



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LICENCIATURA EN QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

**EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS (REMOJO, GERMINACIÓN Y
FERMENTACIÓN) SOBRE LA BIODISPONIBILIDAD DE
NUTRIENTES DE LENTEJA (*LENS CULINARIS* L.)**

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA
P.Q.F.B. EDNA CITLALLY ROMO ISLAS

DIRECTOR DE TESIS
DRA. PAOLA HERNÁNDEZ CARRANZA

CODIRECTOR DE TESIS
M.E.C. OBDULIA VERA LÓPEZ

H. PUEBLA DE Z.

DICIEMBRE 2023



OFICIO C.Q./CT 025P/2023

C. Edna Citally Romo Islas
PRESENTE

Toda vez que se cuenta con la aprobación de la Coordinadora de la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo, le comunico que su anteproyecto de Tesis denominado:

“EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS (REMOJO, GERMINACIÓN Y FERMENTACIÓN) SOBRE LA BIODISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES DE LENTEJA (*LENS CULINARIS* L.)”

ha sido autorizado, siendo:

Dra. Paola Hernández Carranza Directora de Tesis
M.E.C. Obdulia Vera López Co-Directora de Tesis

Y con esta fecha se registra en los archivos de la Dirección de esta Facultad, para los fines legales que tenga lugar.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., 5 de junio de 2023

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas

c.c.p. Archivo

Cadena digital: 8Rg,Fl*SI&Jn!Ak*Gn+Th-Wm*Dg\$Is%Ax#NI%Yz\$Ts(la

Or*Wl#Xf#Tx\$Qn*Ck\$Ww*Oh"Jo+Vq,Wg.Oc(Gv%Ae!Dt%lr"Zf!Ee

Et#Im*Fj\$Wi*Ga!Eu%Rp*Bu#Eq%Oe#Jn#Ys,Fc*Cf+Xg/Bi*Gs/De,Xk(HI"Fm*Bd/We(Yk+Vo+Fh,Vv*Mf.Yi/Ro.Kd%Zd'Ox\$A)lc\$Zc

\$Vw!Lz&Km-Pu&Qn\$Cj#Lg#Nh'Bj!Eh*Yb'Hn/Bc(Wy.Pw#Ta\$u\$Lq*Zj-Eg+Ak.Rw&Ln*



OFICIO C.Q./CT 057CR/2023

Dr. Raúl Avila-Sosa Sánchez

Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco

Dra. Sandra Victoria Avila Reyes

Con toda atención comunico a Ustedes que se les propone como integrantes de la Comisión Revisora del trabajo de Tesis que presenta la pasante de la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo

Edna Citlally Romo Islas

cuyo título es:

"EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS (REMOJO, GERMINACIÓN Y FERMENTACIÓN) SOBRE LA BIODISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES DE LENTEJA (LENS CULINARIS L.)"

Asimismo, les solicitamos que a la brevedad posible emitan el dictamen correspondiente.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., 28 de noviembre de 2023

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas



c.c.p. Archivo

Cadena Digital: 8Gm)Uv(Mi%Ch"Vi.Bz-Se'Oe"Xi&Kg%Kg#Zz)Sc\$Ce#Uh-Kf/Kt*Yk+Pm+Pj'Wp)Fi!Gh"Be!Rc\$Lc-Vu)Kz%Tj'Hf&Tg%Ey"De"t%Pt.Nj\$Jo%Jz'Xb)Gy-Ir+Kl,Sn.Gc/Zz,Aw*Re&Gp)Dq)Kr"hw+Rz(lh*Hu'Xv-Pc.Gk)Qr+Yn!Uq!Kb\$Gr#Eo%Fb.Ev#Db,Do(Nw%Go#Ds*Aq&Wq"Ok+Uz&Hh-Tn!VI&Ny!Ew,Uw&Uo!Kt%Qb,Oq,Aw%Hu!Yh\$Hf*Ps+Vb)Gp"Dt+



OFICIO C.Q./CT 054A/2023

Dr. Jorge R. Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Los que suscriben, integrantes de la Comisión Revisora de Tesis de la alumna de la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo

Edna Citlally Romo Islas

comunican a Usted la autorización para la publicación del trabajo de tesis bajo la dirección la Dra. Paola Hernández Carranza y de la M.E.C Obdulia Vera López, con el siguiente título:

“EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS (REMOJO, GERMINACIÓN Y FERMENTACIÓN) SOBRE LA BIODISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES DE LENTEJA (LENS CULINARIS L.)”

Se extiende la presente, para los usos que al interesado convengan el día 29 de noviembre de 2023.

Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z., a 29 de noviembre de 2023

Dr. Raúl Avila-Sosa Sánchez, Presidente

Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco, Secretario

Dra. Sandra Victoria Avila Reyes, Vocal

C.c.p. Archivo

Cadena digital: 5Qm!Fo(Gj+Za)So)Ux%Fn)Xz%Yq\$Hy&Qh*Tg#Ym'Vx%Ci,Vd-Ch'Bt.Ni,Pl+Kv&Qm*Ln!Or%Bc+Bp''Hy''Ji)Na/Xc)Kj%It*Ur!Jh(Yw(Fj-Li#Hu*Uw%Uk(Iz-Jb)Jq+Ak&Tp''Dp)Xf#Ym'Ti+Av#Sy)An#Tw'Kl)Ka,Qm+Ao+Qu+Dt!In!Mh(Bf#Ru&Gd.lh,Xq+Ou!Gi#Yp!Rb(Jx/Jf''Td!Mv'Ke&Wc,Uc!As.Yu#Wb!My)Nn!Sh(Gp%Zp.Aq&Kc+Jp/Nx&Ej!Pi'Df+

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres por todo el apoyo que me han brindado, a mi madre por sus consejos y por todos los sacrificios que ha hecho por mí, a mi padre por su cariño y sus palabras que alegran mis días, gracias a ustedes estoy donde estoy, son mi soporte y mi ejemplo, también quiero agradecer a mis hermanos Memito, Pao y Shaly, por ser un ejemplo para mí, los admiro y quiero mucho a cada uno de ustedes.

A Jafet por acompañarme durante todo este camino, por apoyarme en los momentos más estresantes y por escucharme siempre y hacerme sentir mejor.

Le agradezco profundamente a mi directora de tesis la Dra. Paola Hernández Carranza, por transmitirme de su conocimiento y dedicación, por su guía y paciencia durante todo este proceso, sin sus palabras de apoyo, sus correcciones y todos sus consejos no hubiera podido llegar hasta aquí.

A mis docentes y sobre todo a mis compañeros de carrera y de laboratorio, muchos de los cuales se han convertido no solo en colegas sino en amigos, gracias por los momentos compartidos, por su ayuda y su apoyo.

Por último, pero muy importante a mi alma mater, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por formarme y darme la oportunidad de ser parte de esta comunidad universitaria.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Leguminosas	2
2.2 Lenteja	3
2.2.1 Producción de lenteja	3
2.2.2 Composición nutricional de la lenteja.....	4
2.2.2.1 Proteínas	5
2.2.2.2 Carbohidratos	6
2.2.2.3 Fibra.....	8
2.2.2.4 Micronutrientes	9
2.2.3 Anti-nutrientes.....	11
2.3 Procesos aplicados a la lenteja	13
2.3.1 Remojo	13
2.3.2 Tratamiento térmico	13
2.3.3 Germinación	14
2.3.2.1 Etapas de la germinación	14
2.3.4 Fermentación.....	15
2.4 Bacterias ácido-lácticas	16
3. JUSTIFICACIÓN	18
4. OBJETIVOS.....	19
4.1 Objetivo general	19
4.2 Objetivos particulares	19
5. DIAGRAMA DE TRABAJO	20

6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
7. METODOLOGÍA	23
7.1 Tratamientos aplicados a lenteja.....	23
7.2 Caracterización bromatológica de las lentejas con y sin tratamiento ..	24
7.3 Determinación de compuestos bioactivos	24
7.3.1 Preparación de la muestra.....	24
7.3.2 Compuestos fenólicos totales	24
7.3.3 Capacidad antioxidante	25
7.4 Análisis cualitativo de saponinas.....	25
7.5 Proceso de fermentación	25
7.6 Simulación gastrointestinal	25
7.7 Análisis estadístico.....	26
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
8.1 Tratamientos aplicados	27
8.2 Caracterización químico-proximal de la lenteja sin y con tratamientos	29
8.3 Compuestos bioactivos en lenteja	31
8.4 Análisis cualitativo de saponinas en lenteja	32
8.5 Simulación gastrointestinal sobre los compuestos nutricionales y bioactivos en lenteja.....	33
8.6 Crecimiento de bacterias ácido-lácticas durante la fermentación	36
8. CONCLUSIONES	39
9. RECOMENDACIONES	40
10. REFERENCIAS.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes nutricionales de lenteja roja y verde cocida por 100 g.	4
Tabla 2. Perfil de aminoácidos de lenteja cruda entera.	5
Tabla 3. Vitaminas y minerales presentes en lenteja roja y verde cruda.	11
Tabla 4. Métodos y referencias.....	21
Tabla 5. Equipos utilizados.	22
Tabla 6. Composición químico-proximal de semillas de lenteja sin tratamiento y tratadas por remojo y germinación ^a	31
Tabla 7. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de semillas de lenteja sin tratamiento y tratadas por remojo y germinación ^a	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de la fibra dietética.....	9
Figura 2. Diagrama de trabajo que se realizó	5
Figura 3. Lenteja cruda (A), remojada (B), germinada de 3 días (C), lenteja germinada de 6 días (D), proceso de secado de lenteja germinada (E), secado final de lenteja (F), lenteja molida (G).....	28
Figura 4. Prueba de espuma para determinar la presencia de saponinas en lenteja.....	33
Figura 5. Efecto de la simulación gastrointestinal sobre el contenido de cenizas de semillas de lenteja sin y con tratamientos de remojo y germinado.....	34
Figura 6. Efecto de la simulación gastrointestinal sobre el contenido de proteínas de semillas de lenteja sin y con tratamientos de remojo y germinado.....	35
Figura 7. Efecto de la simulación gastrointestinal sobre el contenido de compuestos fenólicos de semillas de lenteja sin y con tratamientos de remojo y germinado.	36
Figura 8. Efecto de la simulación gastrointestinal sobre la capacidad antioxidante de semillas de lenteja sin y con tratamientos de remojo y germinado.....	36

Figura 9. Crecimiento de *Lactobacillus rhamnosus* durante el proceso de fermentación de semillas de lenteja con tratamientos de remojado y germinado. 37

Figura 10. Crecimiento de *Lactobacillus acidophilus* durante el proceso de fermentación de semillas de lenteja con tratamientos de remojado y germinado. 38

RESUMEN

En este trabajo se evaluaron los tratamientos de remojo y germinación en lenteja, y a partir de estos, se realizó la fermentación con bacterias ácido-lácticas. Después de los procesos de remojo y germinación se realizó el análisis químico-proximal, compuestos fenólicos totales (CFT) y capacidad antioxidante (CA). Posteriormente, la lenteja fue sometida al proceso de simulación gastrointestinal, donde se evaluaron algunos componentes nutricionales (cenizas y proteína), así como CFT y CA. Por otro lado, con las lentejas postratamientos se llevó a cabo la fermentación usando *Lactobacillus rhamnosus* y *Lactobacillus casei*, y se evaluó su crecimiento durante 36 h.

Los resultados mostraron que los tratamientos de remojo y germinación incrementaron el contenido de proteína en la lenteja en un 15.69 y 7.82%, respectivamente. También hubo un incremento en el contenido de carbohidratos entre 10 y 25 %, respecto a la lenteja sin tratamiento. Los CFT disminuyeron por los tratamientos aplicados entre 17 y 36 %, así como la CA entre 9 y 10%.

Por otro lado, el proceso de simulación gastrointestinal de lenteja remojada y germinada, disminuyó el contenido de cenizas y proteína, sin embargo, la CA incrementó hasta un 60%.

Finalmente, la lenteja postratamientos fue útil para el crecimiento tanto de *L. rhamnosus* como *L. acidophilus*, después de 36 h se obtuvo una población de 7 - 8 log (UFC/mL).

Por lo que, la aplicación de tratamientos como el remojo y la germinación si bien afectan algunos compuestos nutricionales, son útiles para llevar a cabo el proceso de fermentación a partir de bacterias lácticas y con ello, ser utilizados en el desarrollo de alimentos.

Además, es importante evaluar como los nutrientes o compuestos bioactivos se comportan después de la simulación gastrointestinal, lo cual podría ser una herramienta útil para conocer la disponibilidad de nutrientes presentes en los alimentos.

1. INTRODUCCIÓN

Las leguminosas son un cultivo con gran importancia nutrimental, debido a que varios de sus componentes están en altas cantidades, estos incluyen proteína, fibra dietética, vitaminas, minerales y almidón, además contienen fitoquímicos que son metabolitos con dos aplicaciones importantes, por un lado, actúan como moduladores de la función cardiovascular, el estrés oxidativo, la inflamación, entre otros. Y por otro, son considerados sustancias anti-nutricionales que afectan negativamente la absorción de nutrientes, generalmente los tratamientos térmicos permiten su eliminación (Torino et al., 2013; Curiel et al., 2015).

Actualmente, se busca aplicar tratamientos menos severos que mantengan la calidad nutricional de las leguminosas y que permitan remover las sustancias anti-nutricionales, en este sentido, tratamientos como el remojo, tostado, germinación y fermentación son considerados procesos simples, que reducen o neutralizan la presencia de anti-nutrientes, favoreciendo la disponibilidad de nutrientes (Coda et al., 2015; Knez et al., 2023).

La lenteja es una de las leguminosas más cultivadas en México, siendo Michoacán el principal productor nacional con un 93% (Sáenz-Reyes, 2022). Presenta un alto contenido de proteína y bajos niveles de grasa y colesterol. Su principal modo de consumo es en forma de sopa o ensaladas (SADR, 2015). Por lo que, para aprovechar sus compuestos nutricionales, es necesario usar procedimientos simples y con poco gasto energético.

En este trabajo se evaluaron los tratamientos de remojo, germinación y fermentación en lenteja, determinando su composición químico-proximal y compuestos antioxidantes, además se evaluó mediante simulación gastrointestinal la biodisponibilidad de sus componentes tanto nutricionales como antioxidantes.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Leguminosas

Las leguminosas pertenecen a la familia *Fabaceae* o *Leguminosae*, son consideradas frutos o semillas secas con la principal característica de que se encuentran recubiertos por una vaina, se estima que existen más de 20,000 especies y más de 700 géneros. Su expansión geográfica es amplia, como resultado de su alta capacidad adaptativa en cuanto al clima y suelo, se presenta una gran diversidad de especies con características alimenticias bastante similares. Por ejemplo, los frijoles son originarios de Centroamérica, pero su cultivo se ve favorecido en zonas más húmedas de América del sur. Por otra parte, otras legumbres como los garbanzos y las lentejas surgieron en regiones más extremas con climas más secos y suelos menos fértiles de Oriente (FAO, 2016).

Las leguminosas se diferencian de las oleaginosas por su bajo contenido de grasa, algunas se consumen en estado verde o en forma seca (Alonso et al., 2010). Uno de sus aspectos más destacables es que presentan un alto contenido de proteínas (globulinas) y aminoácidos como la lisina, hidratos de carbono de asimilación lenta como el almidón, minerales (calcio, hierro, zinc), fibra dietética y componentes bioactivos como los polifenoles, fitatos, galactooligosacáridos, inhibidores de proteasas, lectinas, saponinas, entre otros (Alonso et al., 2010; Liu et al., 2022). Algunos de estos compuestos son considerados como factores anti-nutricionales (AN), los cuales tienen efectos metabólicos y fisiológicos importantes, diversos autores consideran que estos presentan un impacto benéfico en la salud, sin embargo, otros reportan que afectan la biodisponibilidad de nutrientes, por ello dependiendo las circunstancias, se considera que pueden eliminarse o mantenerse (Duranti, 2006).

Dentro de los beneficios que presentan las leguminosas se encuentra: su uso como fuente de proteínas vegetales, permiten el restablecimiento de la fertilidad del suelo, contribuyen a la reducción de gases de efecto invernadero, debido a que tienen una mayor absorción de carbono. Además, debido a su bajo costo en la siembra y su

baja necesidad de agua en el cultivo, presentan un alto beneficio para los agricultores principalmente de zonas áridas (FAO, 2016).

2.2 Lenteja

Una de las leguminosas más importantes a nivel nutricional a lo largo de la historia es la lenteja, de nombre científico *Lens culinaris* L., es una planta cuyas semillas se encuentran contenidas dentro de vainas (González, 2000). Dentro de la taxonomía de la lenteja, se han reportado hasta cuatro subespecies: *culinaris*, *orientalis*, *odemensis* y *tomentosus*. Las propiedades más importantes de estas legumbres, es su importante valor nutricional, ya que es fuente de proteína en los países en desarrollo, además de su resistencia a las altas temperaturas y adaptabilidad al suelo, lo que la convierte en una opción ideal para los agricultores que cultivan en regiones áridas de todo el mundo (Xia et al., 2023).

2.2.1 Producción de lenteja

La lenteja es ampliamente cultivada en el mundo ocupando el quinto lugar de producción después del garbanzo y frijol, es originaria de Oriente y África del norte. Los países con mayor producción son: Canadá, Estados Unidos, Turquía, Australia e India, siendo esta última líder mundial en la producción de legumbres con 20 millones de toneladas al año, en segundo lugar esta Canadá que con 5.8 millones de toneladas al año, multiplicó su producción 10 veces en los últimos 25 años, Myanmar es el tercer productor mundial, las leguminosas son el segundo cultivo más importante del país después del arroz con 5 millones de toneladas al año, en cuarto y quinto lugar se encuentra China y Brasil con una producción de 4.5 y 3.3 millones de toneladas anuales, respectivamente (Chelladurai y Erkinbaev, 2020).

Debido a su capacidad para fijar nitrógeno en el suelo, la lenteja no requiere mucha agua para crecer y es capaz de sobrevivir en suelos áridos, esta propiedad permite los cultivos de otras plantas, como los cereales se puede aprovechar los nutrientes del suelo para hacer cultivos intercalados y aprovechar de manera más eficiente el espacio, beneficiando a los productores (FAO, 2016).

La producción mundial de lenteja ha ido en aumento, se estima que el incremento es casi de 93% en los últimos 20 años, en México los estados con mayor producción de lenteja son Michoacán con el 60% (7689 ha/año), Guanajuato con el 30% y San Luis Potosí 8.1% (SADR, 2015; Sáenz-Reyes et al., 2022).

En comparación con la producción de otras legumbres que crecen a un promedio similar al de la población humana (2.4% al año) la producción de lenteja aumenta más del 10% cada año. El aumento en su consumo se origina como resultado a su fácil y rápida preparación (Khazaei et al., 2019) aunado a sus altas propiedades nutricionales.

2.2.2 Composición nutricional de la lenteja

La lenteja tiene alto contenido de proteína, fibra dietética y carbohidratos complejos (almidón resistente), además de minerales como hierro y zinc principalmente, contienen calcio, magnesio, fósforo, potasio, sodio y magnesio; vitaminas C y niacina. Por otro lado, la lenteja contiene ciertos fotoquímicos, tales como: compuestos fenólicos, flavonoides, ácido fítico, taninos y saponinas, los cuales son considerados anti-nutrientes (Kaale et al., 2022).

Los componentes nutricionales y anti-nutrientes varían en dependencia de las variedades, lugar de cultivo, así como el color, en este sentido existen lentejas de distintas tonalidades, tanto verdes, rojas, amarillas, café e incluso negras (Pulse Canadá, 2019). Al igual que el color, la cocción y otros procesos a los que se pueda someter la lenteja, pueden influir en la cantidad de nutrientes que contenga, así como en la biodisponibilidad de estos.

La Tabla 1 presenta algunos de los componentes nutricionales de dos tipos de lenteja, roja y verde, ambas sometidas a cocción.

Tabla 1. Componentes nutricionales de lenteja roja y verde cocida por 100 g.

Nutriente	Lenteja roja (cocida)	Lenteja verde (cocida)
Calorías (cal)	120	112
Grasa total (g)	0.4	0.4
Carbohidratos totales (g)	20	18.4
Proteína (g)	9.6	9.6
Fibra dietética (g)	3.2	7.2
Calcio (mg)	9.6	20
Hierro (mg)	2.4	1.6
Potasio (mg)	218	202
Folato (μ g)	44	31

Tomado de Chelladurai y Erkinbaev, 2020.

2.2.2.1 Proteínas

Las proteínas son estructuras secuenciales formadas por la unión de aminoácidos. Estas pueden clasificarse según su estructura en primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias. De acuerdo con el plegamiento que exista entre los aminoácidos y la longitud de la cadena que forman, será determinada su estructura y propiedades. Una de las principales funciones de las proteínas es la estructural, es decir formar parte de la estructura celular y crear tejidos, además de tener un papel fundamental como moléculas reguladoras (Khazaei et al., 2019).

Como ya se ha mencionado anteriormente, la lenteja es una de las legumbres con mayor contenido de proteínas de alta calidad, estas semillas pueden contener hasta 26% de proteína cruda, dependiendo de la variedad. La proteína se almacena en los cotiledones de la semilla y proporciona nutrientes como nitrógeno, carbono y azufre durante la germinación y el crecimiento de la planta. Algunas de las principales proteínas de almacenamiento que podemos encontrar en la lenteja son albuminas y globulinas, las cuales son carentes de aminoácidos azufrados, pero ricas en lisina, leucina, isoleucina, ácido aspártico, arginina y ácido glutámico, siendo superiores a los que contienen los cereales (Martínez, 2019). La Tabla 2 muestra los principales aminoácidos presentes en la lenteja.

Tabla 2. Perfil de aminoácidos de lenteja cruda entera.

Aminoácido	Contenido (g/100 g)
Triptófano	0.23
Treonina	0.92
Isoleucina	1.12
Leucina	1.87
Lisina	1.80
Metionina	0.22
Cisteína	0.34
Fenilalanina	1.27
Tirosina	0.69
Valina	1.28
Arginina	1.99
Histidina	0.73
Alanina	1.08
Ácido Aspártico	2.86
Ácido Glutámico	4.00
Glicina	1.05
Prolina	1.08
Serina	1.19

Tomado de USDA, 2022

2.2.2.2 Carbohidratos

Los carbohidratos son moléculas compuestas básicamente por tres átomos: carbono, hidrogeno y oxígeno, estas moléculas cumplen distintas funciones a nivel biológico además de ser las principales reservas energéticas para el organismo. Podemos clasificar a los carbohidratos dependiendo de la longitud de las cad ⁶ en: monosacáridos (azúcares simples) como la glucosa, galactosa y fructuosa, las cuales comparten la misma fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$ pero con diferente orden espacial. Los oligosacáridos, son la unión de menos de diez monosacáridos, unidos mediante enlaces glucosídicos, entre los más comunes e importantes resalta la sacarosa conocida como azúcar de mesa, lactosa, maltosa, entre otros. Por último,

están los polisacáridos, que son largas cadenas de más de diez unidades de monosacáridos, unidos por enlaces glucosídicos, entre los polisacáridos más importantes se encuentra el almidón, el cual es la principal forma de almacenamiento de carbohidratos en las plantas, también se encuentra la celulosa, hemicelulosa, lignina, etc., los cuales son constituyentes de la pared celular en las plantas (Badui, 2016).

La lenteja contiene 70% de carbohidratos, de los cuales entre 35 y 53% está en forma de almidón, este se encuentra disperso en los cotiledones de las semillas unido a las proteínas. El almidón de la lenteja varía en estructura y componentes (amilosa y amilopectina), respecto al que está presente en tubérculos o cereales debido a factores ambientales y genéticos. Los gránulos de almidón tienen forma elíptica – redonda, con superficie lisa, su tamaño varía entre 6 a 37 μm , este tamaño tiene una influencia sobre algunas propiedades funcionales como la capacidad de hinchamiento y la capacidad de absorción de agua. El contenido de amilosa en la lenteja es de 29.0 a 45.5%, lo que también influye en las propiedades funcionales (Joshi et al., 2017).

Por otro lado, la digestión del almidón de la lenteja es un parámetro importante para determinar su grado de absorción en la mucosa intestinal, la digestibilidad depende de la estructura molecular, el tamaño, y la relación de amilosa y amilopectina. De acuerdo con el índice y grado de digestión *in vitro*, los almidones se han clasificado en tres fracciones principales: a) almidón rápidamente digerible, la porción de almidón digerido en los primeros 20 min de incubación, b) almidón lentamente digerible, porción de almidón digerido de 20 a 120 min, y c) almidón resistente (AR), la parte restante que no puede ser digerido, este último se subdivide en 5 categorías respecto a la naturaleza del almidón y su localización en alimentos; AR Tipo 1: se forma de gránulos de almidón rodeados por una matriz indigerible, es almidón físicamente inaccesible, se encuentra en granos enteros y legumbres. AR Tipo 2: almidón resistente a la digestión enzimática, se encuentra en papas y plátanos verdes. AR Tipo 3: almidón retrogradado formado durante el enfriamiento del almidón que ha sido procesado. AR Tipo 4: almidones modificados químicamente.

AR Tipo 5: forma complejos lípidos-amilosa, se forman cuando la amilosa interactúa con ácidos grasos y alcoholes (Villarroel et al., 2018).

Algunos de los beneficios fisiológicos del AR en la salud humana es que proporciona un índice glicémico bajo, por lo que es recomendable para la alimentación de personas diabéticas, obesas o con enfermedades cardiovasculares, contribuye en la reducción de la acumulación de grasa, controlando el metabolismo lipídico, además es considerado una fuente de fibra (Villarroel et al., 2018).

2.2.2.3 Fibra

La fibra es una mezcla compleja de sustancias derivadas de las plantas como los polisacáridos, que tienen efectos benéficos para el humano. La American Association of Cereal Chemists (2001) define a la fibra dietética como la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono, que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra se puede clasificar de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas en fibra “soluble” e “insoluble”, la fibra soluble cuentan con la capacidad de formación de geles y se lleva a cabo en el intestino delgado, lo que favorece la correcta absorción de nutrientes como glucosa y otros compuestos, por otro lado, la fibra insoluble provoca el llamado “efecto saciante”, disminuye la velocidad del vaciado gástrico, así como el tiempo de tránsito intestinal, lo que contribuye en el manteniendo de los niveles glicémicos estables por más tiempo (Olmedilla-Alonso et al., 2010).

Como se ha mencionado, la fibra se compone de polisacáridos, los cuales se denominan de tipo no almidón, ya que, a diferencia de éste que es digerido y absorbido en el intestino, estos componentes llegan al colon y son digeridos allí, tal como se muestra en el Figura 1 (Escudero y González, 2006).

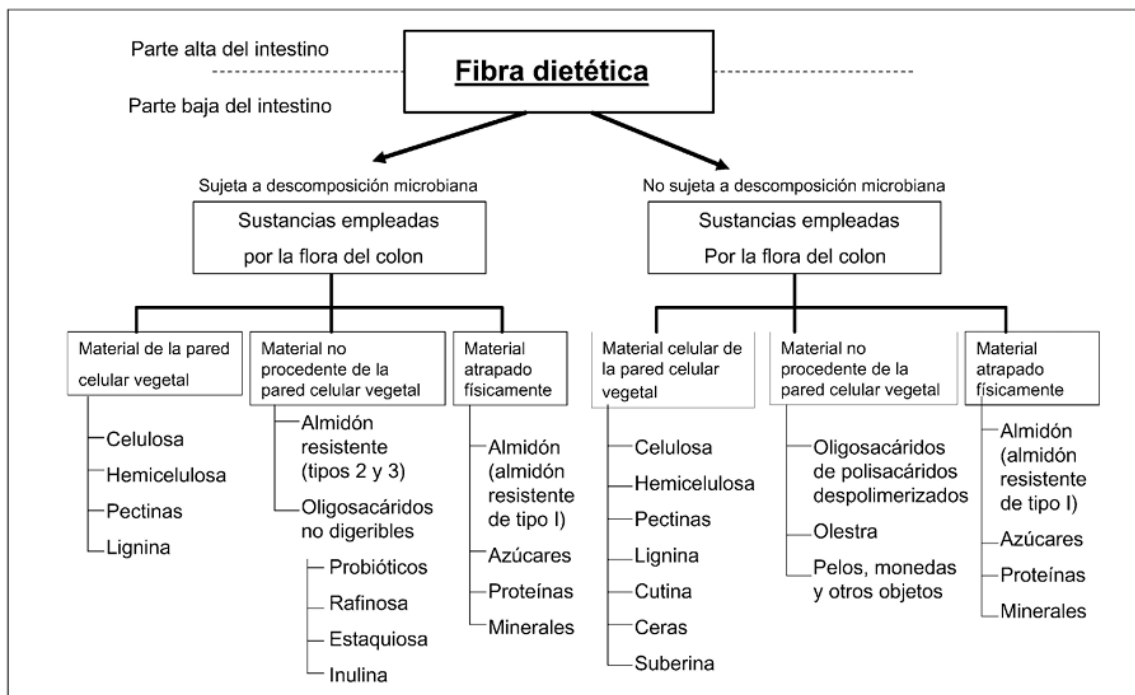


Figura 1. Composición de la fibra dietética. Tomado de Escudero y González, 2006.

Las lentejas contienen alrededor de 27% de fibra dietética total, de la cual 24% es fibra dietética insoluble y el resto de fibra soluble, lo cual puede cambiar dependiendo la variedad, condiciones fisiológicas y las fracciones que la constituyen. La fracción insoluble es capaz de captar agua hacia el lumen intestinal, lo que mejora el proceso de fermentación por acción de la flora bacteriana en el colon, incrementa la velocidad del tránsito intestinal y actúa como antioxidante. Estos efectos contribuyen en la prevención de enfermedades como la diabetes mellitus, trastornos cardiovasculares y cáncer de colon, entre otros. Por otro lado, dentro de los beneficios de la fibra soluble, destacan la disminución de la glucosa y colesterol en sangre, forman geles en el intestino, lo que afecta la absorción de la glucosa y la grasa, además de actuar como laxante natural y aumentan el valor fecal (González, 2000; Olmedilla-Alonso et al., 2010).

2.2.2.4 Micronutrientes

Las vitaminas y minerales son parte de los llamados micronutrientes, los cuales son sustancias que el cuerpo necesita para llevar a cabo funciones metabólicas. Las

vitaminas son estructuralmente diferentes y poseen distintas funciones. Se clasifican en vitaminas liposolubles: aquellas que son solubles en lípidos y por lo tanto tienen la capacidad de acumularse en depósitos de grasa en el cuerpo, incluyen a las vitaminas A, D, E y K y vitaminas hidrosolubles: como su nombre lo indica son solubles en agua, se incluyen todas las vitaminas del complejo B y C, las cuales pierden rápidamente su valor nutricional al ser destruidas fácilmente en procesos de cocción. En las lentejas hay principalmente vitaminas del complejo B y Folatos (FAO, 2016).

Por otro lado, los minerales son sustancias inorgánicas tales como el calcio, el fósforo, magnesio, hierro, flúor, zinc, cobre, yodo y selenio, que son muy necesarios en cantidades menores, pero igualmente importantes para el buen desarrollo del cuerpo humano. Además, se encuentran los llamados electrolitos, sustancias que tienen la capacidad de disociarse en iones, como el sodio, potasio y cloro, con la capacidad de regular la osmolaridad del cuerpo (FAO, 2016).

El contenido de minerales en las lentejas es alto, pero la biodisponibilidad se ve afectada por el contenido de fitatos y polifenoles presentes, ya que estos se unen a los minerales e inhiben la absorción del zinc y el hierro (Olmedilla-Alonso et al., 2010). La Tabla 3 muestra el contenido de vitaminas y minerales presentes en la lenteja.

Tabla 3. Vitaminas y minerales presentes en lenteja roja y verde cruda.

Componente	Lenteja roja (mg/100 g)	Lenteja verde (mg/100 g)
Minerales		
Calcio	48	35
Hierro	7.39	6.51
Magnesio	47	59
Fósforo	281	294
Potasio	677	668
Sodio	6	7
Zinc	3.6	3.27
Vitaminas		
C (ácido ascórbico)	1.7	4.5
Niacina	2.6	1.5
Tiamina, riboflavina, folato, vitamina A, vitamina B6, vitamina B12, vitamina E	<1.0	<2.0

Tomado de USDA, 2022

2.2.3 Anti nutrientes

Los anti nutrientes (AN) son compuestos de origen vegetal que afectan el valor nutricional de los alimentos principalmente de semillas, inhiben la asimilación de nutrientes. En algunos casos pueden ser tóxicos o generar efectos fisiológicos no deseables como: la distensión abdominal, flatulencias, aglutinación de células (glóbulos rojos), afectaciones pancreáticas, disminuyen la asimilación o absorción de nutrientes, etc. Generalmente, son producidos durante el metabolismo secundario de las plantas y son parte de su mecanismo de defensa contra microorganismos, insectos, nematodos y aves. Se clasifican como termoestables y termolábiles, los termoestables (pueden eliminarse mediante germinación, remojo, fermentación, cocción o escaldado) e incluyen sustancias como los factores antigénicos, oligosacáridos, aminoácidos no proteicos, saponinas, estrógenos, cianógenos y fitatos. Por otra parte, están los termolábiles (inactivados o destruidos mediante prácticas de cocción, extrusión, tostado o escaldado), en donde se encuentran las lectinas, anti-vitaminas e inhibidores de proteasas (Elizalde et al., 2009).

Existen estudios que indican que los AN en pequeñas cantidades pueden prevenir algunas enfermedades, pues dependiendo su naturaleza puedes actuar como prebióticos, hipocolesteromiantes, antitrombóticos, anticancerígenos, antioxidantes y diuréticos, denominándolos factores nutricionalmente bioactivos (Muzquiz et al., 2006).

Los compuestos bioactivos son aquellas sustancias presentes en los alimentos de origen vegetal que aportan grandes beneficios a la salud, pero que no pertenecen a ningún grupo de nutrientes básicos como los antes mencionados, ya que se presentan generalmente en pequeñas cantidades. Estas sustancias también consideradas fitonutrientes o fitoquímicas se pueden dividir en 4 grupos: las sustancias nitrogenadas, las azufradas, las terpénicas y los compuestos fenólicos (Navarrete et al., 2008).

Las lentejas contienen una variedad de compuestos fenólicos (flavonas, flavanonas, antocianidinas, proantocianidinas, flavonoles, ácidos fenólicos y estilbenos), sin embargo, el perfil fitoquímico y la capacidad antioxidante de las lentejas disminuye después del remojo, cocción y tratamiento térmico, mientras que aumenta durante la germinación y fermentación en estado sólido (Dhull et al., 2021).

Por otro lado, dentro de las sustancias terpénicas presentes en las lentejas, se encuentran las saponinas, estos son metabolitos secundarios, que se presentan en forma de glucósidos, sus soluciones acuosas al ser agitadas forman una espuma estable y abundante, hecho que dio origen etimológicamente, al nombre genérico de estas sustancias provenientes del latín sapon (jabón) (Valencia et al., 2005), entre las propiedades que se les atribuyen a las saponinas está la producción de hemólisis, permeabilización del intestino, además de reducir la biodisponibilidad de nutrientes esenciales. Por otra parte, se menciona que las saponinas ayudan a reducir el colesterol en la sangre, además de tener efectos benéficos frente a enfermedades crónicas y reducir su incidencia (Mustafa et al., 2022).

Dentro de los AN reportados en la lenteja se encuentran: lectinas (513-617 unidad hemaglutinante/g), inhibidores de tripsina (2.4 µg/g), fitatos (3.2 mg/g), saponinas

(0.703 - 1.139 mg/g) y oligosacáridos (43.62-51.47 mg/g). Estas sustancias pueden modificarse por procesos como la cocción, tostado, germinado entre otros (Dhull et al., 2021).

2.3 Procesos aplicados a la lenteja

La biodisponibilidad de nutrientes en los alimentos de origen vegetal se puede mejorar mediante técnicas de procesamiento, tales como: remojo, descascarillado, molienda, tostado, cocción, germinación o fermentación, los cuales modifican la composición de los alimentos. Sin embargo, están surgiendo nuevos métodos de procesamiento, como el ultrasonido, microondas, alta presión, precipitación isoelectrica y campo eléctrico pulsado, que también pueden usarse para reducir el contenido de AN y mejorar la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de nutrientes en lenteja. La bioaccesibilidad se refiere a la fracción de un compuesto que se libera de su matriz alimentaria dentro del tracto gastrointestinal, por lo que se vuelve disponible para la absorción intestinal; en cambio la biodisponibilidad, corresponde a la fracción del componente ingerido disponible en el sitio de acción para su utilización en funciones fisiológicas (Li et al., 2023).

2.3.1 Remojo

El remojo es un procedimiento que se aplica a gran parte de las leguminosas, incluyendo las lentejas, es una parte esencial de su procesamiento que contribuye a reducir el tiempo de cocción, generando una textura más uniforme, además, promueve la desnaturalización de proteínas y solubilización del almidón, mejorando así la digestibilidad. Hay estudios que reportan que el remojo en lentejas contribuye en la reducción de compuestos como los α -galactósidos, taninos, ácido fítico, fitatos y, un aumento en la concentración de monosacáridos, como la fructosa y la glucosa (Li et al., 2023).

2.3.2 Tratamiento térmico

El procesamiento térmico es un procedimiento que implica la aplicación de calor, generalmente se aplica a los alimentos para su conservación, evitando el deterioro

microbiano, es un proceso que modifica el valor nutricional y las propiedades funcionales de las leguminosas, además produce desnaturalización, y alteración de las proteínas, lo que afecta las propiedades alergénicas de estas. Por otra parte, el tratamiento térmico reduce la concentración de AN en lentejas (Li et al., 2023).

2.3.3 Germinación

La germinación es un proceso fisiológico y bioquímico que permite la emergencia del embrión en las semillas mediante la absorción de agua, es un proceso que activa los procesos metabólicos en las semillas provocando la expansión del embrión. Generalmente se lleva a cabo con la hidratación de las semillas, temperatura adecuada y presencia de oxígeno; el proceso más importante es la hidratación de la semilla, debido a que es ahí donde se inicia una cadena de eventos (activación de enzimas, aumento de oligosacáridos, monosacáridos, oligopéptidos, aminoácidos y ácidos grasos), que dan como resultado la aparición de la radícula. Existen diferentes indicadores de la germinación de una semilla, tales como la formación de raicillas, aumento de la longitud de los brotes, transformación del endospermo, etc. (Bewley et al., 2013).

La germinación genera ciertos beneficios, entre los más importantes es que mejora el valor nutricional de las semillas y reduce los compuestos AN de cereales y leguminosas. Además, incrementa los componentes bioactivos de semillas comestibles, como el ácido GABA, polifenoles y vitaminas, compuestos asociados a reducir enfermedades como el cáncer, la hiperlipidemia, obesidad, hipertensión, enfermedades cardíacas, etc. (Liu et al., 2022).

2.3.2.1 Etapas de la germinación

La germinación comienza con la imbibición de agua por las semillas maduras y secas, esta absorción de agua es trifásica, incluyendo una rápida imbibición inicial (fase I), una fase de retraso (fase II), y un aumento adicional (fase III) (Bewley et al., 2013). Cuando las semillas están saturadas con agua, la radícula continúa alargándose, atravesando la cubierta de la semilla y finalmente emerge del hilio,

como la radícula se alarga continuamente, el hipocótilo también se alarga, dando lugar a la plúmula. Derivado de una activación enzimática producida por el agua, algunas macromoléculas tales como el almidón, proteínas y grasa son transformadas, mientras que el contenido de AN como el ácido fítico y los taninos pueden reducirse debido a la hidrólisis (Liu et al., 2022).

2.3.4 Fermentación

La fermentación es un proceso metabólico y enzimático que consiste en la oxidación de carbohidratos para producir energía, ha sido un método empleado desde hace miles de años como parte de la conservación de los alimentos, además de contribuir a mejorar la digestión de ciertos nutrientes. Se ha reportado que los primeros fermentos se realizaban con hongos y leguminosas como la soya. A lo largo de los años este proceso fue evolucionando, y haciéndose popular no solo como método de preservación, sino como parte de la gastronomía en todo el mundo (Knez et al., 2023).

La fermentación puede ser espontánea o controlada, en el primer caso se produce con los microorganismos presentes en los alimentos, se considera que la fermentación esta completada cuando el pH del alimento se reduce, generalmente es llevado a cabo por levaduras, hongos y bacterias, principalmente ácido-lácticas (Cichónska y Ziarno, 2021). Para el caso de la fermentación controlada, esta se lleva a cabo por la adición de microorganismos o enzimas que pueden hidrolizar lípidos, carbohidratos y proteínas, generando cambios de textura deseables, así como metabolitos que modifican las propiedades sensoriales como el sabor y olor, se produce bajo condiciones controladas. Además, las enzimas microbianas pueden degradar a los AN en las leguminosas como los inhibidores de proteasas, los taninos y fítatos. Por lo que, la fermentación se considera un proceso para mejorar la biodisponibilidad y absorción de nutrientes (Dhull et al., 2021).

Como se mencionó anteriormente, la fermentación se puede llevar a cabo por la adición de bacterias, particularmente ácido-lácticas.

2.4 Bacterias ácido-lácticas

Las bacterias ácido-lácticas (BAL), se definen como un grupo heterogéneo de bacterias ya que pueden ser cocos o bacilos, son Gram positivas, no patógenas, no toxigénicas, fermentadoras, caracterizadas por producir ácido láctico a partir de carbohidratos, lo que las hace útiles como cultivos iniciadores para la fermentación de alimentos (Sánchez y Tromps, 2014). Comparten otros rasgos comunes como ser anaeróbicos, no forman esporas, no son móviles, son oxidasa y catalasa negativa, no reducen el nitrato, carecen de citocromos y no producen pigmentos. Son bacterias ácido-tolerantes, lo cual les permite crecer en medios donde otras bacterias no se desarrollan, pueden crecer en pH bajo, aunque normalmente a un pH de 4 y 4.5 (Ramírez Ramírez et al., 2011).

En la naturaleza existen diferentes géneros de BAL, aunque las más representativas son: *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Pediococcus*, *Streptococcus* y *Leuconostoc*. Asimismo, se pueden clasificar a partir de su modo de fermentación de la glucosa, de la cual se tiene dos subclases: homofermentadoras y heterofermentadoras (Ramírez Ramírez et al., 2011).

Las BAL homofermentadoras poseen la enzima aldolasa y producen ácido láctico como el producto principal de la fermentación de la glucosa, utilizando la vía de la glucólisis; algunos ejemplos de estas bacterias son: *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*. Las heterofermentadoras son las que convierten hexosas a pentosas por la vía 6-fosfogluconatofosfocetolasa produciendo además de ácido láctico, cantidades significantes de otros productos como acetato, etanol y CO₂. En este grupo se encuentra un género muy importante los *Lactobacillus*, que pueden ser: *plantarum*, *rhamnosus*, *coryneformis*, *curvatus*, *casei*, *paracase*, entre otros (Carr et al., 2002).

Las BAL se pueden usar en procesos fermentativos tanto de productos de origen animal tales como: yogurt, queso o mantequilla, como en productos de origen vegetal como la col fermentada, los pepinillos, entre otros. La fermentación de leguminosas es un proceso que se ha llevado a cabo desde hace varias décadas, actualmente este tipo de productos han ganado popularidad principalmente como sustitutos de carne y parte de los beneficios que confieren son: aumenta el valor

nutricional, incrementa la digestibilidad de la proteína, así como de la fibra, al reducir los factores AN del producto final (Cichónska y Ziarno, 2022). Por otro lado, durante el proceso de fermentación se lleva a cabo la reducción de ácido fítico, lo que aumenta la biodisponibilidad de los minerales, de igual manera estudios revelan que la biodisponibilidad de algunos minerales como el calcio y el magnesio aumentan con diferentes cepas de BAL como *L. acidophilus*, *L. bulgaricus*, *L. casei*, *L. plantarum* y *L. fermentum* (Ferrari et al., 2020).

3. JUSTIFICACIÓN

Procesos como el remojo, germinación y fermentación son considerados procesos no destructivos y económicos, que acompañados de microorganismos pueden mejorar el contenido de nutrientes. Generalmente son aplicados a cereales, frutas y leguminosas.

La lenteja es una leguminosa con alto contenido de proteína y baja en grasa, se puede consumir en forma de sopa y ensaladas, por lo que la aplicación de procesos como el remojo, germinación y/o fermentación podrían potenciar la biodisponibilidad de nutrientes, y modificar algunos componentes bioactivos, incrementando su digestibilidad. Por otro lado, el uso de bacterias lácticas en los procesos de fermentación podría contribuir al desarrollo de atributos sensoriales, además de la fortificación de los alimentos, debido a que estas bacterias poseen capacidad probiótica.

Por lo anterior, es importante evaluar cómo influyen los procesos de remojo, germinación y fermentación sobre los nutrientes de lenteja, debido a que podrían ser utilizados en la producción de alimentos, especialmente para personas con intolerancia a la lactosa o gluten. Los procesos propuestos son simples y económicos, por lo que su aplicación podría ser de gran interés.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar cómo influyen los tratamientos de remojo, germinación y fermentación sobre la biodisponibilidad de nutrientes de lenteja (*Lens culinaris* L.).

4.2 Objetivos particulares

- Determinar la composición químico-proximal y antioxidantes de semillas de lenteja previo a los tratamientos.
- Aplicar tratamientos de remojo y germinación a semillas de lenteja.
- Determinar los componentes químico-proximales, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y saponinas de semillas de lentejas postratamientos.
- Evaluar la biodisponibilidad de algunos nutrientes de la lenteja postratamientos mediante simulación gastrointestinal.
- Evaluar el crecimiento de bacterias ácido-lácticas inoculadas en sistemas con lentejas postratamientos.

5. DIAGRAMA DE TRABAJO

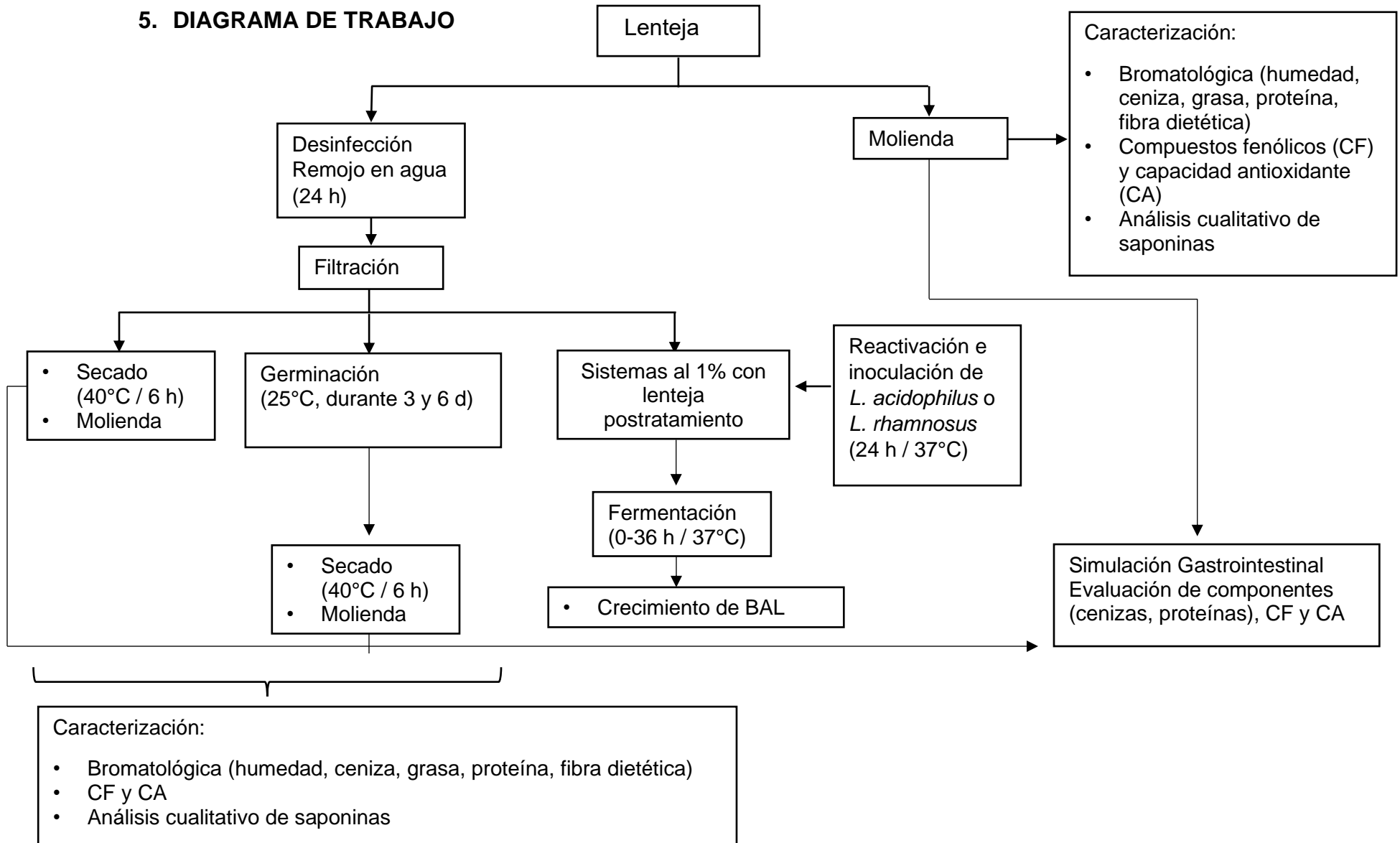


Figura 2. Diagrama de trabajo que se realizó.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

- Material de vidrio: El necesario para cada determinación.
- Material biológico: lenteja, cepas de *Lactobacillus rhamnosus* NRRL (B-442) y *Lactobacillus acidophilus* NRRL (B-4495).
- Reactivos: Los necesarios para cada determinación grado analítico o grado alimenticio.

La Tabla 4 y 5 muestran los métodos y equipos utilizados en la investigación.

Tabla 4. Métodos y referencias

Determinación	Técnica	Referencia
Humedad, cenizas, grasa	Gravimetría	AOAC, 2000
Proteína	Kjeldahl	AOAC, 2000
Fibra dietética	Enzimática-gravimétrica	AOAC, 2000
Compuestos fenólicos	Espectrofotométrica (Folin-Ciocalteu)	Aparicio-Fernández et al. (2018)
Capacidad antioxidante	Espectrofotométrica (DPPH)	Aparicio-Fernández et al. (2018)
Bacterias ácido-lácticas	Vertido en placa	NOM-092-SSA1-1994
Simulación gástrica	Método de Predicción de Digestibilidad In Vitro	He et al., 2021
Saponinas	Método de espuma	Colina Ramos, 2016

Tabla 5. Equipos utilizados.

Equipo	Marca	Modelo
Autoclave	CISA	AS-25
Balanza analítica	Ohaus – Serie Pioneer	PA 224C
Baño de agua AquaBath	Barnstead Lab-Line	18005AQ
Contador de colonias	SOL-BAT	Q-20
Deshidratador	Excalibur Food Dehydrator	3926TB
Incubadora	LUZUREN	DHP-500
Incubadora orbital	Prendo	INO-650
Parrilla digital	Fisher Scientific	Isotemp
Refrigerador	MABE	RMT510
Estufa de secado	Felisa, Horno	
Destilador Kjeldahl	Prendo	DEK-01
Espectrofotómetro	Spectronic Instruments	Spectronic 20 Genesys
Desecador en vidrio Borosilicato x 200 mm	Deltalab	19232
Centrifuga	Crn globe	Centrificient PRP-4

7. METODOLOGÍA

De acuerdo con lo mostrado en el diagrama de trabajo (Figura 2), la metodología que se siguió se describe a continuación.

7.1 Tratamientos aplicados a lenteja

Las lentejas fueron adquiridas de un centro comercial en la ciudad de Puebla, estas fueron desinfectadas, colocándolas en una solución acuosa de hipoclorito de sodio al 1% durante 5 min, posteriormente, fueron filtradas y lavadas dos veces con agua destilada. Se trabajó con una muestra control, la cual únicamente fue molida y almacenada en frascos oscuros hasta su análisis.

Por otro lado, se aplicaron 3 tratamientos a las semillas de lenteja, el primero fue el remojo, este consistió en colocar la lenteja en un recipiente cubierto de la luz, al cual se le adicionó el triple de agua respecto al peso de la lenteja, se almacenó durante 24 h a temperatura ambiente (25°C), se filtró, y se enjuagó dos veces más con agua destilada. Finalmente, se secó en una estufa a 40°C durante 6 h, al término del secado, se molió, se guardó en frascos de vidrio oscuros y rotulados.

El segundo tratamiento fue el de germinación, el cual consistió en remojar las lentejas, para luego filtrarlas y enjuagarlas, tal como se describió arriba, después se colocaron bien esparcidas en una charola de plástico (PET) sobre una hoja de papel (sanita) húmeda, las charolas fueron colocadas en presencia de luz solar, a temperatura ambiente (25°C) durante 3 y 6 días. Cada 24 h, se asperjaron 10 mL de agua destilada para su hidratación, al término de los 3 y 6 d, ambas muestras fueron secadas a 40°C durante 6 h, al término del secado, se molieron, se guardaron en frascos de vidrio oscuros y rotulados.

El tercer tratamiento consistió en realizar un proceso de fermentación con las lentejas remojadas y germinadas (3 y 6 d). Se preparó una solución acuosa al 1% con cada lenteja tratada, teniendo un total de 4 sistemas (lenteja remojada, lenteja germinada por 3 d, lenteja germinada por 6 d y lenteja sin tratamiento). Los 4 sistemas se esterilizaron en autoclave a 121°C durante 15 min, se dejaron enfriaron e inocularon al 1% con bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus acidophilus* y *Lactobacillus rhamnosus*), posteriormente, se describirá este proceso más adelante.

7.2 Caracterización bromatológica de las lentejas con y sin tratamiento

Se aplicaron los métodos descritos en el AOAC (2000), para la lenteja sin tratamiento (control) y para los tratamientos aplicados de remojo y germinación de 3 y 6 d. Se determinó la humedad mediante el secado en estufa a 105°C hasta obtener un peso constante, la ceniza mediante calcinación en mufla a 550°C, grasa mediante extracción con éter de petróleo en un equipo Soxhlet durante 4 h, proteína mediante el método Kjeldahl, usando rojo de metilo como indicador y un factor de conversión de 6.25, el contenido de carbohidratos se calculó por diferencia de la humedad, ceniza, grasa y proteína.

La fibra dietética total, se determinó a través de la digestión enzimática con α -amilasa termoestable, proteasa y amilogucosidasa. Una vez concluidas las digestiones enzimáticas, la muestra se dejó en reposo durante 18 h a temperatura ambiente, se filtró, y el residuo obtenido se secó durante 24 h en una estufa y se registró su peso final, a uno de los residuos se le determinó el contenido de proteína y al otro el contenido de cenizas.

7.3 Determinación de compuestos bioactivos

7.3.1 Preparación de la muestra

Se obtuvieron extractos acuosos al 1% de las lentejas con y sin tratamiento (remojo y germinación), posteriormente, se mantuvieron en agitación a 300 rpm durante 1 h. Finalmente, se filtró el extracto con algodón y se colocó en un frasco de vidrio ámbar, mismo que se mantuvo en refrigeración (5°C) hasta su análisis.

7.3.2 Compuestos fenólicos totales

Se tomó una alícuota del extracto y se mezcló con agua destilada en un tubo oscuro, se adicionó 1 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu (0.1N) y se dejó reaccionar durante 3 min, posteriormente se adicionó 1 mL de Na₂CO₃ (0.05%) y se dejó en reposo durante 30 min, se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro UV-visible a 765 nm. Se utilizó una curva de ácido gálico para la cuantificación.

7.3.3 Capacidad antioxidante

Se tomó una alícuota del extracto, se mezcló con agua destilada en un tubo oscuro, se adicionó 1 mL del reactivo DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) al 0.004% y se mantuvo en oscuridad durante 30 min. Finalmente, se registró la absorbancia a 517 nm usando un espectrofotómetro UV-visible. Se utilizó una curva de Trolox para la cuantificación.

7.4 Análisis cualitativo de saponinas

La llevó a cabo la evaluación cualitativa de saponinas de la lenteja sin tratamiento y postratamientos, este consistió en preparar soluciones acuosas al 1% con las lentejas, mismas que se mantuvieron en agitación constante (300 rpm) durante 1 h, posteriormente, se dejaron reposar durante 5 min, y se comparó la cantidad de espuma de la superficie de cada muestra.

7.5 Proceso de fermentación

Se trabajó con bacterias ácido-lácticas (*L. acidophilus* y *L. rhamnosus*), las cuales fueron previamente reactivadas en caldo MRS durante 24 h a 37°C. Se prepararon sistemas acuosos al 1% con la lenteja sin tratamiento y postratamientos (remojo, germinación 3 y 6 d), estos sistemas se esterilizaron e inocularon con cada bacteria láctica, se incubaron a 37°C durante 36 h, cada 12 h se tomaron muestras y se determinó la población de *L. rhamnosus* y *L. acidophilus*, se empleó la técnica de siembra de vertido en placa (NOM-092-SSA1-1994), usando agar MRS e incubando las cajas Petri en condiciones de anaerobiosis a 37°C durante 24 h. Al término de la incubación se realizó el conteo de microorganismos.

7.6 Simulación gastrointestinal

Para evaluar la biodisponibilidad de componentes de las lentejas, se realizó el proceso de simulación gastrointestinal, se prepararon dos soluciones: gástrica (SG), e intestinal (SI), para la SG se utilizó 2 g NaCl, 3.2 g de pepsina, se ajustó el pH a 2 con HCl y agua destilada, para la SI se utilizaron 6.8 g de K₂HPO₄, 10 g de pancreatina, se ajustó el pH a 7 con NaOH y agua destilada.

Se pesó 1 g de cada muestra de lenteja sin tratamiento y postratamientos (remojo y germinación), se colocaron en tubos Falcón con 9 mL de la SG, se incubaron a 37°C durante 2 h con agitación de 110 rpm, después de la incubación, se centrifugaron a 4000 rpm durante 20 min y se adicionó 9 mL de la SI, se incubaron nuevamente a 37°C durante 3 h a 110 rpm, nuevamente se centrifugaron y al residuo obtenido se le determinó cenizas y proteína, usando los procedimientos descritos en el apartado 7.2, así mismo se determinaron los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante como se describió en el apartado 7.3.2 y 7.3.3, respectivamente.

7.7 Análisis estadístico

Todas las determinaciones fueron hechas por duplicado para cada una de las muestras de lenteja con y sin tratamiento. Los resultados fueron analizados mediante un análisis de ANOVA usando el programa Minitab 16 (Minitab Inc. PA, USA). Se empleó la prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) para determinar diferencias significativas entre los tratamientos y los parámetros evaluados.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Tratamientos aplicados

La lenteja es un alimento que generalmente se consume entero, actualmente se procesa en forma de harinas y para su obtención, las lentejas pueden ser molidas en seco o en húmedo o se pueden aplicar otros procesos como: extrusión, microondas, tostado, germinación y fermentación (Dhull et al., 2022). La Figura 3 muestra los tratamientos aplicados a la lenteja: sin tratamiento (Figura 3A), remojo (3B), germinación 3 d (3C), germinación 6 d (3D). Aunque el uso de lenteja molida en seco es una opción práctica, esta no se recomienda, debido a la presencia de sustancias anti-nutrientes (AN), además, debería ser evitada debido al potencial desarrollo de oxidación lipídica (Kaale et al., 2022).

En el proceso de remojo, se observa que la lenteja absorbió gran contenido de agua, debido a que se incrementó su volumen, las legumbres tienen una alta capacidad de hidratación, que depende de su composición, estructura, tamaño e incluso color, además poseen capilares en la superficie que permiten una rápida absorción de agua, incrementando su peso (Mazi et al., 2023). En este sentido, la lenteja remojada incrementó su peso en un 260%. Por otro lado, se ha reportado que el remojo en agua produce una reducción en el contenido de fitatos y otros AN solubles en agua (Josh et al., 2017). Kaale et al. (2022) reportaron que la lenteja absorbe una cantidad significativa de agua (>100 %) durante el remojo y la cocción, lo que reduce el contenido de nutrientes y AN.

Por otro lado, la germinación la lenteja generó brotes, la radícula a los 3 d alcanzó una altura de 2 ± 0.01 cm y se observó un color verde intenso, en cambio a los 6 d, la altura de la radícula fue de 2.8 ± 0.01 cm, el color verde fue más tenue, en ambos procesos se ensancho la semilla, presentando un diámetro de 1 y 1.8 cm, respectivamente. Kathuria et al. (2023), mencionan que la germinación provoca aumento en la longitud de los brotes y cambios en las características bioquímicas, nutricionales y sensoriales de las leguminosas.

Finalmente, las Figuras 3E y 3F muestran la lenteja germinada durante el secado y el polvo obtenido después de la molienda (Figura 3G).

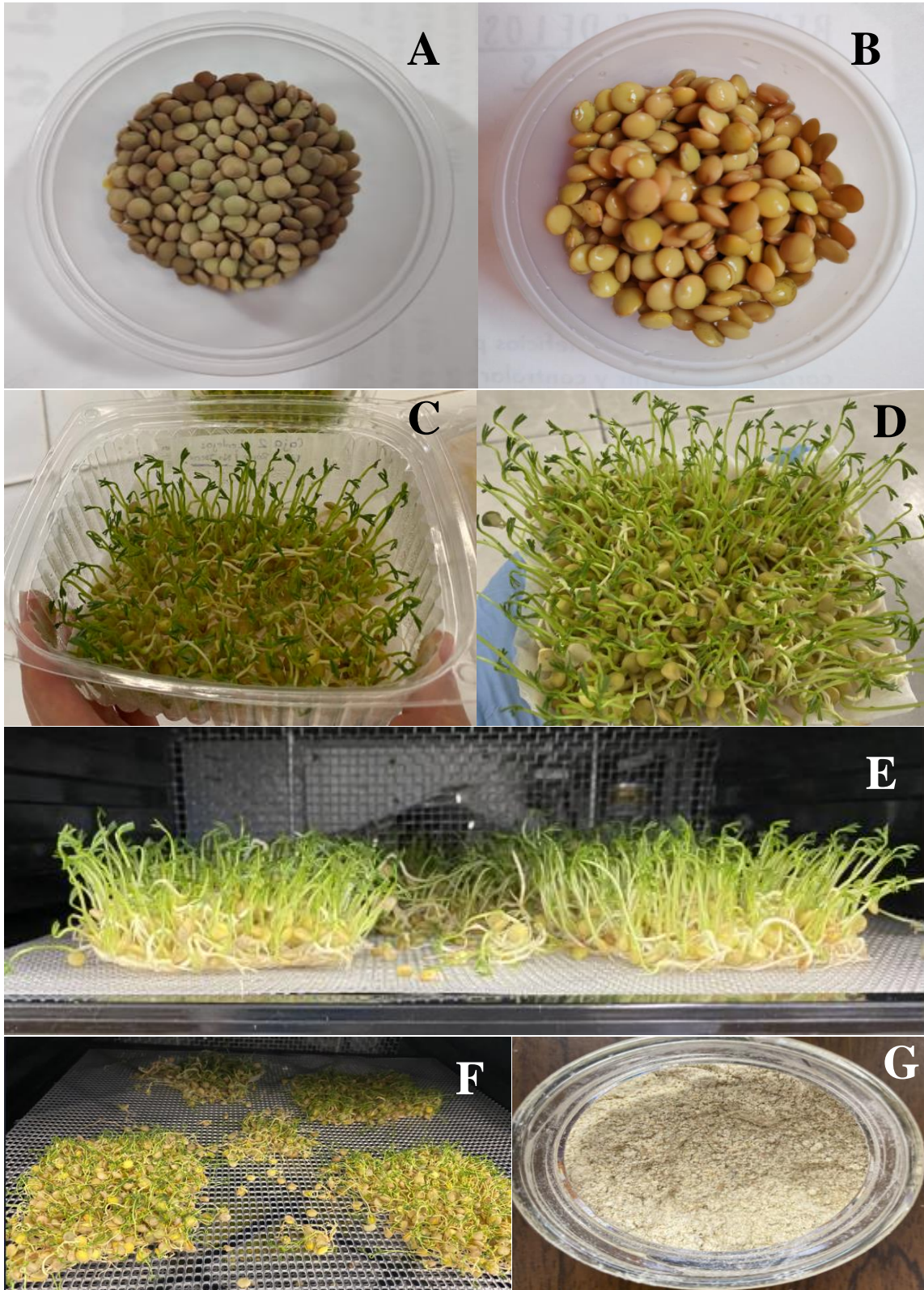


Figura 3. Lenteja cruda (A), remojada (B), germinada de 3 días (C), lenteja germinada de 6 días (D), proceso de secado de lenteja germinada (E), secado final de lenteja (F), lenteja molida (G).

8.2 Caracterización químico-proximal de la lenteja sin y con tratamientos

La Tabla 6 muestra los resultados de la composición químico-proximal de lenteja sin tratamiento y los tratamientos aplicados (remojo y germinación de 3 y 6 d). Se ha reportado que las leguminosas como la lenteja tienen bajo contenido de grasa y alto en proteína considerándose uno de los cultivos vegetales importantes para la alimentación humana (Alonso et al., 2010).

El contenido de agua en las lentejas analizadas fue entre 7 y 10%, el valor de agua reportado para lenteja verde y roja cruda, es de 7.82 a 8.26 g/ 100 g, respectivamente (USDA, 2022), las lentejas sin y con tratamiento se encuentran en el intervalo reportado. Resultados similares fueron indicados por Özer y Kaya (2010) quienes mencionan que lentejas cultivadas en Turquía presentan entre 7 y 11% de agua.

Por otro lado, el contenido de ceniza fue menor al 5%, hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos aplicados. Se ha reportado que el contenido de minerales de las leguminosas es alto (2.2 a 6.4%) (Grusak, 2009), pero de biodisponibilidad baja, debido a la presencia de AN como los fitatos y polifenoles, los cuales secuestran a los minerales. Egli (2001) menciona que tratamientos como el remojo, tratamiento térmico, germinación y fermentación, pueden modificar por degradación enzimática y no enzimática el contenido de ácido fítico, afectando el contenido de minerales. Por otro lado, Hurrell (2004) mencionó que los tratamientos con agua y ácidos diluidos son efectivos para la eliminación del ácido fítico, pero una desventaja de este procedimiento es que se eliminan minerales y vitaminas hidrosolubles. En este trabajo, debido a los tratamientos aplicados a la lenteja, se observa una reducción del contenido de cenizas (< 0.8) respecto a la lenteja control, lo cual puede deberse a la incorporación de agua durante el proceso de remojo, el cual elimina sustancias nutritivas (minerales) como AN.

El valor de grasa de las lentejas analizadas fue menor al 2% en todos los tratamientos, los valores obtenidos son similares a lo reportado por Grusak (2009), quien menciona que la grasa en lenteja es de 0.3 a 3.5%.

Respecto al contenido de proteína, los tratamientos aplicados, principalmente el remojo y la germinación de 3 d, incrementaron el contenido de proteína. Las

legumbres en general se caracterizan por su elevado contenido proteico, que se encuentra entre 20-30%, la fracción proteica más abundante son las globulinas, solubles en disoluciones salinas, con contenidos de lisina superiores a los de los cereales (Alonso et al., 2010). Por otra parte, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) reporta que la lenteja contiene 25 % de proteína, los tratamientos aplicados incrementaron el contenido de proteína en 1 y 3% respecto a la lenteja no tratada, lo cual resulta importante ya que hoy en día, la tendencia de algunos consumidores son alimentos de origen vegetal, altos en nutrientes esenciales, con tratamientos menos severos y de menor impacto ambiental (Dhull et al., 2022), por lo que los tratamientos aplicados (remojo y germinación), cumplen esta expectativa. Resultados similares respecto al incrementó de proteína por germinación son reportados por Ghumman et al. (2016), quienes mencionan que la germinación incrementa el contenido de proteína y reduce los carbohidratos, lípidos, ácido fítico y taninos.

Otro componente importante es la fibra, la lenteja contiene entre 5 a 27 % de fibra dietética (Joshi et al., 2017), las lentejas sin y con postratamientos se encuentran dentro de lo reportado. Se considera que el contenido de fibra dietética en lentejas es de gran importancia, particularmente la fibra dietética soluble, debido a los beneficios que otorga en el cuerpo humano, ya que al ser fermentada produce ácidos grasos de cadena corta, lo que favorece la absorción de nutrientes en el intestino (He et al., 2021). Finalmente, el contenido de carbohidratos fue menor en la lenteja sin tratamiento ($p < 0.05$). Dentro de los carbohidratos presentes en la lenteja está el almidón, se considera que el almidón presente en la lenteja es almidón resistente que varía entre un 11.4 a 14.9% (Perera et al., 2010). Gandhi et al. (2022) reportan que el contenido de carbohidratos es entre 58 a 68 %, los carbohidratos de las lentejas de este trabajo son menores, lo cual puede deberse a las variedades estudiadas. Por otro lado, se menciona que los procesos de remojo y cocción incrementan el contenido de carbohidratos, en cambio la germinación los reduce entre 5 y 7% (Gandhi et al., 2022), en este trabajo, todos los procesos aplicados incrementaron el contenido de carbohidratos lo cual puede deberse a las condiciones aplicadas (tiempo y temperatura).

Tabla 6. Composición químico-proximal de semillas de lenteja sin tratamiento y tratadas por remojo y germinación^a.

Parámetro	Tratamientos			
	Sin tratamiento	Remojo	Germinado (3d)	Germinado (6d)
Agua (%)	9.94 ± 0.02a	6.69 ± 0.16b	7.42 ± 0.41b	6.86 ± 0.12b
Cenizas (% bs)	4.14 ± 0.46a	3.43 ± 0.12b	3.91 ± 0.14a,b	3.35 ± 0.14b
Grasa (% bs)	1.43 ± 0.10a	1.14 ± 0.05b	1.54 ± 0.15a	1.11 ± 0.03b
Proteína (% bs)	20.07 ± 0.10b,c	23.22 ± 0.36a	21.64 ± 0.50b	20.88 ± 0.10b
Fibra dietética total (% bs)	29.08 ± 1.00a	21.38 ± 1.18c	26.62 ± 0.24b	25.63 ± 0.35b
Carbohidratos*	35.34 ± 0.65d	44.15 ± 1.51a	38.87 ± 0.08c	42.16 ± 0.60b

^aPromedio ± desviación estándar. Letras diferentes en fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$). *Carbohidratos fueron calculados por diferencia.

8.3 Compuestos bioactivos en lenteja

La Tabla 7 muestra los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de las lentejas sin y con tratamientos de remojo y germinación. Se observa un alto contenido de compuestos fenólicos en la lenteja sin tratamiento, en cambio la aplicación de tratamientos de remojo y germinación de 3 y 6 d, redujeron 17.55%, 36.48% y 32.91% los compuestos fenólicos, respectivamente. Se ha reportado que el remojo en agua produce una reducción sustancial del contenido de fitatos, así como de otros AN como flavonoides, ácidos fenólicos, taninos y saponinas, la reducción de estas sustancias se puede deber a la interacción de los grupos funcionales hidroxilo con el agua, generando una lixiviación, lo que conduce a una reducción de los compuestos fenólicos (Kaale et al., 2022). Algunos de los compuestos fenólicos presentes en lenteja incluyen flavonoides, ácidos fenólicos, lignanos y estilbenos (Li et al., 2023). Gandhi et al. (2022) reportan que el contenido de compuestos fenólicos totales de lenteja cruda es de 100-400 mg EAG/100 g y que la aplicación de germinación incrementa en un 2% este valor, que se puede atribuir a que algunas enzimas endógenas se activan durante este proceso, provocando la liberación de fenoles, en este trabajo el contenido de compuestos fenólicos de la lenteja sin tratamiento es dos veces más que lo reportado, sin embargo, hay una reducción de los fenoles por el remojo y la germinación, al

respecto se ha reportado que el remojo disminuye el contenido de fenoles que podría deberse a la disolución de fenoles en el agua de remojo (Gandhi et al., 2022). A pesar de esto, el contenido de fenoles de la lenteja cruda de este trabajo es similar a lo reportado por Miyahira et al. (2022), quienes reportan 1196 mg EAG/100 g y 721.4 mg EAG/g para lenteja cruda y germinada, respectivamente.

Por otro lado, las lentejas presentan una actividad antioxidante relativamente mayor a la de otras leguminosas (Paranavitana et al., 2021). Se observó que la aplicación de los tratamientos tiene una afectación sobre la capacidad antioxidante de la lenteja ($p < 0.05$), esta reducción fue menor en la germinación de 6 d (6.05%), en cambio durante el remojo y la germinación de 3 días fue de 9.28% y 10.79%, respectivamente. Jamdar et al. (2017) reportan que, durante el remojo y cocción, los fenoles se lixivian, lo que afecta la capacidad antioxidante. En este trabajo las lentejas fueron sometidas a remojo previo lo que afectó su capacidad antioxidante.

Tabla 7. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de semillas de lenteja sin tratamiento y tratadas por remojo y germinación^a.

Parámetro	Tratamientos			
	Sin tratamiento	Remojo	Germinada (3d)	Germinada (6d)
Compuestos fenólicos (mg EAG/100 g)	1012.3 ± 65.8a	834.6 ± 50.4b	643.0 ± 26.7c	678.9 ± 99.1c
Capacidad antioxidante (mg Trolox/100 g)	1053.4 ± 34.9a	955.6 ± 28.9b	939.7 ± 31.8b	989.6 ± 8.1a,b

^aPromedio ± desviación estándar. Letras diferentes en fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

8.4 Análisis cualitativo de saponinas en lenteja

La Figura 4 muestra los resultados de la prueba cualitativa (presencia de espuma) de lenteja sin tratamiento (imagen de la derecha), y de los tratamientos de remojo y germinación. Se observa que hay más espuma en la lenteja sin tratamiento, lo cual era de esperarse debido a que como se ha mencionado, el uso de agua en los procesos aplicados tiene un efecto de reducción tanto de nutrientes como de AN. Gandhi et al. (2022) mencionan que el contenido de saponinas es mayor en lenteja cruda y que procesos como la cocción permiten una reducción hasta del 70% de las

saponinas, en este trabajo se observó que los tratamientos redujeron la formación de espuma, siendo más visible en la germinación de 6 d.

El contenido de saponinas varía de acuerdo con el cultivo, tipo de suelo, condiciones ambientales, así como técnicas de procesamiento y métodos de extracción (Mustafa et al., 2022).



Figura 4. Prueba de espuma para determinar la presencia de saponinas en lenteja.

8.5 Simulación gastrointestinal sobre los compuestos nutricionales y bioactivos en lenteja

La Figura 5 y 6 muestran el efecto de la simulación gastrointestinal sobre el contenido de cenizas y proteína en lenteja sin y con tratamientos, respectivamente. Se observa que el proceso de simulación gastrointestinal disminuyó el contenido de cenizas en todas las lentejas entre 28 a 40%, con un mayor efecto en la germinación de 6 d. Se ha reportado que el contenido de ciertos minerales como calcio, magnesio, hierro y zinc presentes en lenteja, se puede reducir durante la simulación gástrica, debido a compuestos AN como el ácido fítico, el cual presenta un grupo fosfato, que puede actuar como quelante con ciertos iones divalentes, reduciendo su contenido durante la simulación gastrointestinal (Vashishth et al., 2017). Además, otros AN pueden ligar iones divalentes, creando un complejo que es poco soluble en los fluidos gástricos, provocando se reduzcan durante este proceso (Ramírez-Ojeda et al., 2018).

Por otro lado, el contenido de proteína en lenteja también disminuyó durante la simulación gastrointestinal entre un 21 a 62%, con un mayor efecto en la

germinación de 6 d, la proteína es uno de los compuestos más importantes de la lenteja y su disminución puede deberse a la posible interacción de las proteínas con algunos AN como los taninos, estos pueden unirse a las proteínas formando complejos tanino-proteína que conducen a la baja digestibilidad de las proteínas, generalmente establecen un enlace entre el grupo carbonilo de las proteínas y el grupo OH de los taninos (Li et al., 2023), provocando que durante la simulación gástrica se reduzca su contenido.

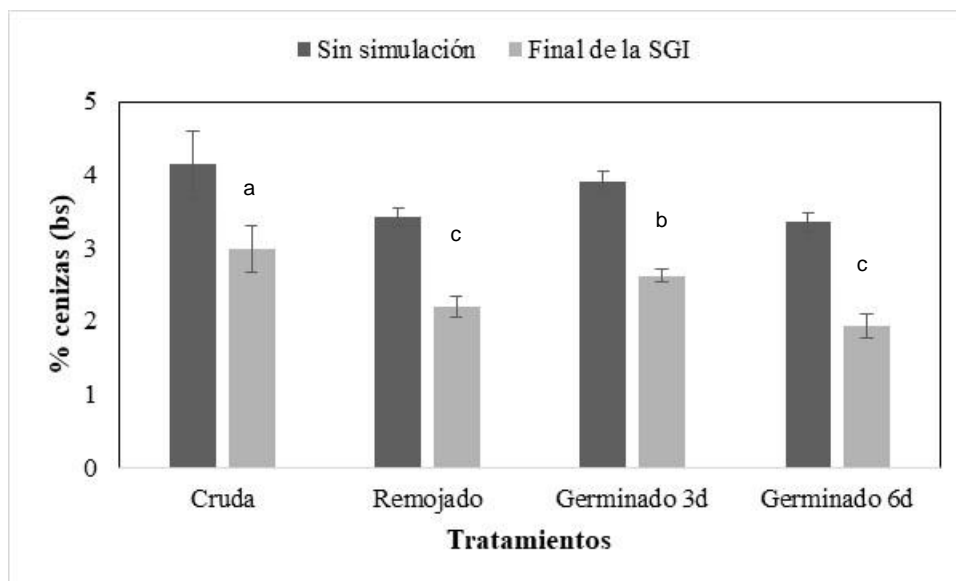


Figura 5. Efecto de la simulación gastrointestinal sobre el contenido de cenizas de semillas de lenteja sin y con tratamientos de remojo y germinado.

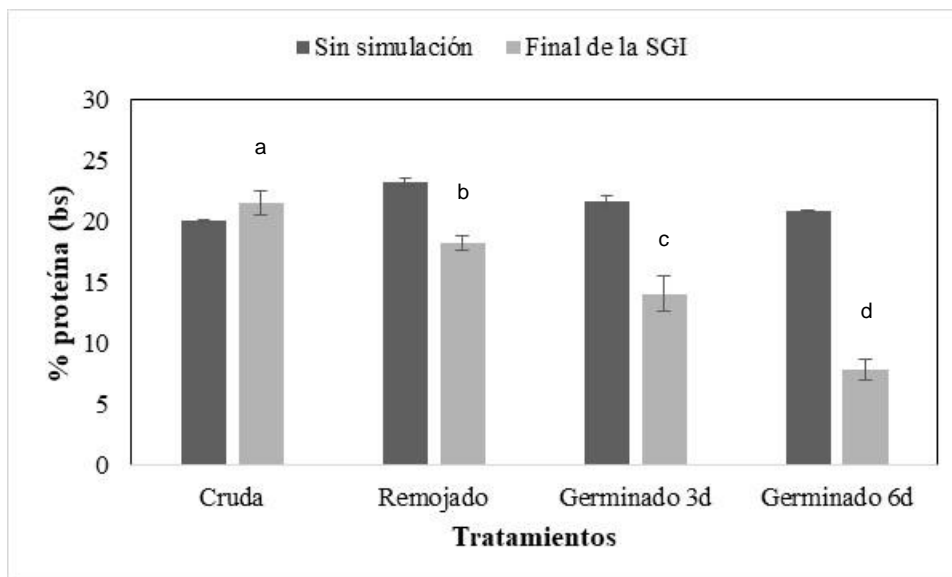


Figura 6. Efecto de la simulación gastrointestinal sobre el contenido de proteínas de semillas de lenteja sin y con tratamientos de remojo y germinado.

La Figura 7 muestran el efecto de la simulación gastrointestinal sobre el contenido de compuestos fenólicos de lentejas. Se observa diferencia estadística ($p < 0.05$) después del proceso de simulación en el remojo (reducción) y en la germinación de 3 d (incrementó), al respecto Miyahira et al. (2022) mencionan que la simulación incrementa el contenido de fenoles en lenteja germinada, la biodisponibilidad de los fenoles puede ser afectada por los cambios de pH de las soluciones (gástrica e intestinal) y que la transición de un ambiente ácido al neutrón, podría incrementar no solo los fenoles sino la capacidad antioxidante, en este sentido la Figura 8 muestra que la capacidad antioxidante de la lenteja sin tratamiento y tratada incrementó al final de la simulación, esto podría deberse a la desprotonación de los grupos hidroxilos de los anillos aromáticos de los compuestos bioactivos. Además, la adición de enzimas como la pepsina, produce una hidrólisis que contribuye a la liberación de compuestos con capacidad antioxidante presentes en la lenteja como los flavonoides, incrementando la capacidad antioxidante (Tomé-Sánchez et al., 2021).

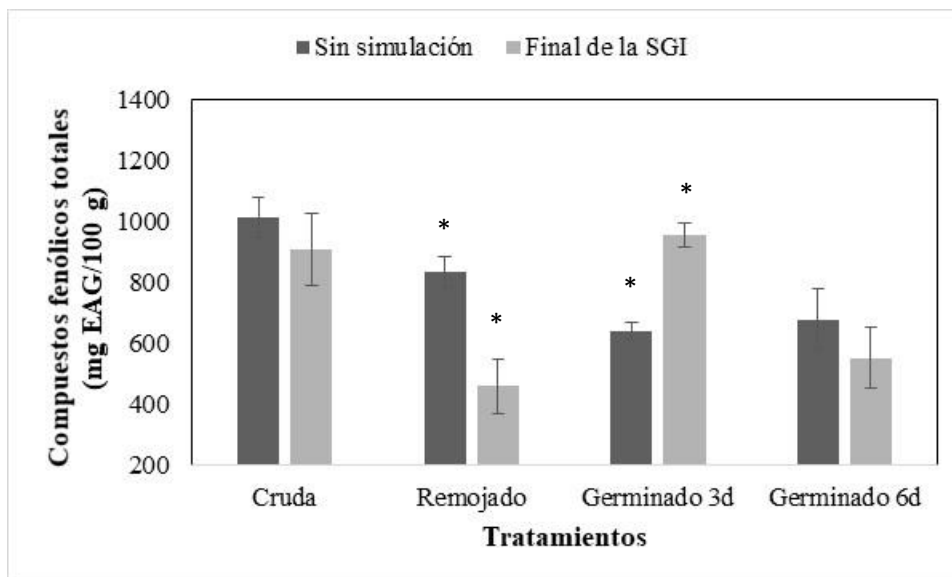


Figura 7. Efecto de la simulación gastrointestinal sobre el contenido de compuestos fenólicos de semillas de lenteja sin y con tratamientos de remojo y germinado.

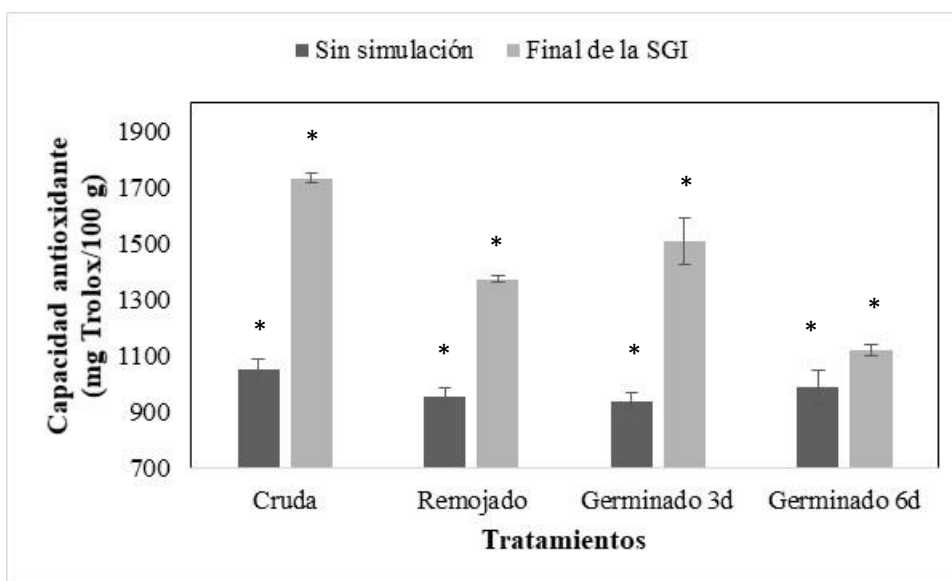


Figura 8. Efecto de la simulación gastrointestinal sobre la capacidad antioxidante de semillas de lenteja sin y con tratamientos de remojo y germinado.

8.6 Crecimiento de bacterias ácido-lácticas durante la fermentación

En la Figura 9 y 10 se presenta el crecimiento de *Lactobacillus rhamnosus* y *Lactobacillus acidophilus* en sistemas con lenteja sin y con tratamiento. En general ambos microorganismos crecieron en los sistemas de lenteja entre 7 y 8 ciclos logarítmicos (CL) al finalizar las 36 h, aunque hay un mayor crecimiento durante las

12 h en los sistemas de lenteja sin tratamiento y la de remojo con una población para *L. rhamnosus* de 8.12 y 8.18 CL, respectivamente y para *L. acidophilus* de 8.01 y 8.05 CL, respectivamente. Lo que significa que la lenteja tiene los nutrientes necesarios para que bacterias ácido-lácticas (BAL) puedan crecer, como se mencionó en la Tabla 6 la lenteja sin y con tratamientos contiene nutrientes como fibra dietética, proteína y carbohidratos, así como minerales, que fueron utilizados durante el proceso fermentativo.

Resultados similares fueron reportados por Torino et al. (2013), quienes realizaron fermentación con lenteja inoculada con *L. plantarum*, mostrando un crecimiento de 8.6 CL después de 48 h.

Cichónska y Ziarno (2022) mencionan que la fermentación de legumbres con BAL ha sido estudiado con mayor énfasis en la última década y a pesar de la variedad de alimentos que existen, consideran que las legumbres contienen sustancias consideradas prebióticas (oligosacáridos, almidón resistente, polifenoles e isoflavonas) que permiten que las BAL puedan crecer.

Por lo que, a pesar de la modificación en los compuestos nutricionales de la lenteja, por los tratamientos aplicados (remojo y germinación), estos son bastante útiles para que las BAL puedan aprovecharlas.

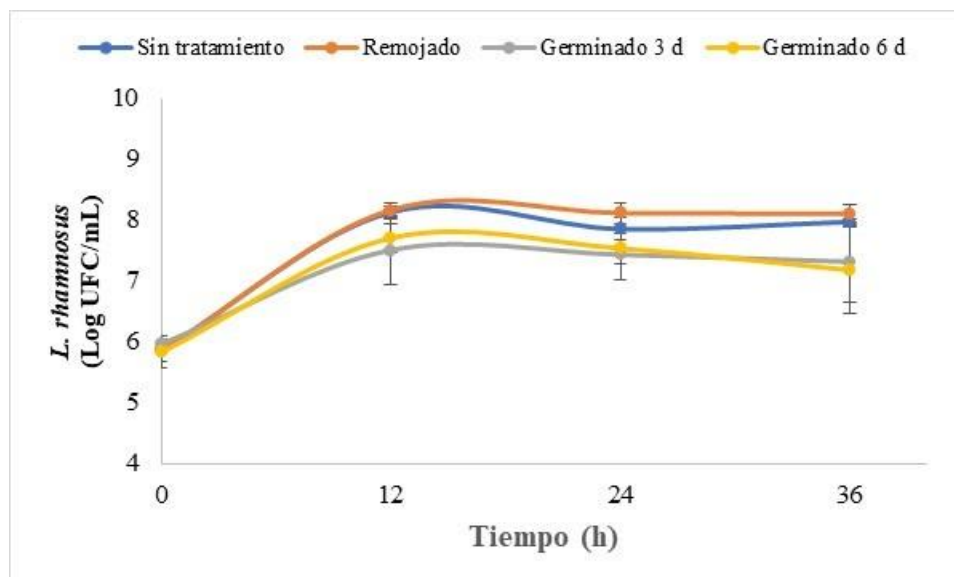


Figura 9. Crecimiento de *Lactobacillus rhamnosus* durante el proceso de fermentación de semillas de lenteja con tratamientos de remojo y germinado.

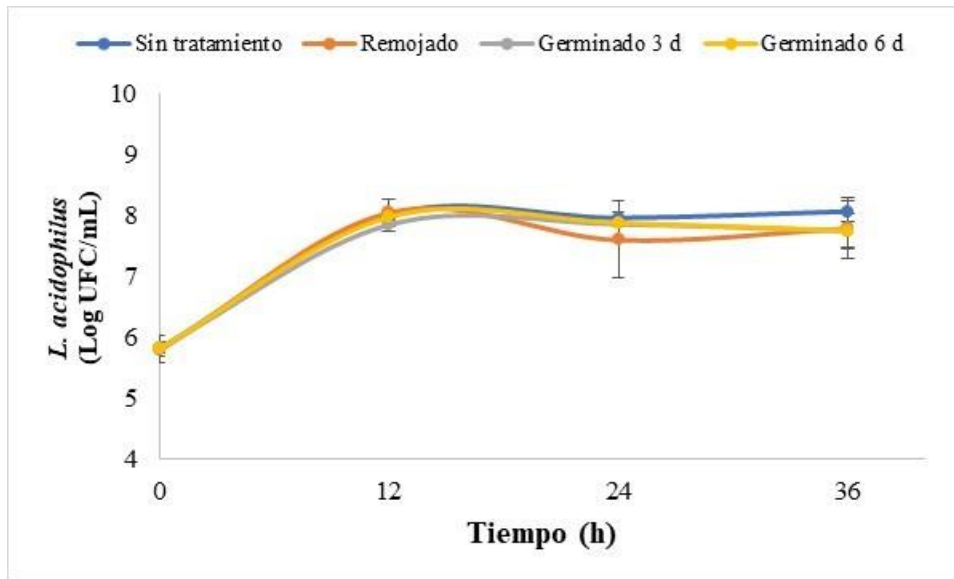


Figura 10. Crecimiento de *Lactobacillus acidophilus* durante el proceso de fermentación de semillas de lenteja con tratamientos de remojo y germinado.

8. CONCLUSIONES

- Los tratamientos aplicados remojo y germinación incrementaron el contenido de proteína y carbohidratos, sin embargo, los compuestos fenólicos disminuyeron, afectando la capacidad antioxidante de la lenteja.
- El proceso de simulación gastrointestinal reduce el contenido de cenizas y proteína (40 y 62%), respectivamente, sin embargo, la capacidad antioxidante incrementó hasta un 60%.
- La lenteja postratamientos fue útil para el crecimiento de tanto de *L. rhamnosus* como *L. acidophilus*, después de 36 h se obtuvo una población de 7 - 8 log (UFC/mL).
- La aplicación de tratamientos como el remojo y la germinación si bien afectan algunos compuestos nutricionales, son útiles para llevar a cabo el proceso de fermentación a partir de bacterias lácticas y con ello, ser utilizados en el desarrollo de alimentos.

9. RECOMENDACIONES

- Evaluar el contenido de fibra dietética después de la simulación gastrointestinal.
- Cuantificar el contenido de ácidos grasos de cadena corta después de la fermentación con bacterias lácticas.
- Analizar los minerales (hierro, calcio y zinc) en los diferentes tratamientos.
- Analizar cuantitativamente algunos antinutrientes como saponinas, lectinas, entre otros.

10. REFERENCIAS

- Alonso, B.O., Rovira, R.F., Vegas, C.A., Pedrosa, M.M. (2010). Papel de las leguminosas en la alimentación actual. *Actividad Dietética*. 14: 72-76.
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis of AOAC*. International 17th edition. Gaithersburg, MD. USA Association of Analytical Communities.
- Aparicio-Fernández, X., Vega-Ahuatzin, A., Ochoa-Velasco, C.E., Cid-Pérez, S., Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R. (2018). Physical and antioxidant characterization of edible films added with red prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) cv. San Martín peel and/or its aqueous extracts. *Food Bioprocess Technology*. 11: 368-379.
- Badui, D.S. (2016). *Química de los alimentos*. 4ta. Edición. Ed. Pearson. Pp. 31-47.
- Bewley, J.D., Bradford, K.J., Hilhorst, H.W.M., Nanogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination, and dormancy*. 3rd Edition. Springer. 4: 113-182.
- Carr, F.J., Chill, D., Maida, N. (2002). The lactic acid bacteria: a literature survey. *Critical Reviews in Microbiology*. 28: 281-370.
- Chelladurai, V., Erkinbaev, C. (2020). Lentils. In: *Pulses Processing and Product Development*. Eds. Manickavasagan, A., Thirunathan, P. Pp. 129-144.
- Cichónska, P., Ziarno, M. (2022). Legumes and legume-based beverages fermented with lactic acid bacteria as a potential carrier of probiotics and prebiotics. *Microorganisms*. 10: 91.
- Coda, R., Melama, L., Rizzello, C.G., Curiel, J.A., Sibakov, J., Holopainen, U., Pulkkinen, M., Sozer, N. (2015). Effect of air classification and fermentation by *Lactobacillus plantarum* VTT E-133328 on faba bean (*Vicia faba* L.) flour nutritional properties. *International Journal of Food Microbiology*. 193: 34-42.
- Colina Ramos, A.C. (2016). Análisis fitoquímico, determinación cualitativa y cuantitativa de flavonoides y taninos, actividad antioxidante, antimicrobiana

de las hojas de “Muehlenbeckia hastulata (J.E.Sm) I.M. Johnst” de la zona de Yucay (Cusco). Tesis de Química, Lima, Perú.

- Curiel, J.A., Coda, R., Centomani, I., Summo, C., Gobbetti, M., Rizzello, C. G. (2015). Exploitation of the nutritional and functional characteristics of traditional Italian legumes: the potential of sourdough fermentation. *International Journal of Food Microbiology*. 196: 51-61.
- Dhull, S.B., Kinabo, J., Mark, A. (2022). Nutrient profile and effect of processing methods on the composition and functional properties of lentils (*Lens culinaris* Medik): A review. *Legume Science*. 5:e156.
- Dhull, S.B., Punia, S., Kumar, R., Kumar, M., Nain, K.B., Jangra, K., Chudamani, C. (2021). Solid state fermentation of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*): Implications on bioactive compounds, mineral content, and in vitro bioavailability. *Journal of Food Science & Technology*. 58: 1-10.
- Duranti, M. (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*. 77: 67-82.
- Egli I.M. (2001). Traditional food processing methods to increase mineral bioavailability from cereal and legume based weaning foods. Tesis doctoral. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich (Suiza).
- Elizalde, A.D., Porrilla, Y.P., Chaparro, D.C. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. 7: 45-54.
- Escudero, Á.E., González, S.E. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*. 21: 61-72.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). Legumbres. 12-25.
- Ferrari, A., Vinderola, G., Weill, R. (2020). Alimentos fermentados: microbiología, nutrición, salud y cultura. 1a Ed. Asociación Civil Danone para la Nutrición, la Salud y la Calidad de Vida. 30-32.
- Gandhi, H., Toor, B.S., Kaur, A., Kaur, J. (2022). Effect of processing treatments on physicochemical, functional and thermal characteristics of lentils (*Lens culinaris*). *Journal of Food Measurement and Characterization*. 16: 4603-4614.

- González, G.C.A. (2000). Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble en algunas leguminosas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 50: 1-8.
- Grusak, M.A. (2009). Nutritional and health-beneficial quality. In: W. Erskine, F.J., Sarker, M.A., Sharma, B. (Eds.). The lentil: Bot-any, production and uses (Pp. 368-390). CABI.
- Ghumman, A., Kaur, A., Singh, N. (2016). Impact of germination on flour, protein and starch characteristics of lentil (*Lens culinaris*) and horsegram (*Macrotyloma uniflorum* L.) lines. LWT - Food Science and Technology. 65: 137-144.
- He, C., Sampers, I., Raes, K. (2021). Dietary fiber concentrates recovered from agro-industrial by-products: functional properties and application as physical carriers for probiotics. Food Hydrocolloids. 111, 106175.
- Hurrell, R.F. (2004). Phytic acid degradation as a means of improving iron absorption. International Journal for Vitamin and Nutrition Research. 74: 445-452.
- Jamdar, S.N., Rajalakshmi, D., Marathe, S.A. (2017). Effect of processing conditions and *in vitro* protein digestion on bioactive potentials of commonly consumed legumes. Food Bioscience. 20: 1-11.
- Joshi, M., Timilsena, Y., Adhikari, B. (2017). Global production, processing and utilization of lentil: A review. Journal of Integrative Agriculture. 16: 2898-2913.
- Kaale, L.D., Siddiq, M., Hooper, S. (2022). Lentil (*Lens culinaris* Medik) as nutrient-rich and versatile food legume: A review. Legume Science. 5: e169.
- Kathuria, D., Chavan, H.P., Jaiswal, A.K., Thakur, A., Dhiman, A.K (2023): A comprehensive review on sprouted seeds bioactives, the impact of novel processing techniques and health benefits. Food Reviews International. 1-29.
- Khazaei, H., Subedi, M., Nickerson, M., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., Vandenberg, A. (2019). Seed protein of lentils: current status, progress, and food applications. Foods. 8: 391.

- Knez, E., Kadac-Czapska, K., Grembecka, M. (2023). Effect of fermentation on the nutritional quality of the selected vegetables and legumes and their health effects. *Life*. 13: 655.
- Li, M., Xia, M., Imran, A., de Souza, T.S.P., Barrow, C., Dunshea, F., Suleria, H.A.R. (2023): Nutritional value, phytochemical potential, and biological activities in lentils (*Lens culinaris* Medik.): A Review. *Food Reviews International*. 1-31.
- Liu, S., Wang, W., Lu, H., Shu, Q., Zhang, Y., Chen, Q. (2022). New perspectives on physiological, biochemical and bioactive components during germination of edible seeds: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 123: 187-197.
- Martínez, M.E. (2019). Contenido de hierro, calcio y magnesio durante el proceso de producción de germinados de lentejas (*Lens culinaris*) bajo cultivo aeropónico. Universidad Nacional de Cuyo. Disponible en: https://economicas.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/13643/tesis-brom.-martinez-mara-eugenia-2019.pdf
- Mazi, B.G., Yildiz, D., Mazi, I.B. (2023). Influence of different soaking and drying treatments on antinutritional composition and technological characteristics of red and green lentil (*Lens culinaris* Medik.) flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 17: 3625-3643.
- Miyahira, R.F., Pena, F.L., Fabiano, G.A., Lopes, J.O., Ponte, L.G.S., Cunha, D.T., Bezerra, R.M.N., Antunes, A.E.C. (2022). Changes in phenolic compound and antioxidant activity of germinated broccoli, wheat, and lentils during simulated gastrointestinal digestion. *Plant Foods for Human Nutrition*. 77: 233-224.
- Mustafa, A.M., Abouelenein D., Acquaticci, L., Alessandrini, L., Angeloni, S., Borsetta, G., Caprioli, G., Nzekoue, F.K., Sagratini, G., Vittori, S. (2022). Polyphenols, saponins and phytosterols in lentils and their health benefits: An overview. *Pharmaceuticals*. 15:1225.
- Muzquiz, M., Pedrosa, M.M., Varela, E.A.J., Goyoaga, C., Cuadrado, C., Burbano, C. (2006). Factores no-nutritivos en fuentes proteicas de origen

vegetal. Su implicación en nutrición y salud. *Brazilian Journal of Food Technology*. 87-96.

- Navarrete, N.M., Hurtado, M.M.C., Lahuerta, J.J.M. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietética*. 12: 64-68.
- NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
- Olmedilla-Alonso, B., Mercedes, M.P, Rovir, F., Vegas, A.C. (2010). Papel de las leguminosas en la alimentación actual. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 14: 72-76.
- Özer, M.S., Kaya, F. (2010). Physical, chemical and physicochemical properties of some lentil varieties grown in Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 8: 610-613.
- Paravitana, L., Oh, W.Y., Yeo, J., Shahidi, F. (2021). Determination of soluble and insoluble-bound phenolic compounds in dehulled, whole, and hulls of green and black lentils using electrospray ionization (ESI)- MS/MS and their inhibition in DNA strand scission. *Food Chemistry*. 361: 130083.
- Perera, A., Meda, V., Tyler, R.T. (2010). Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Research International*. 43: 1959-1974.
- Pulse Canada. (2019). Pulses and protein quality. Disponible: <https://pulsecanada.com/uploads/resources/lentil-nutrient-tables.pdf>. Consultado: 15 octubre 2023.
- Ramírez-Ojeda, A.M., Moreno-Rojas, R., Cámara-Martos, F. (2018). Mineral and trace element content in legumes (lentils, chickpeas and beans): Bioaccessibility and probabilistic assessment of the dietary intake. *Journal of Food Composition and Analysis*. 73: 17-28.
- Ramírez Ramírez, J.C., Rosas Ulloa, P., Velázquez González, M.Y., Ulloa, J.A., Arce Romero, F. (2011). Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Revista Fuente*. 7: 1-15.

- SADR. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2015). Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/lenteja-simbolo-de-abundancia>. Consultada: 11 octubre 2023.
- Sáenz-Reyes, J.T., Muñoz-Flores, H.J., Ruíz-Rivas, M., Rueda-Sánchez, A., Castillo-Quiroz, D., Castillo-Reyes, F. (2022). Diagnóstico del cultivo de lenteja en unidades de producción familiar en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 27: 35-44
- Sánchez, L., Tromps, J. (2014). Caracterización *in vitro* de bacterias ácido-lácticas con potencial probiótico. *Revista de Salud Animal*. 36: 124-129.
- Tomé-Sánchez, I., Martín-Diana, A.B., Peñas, E., Frias, J., Rico, D., Jiménez-Pulido, I., Martínez-Villaluenga, C. (2021). Bioprocessed wheat ingredients: characterization, bioaccessibility of phenolic compounds, and bioactivity during *in vitro* digestion. *Frontiers in Plant Science*. 12: 790898.
- Torino, M.I., Limón, R.I., Martínez-Villaluenga, C., Mäkinen, S., Pihlanto, A., Vidal-Valverde, C., Frias, J. (2013). Antioxidant and antihypertensive properties of liquid and solid state fermented lentils. *Food Chemistry*. 136: 1030-1037.
- USDA. US Department of Agriculture. (2022). Food Data Central. Retrieved from: <https://fdc.nal.usda.gov/>
- Valencia, E.F., Donald, D.M., Cuyos, M., Dueñas, R. (2005). Extracción, identificación y evaluación de saponinas en *Agaricus bisporus*. *Biotempo*. 5: 31-36.
- Vashishth, A., Ram, S., Beniwal, V. (2017). Cereal phytases and their importance in improvement of micronutrients bioavailability. *3 Biotech*. 7: 42.
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*. 45: 271-278.
- Xia, M., Li, M., de Souza, T.S.P., Barrow, C., Dunshea F.R., Suleria H.A.R. (2023). Characterization of phenolic compounds in different lentil (*Lens culinaris* M.) samples and their antioxidant capacity. *Front Biosci*. 28: 44-50