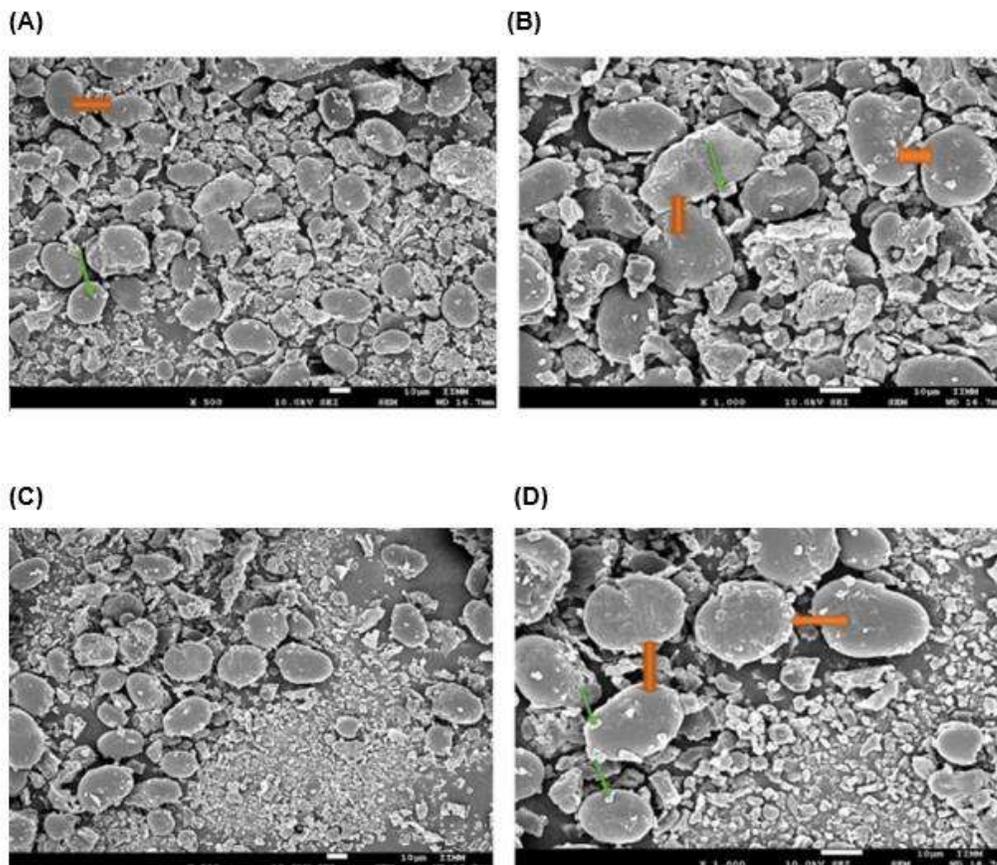


Figura 9. Fotografías de microscopía electrónica de barrido en harina de lenteja verde y roja cruda. (A) Harina de lenteja verde x500 (B) Harina de lenteja verde x100. (C) Harina de lenteja roja x500. (D) Harina de lenteja roja 1000x. *Nota:*  **Gránulo de almidón**  **Cuerpos proteicos.**

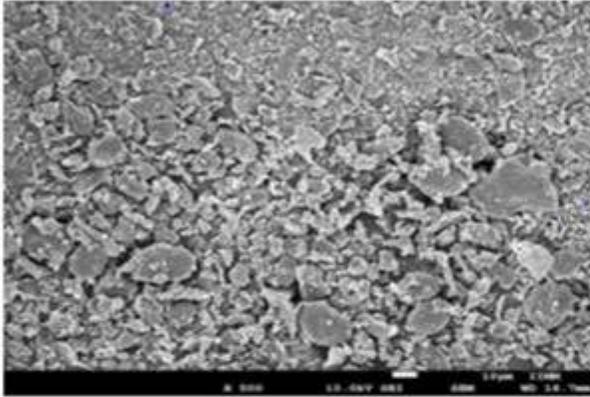
Estudios llevados a cabo en almidones de harina de lenteja indican un tamaño de los GA (gránulos de almidón) de 6 a 32 μm de ancho y de 6 a 7 μm de largo con formas ovaladas, redondeadas o elípticas (Ratnayake et al. 2002). González et al., (2002) observaron los GA nativos de harina de lenteja con formas principalmente elípticas y arriñonadas.

Harina de lenteja cocida (Control 2).

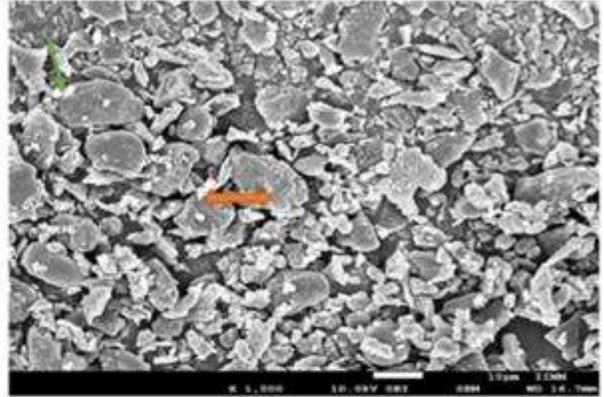
En la (Figura 13) se presentan las imágenes por MEB de la harina de lenteja cocida verde y roja (Control 2). Los cambios morfológicos de los GA pueden depender de la temperatura de cocción. Se aprecia como a consecuencia de la temperatura utilizada durante la cocción de la lenteja y su posterior transformación a harina, los GA tienen una morfología irregular, presentan una estructura exterior rugosa, erosionada y con fisuras que incluso podrían ser material extracelular en la superficie (amilosa), observándose ese aspecto rugoso. Esto debido a que al romperse los GA consecuencia de la gelatinización, la amilosa se lixivia, aglomerándose posteriormente en el enfriamiento (retrogradación). El almidón cuando se calienta en presencia de agua, sufre una fase de transición conocida como gelatinización y existe un intervalo de temperatura característico para la gelatinización correspondiente para esta especie de almidón de 70°C, entonces inicialmente cuando el agua se difunde en el GA y posteriormente se hincha debido a la hidratación de la fase amorfa (amilosa) ya que los puentes de hidrógeno son tan rígidos, como en las áreas cristalinas (amilopectina), causando pérdida de cristalinidad y orden molecular (Jiménez et al., 2012).

Finalmente durante la cocción para ambas variedades de lenteja, los GA pierden su forma esférica y ovalada que las caracterizaba en su estado crudo. Otro hallazgo observado en las imágenes por MEB fue una disminución de cuerpos proteicos adheridos a los GA, esto puede ser debido a una activación de enzimas proteolíticas durante la propia hidratación dentro de la cocción (Li et al., 2017).

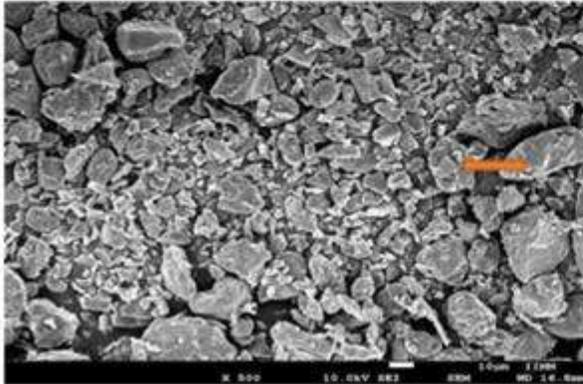
(A)



(B)



(C)



(D)

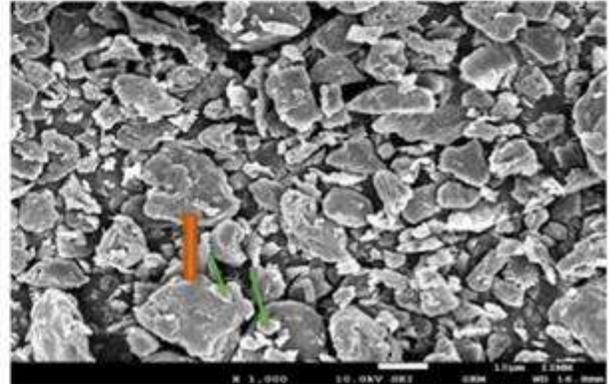


Figura 10. Fotografías de microscopía electrónica de barrido en harina de lenteja verde y roja cocida. (A) Harina de lenteja verde x500 (B) Harina de lenteja verde x100. (C) Harina de lenteja roja x500. (D) Harina de lenteja roja 1000x. **Nota:**  **Gránulo de almidón**  **Cuerpos proteicos.**

Harina de lenteja verde imbibida.

A continuación en la figura 14, se presentan las imágenes correspondientes a las microfotografías obtenidas para la harina de lenteja verde imbibida a 1h, 2h, 3h, y 4h/deshidratada a 70°C. Se seleccionaron imágenes con aumentos de 500x y 2500x ya que se permite una mejor apreciación de las estructuras y morfología de los gránulos de almidón. Las imágenes son de una región distinta de la misma muestra de estudio.

Las microfotografías electrónicas de barrido con aumento de 500x de las harinas imbibidas, en referencia a la morfología de los gránulos de almidón muestran pequeños gránulos, predominando la forma redonda u ovalada con una superficie erosionada (más notorio en las harinas imbibidas a las 3 h y 4 h), esparcidos por todo el campo, asimismo se hizo presente la aparición de poros. Se observan algunos gránulos de almidón de gran tamaño con pequeños gránulos distribuidos alrededor de estos.

La imagen con un aumento de 2500x permite observar más claramente los gránulos de almidón y sus formas más identificables. En las harinas imbibidas a las 3 h y 4 h se evidencian los gránulos de almidón gelatinizados ya que la superficie de estos se encuentra más rugosa. También se denota la presencia de algunos cuerpos proteicos. La superficie erosionada indica que durante el proceso de imbibición y la deshidratación los gránulos de almidón sufrieron daños.

Es importante recordar que una de las características estructurales fundamental del almidón es que durante la imbibición existe una etapa de hinchamiento de GA, es el paso inicial, en consecuencia, hay absorción de agua, aumentando un volumen hasta un 30%. La absorción de agua y el calentamiento (temperatura de imbibición) rompe los enlaces de hidrógeno responsables de la cohesión de los GA y que puede llegar hasta la desintegración de los gránulos de almidón ocasionando la separación de fases amilopectina-amilosa, lo que a su vez promueve la lixiviación de amilosa (Gryszkin et al., 2014; Sarker et al., 2013). El poder de hinchamiento de los GA está relacionado con el tamaño y contenido de amilosa y amilopectina (Jane et al., 2007).

En la harina de lenteja cocida a comparación de las harinas imbibidas y crudas se observa mayor daño en los gránulos, con formas más irregulares y apariencia rugosa, esto puede explicarse ya que cuando se calienta el almidón en exceso de agua, la estructura se rompe y las moléculas de agua se asocian mediante enlaces de hidrógeno a grupos hidroxilo expuestos en las moléculas de amilosa y amilopectina, provocando hinchazón, aumento de tamaño y solubilidad de los gránulos.

“

En las harinas imbibidas en comparación a la crudas se observaron diferencias en cuanto a la forma y principalmente la superficie exterior de los gránulos, ya que inicialmente con la etapa del remojo, se logra un hinchamiento del gránulo, posteriormente la absorción de agua y la deshidratación (a 70°C) permite también el rompimiento de los enlaces de hidrógeno, responsables de la cohesión de los gránulos, solubilizando parcialmente el almidón, sin embargo, los gránulos de almidón no sufren daños en la misma magnitud que los correspondientes a las harinas cocidas (Gryszkin et al., 2014).

Lo observado anteriormente se relaciona con las propiedades tecno-funcionales, inicialmente con la CAA ya que es una medida del volumen ocupado por el almidón después de la hinchazón durante la imbibición, así mismo el ISA es un indicador del grado de conversión del almidón y su degradación, por ejemplo los gránulos de almidón parcialmente gelatinizados en las harinas imbibidas, más notorio a las últimas horas de remojo, por ende presentan una estructura más porosa, puede absorber más fácilmente agua en comparación al almidón nativo de las harinas crudas, así como una mayor solubilización, mismo que se puede ver reflejado en el ISA (Jiangping et al., 2017; Ashogbon et al., 2014).

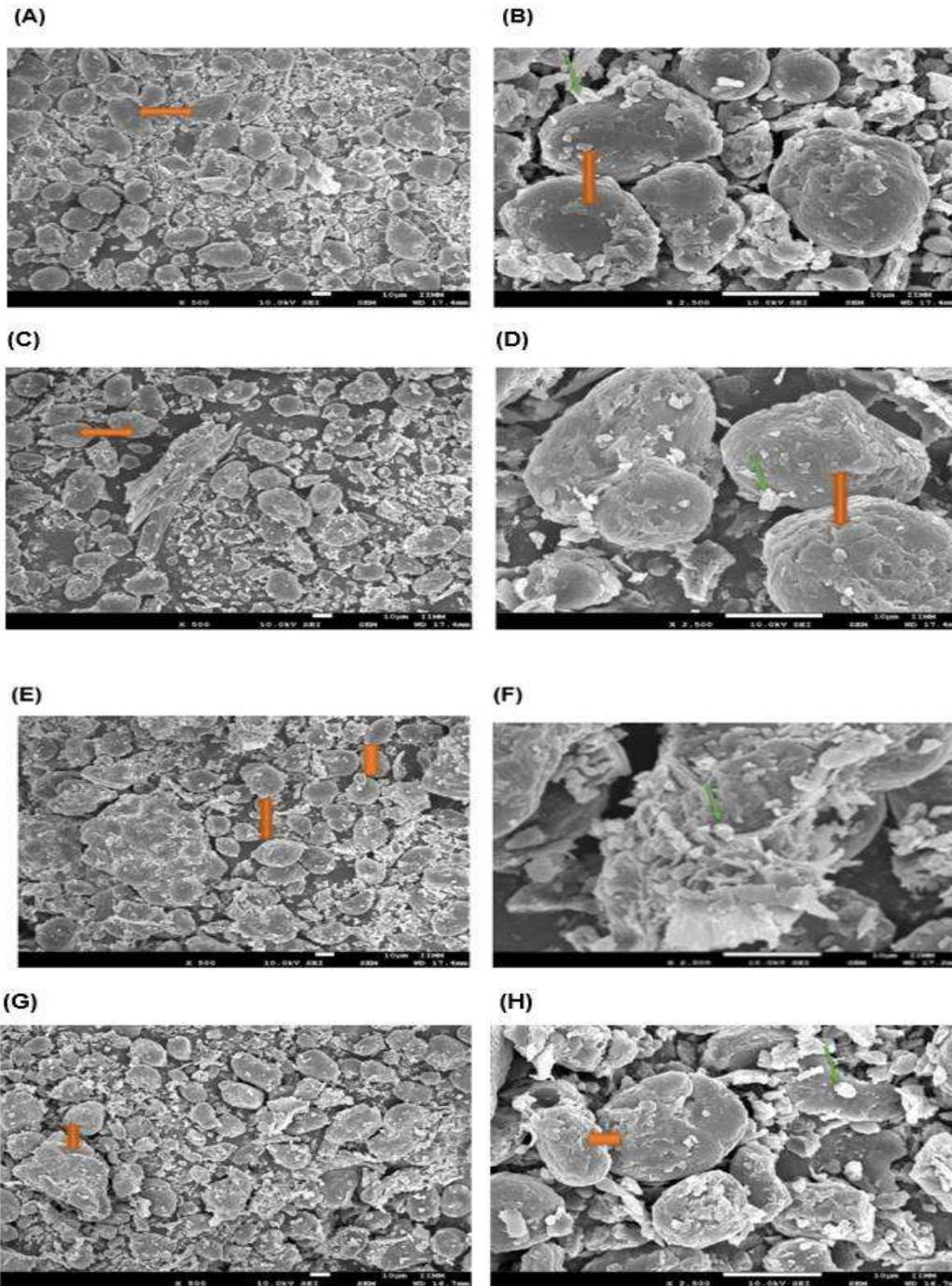


Figura 11. Micrografías obtenidas a 500x y 2500x por MEB de las harinas de lenteja verde imbibida y deshidratada a 70°C. (A, B) imbibida 1 hora (C, D) imbibida 2 horas. (C) Harina de lenteja roja x500. (E, F) Harina imbibida 3 horas. (G, H) imbibida 4 horas.

Nota:  Gránulo de almidón  Cuerpos proteicos.

Harina de lenteja roja imbibida.

En la figura 15 se muestran los cambios en las harinas de lenteja roja imbibidas a 1h, 2h, 3h y 4h/deshidratada a 70 °C. En las harinas imbibidas se observa un mayor número de gránulos de almidón con superficies irregulares y erosionadas. Esto puede deberse a que hay una hidrólisis parcial del almidón, atribuyéndose una erosión de la superficie del gránulo (Claver et al., 2010).

Los gránulos de almidón de la harina imbibida de lenteja roja se observan con un mayor daño en su estructura, esto a razón a que se observaron múltiples fragmentos de tamaños no uniformes e irregulares, en comparación a las harinas imbibidas de la variedad verde, esto se puede explicar ya que la variedad roja está desprovista de cascarilla, ocasionando un mayor daño en los gránulos de almidón, asimismo se manifestó la pérdida del orden molecular. Esta transformación va acompañada de cambios en sus propiedades tecno-funcionales como: absorción de agua (CAA), aumento de la viscosidad y solubilidad del gránulo (ISA). Por otra parte, el tamaño de los gránulos de almidón está ligeramente aumentado, la superficie de la cubierta de los gránulos de almidón también presentan una apariencia rugosa y con presencia de algunos cuerpos proteicos (Claver et al., 2010).

En comparación con los gránulos en las harinas cocidas e imbibidas, en las harinas crudas se observan los gránulos de almidón de menor tamaño, esto puede deberse a su insolubilidad en agua a temperatura ambiente, cuando este almidón se encuentran en suficiente agua, los gránulos absorben una pequeña cantidad de ésta y se hinchan hasta cierto límite (Van der Heden, 2015).

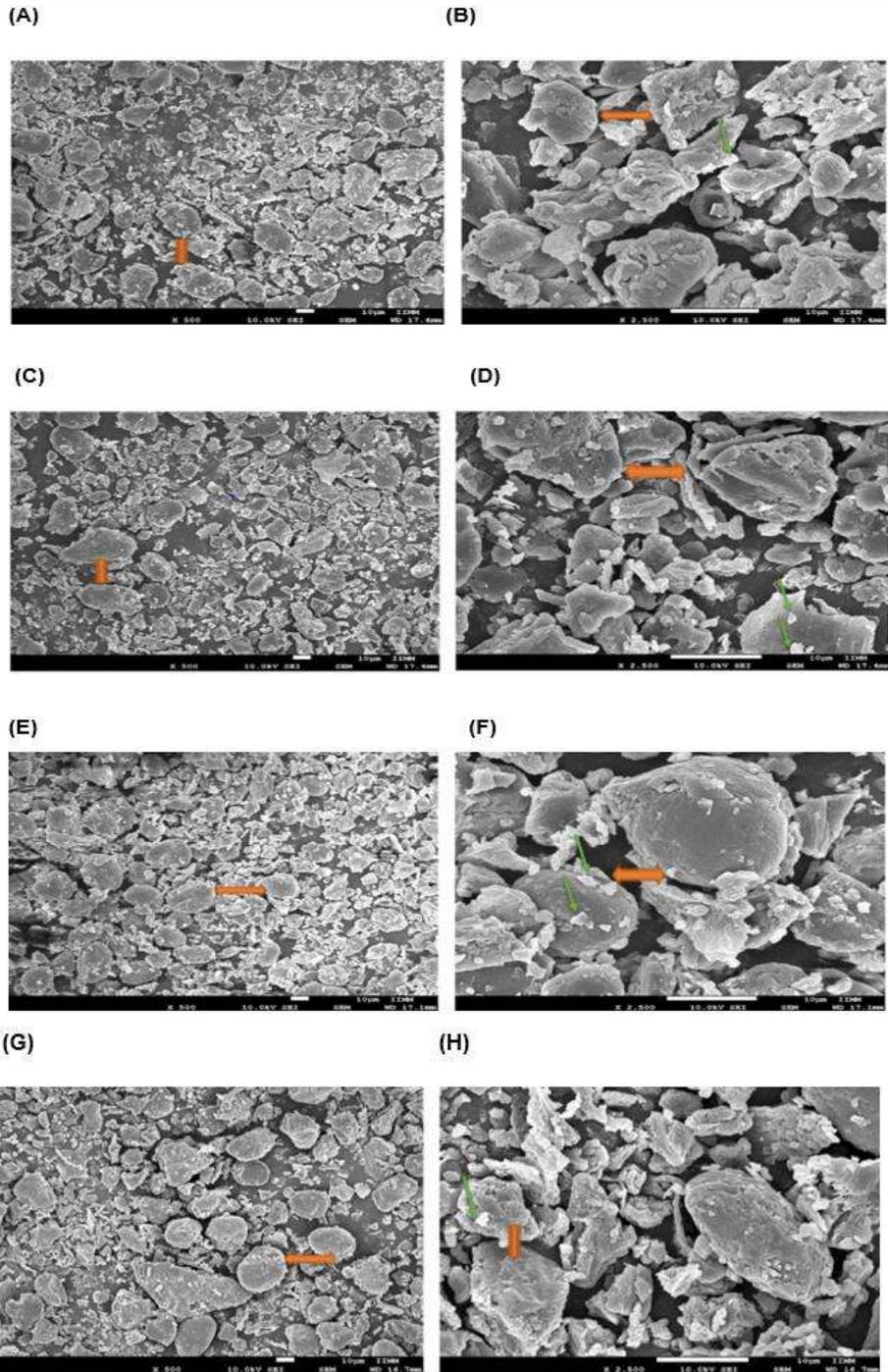


Figura 12. Micrografías obtenidas a 500x y 2500x por MEB de las harinas de lenteja verde imbibida y deshidratada a 70°C. (A, B) imbibida 1 hora (C, D) imbibida 2 horas. (C) Harina de lenteja roja x500. (E, F) imbibida 3 horas. (G, H) imbibida 4 horas. **Nota:**  **Gránulo de almidón**  **Cuerpos proteicos.**

3.7. Conclusión

La evaluación de las propiedades tecno-funcionales en las harinas de lenteja pone de manifiesto que los procesos de cocción y imbibición/deshidratación producen una modificación de la microestructura del almidón, observándose cambios morfológicos en las estructuras del almidón y un incremento de tamaño siendo esto más predominante en las harinas llevadas a cocción y las harinas imbibidas/deshidratadas, asimismo observándose una mejora de la capacidad de retención de aceite, de absorción de agua e índice de solubilidad en agua, lo que puede repercutir favorablemente en su potencial de utilización como ingrediente alimentario.

3.8. Referencias

- Achouri, A., Nail, B., & Boye, J.I. (2012). Sesame protein isolate: Fractionation, secondary structure, and functional properties. *Food Research International*, 46(1), 360-369.
- Adebowale, K.O., & Lawal, O.S. (2004). Comparative study of the functional properties of bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*), jack bean (*Canavalia ensiformis*) and mucuna bean (*Mucuna pruriens*) flours. *Food Res.*37, 355-365.
- Aguilera, Y.G. (2009). Harinas de leguminosas legumbres deshidratadas: caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecno-funcionales. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, Departamento de Química Agrícola, 274.
- Abbas, Y., and A. Ahmad. "Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes." *Annals. Food Science and Technology*, vol. 19(2), 199-215.
- Avilés-Gaxiola, S., et al. "Inactivation Methods of Trypsin Inhibitor in Legumes: A Review." *Journal of Food Science*, 83(1), 2018, 17-29.
- Ashogbon, A. O., & Akintayo, E. T. Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: a review. *Starch/Staerke*, 2014. 66(1-2), 41-57.
- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos*. Cuarta edición, Pearson Educación, México, 401-438.
- Bhatty, R. S. (1988). Composition and quality of lentil (*Lens culinaris Medik*): a review. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 21(2), 144-160.
- Bhattacharai, R.R., et al. "Digestion of isolated legume cells in a stomach-duodenum model: Three mechanisms limit starch and protein hydrolysis." *Food and Function*, 8(7), 2017, 2573- 2582.
- Chau, C.F., & Huang, Y.L. (2003). Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. cv. Liucheng. *J. Agric. Food Chem*, 51, 2615-2618.
- Capilla, P., Artigas, J. y Pujol, J. (2002). *Fundamentos de Colorimetría*. Servei de Publicacions de la Universitat de Valencia, España, 94-96.
- Contreras, R. (2007). *El origen del color en la naturaleza. Una introducción a la química del color*. Primera edición, Universidad de Los Andes, Vicerrectorado Académico, CODEPRE, Venezuela, 71-86.

- Chel-Guerrero,, L., Red-Flores,V.P., Betancur-Ancona,D & Vila-Ortiz,, G.D. (2002). Functional properties of flours and protein isolates from *Phaseolus lunatus* and *Cannavalia ensiformis* seeds. *J. Agric. Food Chem.*,*50*, 584- 591.
- Camporeale, P. y Dutt, G. (2006). *Manual de Iluminación Eficiente*. Universidad Tecnológica Nacional y Efficient Lighting Initiative, Buenos Aires, Argentina, Cap. 2. ISBN: 978-950-42-0077-2
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2002). *Fabricacion de Pan*. Zaragoza (España): Editorial ACRIBIA S.A.
- Dzudie, T., & Hardy,J. (1996). Physicochemical and functional properties of flours prepared from common beans and green mung beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*, *44*, 3029-3032.
- Femenia, A., García-Pascual, p., Simal, S., & Roselló, C. (2003). Effects of heat treatment and dehydration on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from *Aloe barbadensis* Miller. *Carbohydr Polym*, *51*, 397-405.
- Fernández-Orozco, R., Zielinski, H., & Piskula, M. (2003). Contribution of low-molecular-weight antioxidants to the antioxidants capacity of raw and processed lentil seeds. *Die Nahrung*, 291-299.
- Granito,M., Brito,, Y., & Torres,, A. (2007). Chemical composition, antioxidant capacity and functionality of raw and processed *Phaseolus lunatus*. *Journal Science Food Agricultural*,*87*, 2801-2809.
- Gryszkin, A., Zieba, T., Kapelko, M., & Buczek, A. (2014). Effect of thermal modifications of potato starch on its selected properties. *Food Hydrocolloids*.*40*, 122-12.
- Gilani, G.S, et al. "Effects of Antinutritional Factors on Protein Digestibility and Amino Acid Availability in Foods." *Journal of AOAC International*, *88*(3), 2012,967-987.
- Galaz-Pérez EA, Velazquez G, Mendez-Montealvo G. Improvement of physicochemical properties of baked oatmeal (*Avena sativa* L.) by imbibition. *Cereal Chem.* 2020; *97*:981–990. <https://doi.org/10.1002/cche.10320>.
- Gama,G. et al. (2020).Evaluación de la harina de chachafruto como ingrediente en la elaboración de un producto libre de gluten. *Actualización en nutrición*,*21*(3),103-109.
- Ismod, M.A.H., Murray, E.D., & Arntfield, S.D. He role of non-covalent forces in micelle formation by vicilin from *Vicia faba*. The effect of stabilizing and destabilizing anions on protein interactions. *Food Chem*, *21*, 27-46.
- Jeanetet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2010). *Ciencia de los Alimentos*. Zaragoza (España): Editorial ACRIBIA S.A.
- Jane, J. Current understanding on starch granule structures. (2005). *The japanese society of applied glycoscience*, 205-213.
- Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012). Edible and biodegradable starch films: a review. *Food and Bioprocess Technology*.*5*(6), 2058-2076.
- Joye, I. "Protein Digestibility of Cereal Products." *Foods*, *8*(6), 1-14.
- Moreno, F.; G. A. Plaza y S. V. Magnitskiy. (2006). Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). *Agronomía Colombiana* *24* (2): 290-295.
- Napa, S., Imran, A., & Thanakorn, D. (2013). Comparative analysis of antioxidant and antimelanogenesis properties of three local guava (*Psidium guajava* L) varieties of Thailand, via different extraction solvents. *Food Measure*, 207-214.
- Netdisseny. (2009). *Nociones Básicas de Teoría del Color*, Cuaderno 2, Netdisseny, Castellón, España. Disponible en <http://www.weblogiconet.com/descargas/teoria-del-color.pdf>.
- Oguntunde, A. C. y O. O. Adebawo. (1989). Wateruptake pattern during traditional soaking of cereal grains. *Tropical Science* *29* (3): 189-19.
- Patane, C., Lacoconi,, E., & Raccuia,, S.A. (2004). Physico-chemical characteristics, water absorption, soaking and cooking properties of some Sicilian populations of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *nt. J. Food Sci. Nutr.*, *55*, 547- 554.
- Parca, F. "Nutritional and Antinutritional Factors of Some Pulses Seed and Their Effects on Human Health." *International Journal of Secondary Metabolite*, *5*(4),331-342.

- Prinyawiwatkul, W., Beuchat, L.R., McWatters, K.H., & Philips, R.D. (1997). Functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) flour as affected by soaking, boiling, and fungal fermentation. *J. Agricultural Food Chemistry*, 45, 480-486.
- Roussel-Philippe, C., Pina, M., & Graille, J. (2000). Chemical lipophilization of soy protein isolates and wheat gluten. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102, 97-101.
- Seenaa, S., & Sridhar, K.R. (2005). Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, *Canavalia* of the southwest coast of India. *Food Res. Int.*, 803-814.
- SIAP. (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Datos abiertos. Estadística de Producción Agrícola. Obtenido de <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>.
- Sarker, M. Z. I., Elgadir, M. A., Ferdosh, S., Akanda, M. J. H., Aditiawati, P., & Noda, T. (2013). Rheological behavior of starch-based biopolymer mixtures in selected processed foods. *Starch/Stärke*, 65(1-2), 73-81.
- Sotomayor, C., Frías, J., Fornal, J., & Sadowska, J. (1999). Lentil starch content and its microscopical structure as influenced by natural fermentation. *Starch-Stärke*, 51(5), 152-156.
- Singh, U. (2001). Functional properties of grain legume flour. *Journal of Food Science and Technology*, 38 (3), 191-199.
- Singh, U. (1993). Protein quality of pigeon pea as influenced by seed polyphenols and cooking process. *Plant Food and Human Nutrition*, 43, 171-179.
- Wu, H. (1995). Studies on Denaturation of Proteins XIII. A Theory of Denaturation. *Adv. Prot. Chem.*, 46, 6-26.
- Yamagishi, T., Yamauchi, F., & Shibasaki, K. (1980). Isolation and partial characterization of heatdenatured products of soybean 1 IS globulin and their analysis of electrophoresis. *Agricultural Biology Chemistry*, 44, 1575-1561.

PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES

El análisis global de los resultados reflejados en la presente tesis ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- El tratamiento de imbibición tuvo un impacto sobre los compuestos con carácter nutricional, actividad antioxidante y funcional en la legumbre. Se observan mejores propiedades tecno-funcionales en la harina de lenteja imbibida, especialmente a 1h y 2h de imbibición. Que si bien la imbibición y la deshidratación produce una cierta disminución de la actividad antioxidante, esto conlleva a una reducción de la presencia de factores antinutricionales. Las harinas de lentejas imbibidas y deshidratadas presentaron mejores propiedades tecno-funcionales como el aumento en la capacidad de retención de agua, razón por la que pueden ser consideradas como ingredientes funcionales, adecuado para la formulación de diversos tipos de alimentos.
- Finalmente, los resultados obtenidos en esta tesis de maestría demuestran que la imbibición y su posterior tratamiento de deshidratación, permite obtener harinas con una mayor calidad en el perfil nutricional y funcional.
- Por lo anterior sería de interés evaluar los factores anti-nutricionales de la harina de lenteja que ha sido llevada a una práctica de imbibición, ya que estos compuestos antinutricios están relacionados con la actividad antioxidante, evaluar el impacto de la imbibición y deshidratación en relación a estos factores.
- Por otro lado, con el objeto de considerar la inclusión de estas harinas de lenteja imbibidas en la formulación de alimentos altos en proteína vegetal, identificar en qué tipos de alimentos podrían ser incorporadas con mayor éxito. La nueva información generada podrían ayudar a diversificar el tipo de alimentos a los cuales incorporar la harina de lenteja.