



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**Calidad nutrimental y funcional de germinados de
lenteja (*Lens culinaris*).**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

**DIEGO ARMANDO MANCILLA
AGUIRRE.**

ASESOR:

DR. MARTÍNEZ MANRIQUE ENRIQUE

CO-ASESORA:

I.A. JIMÉNEZ VERA VERÓNICA



**UNAM
CUAUTILÁN**

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DEPARTAMENTO DE

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: DRA. MARIA DEL CARMEN VALDEERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: Tesis y examen profesional

Calidad nutrimental y funcional de germinados de lenteja (Lens culinaris).

Que presenta el pasante: Diego Armando Mancilla Aguirre
Con número de cuenta: 415065708 para obtener el título de: Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 16 de Junio de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Carolina Moreno Ramos	
VOCAL	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Manrique	
1er. SUPLENTE	Dra. María Guadalupe Sosa Herrera	
2do. SUPLENTE	M.N.H. Frida Rosalía Cornejo García	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional



**EL PRESENTE TRABAJO SE
REALIZÓ EN EL
LABORATORIO DE
BIOQUÍMICA Y FISIOLÓGIA
DE GRANOS DE LA FES-
CUAUTILÁN CON EL APOYO
DEL PROGRAMA PAPIME
CLAVE:200522 Y DEL
PROGRAMA DE CÁTEDRAS
DE INVESTIGACIÓN CI-2253**



AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a dios por la vida, por todo lo que soy se lo debo a Él, porque su amor y fidelidad me han llevado a lugares que jamás pensé alcanzar.

Gracias a mis padres **Francisco** y **Mayte** por su apoyo incondicional, por todo su amor, su ejemplo y sus enseñanzas, las cuales llevo escritas en lo profundo de mi corazón y han sido una guía para mi caminar. Este logro también es de ustedes.

Aunque muchas veces pareciera que estuviéramos peleando, hay momentos donde el fuego desaparece y nos unimos en una sola persona para poder alcanzar todos nuestros objetivos. Gracias no sólo por ser parte fundamental de este logro, sino también por todos aquellos momentos bonitos a lo largo de la vida. Gracias a mis hermanos **Laura** y **Paco**.

A mis sobrinos/as: **Lili**, **Yari**, **Manuel** y **Sofía**. Por ser parte fundamental en mi vida, motivación y alegrar mis días.

A la familia **Torres Jaimes** por el impulso y ese apoyo para iniciar mi vida universitaria en la CDMX.

A la **FES Cuautitlán** y sobre todo a la **UNAM**, por brindarme las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional y permitirme el honor de estudiar en esta máxima casa de estudios.

A mi asesor **Dr. Enrique Martínez Manrique**, por compartir sus conocimientos, brindarme ayuda siempre que lo requerí, por la confianza que tuvo en mí para poder concluir con esta etapa. Me quedo con todos los buenos momentos, las risas y convivios.

A mi co-asesora **I.A Verónica Jiménez Vera** por toda la ayuda técnica, así como los consejos y buenos momentos vividos en este tiempo.

A mis amigos de universidad: **Israel Saldaña** y **Dan Castillo** por haber recorrido juntos esta etapa de nuestras vidas en la que sin duda pasamos grandes momentos de los cuales recordaremos con una gran sonrisa, les deseo éxito profesional y personal.

¡Si se pudo, cochos!

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
1. ANTECEDENTES.....	4
1.1. Lenteja.....	4
1.1.1. Origen.....	4
1.1.2. Taxonomía.....	4
1.1.3. Partes de la semilla.....	5
1.1.4. Composición química.....	6
1.1.4.1. Carbohidratos.....	6
1.1.4.2. Lípidos.....	8
1.1.4.3. Fibra.....	8
1.1.4.4. Proteínas.....	8
1.1.4.5. Minerales.....	10
1.1.4.6. Vitaminas.....	10
1.1.5. Usos principales.....	11
1.1.6. Aspectos socioeconómicos.....	11
1.2. Germinación.....	12
1.2.1. Características de semillas germinadas.....	13
1.3. Alimentos funcionales.....	14
1.3.1. Germinados como alimentos funcionales.....	15
1.4. Calidad nutrimental.....	15
1.4.1. Digestibilidades <i>in vitro</i>	16
1.4.2. Digestibilidad <i>in vivo</i>	16
1.4.3. PER.....	16
1.4.4. Triptófano.....	17
1.5. Factores anti nutrimentales.....	18
1.5.1. Taninos.....	18
1.5.2. Inhibidores de tripsina.....	18
1.5.3. Ac. Fítico.....	19
1.6. Compuestos funcionales.....	20
1.6.1. Almidón total.....	20
1.6.2. Almidón resistente.....	20
1.6.3. Fibra dietética.....	22
1.6.4. Capacidad antioxidante.....	23
1.6.5. Fenoles.....	23
1.7. Importancia de germinados.....	24
2. OBJETIVOS.....	25
2.1. Objetivo general.....	25
2.2. Objetivos particulares.....	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. Cuadro metodológico.....	26
3.2. Actividades preliminares.....	27
3.2.1. Material biológico.....	27

3.2.2. Germinación de la semilla de lenteja.....	27
3.2.3. Medición de la plántula.....	28
3.2.4. Índice de conversión.....	29
3.2.5. Obtención de muestra seca.....	29
3.3. Análisis químico proximal (AQP).....	30
3.3.1. Determinación de humedad por el método rápido de la termobalanza.....	30
3.3.2. Determinación de humedad por el método de la estufa.....	31
3.3.3. Determinación de porcentaje de proteína por el método de Micro Kjeldahl.....	31
3.3.4. Determinación de porcentaje de lípidos o extracto étereo por extracción Soxhlet.....	32
3.3.5. Determinación de porcentaje de cenizas por el método de incineración.....	33
3.3.6. Determinación de fibra por el método de fibra cruda o Weende.....	33
3.3.7. Determinación de porcentaje de carbohidratos.....	34
3.4. Calidad nutrimental.....	34
3.4.1. Digestibilidad <i>in vitro</i>	34
3.4.2. Relación eficiencia proteica.....	35
3.4.3. Determinación de triptófano.....	36
3.4.4. Determinación de almidón total.....	37
3.4.5. Determinación de almidón digerible.....	37
3.5. Factores anti nutrimentales.....	37
3.5.1. Determinación de taninos.....	37
3.5.2. Determinación de ác. Fítico.....	38
3.5.3. Determinación de inhibidores de tripsina.....	38
3.6. Compuestos funcionales.....	39
3.6.1. Determinación de almidón resistente.....	39
3.6.2. Determinación de fibra dietética.....	40
3.6.3. Determinación de capacidad antioxidante.....	40
3.6.4. Determinación de compuestos fenólicos.....	41
3.7. Análisis estadístico.....	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1. Crecimiento de plántula e índice de conversión.....	42
4.2. Análisis químico proximal.....	43
4.3. Determinación del mejor tiempo de germinación.....	44
4.4. Calidad nutrimental: digestibilidad <i>in vitro</i> , contenido de triptófano, almidón total y almidón digerible.....	44
4.5. Compuestos funcionales: fibra dietética, almidón resistente, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos.....	45
4.6. Relación de eficiencia proteica y digestibilidad <i>in vivo</i>	47
4.7. Factores anti nutrimentales.....	47
5. CONCLUSIONES.....	49
6. REFERENCIAS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición química de la lenteja_____	7
Tabla 2.	Composición aminoacídica en lenteja y requerimientos por la FAO. Patrón recomendado (mg AA/g proteína) _____	9
Tabla 3.	Minerales presentes en la semilla de lenteja_____	10
Tabla 4.	Vitaminas presentes en la semilla de lenteja_____	11
Tabla 5.	Calidad nutrimental presente en la semilla de lenteja_____	17
Tabla 6.	Factores anti nutrimentales presentes en la semilla de lenteja_____	19
Tabla 7.	Valores registrados de compuestos funcionales presentes en la semilla de lenteja_____	24
Tabla 8.	Características del germinado de lenteja (<i>Lens culinaris</i>) indicadas por su índice de conversión y tamaños de plántula a los diferentes tiempos de germinación_____	42
Tabla 9.	Análisis químico proximal de germinados de lenteja (<i>Lens culinaris</i>) _____	43
Tabla 10.	Resultados de digestibilidad in vitro, contenido de triptófano, almidón total y almidón digerible de germinados de 3 días de lenteja (<i>Lens culinaris</i>)_____	44
Tabla 11.	Resultados de fibra dietética y almidón resistente de germinados de 3 días de lenteja (<i>Lens culinaris</i>)_____	45
Tabla 12.	Resultados de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de germinados de 3 días de lenteja (<i>Lens culinaris</i>) _____	46
Tabla 13.	Resultados de digestibilidad aparente y eficiencia proteica en germinados de 3 días de lenteja (<i>Lens culinaris</i>)_____	47
Tabla 14.	Resultados de factores anti nutrimentales de la semilla de lenteja y germinados de lenteja (<i>Lens Culinaris</i>) _____	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la planta de lentejas especie <i>Lens culinaris</i> _____	4
Figura 2. Planta de lenteja_____	5
Figura 3. Estructura de la semilla de lenteja_____	6
Figura 4. Estructura del AR tipo I_____	21
Figura 5. Estructura del AR tipo II_____	21
Figura 6. AR tipo III formado por amilosa en solución_____	22
Figura 7. Semillas de lenteja pesadas y en desinfección_____	27
Figura 8. Semillas de lenteja en remojo_____	27
Figura 9. Esparcimiento de semillas_____	28
Figura 10. Germinación de la semilla de lenteja_____	28
Figura 11. Medición de plántula de 3 días de germinación_____	28
Figura 12. Peso del germinado de lenteja_____	29
Figura 13. Germinados secando en horno_____	29
Figura 14. Determinación de humedad en termobalanza_____	30

Resumen.

La lenteja es una leguminosa que se fue extendiendo a lo largo de la historia por los cinco continentes, cultivándose desde las zonas frías a regiones tropicales. En nuestro país se suele usar la lenteja como sopa principal para acompañar platillos fuertes y también es utilizada en diferentes tipos de ensaladas, al ser un grano con alto contenido nutrimental, una forma de diversificar su consumo y aumentar aún más su contenido nutrimental podría ser la obtención de germinados. Los germinados son alimentos vivos ricos en enzimas, clorofila, aminoácidos, minerales, vitaminas y oligoelementos que los convierte en alimentos completos. Los germinados aumentan su riqueza nutricional conforme se desarrollan hasta alcanzar un nivel óptimo, es por eso por lo que en el presente proyecto se evaluó el efecto de la germinación de semillas de lenteja (*Lens culinaris L.*) sobre su calidad nutrimental y funcional al compararlo con el grano sin germinar. En primer lugar, se determinaron las condiciones de germinación de lenteja (*Lens culinaris L.*) mediante la medición del crecimiento de plántula y el índice de conversión en germinados de 3, 4, 5 y 6 días a 25 °C en ausencia de luz. Se tuvo un incremento en el tamaño de plántula y el índice de conversión en relación directa con el tiempo de germinación. Una vez establecidas las condiciones de germinación, se procedió a evaluar el efecto que tuvo el tiempo de germinación sobre su composición química mediante un análisis químico proximal (AQP) y un análisis sensorial, con estos resultados se seleccionó el mejor tiempo de germinación. Los resultados obtenidos indicaron que el mejor tiempo de germinación fue de 3 días, ya que el germinado presentaba un buen crecimiento de plántula e índice de conversión en comparación con los demás días de germinación, además se obtuvieron los mayores porcentajes de proteínas, fibra y lípidos. Posteriormente se evaluaron la calidad nutrimental (digestibilidad *in vitro*, contenido de triptófano, almidón total y almidón digerible), compuestos funcionales (fibra dietética, almidón resistente, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos) y factores antinutrimientales (taninos, ac. fítico, inhibidores de tripsina) a la muestra seleccionada y a la semilla. La evaluación de la calidad nutrimental mostró una digestibilidad constante y un valor de triptófano mayor, disminución de almidón total y aumento de almidón digerible en el germinado comparado con la semilla. Para los compuestos funcionales, aumentó la fibra dietética y disminuyó el almidón resistente, mientras que para la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos se obtuvo un incremento en el germinado comparado con la semilla. Los factores antinutrimientales, taninos y ácido fítico fueron disminuyendo y los valores de inhibidores de tripsina no se detectaron. Por lo que se puede decir que la germinación mejoró la calidad nutrimental de la semilla y puede ser una opción diferente para el consumo de este alimento.

Introducción.

El cultivo de la lenteja se remonta a los orígenes de la agricultura en Asia menor, hace prácticamente 8.000 ó 9.000 años, durante el Neolítico. Durante el imperio Romano, estas legumbres se secaban para poder conservarlas durante más tiempo y elaborar ricos potajes durante todo el año (SADER, 2015). Desde el punto de vista nutricional, la lenteja, al igual que otras leguminosas, son un alimento adecuado para incluirlo en el concepto de dieta saludable, como la conocida mediterránea, ya que no solo son fuente de proteína sino también de hidratos de carbono complejos y fibra. En México existen diferentes variedades de lenteja, pero la más consumida es la *Lens culinaris*, la cual tiene alto porcentaje de proteína y su calidad es sobresaliente por su alto contenido de lisina. También poseen un bajo contenido de lípidos, el contenido de vitaminas destaca por la presencia de tiamina, niacina, folatos y vitamina B₆. Una ración de lentejas cubre el 29% de la ingesta recomendada de proteínas. También es importante su contenido de fibra soluble e insoluble (aunque en menor concentración que en otras leguminosas) lo que favorece el tránsito intestinal y ayuda a combatir el estreñimiento. Las lentejas son fuente de hierro no hemo, magnesio, zinc, potasio, fósforo y selenio (Moreiras y Carbajal., 2013).

Por otro lado, los germinados son alimentos vivos y esto aumenta su valor nutricional que se mantiene intacto hasta el momento en que se come. Su riqueza en enzimas, clorofila, aminoácidos, minerales, vitaminas y oligoelementos vivos los convierte en alimentos completos que contribuyen a corregir las carencias de la alimentación moderna. Al germinar, muchas semillas de cereales o leguminosas se convierten en un alimento fácilmente asimilable porque liberan los nutrientes encapsulados y mejoran el valor nutricional de la propia semilla (Miras, 2014).

Los germinados son ampliamente consumidos en países orientales y europeos desde la antigüedad y han mostrado tener un efecto benéfico sobre la salud al reducir el riesgo de adquirir enfermedades e incrementar la longevidad (Salas-Pérez *et al.*, 2018).

Una alimentación y nutrición adecuada son la base para la supervivencia, la salud y el crecimiento del ser humano. La desnutrición a largo plazo tiene efectos negativos sobre el desarrollo cognoscitivo y motor, la inmunidad y tal vez la incidencia de enfermedades crónico-degenerativas. En el ámbito internacional se ha estimado que 178 millones de niños menores de cinco años en el mundo sufren de desnutrición crónica (baja talla para la edad), la cual es responsable del 35% (3.5 millones) de muertes en este grupo de edad (Black, 2008). En México, 1.5 millones de niños la padecen y es más prevalente en la región sur (19.2%) así como en las zonas con población indígena (Gutiérrez y Álvarez del Río., 2012).

Aunque existen numerosos estudios sobre la ventaja del consumo de germinados (Zhu *et al.*, 2005; Miras ,2014); son pocos los que tratan sobre la variación del valor

nutricional durante la germinación. Por lo tanto, el objetivo de este estudio será evaluar el efecto de la germinación de semillas de lenteja (*Lens culinaris L.*) sobre su calidad nutrimental y funcional.

Para lograrlo se evaluará la germinación de semillas de lenteja (*Lens culinaris L.*) durante 2, 3, 4, 5 y 6 días a 25 °C en ausencia de luz para determinar las mejores condiciones de germinación, posteriormente se evaluará en muestras secas y molidas el efecto que tenga el tiempo de germinación sobre su calidad bromatológica, mediante un análisis químico proximal se determinará el mejor tiempo de germinación. A la muestra seleccionada se le determinará digestibilidad *in vitro* e *in vivo*, índice de eficiencia proteica (PER), contenido de triptófano, almidón total y almidón digerible, y factores anti nutrimentales (taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina). De igual forma se determinarán los compuestos funcionales (fenoles, capacidad antioxidante, fibra dietética y almidón resistente) para concluir si la germinación mejora su calidad nutrimental y funcional en comparación con la semilla.

1. ANTECEDENTES

1.1. Lenteja (*Lens culinaris*)

1.1.1. Origen

La lenteja (*Lens culinaris*) fue una de las primeras especies vegetales domesticadas en el Creciente Fértil, habiéndose extendido a lo largo de la historia por los cinco continentes y por gran diversidad de ambientes, cultivándose desde zonas frías a regiones tropicales (Pérez de la Vega *et al.*, 2011). Ha llegado a constituirse como un cultivo de gran interés por ser un alimento rico en proteínas o por su afamada riqueza en hierro. Hoy en día la lenteja es altamente valorada al constituir un alimento fundamental de la dieta mediterránea (Muzquis, 1997).

Según los restos arqueológicos encontrados, se considera a la lenteja como una de aquellas especies que nuestros ancestros, junto con el trigo, guisante y cebada, comenzaron a cultivar. Esto ocurrió después del frío periodo conocido como "Younger Dryas" (aprox. 10,700-9,500 años a.C.), en una pequeña región situada entre el Norte de Siria y el Sureste de Turquía, cerca del nacimiento de los ríos Tigris y Éufrates, y considerada la auténtica cuna de la agricultura (Lev-Yadun *et al.*, 2000).

1.1.2. Taxonomía

Es una planta (Figura 1) herbácea que pertenece a la familia de las Papilionáceas. Necesitan un clima templado, mide de 15 a 75 cm de altura con tallo corto, débil y ramificado. Hojas paripinadas, con zarcillos, folíolos pequeños ovales sin peciolo alargados. Las flores pueden estar solas o en racimos, pueden ser blancas, rosas, rojas o violetas, etc. Las vainas son lisas, comprimidas de entre 1.5 y 2 centímetros de longitud; conteniendo dos semillas aplanadas de medio centímetro aproximadamente (Aykroyd y Doughty, 1964; Guerrero, 1999; Kay, 1979).



Figura 1. Morfología de la planta de lentejas especie *Lens culinaris*.
Fuente: Thomé, 1885.

Los frutos son simples, dehiscentes y monocarpelares. Tienen dos lados atravesados por un nervio. Se abren por la línea de sutura del carpelo (Strasburger *et al.*, 1994). La vaina mide entre 6 y 20 milímetros de longitud y de 2 a 12 milímetros de ancho, conteniendo dos o tres semillas en su interior (Franco y Ramos, 1996). Siendo variable el tamaño del fruto y semilla en función de la variedad (Figura 2).



Figura 2. Planta de lenteja.
Fuente: Kenneth *et al.*, 2009

1.1.3. Partes de la semilla

La estructura de la semilla de la lenteja es similar a la de las demás leguminosas grano (Aykroyd *et al.*, 1982), pero su envoltura es más delgada (Hughes y Swanson, 1986).

Los componentes básicos de la semilla de lenteja son tres: la envoltura (8%); cotiledones (90%) y embrión (2%), incluyendo la radícula, plúmula y eje embrionario (Bhatty, 1988).

La envoltura se divide en dos capas, testa o envoltura externa y tegmen o envoltura interna las cuales se indican en la figura 3. La radícula contiene el embrión, el cual tomará las sustancias necesarias para su desarrollo del cotiledón. El cotiledón está constituido mayoritariamente por almidón. La plúmula es la parte desde la que se formarán el tallo y las primeras hojas de la lenteja.

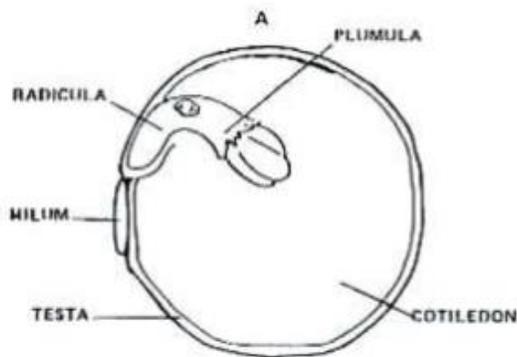


Figura 3. Estructura de la semilla de lenteja.
Fuente: Lamarck,1909.

1.1.4. Composición química

La composición química de la lenteja, al igual que la de otras leguminosas, hace de ellas un alimento adecuado para incluirlo en el concepto de dieta saludable, como la conocida mediterránea, ya que no solo son fuente de proteína sino también de hidratos de carbono complejos y fibra. Tradicionalmente han sido valoradas como fuente de energía, proteínas y hierro: poseen un contenido entre 43-75% de carbohidratos y 16-31% de proteínas (Grusack,2009). Este hecho hace que se haya constituido en un elemento importante en la dieta en muchas partes del mundo, como en el sur de Asia donde una gran parte de la población es vegetariana, constituyendo la lenteja una de sus principales fuentes de aporte proteico (Sigh 1999). El contenido de lípidos es bajo, predominando claramente el contenido de grasas insaturadas sobre las saturadas (Urbano *et al.*,2007).

La Tabla 1 muestra la composición química de la lenteja, su aporte energético y el contenido de algunos minerales y el contenido de algunos minerales y vitaminas presentes.

1.1.4.1. Hidratos de carbono

Los glúcidos poseen el mayor porcentaje en la composición química de las lentejas. Su cantidad puede variar entre el 43% al 70% (Yadav *et al.*,2007). Existen estudios más recientes que sitúan la cantidad de estos entre 54% para (Moreiras y Carbajal.,2013) y un 61.22% por (Morales *et al.*, 2016).

La parte de la semilla más abundante es el cotiledón, el cual está formado mayoritariamente por almidón, siendo este uno de los componentes mayoritarios llegando a constituir entre el 41.5% y 46.5% (Wang y Daun,2006).

Tabla 1. Composición química de la lenteja.

Composición de la semilla de lenteja seca	
Contenido energético de 100 g de porción comestible KJ:1.337, Kcal:315.	
Componente	
Proteínas (g)	23.8
Lípidos totales (g)	1.8
Hidratos de carbono (g)	54.0
Fibra (g)	11.7
Agua (g)	8.7
Calcio (mg)	56.0
Hierro (mg)	7.1
Yodo (µg)	2.0
Magnesio (mg)	78.0
Zinc (mg)	3.1
Sodio (mg)	12.0
Potasio (mg)	737.0
Fósforo (mg)	240.0
Selenio (µg)	9.9
Tiamina (mg)	0.5
Riboflavina (mg)	0.2
Equivalentes niacina (mg)	5.6
Vitamina B6 (mg)	0.6
Folatos (µg)	35.0
Vitamina C (mg)	3.0
Vitamina A: eq retinol (µg)	10.0

(Moreiras, 2003).

El almidón está compuesto por amilosa y amilopectina, dos polisacáridos. En lentejas, el contenido de amilosa varía entre 20.7% y el 45.5%, dependiendo de las condiciones del cultivo y la variedad analizada. El contenido de amilopectina es inversamente proporcional al de la amilosa.

Además del almidón, aparecen otros hidratos de carbono como monosacáridos, disacáridos, trisacáridos y oligosacáridos que pueden variar desde el 5% hasta el 9% (Bhatty, 1988). Los azúcares libres mayoritarios son rafinosa y estaquiosa (Newman,1984). La rafinosa es parcialmente causante de flatulencias por el consumo de lentejas, ya que el sistema digestivo de los humanos no contiene la enzima α -galactosidasa indispensable para su digestión. Esto produce que, a la llegada de las lentejas al intestino, la rafinosa se degradada por bacterias, que la descompone y fermenta anaeróbicamente produciendo metano.

1.1.4.2. Lípidos

Las lentejas, como el resto de las legumbres, poseen un contenido bajo en grasas. Los datos de Moreiras y Carbajal., (2013) señalan un contenido en lípidos del 1.8%.

El contenido de lípidos se ve afectado por la variedad y condiciones ambientales. El 90% de la fracción lipídica se encuentra en los cotiledones, el 6% en el embrión y el 2% en la envoltura de la semilla Singh *et al.*, (1968) y son mayoritariamente triglicéridos ante los lípidos conjugados (glucolípidos y fosfolípidos). (Bhatty,1988)

1.1.4.3. Fibra

La cantidad de fibra dietética total varía entre el 11% y el 26.90% de la composición total Yadav *et al.*, (2007), situándose para Moreiras y Carbajal., (2013) en el 11.7%, valor que se encuentra en la parte baja del intervalo antes citado. La fibra dietética está formada por la suma de fibra soluble y la fibra insoluble.

La fibra insoluble está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina; variando entre el 92% y el 100% de la fibra dietética (Almedia,2006). La celulosa, hemicelulosa y lignina no tienen propiedades nutricionales, pero actúan favoreciendo el tránsito intestinal.

La fibra soluble está formada por pectinas, gomas, mucilagos, y oligosacáridos no digeribles, y como se ha expuesto anteriormente su contenido es mínimo.

1.1.4.4. Proteínas

Las proteínas son el segundo compuesto mayoritario por detrás de los hidratos de carbono con un intervalo del 28% al 32.1% de la composición total de la lenteja (Bhatty,1988). Moreiras y Carbajal., (2013) estiman el contenido de proteínas en un 23.8% un dato más bajo que el antes expuesto. Las legumbres se caracterizan por

un contenido en proteínas elevado respecto al resto de vegetales, siendo importantes en una dieta equilibrada.

La proteína no se distribuye equitativamente en las diferentes partes de la lenteja. El 90% se encuentra en los cotiledones, el 5% en el embrión y el 4% en la cubierta (Singh,1968).

La proteína mayoritaria es la globulina, con casi el 70% del total. Seguida de las gluteninas que varían entre el 10% y el 20%, y de las albuminas con un intervalo del 10% hasta el 20% (Singh,1968).

El contenido de aminoácidos varía según el tipo y las condiciones ambientales. Cabe destacar el alto nivel de lisina en las lentejas, aminoácido esencial. Por otro lado, el contenido en metionina y cisteína es bajo, sin llegar a el aporte necesario en la dieta humana.

La Tabla 2 muestra la composición aminoacídica presente en la lenteja, con respecto a lo recomendado por la FAO, (2002).

Tabla 2. Composición aminoacídica en lenteja y requerimientos por la FAO. Patrón recomendado (mg AA/g proteína).

AMINOÁCIDOS	LENTEJA	FAO
Histidina	27.4	15
Isoleucina	--	30
Leucina	--	59
Lisina	71.84	45
Metionina	8	16
Cisteína	57	6
Metionina+cisteína	17.12	22
Treonina	39.69	23
Triptófano	9.8	6
Valina	--	39

Fuentes: FAO,2002; Villacreces *et al.*, 2017

1.1.4.5. Minerales

El contenido de minerales es variable. Los micronutrientes presentes son potasio, fósforo, calcio, magnesio y sodio; y los principales micronutrientes son hierro, zinc, cobre o manganeso.

Aunque el contenido en micronutrientes cambie según el estudio, lo que se mantiene constante con todos los estudios revisados es el orden de los 4 minerales mayoritarios; siendo el potasio el mineral mayoritario, seguido del fósforo, magnesio y calcio (Wang y Daun, 2006; Moreiras y Carbajal., 2013).

En las lentejas casi el total de fósforo y la mayoría del calcio y del hierro se encuentra en los cotiledones (Singh *et al.*, 1968).

En la Tabla 3 se indican los minerales presentes en la semilla de lenteja (*Lens culinaris*).

Tabla 3. Minerales presentes en la semilla de lenteja.

Mineral	Por 100 g de porción comestible.
Calcio	56 mg
Hierro	7.1 mg
Yodo	2 µg
Magnesio	78 mg
Zinc	3.1 mg
Sodio	12 mg
Potasio	737 mg
Fósforo	240 mg
Selenio	9.9 µg

Fuente: Moreiras y Carbajal., 2013

1.1.4.6. Vitaminas

El ácido fólico destaca notablemente entre las vitaminas que contiene la lenteja, que son las vitaminas C, B₃, ácido panoténico, B₆, B₂, B₁ biotina, vitamina E, colina, vitamina A, K y D (Grusack, 2009). Con la excepción de las dos primeras, el resto de las vitaminas aumentan marcadamente su contenido durante la germinación, justificando así su consumo en forma de brotes germinados (Yadav *et al.*, 2007).

Respecto a los minerales, no sólo presentan alto contenido en hierro como bien afirma la cultura popular, sino que son una fuente importante de otros minerales esenciales en la dieta como calcio, potasio, fósforo y cinc (Grusack, 2009) (Tabla 4).

Tabla 4. Vitaminas presentes en la semilla de lenteja.

Vitamina	Por 100 g de porción comestible
Tiamina	0.5 mg
Riboflavina	0.2 mg
Equivalentes niacina	5.6 mg
Vitamina B ₆	0.6 mg
Folatos	35 µg
Vitamina B ₁₂	0 µg
Vitamina C	3 mg
Vitamina A: Eq. Retinol	10 µg
Vitamina D	0 µg
Vitamina E (mg)	- mg

Fuente: Moreiras y Carbajal, 2013.

1.1.5. Usos principales

El principal uso que se hace de la lenteja es en la alimentación humana. Al respecto, el tipo de lenteja y las formas de preparación ya sean cocidas, fritas, en ensalada, precocinadas o incluso en forma de brotes, varían según regiones y culturas (Pérez de la Vega *et al.*, 2011).

Las lentejas son especialmente importantes en la dieta de los grupos de población de bajos recursos en los países de desarrollo, debido a que representan un sustituto en el consumo de proteínas de origen pecuario y pesquero (Financiera Rural, 2010).

1.1.6. Aspectos socioeconómicos

Una de las ventajas que tiene producir lenteja es que esta crece en una amplia gama de suelos, desde los más ligeros a los más pesados, con pH comprendido entre 5.5 a 9.0 (FAO, 2000).

El consumo de lenteja en México es menor en comparación con otras leguminosas, especialmente el frijol. Además, no existen variante para su preparación y/o procesamiento que permiten aumentar su consumo y aprovechamiento. Así pues, es necesario implementar alternativas que promuevan el consumo de lentejas y sus derivados.

Una buena opción para aumentar el consumo de semillas de lenteja sería por medio de germinación ya que es considerado un proceso económico, y fácil de hacer. Además de aportar mayor porcentaje de nutrientes y tener un sabor agradable para los consumidores (El economista, 2016).

En México, el consumo de germinados se reduce a una pequeña cantidad, ya que sólo se distribuye en las tiendas naturistas y aún adentro de la población no se tiene el hábito de consumo. Esto puede deberse a que existe poca información sobre la preparación de este tipo de alimentos, ya que los germinados proceden del continente asiático.

Un prerequisite para la producción de germinados es la obtención de los parámetros técnicos necesarios para el desarrollo de sistemas eficientes de producción; y con ello, tener un aprovechamiento óptimo de especies como frijol mungo (*Vigna radiata*) y calabaza pipiana (*cucúrbita argyrosperma*), las cuales tienen un gran valor nutricional (Ramos-Aguilar *et al.*,2006).

1.2. Germinación

La germinación es el proceso fisiológico mediante el cual emergen y desarrollan, a partir del embrión, las estructuras esenciales para la formación de una planta normal (Delouche, 2002). Este proceso inicia con una variedad de actividades anabólicas y catabólicas, como la respiración, la síntesis de proteínas y la movilización de las reservas después de la absorción de agua (Desai, 2004).

Durante la germinación se producen diferentes cambios en la distribución de metabolitos secundarios, movilización de las proteínas de reserva que están almacenadas en los cuerpos proteicos de los cotiledones y cambios en la composición de aminoácidos soluble. El tiempo y las condiciones de la germinación tales como la luz y temperatura son factores determinantes en el desarrollo del olor y sabor en las semillas germinadas y en el contenido de humedad de la semilla germinada. A su vez, la humedad determina cambios físicos y químicos tales como la composición de los carbohidratos solubles, cantidad de fitatos y alcaloides y niveles de vitamina C, cambios estos que modifican el valor nutritivo y por consiguiente el carácter de alimento funcional de las leguminosas (Dávila *et al.*, 2003).

Fases de germinación:

- Imbibición (absorción de humedad)

Reactivación del metabolismo embrionario que se encuentra latente al entrar en contacto con el agua (humedad), se inicia la respiración e intercambio gaseoso de semilla (Rodríguez, 2003).

- Movilización de nutrientes

Cuando la semilla tiene cierto volumen (hinchazón) a causa de la humedad absorbida, se inicia la actividad enzimática donde los almidones son transformados en azúcares, y los lípidos y proteínas son metabolizados, siendo estos últimos nutrientes conformados por aminoácidos. El intercambio gaseoso es constante y la energía es disponible para el embrión (Rodríguez, 2003).

- Crecimiento (dirección de tejidos)

La actividad enzimática y la disponibilidad de energía inician un acelerado crecimiento celular, dando origen a las primeras estructuras diferenciadas. Estas son la radícula (raíz) y la plúmula (tallo) (Rodríguez, 2003).

Durante la germinación se producen diferentes cambios en la distribución de metabolitos secundarios, movilización de las proteínas de reserva que están almacenadas en los cuerpos proteicos de los cotiledones cambios en la composición de aminoácidos solubles (Sathe *et al.*,1983). El tiempo y las condiciones de germinación tales como la luz y temperatura son factores determinantes en el desarrollo del olor y sabor en las semillas germinadas (Vanderstoep, 1981) y en el contenido de humedad de la semilla germinada. A su vez, la humedad determina cambios físicos y químicos tales como la composición de los carbohidratos solubles, cantidad de fitatos y alcaloides (Vidal-Valverde *et al.*,1994) y niveles de vitamina C.

1.2.1. Características de germinados.

Cualquier semilla de leguminosa o grano de cereal puede ser germinado, aunque, los más apreciados por su textura y buen sabor son los germinados de: legumbres (frijoles mung, soya, alfalfa), cereales (trigo, cebada) y también de berro, rábano, calabaza, girasol, linaza, sésamo, etc. El sabor es variable, por ejemplo, el de alfalfa es muy agradable, el de la mostaza es el más picante y el de trigo tiene sabor dulce por los carbohidratos que contiene. A continuación, se mencionan algunas características de diferentes germinados (Miras, 2014):

- Alfalfa: completo y más consumido por su agradable sabor. Contiene vitaminas A, B, C, E y K, calcio, magnesio, potasio, hierro, selenio y zinc y los aminoácidos más importantes. Es restaurador de minerales, combate la fatiga y la debilidad.
- Arroz integral: es rico en vitamina B, fósforo, potasio, magnesio, sodio, calcio y silicio. Ayuda a la adecuada conservación de huesos y dientes.
- Chícharos: proporcionan clorofila, proteínas, carbohidratos, fibra, vitamina A, hierro, potasio y magnesio.
- Avena: La semilla germinada más recomendada para los trastornos nerviosos, depresiones y alteraciones del sueño. Contiene vitaminas B y E, proteínas, carbohidratos, fibra, minerales y un alto contenido en silicio, necesario para el desarrollo de las estructuras musculares, cerebrales y nerviosas.
- Berro: muy adecuado para combatir los síntomas de la fatiga primaveral. Alcalinizada y depura la sangre, neutraliza el exceso de toxinas. Regula

el metabolismo. Es rico en hierro, fósforo, manganeso, cobre, zinc, yodo, calcio y vitaminas A, B2, E y C.

- Garbanzos: son ricos en carbohidratos, fibra, calcio, proteínas, magnesio, potasio y vitaminas A y C. No producen gases durante la digestión.
- Maíz: alto contenido de magnesio, necesario para conservar la tensión muscular especialmente en el tracto intestinal.

Los germinados ayudan a prevenir enfermedades o tratarlas en el caso de que ya se hayan manifestado. Se destacan las siguientes propiedades (Miras, 2014):

- Favorecen los procesos de desintoxicación, depuración y eliminación de residuos almacenados en los tejidos o en la sangre.
- Fortalecen el sistema inmune.
- Antioxidantes, combaten la acción de los radicales libres.
- Facilitan la digestión, activan los procesos de regeneración y desinflamación del aparato digestivo, revitalizan los mecanismos metabólicos internos.
- Mejoran el funcionamiento intestinal, alivian el estreñimiento, fortalecen el intestino y la flora intestinal, contribuyen a eliminar gases y desechos.
- Rebajan el índice de colesterol.
- Tonifican el sistema nervioso.
- Contribuyen a mantener la elasticidad de las arterias y la vitalidad del sistema glandular.
- Retrasan el envejecimiento, sus componentes permiten que las células del cuerpo se mantengan jóvenes durante más tiempo.

De acuerdo con las propiedades que aportan los germinados al cuerpo humano por su consumo, pueden ser considerados como alimentos funcionales debido a los beneficios que aporta.

1.3. Alimentos funcionales

El concepto de alimento funcional, nace en Japón en la década de los ochentas, y pese a que la definición de alimentos funcionales todavía no cuenta con un consenso total entre los especialistas, ni es plenamente coincidente en los distintos marcos normativos, en general se considera que un alimento es funcional cuando pruebas científicas avalan que su consumo frecuente previene o resuelve determinados problemas de salud y que en general contribuyen a prolongar o mejorar la calidad de vida del individuo.

Los alimentos funcionales se definen como cualquier alimento en forma natural o procesada, que además de sus componentes nutritivos contiene componentes adicionales que favorecen a la salud, la capacidad física y el estado mental de una persona. El calificativo de funcional se relaciona con el concepto bromatológico de

“propiedad funcional”, o sea la característica de un alimento en virtud de sus componentes químicos y de los sistemas fisicoquímicos de su entorno, sin referencia a su valor nutritivo (Roberfroid, 2000).

1.3.1. Germinados como alimentos funcionales

La germinación es un tratamiento sencillo y económico, que da como resultado un producto natural, permite eliminar o inactivar ciertos factores antinutricionales y aumenta la digestibilidad de proteínas y almidones. De esa manera, la germinación puede mejorar las propiedades de las semillas y convertirlas a alimentos funcionales (Davila *et al.*, 2003).

Los germinados se consideran alimentos funcionales por ser alimentos predigeridos que facilitan su asimilación y aprovechamiento de nutrientes en el organismo; con la germinación se incrementa el contenido de antioxidantes y además se obtienen alimentos organolépticamente agradables; proporcionan cantidades importantes de fibra (Davila *et al.*, 2003). Su consumo actúa sobre el metabolismo humano, conduciendo a una regeneración del torrente sanguíneo y de los procesos digestivos, debido a su alta concentración enzimática, por ser alimentos vivos que, como tales, contienen enzimas activas (Riviére *et al.*, 2000).

1.4. Calidad nutrimental

Digestibilidad

Church & Pond (1987), definen a la digestión como “la preparación de los alimentos absorbidos, que incluye fuerza mecánica (como masticar), actividad química o hidrólisis del alimento por enzimas o por microorganismos”. En otras palabras, el fin es reducir (generalmente mediante hidrólisis) los alimentos a un tamaño molecular que permita la absorción de los nutrientes.

Se necesita tener conocimiento de que tan aprovechable es el alimento de acuerdo con la absorción de nutrientes en el organismo. Es por lo que se realizan pruebas de digestión para determinar la proporción de los nutrimentos de una dieta o alimento que son absorbidos en el conducto gastrointestinal, a esto se le conoce como **digestibilidad**, la cual se determina indirectamente a partir del material o de los nutrimentos presentes en las heces, por lo que se denomina digestibilidad aparente (Dryden, 2008).

1.4.1. Digestibilidad *in vitro*.

La digestibilidad es una forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición (FAO,2018).

La digestibilidad *in vitro* se determina mediante un sistema multienzimático para determinar la digestibilidad de proteínas (Herlich, 1990).

En la Tabla 5 se puede observar los datos reportados de digestibilidad *in vitro* para la semilla de lenteja.

1.4.2. Digestibilidad *in vivo*.

Determina la cantidad de nutrimentos ingeridos y los presentes en las heces para realizar una diferencia de lo que se aprovechó en el tracto digestivo a lo que se expulsó en las heces (Hsu et al.,1977).

En la Tabla 5 se puede observar los datos reportados de digestibilidad *in vivo* para la semilla de lenteja.

La digestibilidad aparente *in vivo* se calcula con la fórmula:

$$\% \text{digestibilidad} = \frac{\text{consumo} - \text{excreción fecal}}{\text{consumo}} \times 100$$

1.4.3. PER.

Índice de eficiencia proteica (PER). Es una expresión no numérica del valor de proteína: ésta se basa en la relación de ganancia de peso de animales recién destetados sobre el consumo de proteína en un periodo de tiempo determinado.

Un alimento con mejor calidad de proteína tendría mayor tasa de eficiencia que otro con proteína de menor calidad. Desde 1919, el PER había sido un método ampliamente utilizado para evaluar la calidad de las proteínas de los alimentos. Para calcular el PER son los establecidos en los Métodos oficiales de análisis de AOAC international, 16ª ed. (1995) sección 45.3.05, Método oficial AOAC 982.30 Método de cálculo de la relación de eficiencia proteica; y Métodos oficiales de análisis de AOAC international, 18ª ed. (2005) (FDA,2018).

En la Tabla 5 se observan valores reportados del contenido de índice de eficiencia proteica (PER) para la semilla de lenteja.

1.4.4. Triptófano.

Las proteínas son polímeros, cuyas unidades se denominan aminoácidos que se unen entre sí mediante enlaces peptídicos. Las proteínas pueden estar formadas por más de una cadena de aminoácidos (García, 2010).

Existen aproximadamente 20 aminoácidos, los cuales se clasifican en varias formas de acuerdo con su estructura molecular, sus propiedades, pero también de acuerdo con su obtención por parte del hombre. En esta última clasificación se tienen los esenciales y no esenciales. Los aminoácidos esenciales son aquellos que forzosamente debemos incluir en la dieta dado que nuestro organismo no es capaz de sintetizarlo y los no esenciales son los que el organismo puede sintetizar (García, 2010).

El triptófano (ácido 2-amino-3-(3-indolil)-propanoico) es un aminoácido no polar, hidrófobo y aromático y es esencial en las síntesis de proteínas, participando como un promedio en un 1.1% de la composición de las proteínas (Matito, 2014) (Tabla 9).

Es el principal precursor de algunos metabolitos tales como la melatonina, serotonina, quinurenina y niacina, sustancias que influyen sobre el comportamiento del organismo, percepción del dolor, estrés, periodo de sueño y estado de ánimo, así como en el consumo de comida, interviniendo también en la reducción del estrés oxidativo y producción de radicales libres (Abu-Sabbah, 2015).

La Tabla 5 muestra valores registrados de calidad nutrimental presentes en la semilla de lenteja.

Tabla 5. Calidad nutrimental presentes en la semilla de lenteja.

	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	Digestibilidad <i>in vivo</i> (%)	PER	Triptófano (mg AA/g proteína)
Lenteja	82.93	76.2	0.93	60

Fuente: Periago et al.,1997; FAO,1970; Prieto y Aguilera, 1966; Villacreces et al., 2017.

Los datos reportados para la digestibilidad *in vitro* para la lenteja son altos, y se señala la alta proporción de la proteína.

De acuerdo con lo reportado para PER, el valor es bajo en comparación a otros tipos de semilla.

1.5. Factores antinutrimientales

El término anti-nutricional hace referencia a aquellos compuestos presentes de forma natural en un alimento que interfieren negativamente, en mayor o menor grado, en la absorción y metabolismo de sustancias nutritivas (Salgado, 2006). Desde el punto de vista bioquímico estos factores son de naturaleza variada y pueden llegar a ser tóxicos o causar efectos fisiológicos poco deseables como las flatulencia; distensión estomacal, afectaciones pancreáticas, aglutinación de glóbulos rojos, disminución en la asimilación de nutrientes, entre otros factores; los factores anti-nutrimientales son sustancias naturales no fibrosas, generadas por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa a situaciones estresantes o contra el ataque de mohos, bacterias, insectos y aves (De Dios *et al.*, 2009).

1.5.1. Taninos

Son compuestos polifenólicos de un amplio peso molecular que habitualmente se dividen en hidrolizables y condensados. Estos son capaces de unirse a enzimas, proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, esteroides, saponinas, y formar complejos con hierro del alimento, dificultando la digestión de los nutrientes. Aunque hay diferencias químicas entre ellos, todos son compuestos fenólicos y pueden precipitar la proteína. La capacidad de ligar proteínas por los taninos se ha considerado como un elemento importante para predecir sus efectos en sistemas biológicos (De Dios *et al.*, 2009) (Tabla 6).

1.5.2. Inhibidores de tripsina

Se definen como compuestos termo lábiles de naturaleza proteica, que alteran la digestión de las proteínas, inhibiendo la acción de las enzimas digestivas que se enfocan hacia la hidrólisis de las proteínas de la dieta; los más conocidos son los que reaccionan con proteasas de serina, como la tripsina y la quimotripsina. No hay evidencia de que los inhibidores de proteasa tengan algún efecto adverso al crecimiento y la salud humana. De hecho, un número creciente de datos sugiere que estos compuestos pueden mejorar la salud humana a través de sus efectos preventivos del cáncer (Elizalde *et al.*, 2009) (Tabla 6).

1.5.3. Ácido fítico

El ácido fítico y sus sales derivadas constituyen la mayor reserva de fósforo de las semillas de cereales y leguminosas (Wyatt & Triana-Trejas, 1994). Desde el punto de vista nutricional, el interés de ácido fítico se debe principalmente a su capacidad de formar complejos con minerales esenciales (Cu, Zn, Fe, K, Mg y Ca) (Martinez, 2002; Zhou, 1995; Wyatt & Triana-Trejas *et al.*, 1994), lo que disminuye la absorción intestinal y la biodisponibilidad de estos minerales para los animales monogástricos, incluyendo al ser humano, debido a que estos no están provistos de suficiente actividad de fosfatasas endógenas (fitasas) que sean capaces de liberar minerales de la estructura de fitato. Además. Los fitatos interaccionan con residuos básicos de proteínas formando complejos, como proteína-fitato y proteínafitatomineral, por lo que se paralizan muchas reacciones enzimáticas a nivel digestivo (Duffus y Slaughter, 1985; Mazza, 2000).

Sin embargo, se ha demostrado que, durante el procesamiento de los alimentos y la digestión, la cantidad final de ácido fítico disminuye significativamente como consecuencia de su hidrólisis enzimática o química (Zhou, 1995; Khan *et al.*, 1998; centeno *et al.*, 2001).

En la Tabla 6, se indican valores de factores anti nutrimentales presentes en la semilla de lenteja

Tabla 6. Factores anti nutrimentales presentes en la semilla de lenteja.

	Taninos (mg/100 g b.s.)	Inhibidores de tripsina (UIT/mg)	Ac. Fítico (%)
Lenteja	63.18	0.4	1.2

Fuente: Davila et al., 2003; Periago et al., 1997; Periago et al., 1997.

Los valores reportados de taninos en la lenteja son bajos, en comparación con los valores reportados en otras semillas.

Los valores reportados de inhibidores de tripsina en la lenteja son bajos, esto en comparación con valores de otras leguminosas (judía blanca, altramuza).

Los valores reportados para el Ac. fítico en la lenteja, se encuentra dentro de los valores reportados para cereales y leguminosas (1% y 2%).

1.6. Compuestos funcionales

1.6.1. Almidón total

El almidón es uno de los carbohidratos que están presentes en mayor cantidad en los cereales con fracciones de amilosa y amilopectina. La amilosa (molécula lineal) tiene un peso molecular entre los 70,000-200,000 Da, con enlaces alfa 1-4; mientras que la amilopectina consiste en cadenas con enlaces alfa 1-4 y ramificaciones en alfa 1-6 con un peso molecular de aproximadamente 2×10^7 Da (Dona *et al.*, 2010; Hoover *et al.*, 2010). Con base en la susceptibilidad de la molécula para ser degradada a glucosa y ser absorbida en el tracto gastrointestinal, se puede clasificar como: almidón de lenta digestión (SDS), almidón de rápida digestión (RDS) y el almidón resistente (RS) (Englyst *et al.*, 1992; Zhang *et al.*, 2006). La digestión de RDS, provoca un aumento de glucosa en sangre, mientras que el SDS hace digestión completamente en el intestino delgado, pero con una velocidad menor que RDS (Hoover y Ratnayake, 2002; Hoover *et al.*, 2010).

El RS es aquel que resiste la hidrólisis de las enzimas amilopécticas (amilasa y amiloglucosidasa) del ser humano (Thompson, 2000). Esta resistencia a la digestión se da en el intestino delgado; sin embargo, es fermentado en el intestino grueso con ayuda del microbiota presente, produciendo metabolitos como ácidos grasos de cadena corta (ácido acético, propiónico y butírico) (Henningson *et al.*, 2001; Nugent, 2005) (Tabla 7).

1.6.2. Almidón resistente

Durante la digestión enzimática de los almidones existen fracciones que son resistentes a las condiciones de hidrólisis química y enzimática por lo que fue necesario acuñar el término de almidón resistente.

El almidón resistente (AR) se define como la suma del almidón y productos de la degradación del almidón no absorbido por el intestino delgado de individuos sanos (Champ, 2004).

Actualmente el concepto de almidón resistente está basado en la incapacidad de las enzimas digestivas a hidrolizar algunas formas físicas y químicas del almidón en los alimentos *in vivo* o *in vitro*. Su importancia a nivel nutricional y la razón por la cual ha llamado la atención en las últimas décadas, radica en su efecto positivo para la salud donde ha demostrado tener beneficios fisiológicos parecidos a los de fibra dietética (FD) incluyendo efecto laxante, efecto prebiótico en el microbiota del colon, mejora el metabolismo del colesterol, reducción del riesgo de colitis ulcerativa y prevención y control del cáncer de colon (Shi *et al.*, 2013).

Clasificación de almidón resistente.

El almidón resistente consta de fracciones que contribuyen al total del almidón indigerible en los alimentos. Actualmente se conocen cuatro tipos de AR:

1. AR I: Es estable al calor y es físicamente inaccesible a las enzimas digestivas (Zhang *et al.*, 2010). En la Figura 4 se muestra que este tipo de almidón está encapsulado en una matriz por lo que está protegido físicamente. Los gránulos presentes en el almidón de leguminosas y granos, en donde no hay molienda exhaustiva o cuyo procesamiento no implica una ruptura de la estructura son ejemplos de este tipo de almidón (Ashraf *et al.*, 2012; Ugarte *et al.*, 2010).

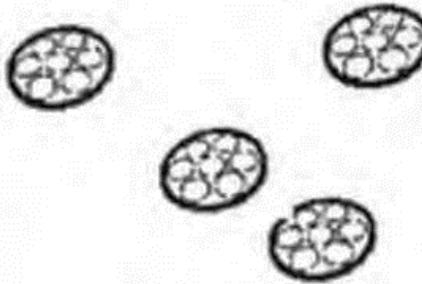


Figura 4. Estructura del AR tipo I (Ugarte *et al.*, 2010).

2. AR II: Es aquel tipo de almidón que se produce en su forma natural granulada (sin gelatinizar), como papa sin cocer, harina de plátano verde y maíz con alto contenido de amilosa (Ashraf *et al.*, 2012). Estos almidones son los llamados almidones nativos.



Figura 5. Estructura del AR tipo II (Ugarte *et al.*, 2010).

Debido a su alto grado de cristalinidad, es menos susceptibles a la hidrólisis (Moongngarm y Saetun, 2010).

3. AR III: Corresponde al almidón que por el proceso tecnológico se ha gelatinizado y posteriormente se ha enfriado estando por lo tanto retrogradado. Principalmente, la amilosa cambia de un estado amorfo a otro cristalino (Figura 5).

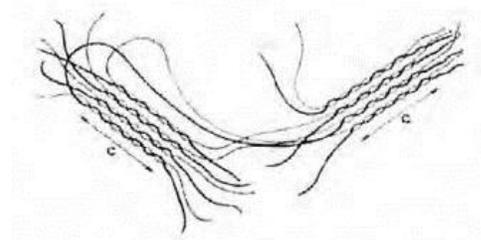


Figura 6. AR tipo III formado por amilosa en solución (Ugarte *et al.*, 2010).

4. AR IV: Es el tipo de almidón que ha sido modificado químicamente para aumentar la resistencia a la digestión. Las modificaciones químicas pueden ser por medio de enlaces éter, éster y entrecruzados, lo que los vuelve difíciles de digerir (Ugarte *et al.*, 2010). Este tipo de almidones resistentes pueden tener un amplio rango de estructuras y no son encontrados en la naturaleza (Ashraf *et al.*, 2012).

La Tabla 7 muestra los valores reportados de almidón resistente para la semilla de lenteja.

1.6.3. Fibra dietética

La fibra dietética se define como: la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso, esto de acuerdo con La American Association of Cereal Chemist (2001). La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta. Las fibras dietéticas promueven efectos beneficiosos fisiológicos como el laxante, y/o atenúa los niveles de colesterol en sangre y/o atenúa la glucosa en sangre (Escudero *et al.*, 2006).

La fibra va a jugar un papel en todas las funciones del sistema digestivo desde la masticación hasta la evacuación de las heces. Las dietas con un alto contenido en fibra elevado requieren más tiempo de masticación por lo que enlentecen la velocidad de deglución y esto implica una mayor salivación que va a repercutir en la mejora de la higiene bucal (Escudero *et al.*, 2006).

A nivel del estómago las fibras solubles, como consecuencia de su viscosidad, enlentecen el vaciamiento gástrico y aumentan su distensión prolongando la sensación de saciedad (Escudero *et al.*, 2006).

En la Tabla 7 se indica el valor reportado de fibra dietética para la semilla de lenteja.

1.6.4. Capacidad antioxidante

Los antioxidantes son compuestos que pueden inhibir o retardar la oxidación de otras moléculas, inhibiendo la iniciación y/o propagación de las reacciones en cadena de los radicales libres (Moon y Shibamoto, 2009).

Los antioxidantes son moléculas que poseen la capacidad de oxidarse rápidamente, de modo que previenen o detienen una cadena de propagación oxidativa, estabilizando el radical generado y la regeneración del antioxidante; reduciendo el daño oxidativo en el cuerpo humano. En un ambiente aerobio, los organismos usan sistemas antioxidantes como mecanismos de defensa a nivel fisiológico y bioquímico; a nivel fisiológico el que mantiene los niveles de O₂ en los tejidos es el sistema microvascular, mientras que, a nivel bioquímico, la defensa puede variar entre enzimática o no enzimática (Aldana Pérez *et al.*, 2014).

En la tabla 7 se indica el valor reportado de capacidad antioxidante para la semilla de lenteja.

1.6.5. Fenoles

Los fenoles son aquellos productos biosintetizados en las plantas que poseen la cualidad biológica de ser productos secundarios de su metabolismo, y la característica química de contener al menos un grupo hidróxilo unido a un anillo aromático en su estructura molecular. Los compuestos fenólicos son producidos en la planta principalmente para protegerse de situaciones de estrés como la foto oxidación, las heridas, luz ultravioleta (UV), las enfermedades, los patógenos y las plagas (Dixon *et al.*, 1994).

Los fenoles se consideran antioxidantes fuertes y secuestradores de radicales libres que inhiben la oxidación de lípidos, por eso han sido ampliamente estudiados y se han desarrollado diferentes técnicas para cuantificarlos. Se ha detectado también que se encuentran en la mayoría de los vegetales que consumimos. En las frutas y vegetales predominan las formas conjugadas solubles, mientras que en los cereales se encuentran en formas insolubles, aproximadamente el 85% (Miller *et al.*, 2000; Adom y Liu, 2002).

Las lentejas germinadas en ciertas condiciones tienen propiedades contra la hipertensión arterial (Torres-Acosta y Calvo-Araujo, 2011). Otros trabajos indican que el consumo en fresco de germinados de lenteja aporta carbohidratos, fibra, vitaminas, nutrimentos y un alto contenido de compuesto fitoquímico en efecto bioactivo como actividad antidiabética, antiinflamatoria, anticancerígena, antihipertensiva y antioxidante (Dziki *et al.*, 2015). Dichas propiedades se deben a la acción de metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos, los cuales han sido ampliamente estudiados y se utilizan comúnmente como antioxidantes para una amplia gama de aplicaciones (Cerón *et al.*, 2010), por lo que su incremento en

germinados es una línea de investigación para la obtención de antioxidantes obtenidos a partir de fuentes naturales, lo cual puede convertirse en una innovación importante para la producción de alimentos funcionales (Gonzales Y García, 2012)(tabla 7).

Tabla 7. Compuestos funcionales presentes en la semilla de lenteja.

	Almidón total (%)	Almidón resistente (%)	Fibra dietética (%)	Capacidad antioxidante (%)	Fenoles (mgGAE/g)
Lenteja	46.0	25.4	21.4	45.29	1.346

Fuente: Hedley, 2001; Englyst et al.,1996; Costa et al.,2006; Solorsano Sanches et al., 2018; Fratianni et al., 2014.

1.7. Importancia de germinar

Importancia de la germinación. Este proceso de la semilla es vital, pues si no hay germinación no hay planta y sin planta no hay cosecha. El inicio de una planta se ve amenazado por varios inconvenientes, como son: falta o exceso de riegos, plagas, demasiado solarización o temperatura inapropiada (Ayerbe y Ceressuela.,1982). La germinación permite facilitar el nacimiento precoz de las diferentes plantas a cultivar, el máximo rendimiento de la semilla y, por ende, de plantas útiles, la obtención de mejores frutos y mayores cosechas, evitando el deshijamiento (eliminación de plántulas por exceso).

Teniendo en cuenta lo anterior, igual podemos añadir: que cualquier semilla de leguminosa o grano de cereal germinado cambia su textura, sabor y composición química lo que puede generar que sean consumidos sin el proceso de cocción y aporte beneficios al ser humano.

2. OBJETIVOS.

2.1. Objetivo general.

Evaluar el efecto del tiempo de germinación de semillas de lenteja (*Lens culinaris* L.) sobre su calidad nutrimental y funcional identificando si son mejores que las semillas.

2.2. Objetivos particulares.

Objetivo particular 1.

Determinar el tiempo óptimo de germinación de semillas de lenteja en ausencia de luz y temperatura de 25 °C mediante el crecimiento de la plántula, el índice de conversión y su composición química (AQP).

Objetivo particular 2.

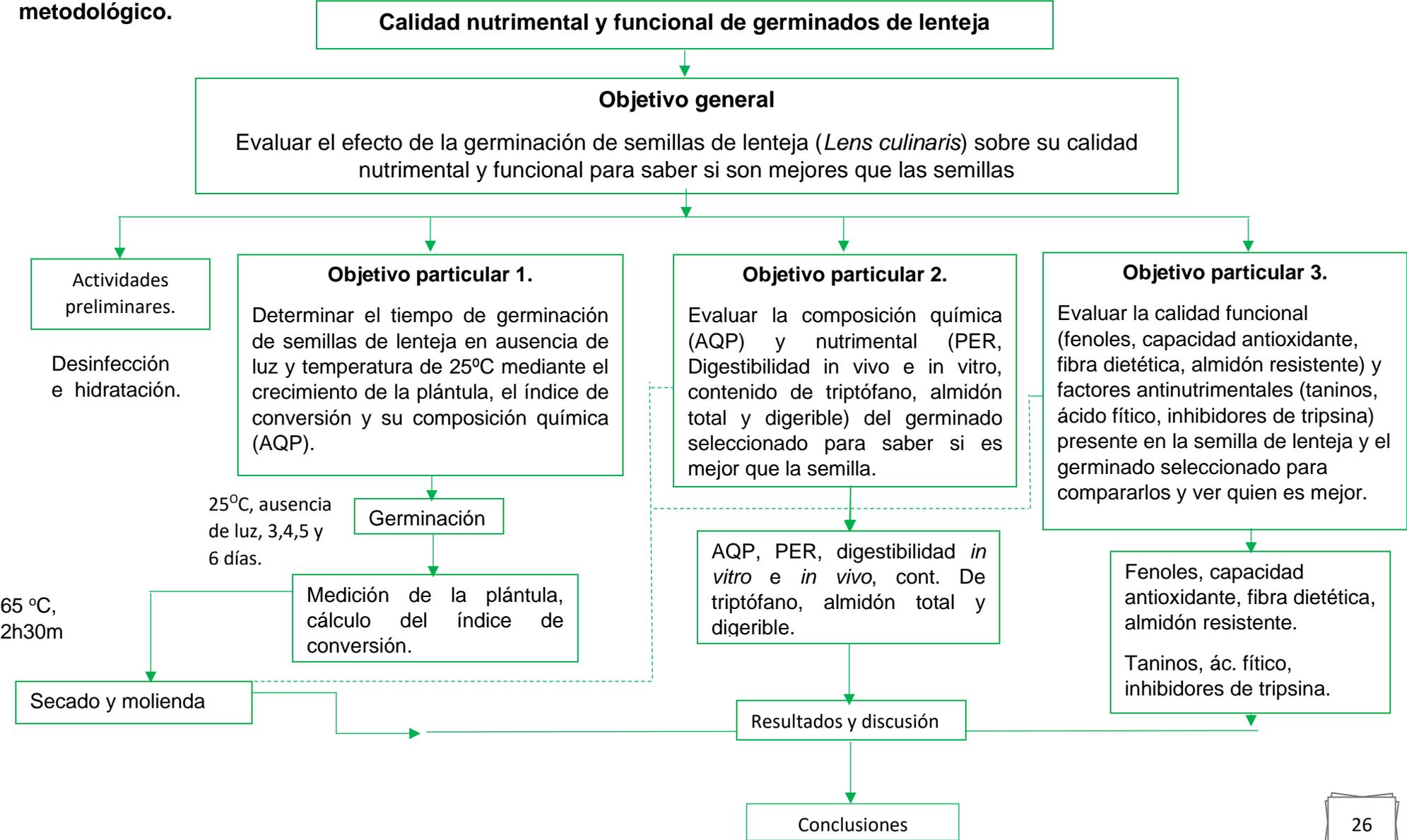
Evaluar la composición química (AQP) y nutrimental (PER, digestibilidad *in vivo* e *in vitro*, contenido de triptófano, almidón total y digerible) del germinado seleccionado para compararlo con la semilla.

Objetivo particular 3.

Evaluar la calidad funcional (fenoles, capacidad antioxidante, fibra dietética, almidón resistente) y factores antinutrimientales (taninos, ácido fítico, inhibidores de tripsina) presente en la semilla de lenteja y el germinado seleccionado para compararlos e identificar el de mejor calidad.

3.MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Cuadro metodológico.



3.2. ACTIVIDADES PRELIMINARES

3.2.1 Material biológico

Para la experimentación se trabajó con semillas de lenteja (*Lens culinaris*) cosecha 2019 proveniente del Edo. De Michoacan.

3.2.2. Germinación de la semilla de lenteja

Se pesaron 25 g de semillas de lentejas (*Lens culinaris*) y se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1%, dejando remojar las semillas durante 1 minuto con agitación manual como se puede observar en la Figura 7.

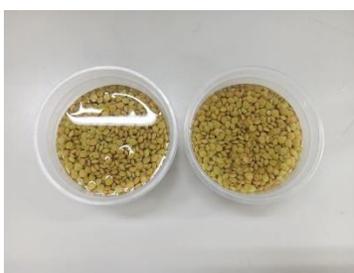


Figura 7. Semillas de lenteja pesadas y en desinfección.

Después de desinfectar las semillas de lentejas (*Lens culinaris*), se dejaron remojar en agua natural por 12 horas a temperatura ambiente (Figura 8).



Figura 8. Semillas de lenteja en remojo.

Posteriormente se esparcieron de manera uniforme sobre una tela (tipo cielo) soporte previamente desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 1% por 1 minuto, las telas de las cajas se encontraban dentro de cajas plásticas las cuales fueron previamente lavadas y desinfectadas con la solución de hipoclorito, las cajas plásticas fueron tapadas y etiquetadas para su posterior identificación (Figura 9).



Figura 9. Esparcimiento de semillas.

La germinación se llevó a cabo en una estufa (marca arsa) a 25 °C y en ausencia de luz, hidratándolas, asperjando agua cada 24 horas, se mantuvo por 3, 4, 5 y 6 días (Figura 10).



Figura 10. Germinación de la semilla de lenteja.

3.2.3. Medición de la plántula

Se tomaron 20 plántulas al azar a los cuatro diferentes tiempos de germinación; se midió con una regla de 30 cm la plántula y radícula. Se calculó un promedio del tamaño de germinado en centímetros (cm) (Figura 11).



Figura 11. Medición de plántula de 3 días de germinación.

3.2.4. Índice de conversión

Se determinó el índice de conversión (IC) de semilla-germinado, pesando en una balanza analítica (marca Sartorius, modelo P-162) la cantidad de germinado obtenido a partir de los 25 g de semilla (Barrón-Yañez *et al.*, 2009) (Figura 12).



Figura 12. Peso del germinado de lenteja.

Este parámetro indica el porcentaje en peso de la semilla que fue transformado en germinado y el cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{\text{peso del germinado seco}(g)}{\text{Peso de la semilla } (g)}$$

3.2.5. Obtención de muestra seca

El germinado se retiró manualmente con ayuda de una espátula de la tela soporte y se colocó en una charola de aluminio con papel encerado. Se deshidrató en horno (marca Oster) de convección a 65 °C durante una hora y 45 minutos (Figura 13). Una vez seco se molió en un molino de cuchillas (marca Krups, modelo GX4100) hasta que pasara la malla #40 serie Tyler USA. El germinado seco se almacenó en recipientes de vidrio etiquetados en refrigeración.



Figura 13. Germinados secando en horno.

3.3. Análisis químico proximal

Se realizó un Análisis Químico Proximal (AQP) al germinado deshidratado y molido (muestra seca) según los métodos de A.O.A.C. (2005) y además la humedad del germinado fresco se determinó por termobalanza (marca VELAB, modelo VE-50-5). Las pruebas se realizaron por triplicado.

3.3.1. Determinación de humedad por método rápido de la termobalanza (NMX-F-428-1982)

La determinación de humedad se realizó por lectura directa mediante la termobalanza.

Fundamento: La humedad es tomada como la pérdida de peso al secado, usando un instrumento de humedad, el cual emplea una balanza de torsión sensible para pasar la muestra y una lámpara infrarroja para secar (**NMX-F-428-1982**).

Procedimiento: Pesar 2 g de la muestra fresca en la misma termobalanza (marca Velab, modelo VE-50-5) y distribuirla cuidadosamente y uniforme en el platillo. Se programa el tiempo y temperatura deseados en el equipo, en este caso se usó 30 minutos a 100°C, se baja la tapa de la balanza y se aprieta el botón de inicio; la muestra comenzará a perder humedad y se verá reflejado en el peso que muestra en la pantalla. Después de pasado el tiempo programado, deberá tomarse la lectura al final dada como porcentaje total de humedad (Figura 14). La prueba se realizó por triplicado.



Figura 14. Determinación de humedad en termobalanza.

3.3.2. Determinación de humedad por el método de estufa

La técnica se basa en una determinación gravimétrica en la que se obtiene la diferencia de pesos de una muestra antes y después de secarse en una estufa (marca Blue M, modelo e-4850-Q) a una temperatura constante de 130 °C durante una hora. Método (925.09 A.O.A.C. 2005).

Procedimiento: Pesar de 3 a 5 gramos de muestra en una caja de aluminio, el cual ha sido previamente puesta a peso constante durante 2 horas (pesado a cada hora) a 130 °C.

Secar la muestra 1 hora en la estufa (marca Blue M, modelo C-4850-Q) a 130 °C. Retirar de la estufa, dejar enfriar en el desecador y pesar tan pronto como se equilibre con la temperatura ambiente. Repetir el proceso de secado hasta que se llegue a peso constante. La prueba se realizó por triplicado (A.O.A.C.,2005).

El cálculo de porcentaje de humedad se realizó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% = \frac{W2 - W3}{w1} * 100$$

Donde:

W1: Peso de la muestra (g).

W2: Peso de la muestra húmeda (g).

W3: Peso de la muestra seca (g).

3.3.3. Determinación de porcentaje de proteína por método de Micro Kjeldahl (954.01 A.O.A.C.,2005)

Fundamento: La técnica se basa en una digestión de proteína y otros componentes orgánicos en una mezcla con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores. El nitrógeno orgánico total se convierte mediante esta digestión en sulfato de amonio. La mezcla digerida se neutraliza con una base y posteriormente se destila. El destilado se recoge en una solución de ácido bórico en presencia de del indicador rojo de metilo. Los aniones del borato formado se titulan con ácido clorhídrico estandarizado para determinar el nitrógeno contenido en la muestra.

Cálculos:

$$\text{Nitrógeno total} = \left[\frac{(V2 - V1)(N)(0.014)}{W} \right] * 100$$

$$\% \text{Proteína cruda} = \text{Nitrógeno total} * F$$

Dónde:

V1: Volumen de HCl gastado en la muestra (ml).

V2: Volumen de HCl gastado en el blanco (ml).

N: Normalidad del HCl (0.1).

W: Peso de muestra (g).

F: Factor de conversión de nitrógeno a proteína (para la lenteja es 6.25)

3.3.4. Determinación de porcentaje de lípidos o extracto etéreo por extracción Soxhlet

Fundamento: Se denomina extracto etéreo o grasa bruta al conjunto de sustancias de un alimento que se extraen con hexano (ésteres de los ácidos grasos, fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres). La extracción consiste en someter la muestra exenta de agua (deshidratada) a un proceso de extracción continua (Soxhlet) utilizando como solvente éter etílico (920.39 A.O.A.C,2005).

Procedimiento: Poner a peso constante un matraz bola de fondo plano con perlas o piedras de ebullición en la estufa a 110 °C, aproximadamente 2 horas (pesando cada hora).

Pesar 3 gramos de muestra libre de humedad sobre papel poroso, enrollarlo y colocarlo en un cartucho, tapar con algodón y colocarlo en el extractor.

Conectar el matraz al extractor y este al refrigerante. Agregar dos cargas de hexano por el refrigerante y calentar el matraz con parrilla a ebullición suave durante dos horas. Para verificar que se ha extraído toda la grasa, dejar caer una gota de la descarga sobre papel filtro, al evaporarse el hexano no debe dejar residuo de grasa. Una vez extraída toda la grasa, quitar el cartucho con la muestra desengrasada, seguir calentando hasta la casi total eliminación del éter recuperándolo antes de que se descargue. Quitar el matraz y secar el extracto 75-80 °C por 30 minutos, enfriar en desecador y, una vez alcanzada la temperatura ambiente, pesar. Realizar la prueba por triplicado.

Se utilizó la siguiente ecuación para obtener el porcentaje de lípidos:

$$\%Grasa\ extraida = \frac{W3 - W2}{W1} * 100$$

Donde:

W1: Peso de la muestra (g).

W2: Peso del matraz sin grasa (g).

W3: Peso del matraz con grasa (g).

3.3.5. Determinación de porcentaje de cenizas por el método de incineración

Fundamento: Las cenizas de los productos alimentarios están constituidas por el residuo inorgánico que queda después de que la materia orgánica se ha incinerado. Las cenizas obtenidas no tienen necesariamente la misma composición que la materia mineral presente en el alimento original, ya que puede haber habido pérdidas por volatilización o alguna interacción entre los constituyentes. (923.03 A.O.A.C.,2005)

Procedimiento: Pesar 3 o 5 gramos de muestra en un crisol (no pasar la mitad del crisol con la muestra), que ha sido puesto a peso constante durante 2 horas (pesado cada hora) a 600 °C.

Calcinar la muestra, inicialmente con un mechero en la campana hasta que no se desprendan humos y posteriormente meter a la mufla (marca SYBRON, modelo thermolyne 1400) 2 horas (pesando cada hora) a 600 °C. Repetir la operación anterior si es necesario, hasta conseguir unas cenizas blancas o ligeramente grises, homogéneas y que esté a peso constante. Enfriar (fuera 10 minutos y posteriormente meter al desecador por otros 10 minutos, tiempo total de enfriado 20 minutos) y pesar. Realizar la prueba por triplicado.

Se utilizó la siguiente ecuación para obtener el porcentaje de cenizas:

$$\%cenizas = \left(\frac{W3 - W2}{W1} \right) * 100$$

Donde:

W1: Peso de la muestra (g).

W2: Peso del crisol sin muestra (g).

W3: Peso de crisol con cenizas (g).

3.3.6. Determinación de fibra por el método de fibra cruda o Weende

Fundamento: Este método se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se obtiene una pérdida de masa que es el valor de las sales y por diferencia se determina la fibra cruda (989.23 A.O.A.C,2005).

Procedimiento: Pesar de 1 a 3 gramos de muestra desengrasada y añadir 200 ml de H₂SO₄ al 1.25%. Llevar a ebullición y mantenerla durante treinta minutos. Transcurrido ese tiempo adicionar 200 ml de NaOH al 2.5% y llevar a ebullición durante treinta minutos más.

Filtrar con el papel filtro que ha sido colocado a peso constante durante 1 hora (pesado cada 30 minutos) y embudo Buchner en un matraz, lavar con agua

destilada hasta alcanzar un pH neutro. Deshidratar lavando con alcohol dos o tres veces. Llevar el papel a la estufa y secarlo a 110 °C durante una hora. Dejar enfriar en desecador y pesar. Colocar el papel en un crisol a peso constante y calcinar durante una hora a 550 °C. Dejar enfriar en desecador y pesar rápidamente.

Se utilizó la siguiente ecuación para obtener el porcentaje de fibra.

$$\%fibracruda = \left[\frac{(W2 - W1)(W4 - W3)}{W5} * 100 \right]$$

Donde:

W1: Peso del papel filtro (g).

W2: Peso del papel filtro con residuos secos (g).

W3: Peso del crisol vacío (g).

W4: Peso del crisol después de la incineración (g).

W5: Peso de la muestra previamente desengrasada (g).

3.3.7. Determinación de porcentaje de carbohidratos

La determinación se realizó por diferencia de los demás componentes.

$$\%Carbohidratos = 100 - (Proteínas + Humedad + Grasa + Fibra + Cenizas).$$

3.4. Calidad nutrimental

3.4.1. Digestibilidad *in vitro*

Fundamento: La digestibilidad *in vitro* se lleva a cabo utilizando un sistema multienzimático que libera los aminoácidos provocando disminución del pH que indica de manera indirecta y mediante una ecuación matemática la digestibilidad de proteínas (Hsu *et al.*, 1974).

Procedimiento: Para la experimentación se determinó la cantidad de nitrógeno total del germinado equivalente a 10 mg N y se adicionaron 10 ml de agua destilada. La solución se ajustó a pH 8 con ácido clorhídrico (HCl) 0.01N y se agitó en un baño de caliente a 37 °C por 60 minutos. Paralelamente se preparó una solución multienzimática marca Sigma (tripsina, quimiotripsina, peptidasa), se ajustó el pH a 8 y se conservó con hielo hasta su utilización. A la suspensión de la muestra se le agregaron 1 ml de solución multienzimática y se mantuvo la agitación y la temperatura midiendo la caída de pH después de 20 minutos.

La ecuación de la regresión obtenida experimentalmente y con la que se calculó en porcentaje la digestibilidad es:

$$\%D = 234.84 - 22.56(X)$$

Donde:

X= el pH de la suspensión de proteína registrado inmediatamente después de los 20 minutos de digestión con la solución multienzimática.

3.4.2. Relación eficiencia proteica (PER)

Para evaluar la calidad proteica del germinado de lenteja que se seleccionó, se realizó la prueba de relación de eficiencia proteica, que por sus siglas en inglés se le conoce como PER (Protein Efficiency Ratio), determinado de acuerdo con el método 960.48 A.O.A.C. (1990).

Fue el primer método adoptado como rutina de evaluación en la calidad proteica de los alimentos. El PER es un método estandarizado en el cual se realiza una dieta de estudio y una dieta control con caseína, ambas contienen el mismo porcentaje de proteína, con ratas destetadas por un periodo de 4 semanas (Gilani y Lee,2003).

Animales de prueba

Se emplearon ratas Wistar macho de 21 días de nacidas, cuyos pesos oscilaran ± 5 g. Las ratas fueron obtenidas en el bioterio de la FES Cuautitlán Campo 4.

Composición de las dietas

Se elaboró una dieta isoproteica e isocalórica con el germinado de lenteja, y una dieta de referencia a base de caseína. Se utilizaron 12 ratas divididas en dos lotes, uno del germinado y otro de caseína con 6 ratas cada uno. Las dietas se prepararon de acuerdo con la formulación establecida por la Official Methods of Analysis of the Association of Oficial Analytical Chemists (A.O.A.C.) (López *et al.*,2006).

Las ratas se pesaron inicialmente y se distribuyeron homogéneamente de acuerdo con el método de la "culebra japonesa ". Este método distribuye los pesos en orden ascendente y se van haciendo lotes de izquierda a derecha para una distribución homogénea.

Las ratas se colocaron en jaulas individuales. Se mantuvo controlada la temperatura a 24 °C y ciclos de 12 horas de luz y oscuridad. Se les suministró las dietas preparadas y agua *ad bilitum*. Cada tercer día se registró el peso ganado y la cantidad de alimento consumido. Al concluir los 28 días del bioensayo se determinó el valor de PER y PER ajustado, con base a las siguientes fórmulas indicadas por López *et al.*, 2006:

$$PER = \frac{\Delta P}{\Sigma AI * F}$$

$$PER \text{ ajustado} = PER_{exp} * \frac{PER_{caseina \text{ ref}}}{PER_{exp}}$$

Donde=

ΔP = Incremento de peso (en gramos).

ΣAI = Alimento ingerido total (en gramos).

F= % de proteína en la dieta/100.

PER exp. = Valor PER obtenido en el bioterio.

PER caseína ref.= Valor de la caseína de referencia.

La digestibilidad aparente de la proteína se determinó mediante la cuantificación de nitrógeno ingerido y el de las heces secas y molidas, con el método de Micro Kjeldahl, de cada rata en la última semana de ensayo (A.O.A.C., 2005).

3.4.3. Determinación de triptófano

Fundamento: La técnica (Rama *et al.*, 1974) se basa en la cuantificación espectrofotométrica del triptófano a partir de la digestión enzimática de la proteína en la muestra, y de la reacción del residuo del aminoácido con DMAB (p-dimetilaminobenzaldehído) para la formación de un complejo colorido.

Procedimiento: Para la determinación se pesó el germinado seco y se agregó una solución de pepsina, se dejó reposar por unos minutos a temperatura ambiente. Se adicionó NaOH al 0.1N y pancreatina al 0.4% y se incubó por 24 horas. Posterior a ese tiempo se aforó la solución a 50 ml con agua destilada y después se filtró.

Se tomó el extracto y se le adicionó HCl concentrado, DMAB al 0.5%, y Nitrito de sodio ($NaNO_2$) al 0.2%; se dejó reposar y se leyó el color formado a 590 nm en el espectrofotómetro.

Para el cálculo del contenido de triptófano se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\left(\frac{mg \text{ Trp}}{1 \text{ ml}}\right) \left(\frac{25 \text{ ml}}{0.5 \text{ g}}\right) (100) = \frac{mg \text{ Trp}}{100 \text{ g de muestra}}$$

$$\left(\frac{mg \text{ Trp}}{100 \text{ g de muestra}}\right) \left(\frac{100 \text{ g de muestra}}{0x \text{ g de proteína}}\right) (100) = \frac{g \text{ Trp}}{100 \text{ g de proteína}}$$

3.4.4. Determinación de almidón total.

Fundamento: Se fundamenta en cuantificar la glucosa liberada como resultado de la hidrólisis enzimática de amiloglucosidasa que hidroliza los enlaces glucosídicos α -(1,4) y α -(1,6) de las cadenas de amilosa y amilopectina (Goñi et al.,1997).

Procedimiento: Se pesó la muestra y se colocó en matraz, después se dispersó con KOH 2 M a temperatura ambiente y con agitación constante. Se le adicionó buffer de Acetato de Sodio 0.4 M y se ajustó el PH=4.75.

Posteriormente se le adicionó enzima amiloglucosidasa y se colocó en baño maría por 45 minutos para que el almidón solubilizado se gelatinizara. Después de dejarlo enfriar a temperatura ambiente, se centrifugó y se recuperó el sobrenadante.

Para determinar glucosa en el sobrenadante se usó el reactivo glucosa oxidasa/peroxidasa colocando 1 ml reactivo de glucosa (SPIREACT, glucosa-LQ) con 10 μ l del sobrenadante, por triplicado, y también un blanco con únicamente el reactivo de glucosa (SPIREACT, glucosa-LQ) y dejar reposar por 20 minutos.

Se leyó la absorbancia a 505 nm en el espectrofotómetro (marca Jenway) y se procedió a realizar los cálculos.

3.4.5. Determinación de almidón digerible

El contenido de almidón digerible se determinó por diferencia del total con el resistente con ayuda de la siguiente ecuación:

$\% \text{Almidón digerible} = (\% \text{almidón total} - \% \text{almidón resistente})$

3.5. Factores antinutrimientales

3.5.1. Determinación de taninos

Fundamento: Para la determinación de taninos se basó en la extracción de los taninos hidrolizables y condensados (fenoles totales) mediante dimetilformamida al 75% y la posterior reducción del ion férrico debido a los iones polifenoles con la subsiguiente formación de un complejo colorido en condiciones alcalinas, cuantificado espectrofotométricamente (marca Jenway) a 525 nm (ISO 9648,1988).

Procedimiento: Para la cuantificación se pesó la muestra, se le añadió DMF (dimetilformamida) al 75% y se mantuvo en agitación, luego en reposo y finalmente se centrifugó el extracto. Se etiquetaron 2 tubos, una para la determinación y otro como blanco, a cada uno se le agregó sobrenadante, agua destilada, citrato férrico e hidróxido de amonio. Una vez que se formó el complejo colorido se leyó la absorbancia a 525 nm y se realizaron los cálculos correspondientes para obtener el porcentaje de taninos en la muestra.

$$\%Tanino = \frac{X}{m} \times 100$$

Donde:

X= valor obtenido (g).

m= peso de la muestra (g).

3.5.2. Determinación de ácido fítico.

Fundamento: Para la determinación de ácido fítico, el extracto de la muestra se calienta con una solución de ácido férrico para conocer el contenido de hierro. La disminución del hierro (determinada colorimétricamente con 2,2-bipiridina) en el sobrenadante es la medida del contenido de ácido fítico (Haug *et al.*, 1983).

Procedimiento: Se pesó la muestra y se le adicionó HCl 0.2 N, se agitó la mezcla y se centrifugó a 5000 rpm. Se tomó el extracto y se colocó en un tubo de ensayo, donde se agregó sulfato férrico de amoniaco 0.2%, se tapó el tubo y se calentó a $95 \pm 2^\circ\text{C}$. Posteriormente se enfrió el tubo y una vez que se encontró a temperatura ambiente se adicionó 2,2-bipiridina y se agitó. A los 30 segundos exactamente de que se adicionó el reactivo se leyó la absorbancia a 519 nm. Se realizaron los cálculos correspondientes para obtener el porcentaje de ácido fítico en la muestra.

Para el cálculo del contenido de ácido fítico se utilizaron las ecuaciones:

$$P = \frac{x * E}{T}$$

$$\%Ácido\ fítico = \frac{P * 100\%}{\left(\frac{muestra}{ml\ HCl}\right)}$$

3.5.3. Determinación de inhibidores de tripsina

Fundamento: La técnica utilizada por Kakade *et al.* (1974) se basa en poner en contacto el extracto acuoso o diluido de una muestra con una solución estándar de tripsina, posteriormente se determina la actividad proteolítica remanente utilizando un sustrato sintético (benzoil-arginina-p-nitroanilide o BAPNA), el cuál producirá coloración, que es inversamente proporcional al contenido de inhibidores de tripsina, realizándose la lectura en el espectrofotómetro a una $\lambda=410\text{ nm}$.

Procedimiento: Para la determinación se pesó la muestra y se adicionó NaOH 0.01N, se ajustó el pH a 9.6 ± 0.2 . Se transfirió esta mezcla a un vaso de precipitados y se mantuvo en agitación a temperatura ambiente. Después se dejó reposar para obtener un sobrenadante, posteriormente se centrifugó a 5000 rpm.

Se colocaron muestras de 0.06, 1.0, 1.4 y 1.8 ml del extracto anterior en tubos de ensayo y se ajustó el volumen de cada uno a 2.0 ml con agua destilada. Se adicionó solución estándar de tripsina y se agitó; se mantuvo en contacto con el inhibidor de tripsina-tripsina en un baño de 37 °C. Se mantuvo esta reacción por 10 minutos exactamente en el baño. Pasado el tiempo se añadió ácido acético al 30% para detener la reacción enzimática. Se leyó la coloración producida en el espectrofotómetro a 410 nm.

Se procede a realizar los cálculos correspondientes:

- Se graficó en el eje de las X los ml de extracto en función de las Unidades de tripsina Inhibidas por mililitro (UTI/ml) para calcular la regresión lineal.
- La r (coeficiente de correlación) debe ser mayor a 0.9 y si es así, se sustituye el valor de la ordenada al origen (b) en la siguiente ecuación:

$$B \times Factor \frac{vol. aforo muestra}{mg de muestra} = \frac{UTI}{mg de muestra}$$

3.6. Compuestos funcionales

3.6.1. Determinación de almidón resistente

Fundamento: Se fundamenta en realizar una digestión enzimática en donde se hidrolizan las cadenas de almidón y almidón unido a proteínas. Posteriormente se realiza un lavado con agua, etanol y acetona para eliminar la fibra soluble quedando solamente los residuos de fibra insoluble. Se realiza nuevamente otra digestión para liberar los monómeros de glucosa, que son cuantificados por un método espectrofotométrico (Goñi *et al.*, 1997).

Procedimiento: Se pesó la muestra, se colocó en un matraz y se le agregó buffer KCL-HCL para un PH de 1.5, posteriormente se agregó pepsina y se puso en agitación constante a 40 °C en un termo agitador para después enfriar y adicionar el segundo buffer, Trismalato, para un pH de 6.9 y la segunda enzima α -amilasa, se mezcló de forma suave y se dejó incubar a 37 °C con agitación constante.

La muestra se centrifugó a 5000 rpm y se desecharon los sobrenadantes, después se agregó KOH 2M a la muestra y se dejó a temperatura ambiente con agitación constante para agregar el tercer buffer: Acetato de Sodio al 0.4 M para un pH de 4.75 y la tercera enzima la cual fue amilogucosidasa y se incubó a 60 °C.

Se dejó enfriar la muestra para después volver a centrifugar 5000 rpm, pero ahora midiendo cada cantidad de sobrenadante que se obtuvo ya que se usó para el cálculo.

Se determinó glucosa en el sobrenadante usando reactivo de glucosa y dejando reposar para leer la absorbancia a 505 nm en el espectrofotómetro y después proceder a realizar los cálculos correspondientes.

3.6.2. Determinación de fibra dietética

Fundamento: Las muestras de alimentos secos son gelatinizados con α -amilasa estable al calor y posteriormente digeridas enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para eliminar la proteína y almidón presente en la muestra. Adicionando etanol para precipitar la fibra dietaria soluble y mediante filtración obtener la fibra dietaria (CUNNIF,1995).

Procedimiento: Se pesó por duplicado y con precisión la harina obtenida de la lenteja germinada (3 días) desengrasada en un matraz Erlenmeyer. Adicionar regulador de fosfato pH 6.0 y enzima α -amilasa.

El matraz se colocó a ebullición en una parrilla eléctrica con agitación constante para después ajustar el pH a 7.5 acondicionados con solución de NaOH 0.285 N y agregar proteasa. Se incubó a 60 °C con agitación continua en un baño con agua a temperatura controlada. Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente, se agregó solución de ácido clorhídrico 0.329 M y nuevamente se ajustó el pH a 4.5 adicionando la enzima amilomiglucosidasa y se incubó durante 30 minutos con agitación continua. Se dejó reposar a temperatura ambiente durante 60 minutos hasta permitir la precipitación de la fibra.

La solución de la digestión enzimática se filtró a través de un embudo vacío lavando secuencialmente con alcohol a 75%, alcohol al 95% y acetona. El contenido de papel filtro se secó hasta peso constante en una estufa previamente calibrada a temperatura 100 ± 2 °C. Finalmente el papel filtro y su contenido se incineró para discriminar el contenido de cenizas y el contenido de proteína.

3.6.3. Determinación de capacidad antioxidante

Fundamento: Este ensayo fue propuesto originalmente por Brand-Williams. El DPPH es uno de los pocos radicales orgánicos estables, presenta una fuerte coloración violeta, es comercialmente disponible y no tiene que ser generada *in situ* como el ABTS. El ensayo se fundamenta en la medición de la capacidad antioxidante para estabilizar el radical DPPH, esta medición puede hacerse espectrofotométricamente siguiendo el decaimiento de la absorbancia a 518 nm. La reacción de estabilización se considera que transcurre principalmente mediante un mecanismo de Transferencia de Electrones (TE), con un aporte marginal de transferencia de átomos de hidrógeno (TAH) (Kuskoski *et al.*, 2005).

Procedimiento: Se pesó la muestra y se diluyó en metanol-HCl al 1%, se hirvió en baño maría, después enfriar y centrifugar a 9000 rpm para obtener un sobrenadante.

Se colocaron los tubos a 65 °C hasta su total evaporación y después se redisolvió en agua destilada agitándolo, para después volver a centrifugar a 9000 rpm y se obtuvo el extracto.

Del extracto obtenido se tomó una muestra y se le agregó solución DPPH 120 µm y se dejó reposar por 30 minutos. Finalmente se midió la absorbancia a 815 nm y se leyó de forma adicional un control negativo para los cálculos.

Se realizaron los cálculos correspondientes.

3.6.4. Determinación de compuestos fenólicos.

Fundamento: El ensayo de Folin-Ciocalteu se utiliza como medida del contenido de compuestos fenólicos totales en productos vegetales. Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 765 nm.

Procedimiento: Para la obtención del extracto se realizó de igual forma que para la capacidad antioxidante. Del extracto obtenido se tomó la muestra y se agregó agua destilada, reactivo de Folin y se agitó y se deja reposar por 5 minutos. Posteriormente se agregó Carbonato de sodio (Na_2CO_3) para volver a agitar y se dejó reposar.

Finalmente, se midió la absorbancia a 760 nm y se realizan los cálculos para la determinación de la cantidad de compuestos fenólicos.

3.7. Análisis estadístico

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y se calculó su promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para el análisis de los promedios se utilizó la prueba de rango multiple-student a un nivel de significancia de 0.05.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Crecimiento de plántula e índice de conversión

El comportamiento del crecimiento de la plántula y el índice de conversión se puede apreciar en la Tabla 8.

Tabla 8. Características del germinado de lenteja (*Lens culinaris*) indicadas por su índice de conversión y tamaños de plántula a los diferentes tiempos de germinación.

Días de germinación.	Índice de conversión (%)	Tamaño de plántula y radícula. (cm)
3	80.29 ^a	3.25 ^a
4	84.07 ^a	3.16 ^a
5	82.17 ^a	5.22 ^b
6	90.54 ^a	7.34 ^c

Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Se puede apreciar un aumento en el índice de conversión al aumentar los días de germinación, y tiene un comportamiento parecido a lo reportado por Alatorre-Cobos y Rodríguez-Trejo (2009), que indican que el índice de conversión típicamente involucra inicialmente una rápida ganancia por humedad (imbibición), seguida por una larga meseta. En ambos casos se observó el comportamiento esperado en el crecimiento normal de una planta, es decir, que las condiciones de germinación fueron las adecuadas.

En la medición realizada a las plántulas y las radículas de los germinados de lenteja a los diferentes tiempos de germinación se pudo observar que entre el día 3 y 4 de germinación no hubo diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), pero a partir del día 5 hubo un aumento gradual el cual fue proporcional al tiempo de germinación siendo la plántula final 2.1cm más grande que la del día 3. Este crecimiento de plántula se debe a que existe mayor presencia de celulosa, esto es reportado por Colmenares de Ruiz y Bressani (1990). Por lo que fue lo esperado durante la experimentación.

4.2. Análisis químico proximal

El resultado obtenido a partir del análisis químico proximal de las diferentes muestras se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Análisis químico proximal de germinados de lenteja (*Lens culinaris*).

Días de germinación.	HUMEDAD (%)	PROTEÍNA (%)	GRASA (%)	CENIZAS (%)	FIBRA (%)	CHO'S (%)
0	10.39±0.05 ^a	21.45±0.09 ^a	0.40±0.007 ^a	2.54±0.054 ^a	6.44 ^a	58.78 ^a
3	10.71±0.282 ^a	27.34±0.172 ^b	0.84±0.047 ^b	2.61±0.01 ^a	8.09 ^b	50.41 ^a
4	9.71±0.125 ^a	25.95±0.068 ^b	0.75±0.03 ^b	2.65±0.005 ^a	9.74 ^b	51.2 ^a
5	11.88±0.10 ^c	23.69±1.26 ^{ab}	0.85±0.02 ^b	2.46±0.03 ^a	12.50 ^c	48.62
6	10.61±0.050 ^c	20.59±0.05 ^a	0.84±0.04 ^b	2.54±0.02 ^a	13.64 ^c	51.78

Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos para humedad corresponden a la muestra seca (germinado deshidratado y molido). Se pudo observar un aumento en la concentración de humedad a partir del día 5 de germinación por lo que hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a partir de ese día.

Para la proteína hubo un incremento en la concentración de la lenteja al tercer día de germinación. Conforme pasaban los días esta concentración fue disminuyendo, esto pudo deberse a que las proteínas pueden ser utilizadas para sintetizar otros compuestos.

El incremento de proteínas en los germinados coincide con lo reportado por Ghavidel y Prakash (2007) para germinados de leguminosas (garbanzo, frijol), esto comprueba que el proceso de germinación, en general, incrementa el contenido proteico del germinado en comparación con la semilla. El aumento en el contenido de proteína puede deberse a la biosíntesis durante la germinación (Ghavidel y Prakash, 2007), aunque la otra posibilidad es un aumento en el nitrógeno no proteico como resultado del remojo (Sattar *et al.*, 1989).

En el contenido de lípidos, se aprecia un aumento en la concentración a los tres días de germinación, pero luego se mantiene constante y no hay diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Esto puede deberse a una conjunción de factores, como la reducción concomitante de carbohidratos y síntesis de nuevos lípidos o por qué la extracción de estos se ve favorecido por la hidrólisis de los componentes de matriz o bien, por un incremento de la lipólisis para producir ácidos grasos libres (Botero Omary *et al.*, 2012).

El contenido de cenizas se mantuvo constante. No presenta diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Sería importante evaluar los cambios de cada mineral individual y su forma química durante el germinado, además de la biodisponibilidad de los mismo (Chavan *et al.*, 1989).

El contenido de fibra tuvo un aumento estadísticamente significativo ($P \leq 0.05$). El aumento puede deberse al mayor tamaño de la plántula y por ende a la mayor presencia de celulosa (Colmenares de Ruiz y Bressani.1990).

En cuanto a los carbohidratos, hubo una disminución entre los días de germinación. El contenido de carbohidratos de la lenteja hasta los 4 días de germinación no presentó diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Pero a partir del 5to día se aprecian diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Esto se debe a que durante la germinación se incrementa la actividad metabólica de las semillas y la energía necesaria para que esto ocurra se deriva principalmente de la degradación parcial del almidón en azúcares simples, utilizados en el proceso de respiración celular (Chavan *et al.*,1989).

4.3. Determinación del mejor tiempo de germinación

De acuerdo con el objetivo particular 1 se determinó el mejor tiempo de germinación a partir de los resultados del índice de conversión, tamaño de plántula y AQP.

El mejor tiempo de germinación fue el de 3 días, ya que en este tiempo se obtiene mayor cantidad de proteínas, lípidos y fibra. Además, en este tiempo de acuerdo con la percepción personal de los compañeros que probaron el producto, son mejores, los germinados son más suaves, con ligero sabor a jícama; mientras que a tiempos mayores están más duros con fuerte sabor a hierva, y, por último, a menor tiempo de germinación el proceso será más económica.

Por lo tanto, las pruebas de compuestos funcionales y anti nutrimentales correspondientes al objetivo 3 solo se realizaron a la muestra seleccionada con 3 días de germinación.

4.4. Calidad nutrimental: digestibilidad *in vitro*, contenido de triptófano, almidón total y almidón digerible

En la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos para la calidad nutrimental en la semilla de lenteja y el germinado de 3 días.

Tabla 10. Resultados de digestibilidad *in vitro*, contenido de triptófano, almidón total y almidón digerible de germinados de 3 días de lenteja (*Lens culinaris*).

Días de germinación	DIGESTIBILIDAD (%)	TRIPTÓFANO g aa/100g proteína	ALMIDÓN TOTAL (%)	ALMIDÓN DIGERIBLE (%)
0	81.44 ^a	1.29±0.05 ^a	32.82±1.18 ^a	8.79 ^a
3	81.44 ^a	1.39±0.035 ^a	30.62±1.59 ^a	17.39 ^b

Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

En la digestibilidad, se puede apreciar que no hubo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre la semilla de lenteja y el germinado seleccionado. Estos resultados no serían los esperados ya que de acuerdo con Ghavidel y Prakash (2007) el proceso de germinación activa enzimas como proteasas, lo cual afecta la digestibilidad *in vitro* e induce un aumento del valor. Aunque los resultados obtenidos se encuentran dentro de los valores reportados por Ganesan *et al.*, (2010) para la digestibilidad *in vitro* de la lenteja (79-83%) y se puede considerar una buena digestibilidad.

La concentración de triptófano se mantuvo constante y no se registraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). La literatura indica que el triptófano es utilizado para generar fitohormonas llamadas auxinas; estas auxinas estimulan la germinación en las semillas al incrementar la extensibilidad de la pared celular favoreciendo la elongación celular del tallo (Bewley & Black, 1994; Arellano *et al.*, 2008).

En el caso del almidón total disminuyó, pero no de forma significativa ($P \leq 0.05$). Este resultado es lo esperado ya que durante la germinación la plántula obtiene su energía, principalmente, de estas reservas (Alatorre-Cobos y Rodríguez-Trejo, 2009).

El almidón digerible aumentó 100%, y hubo diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Estos resultados son los esperados ya que de acuerdo con estudios los germinados de frijol, garbanzo y lenteja logran un mayor porcentaje de almidón digerible que va de un 53% a un 82% tras 24 horas de iniciado el proceso de germinación (Nkhata, 2018).

El aumento de almidón digerible en el germinado resulta benéfico, ya que su rápida absorción, aumenta la biodisponibilidad de energía al cuerpo humano.

4.5. Compuestos funcionales: fibra dietética, almidón resistente, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos

En las Tablas 11 y 12 se muestran los resultados obtenidos para los diferentes compuestos funcionales en la muestra de semilla de lenteja y los germinados de 3 días.

Tabla 11. Resultados de fibra dietética y almidón resistente de germinados de 3 días de lenteja (*Lens culinaris*).

Días de germinación	FIBRA DIETÉTICA (%)	ALMIDÓN RESISTENTE (%)
0	39.03±1.71 ^a	23.94±1.30 ^a
3	42.69±0.55 ^a	13.23±1.26 ^b

Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

La fibra dietética aumentó al tercer día de germinación, aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Aunque el aumento fue poco, la cantidad de fibra que contiene el germinado es suficiente para tener un efecto benéfico, ya que el consumo de fibra dietética se ha asociado con propiedades de alimentos funcionales, que, además de nutrir, proveen condiciones que favorecen la disminución de hipercolesterolemia y disminución de glucosa sanguínea y control de peso (Montero *et al.*, 2015).

El almidón resistente se ve reducido de forma significativa ($P \leq 0.05$). La concentración de AR puede modificarse bajo algunas condiciones, como son: el pH, la temperatura (temperatura de secado del germinado) y el tiempo (Sajilata MG *et al.*, 2006). Aunque hay una reducción del almidón resistente, lo que se mantiene en el germinado, puede tener un efecto positivo semejante al que tiene la fibra dietética, de funcionar como un prebiótico; en el intestino grueso se produce la fermentación de estos dos componentes por la microflora; durante este proceso, además de metano, hidrógeno y dióxido de carbono, se forman ácidos grasos de cadena corta (ácidos acéticos, propiónico y butírico), con lo que se reduce el pH en el intestino grueso, lo cual, evita el desarrollo de microorganismos patógenos (Cummings y Englyst, 1991).

Tabla 12. Resultados de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de germinados de 3 días de lenteja (*Lens culinaris*).

Muestra	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (%)	COMPUESTOS FENÓLICOS (mg AG/g mtra)
Lenteja	49.3±0.41 ^a	1.49±0.01 ^a
Germinado 3 días	85.27±0.58 ^b	4.56±0.04 ^b

Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Se pudo observar en la Tabla 12 que la germinación aumentó la capacidad antioxidante comparada con la semilla de lenteja, estos resultados son lo esperado de acuerdo con lo que reportan algunos autores (De León *et al.*, 2013; Davila *et al.*, 2003) que indican un aumento de antioxidantes durante la germinación de semillas.

En el caso de los compuestos fenólicos hubo un aumento en la concentración, de igual forma hubo diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). El contenido de compuestos fenólicos presentes en los vegetales está influenciado por el tipo de cultivo, las condiciones agronómicas, estado de madurez, así como el manejo y tratamientos poscosecha a los que son sometidos.

Este aumento de concentración de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos son de suma importancia, ya que aportan beneficios fisiológicos como:

actividad antiviral, anti mutagénica, antibacteriana, anti carcinogénico, antialérgica entre otras; todas se derivan del estrés oxidativo de las células (Vintimilla,2013).

4.6. Relación de eficiencia proteica

Los resultados obtenidos del índice de eficiencia proteica (PER) y la digestibilidad *in vivo* se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados de digestibilidad aparente y eficiencia proteica en germinados de 3 días de lenteja (*Lens culinaris*).

Muestra	PER	PER Ajustado	DA (%)
Caseína	2.17	--	--
Germinado	0.34	0.39	93.73

Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Para los resultados obtenidos, el valor de PER del germinado de lenteja es muy bajo, incluso comparándolo con otros granos como el arroz con PER de entre 1.5-2.0 (FAO,1970). Para la digestibilidad aparente, de acuerdo con los valores reportados y valores obtenidos en la experimentación, se obtuvo un aumento en el germinado de la semilla de lenteja. Esto es lo que se esperaba ya que el proceso de germinación activa enzimas como las proteasas, lo cual afecta la digestibilidad de las proteínas e indujo un aumento en el valor (Ghavidel y Prakash,2007).

Esta disminución de PER pudo deberse a que el germinado de lenteja no fue del agrado de los ratones y por ende no hubo mucho consumo, o puede deberse también a la cantidad de fibra dietética presente en el germinado (42.69%) haciendo que los animales tengan una mayor saciedad, lo que conduce al menor consumo (Lenzi de Almeida *et al.*, 2008).

4.7. Factores anti nutrimentales: taninos, ac. fítico, inhibidores de tripsina

En la Tabla 14 se muestran los resultados obtenidos para los diferentes factores anti nutrimentales cuantificados en los germinados de lenteja.

Tabla 14. Resultados de factores anti nutrimentales de la semilla de lenteja y germinados de lenteja (*Lens Culinaris*).

Días de germinación	TANINOS (%)	AC. FÍTICO (%)	INHIBIDORES DE TRIPSINA (UTI/mg de mtra)
Lenteja	0.65±0.01 ^a	0.91±0.07 ^a	0.11
3	0.317±0.003 ^b	0.41±0.01 ^b	ND

Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Para los resultados obtenidos se observa una disminución significativa ($P \leq 0.05$) entre la lenteja y el germinado. Savelkoul *et al.*, (1992) indicaron que la degradación enzimática era la posible responsable de la pérdida de taninos durante la germinación.

En el análisis de resultados de ácido fítico pudimos observar una disminución del 45% lo que ocasionó que hubiera diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Este menor contenido de ác. fítico podría explicarse por la lixiviación de este compuesto en el agua y la activación de la fitasa endógena durante la germinación que proporciona mioinositol y ácido fosfórico para el crecimiento de las plántulas (Cornejo *et al.*, 2015).

Martínez *et al.* (2002) nos indica que el ácido fítico se encuentra en los alimentos en niveles de 0.1-6%, dependiendo su concentración de la parte de la planta que se consuma: en semillas los niveles son elevados ya que se localizan fundamentalmente en el cotiledón.

Los inhibidores de tripsina en el germinado no se detectaron, esto se debe a los bajos niveles de tripsina que contiene la lenteja. De igual forma la disminución se debió a que los inhibidores de tripsina son termolábiles y su actividad inhibitoria puede disminuirse considerablemente con tratamientos térmicos (Liener, 1994). Esto pudo haberse dado durante el proceso de secado del germinado.

5. CONCLUSIONES

Se logró obtener de manera satisfactoria el germinado de lenteja bajo las condiciones experimentales a 25 °C y en ausencia de luz, por 3, 4, 5 y 6 días consiguiendo un incremento adecuado en el tamaño de la plántula y el índice de conversión.

El mejor tiempo de germinación para la semilla de lenteja fue de tres días, ya que aumentó el contenido de proteína, fibra y su textura y sabor fueron agradables para su consumo.

La germinación tuvo un efecto positivo en la calidad nutrimental de la semilla de lenteja pues aumentó la digestibilidad *in vitro* e *in vivo* de la proteína,

El proceso de germinación mejoró la funcionalidad de la semilla, ya que aumentó el contenido de fibra dietética, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos.

La germinación de las semillas de lenteja tuvo un efecto benéfico ya que disminuyó el contenido de factores antinutrimientales como: taninos, ácido fítico, y los inhibidores de tripsina no fueron detectados en el germinado.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la germinación demostró ser una buena opción para mejorar la calidad nutrimental, funcional y sensorial de la semilla de lenteja y esto permite ofrecer una manera distinta de consumo.

REFERENCIAS.

- A.O.A.C. (2005). Official methods of Analysis of Asociation of Official Analytical Chemists, Cunnif, Published by AOAC International Edition, USA.
- Abu-Sabbah M.S., (2015). Estudio sobre proporciones de triptófano, aminoácidos neutros y glucosa para la síntesis de serotonina cerebral en niveles fisiológicos normales relacionados a la neuroconducta. Tesis de Maestría. USMP Facultad de Medicina, Lima Peru.
- Adom, K. K., yLiu, R. H. (2002). Antioxidant activity of grains. Journal of agricultural and food chemistry, 50(21), 6182-6187.
- Alatorre-Cobos, J., y Rodriguez-Trejo, D.A. (2009). Concentración de carbohidratos y peso fresco durante la germinación de *Chamaedorea elegans* mart. Y factores que le afectan. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente.
- Aldana-Pérez., Guayasamín-Pérez, C.D. (2014). Evaluación de la actividad antioxidante de los extractos (alcohólico acuoso) de las hojas de *ficus citrifolia* y caracterización química de los polifenoles. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador.
- Aguilera, Y. (2009). Harinas de leguminosas deshidratadas: caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecno-funcionales. Tesis doctoral. Facultad de ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Almeida Costa, G. E., da Silva Queiroz-Monici, K., Reis, S. M. P. M., & de Oliveira, A. C. (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. Food chemistry, 94(3), 327-330.
- Arellano, Y., García, E. & Vázquez-Ramos, J.M. (2008). Estimulación de la síntesis de ADN y de proteínas de ciclo celular por auxinas durante la germinación de maíz. Agrociencia, 42, 637-644
- Ashra, M. Y., Mahmood K., Ashraf M., Akhter, J., Hussain, F. (2012). Optimal Supply of Micronutrients Improves Drought Tolerance in Legumes.
- Ayerbe, L. y Ceressuela J. L. (1982). Germinación de especies endémicas españolas. Anales del INIA. Serie Forestal, 6, 17-41.

- Aykroyd, W. K. and Doughty, J. (1964). Legumes in human nutrition. Food and Agriculture Organization of the United Nations, p 125
- Aykroyd, W.R., J. Doughty, and A. Walker. (1982). Legumes in human nutrition. FAO Food and Nutrition Paper N° 20. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), Food Policy and Nutrition Division, Rome, Italy.2, 160
- Barrios-Casado, A. (2012). Adaptación a la siembra invernal y tolerancia al frío en lenteja (*Lens culinaris Medik*). Mapeo de QTLs involucrados. Tesis doctoral, Universidad de León, España-.
- Barrón-Yáñez, M. R., Villanueva-Verduzco, C., García-Mateos, M. R., & Colinas-León, M. T. (2009). Valor nutritivo y contenido de saponinas en germinados de huauzontle (*Chenopodium nuttalliae* Saff.), calabacita (*Cucurbita pepo* L.), canola (*Brassica napus* L.) y amaranto (*Amaranthus leucocarpus* S. Watson syn. *hypochondriacus*L). Revista Chapingo. Serie horticultura, 15(3), 237-243.
- Bewley, J.D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M. y Nonogaki, H. (2013). Seeds physiology of development, germination and dormancy. Springer. New York, E.U.A.
- Botero Omary, M., Fong, C., Rothschild, J., Finney, P. (2012). Effects of Germination on the Nutritional Profile of Gluten-Free Cereals and Pseudocereals, 89(1),1–14
- Boza López, J. (2006). Valor nutritivo de las leguminosas grano en la alimentación humana y animal.
- Bhatt, 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
- Black, R.E. (2008). “for the Maternal and Child Undernutrition Study Group. Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences”, Lancet, 371, 243-260.

- Centeno, C. (2001). Effect of several germination condition on total P., phytate P. phytase, and acid phosphatase activities and inositol phosphate esters in rye and barley. En: Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49(3), 208 -215.
- Cerón, I., Higueta, J., Cardona, C. (2010). Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina. Vector, 5,5-10.
- Colmenares de Ruiz, A.S. & Bressani, R. (1990). Effect of Germination on the Chemical Composition and Nutritive Value of Amaranth Grain. Cereal Chemistry, 67(6), 519-522.
- Cornejo, F., Caceres, P.J., Martínez-Villaluenga, C., Rosell, C.M., & Frías, J. (2015). Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of Brown rice breads. Food chemistry, 173,298-304.
- Champ M. (2004). Physiological aspects of resistant starch and in vivo measurements, J AOAC, 87, 749-755.
- Chaparro-Acuña, S.P., Aristizabal-Torres, Gil-Gonzales, J.H. (2009). Reducción de factores antinutricionales de la semilla de vitabosa (*Mucuna deeringiana*) mediante procesos fisicoquímicos. Rev.Fac. Nal.Agr.Medellín 62(2), 5157-5164.
- Chaparro, D.C., Pismag, R. Y., & Elizalde C, Ana De Dios. (2011). Efecto de la germinación sobre el contenido de hierro y calcio en amaranto, quinua, guandul y soya. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 9(1), 51-59. Fecha de consulta: Mayo del 2022. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612011000100007&lng=e&tlng=es.
- Church, C.D. and Pond, G.W. (1987). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 1a. Ed. México, D. F., Editorial Limusa, S. A. de C.V. (1 y 2), 21-24, 26, 31-48, 51-54, 104, 120, 137-142 y 218.
- Chavan, U.D., F. Shahidi, A.K. Bal and D.B. McKenzie. (1999). Physico-chemical properties and nutrient composition of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.). Food Chemistry ,66(1),43–50
- Cunnif, P (1995). Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition, USA.

- Cummings J., Englyst, H. (1991), Measurement of starch fermentation in the human large intestine, *Cann J Physiol Pharmacol*, 69,121-129
- Dávila, M. A., Sangronis, E. y Granito, M. (2003). Leguminosas germinadas o fermentadas: alimentos o ingredientes de alimentos funcionales. *ALAN - Archivos Latinoamericanos de nutrición: Órgano oficial de la sociedad Latinoamericana de nutrición*, 53 (4),348 - 354.
- Delouche, J. C. (2002). Germinación, deterioro y vigor de semillas. *Seed News* 6(6).
http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/artigocapa66_esp.shtml
- Desai, B. B. (2004). *Seed Handbook, Biology, Production, Processing, and Storage*. Marcel Dekker, INC. USA. 2,787.
- De Dios, A. Porrilla, Y., & Chaparro, D. (2009). Factores antinutricionales en semillas. Grupo de Investigación Innovaciones Agroindustriales con Proyección Social, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 46.
- De León, C. P., Torija, M. E., & Matallana, M. C. (2013). Utilidad en la alimentación de algunas semillas germinadas: brotes de soja y trigo. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural Sección Biología*, 107, 47-55.
- Dixon, R.A., M.J. Harrison and C.J. (1994). Early events in the activation of plant defense responses. *Annual Reviews of Phytopathology*, 32, 479-501.
- AC Dona, G. Pages, RG Gilbert, PW Kuchel. (2010). Digestión del almidón: modelos cinéticos in vivo e in vitro utilizados para caracterizar la liberación de oligosacáridos o glucosa *Carbohidr. polim.*, 80, 599 – 617.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1). Fecha de consulta: 21 de marzo de 2022. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100011&lng=es&tlng=es.
- Duffus, C. & Slaughter, C. (1985). *Las semillas y sus usos*. México: A.G.T.10-11, 18-21, 32-35, 102-107, 122.

- Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., Kordowska-Wiater, M., & Domán –Pytka, M. (2015). Influence of elicitation and germination conditions on biological activity of wheat sprouts. *Journal of Chemistry*, 1-8. Fecha de consulta: abril 2022. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/649709>
- Elizalde, A. D. D., Pismag, R. Y., & Chaparro, D. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 45-54.
- Escudero Álvarez, E., y González Sánchez, P.(2006). Fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*, 21 (2), 61-72.
- Englyst H.N., Kingman S.M., Hudson G.J. (1996). Measurement of resistant starch in vitro and in vivo. *Br J Nutr*, 75, 749–755.
- FAO (1970). Contenido de aminoácidos de los alimentos y datos biológicos sobre las proteínas. Servicio de ciencia y política de la alimentación. Dirección de Nutrición. Roma.187-205. Fecha de consulta: mayo del 2022. disponible en: <http://www.fao.org/3/AC854T/AC854T78.htm>
- FAO. (2000). ECOCROP. Fecha de consultad: 22 febrero 2022. Disponible en: www.ecocrop.fao.org. FAO. Roma, Italia.
- FDA. (2018). -C.F.R.106.160 Code of Federal Regulations Title 21. Fecha de consulta: el 30 de abril del 2019. Disponible en: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=106.160>
- Financiera Rural (2010). Monografía de la Lenteja. Fecha de consulta: marzo 2022.Disponible en: http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa%20Lenteja_Mayo-2010.pdf>.
- Franco, F y Ramos, A. (1996), El cultivo de leguminosas grano en Castilla y León.

- Garcia, V. (2010). Trabajo Monográfico de actualización Amarantho: Una alternativa de alimento para personas de edad avanzada. (Tesis Licenciatura). UNAM Facultad de Química, México DF.
- García Rodríguez, J. Guadalupe, Cervantes Ortiz, Francisco, Ramírez Pimentel, Juan Gabriel, Aguirre Mancilla, Cesar, Rodríguez Perez, Gilberto, Ochoa, Francisca, & Mendoza Elos, Mariano. (2017). Determinación de lisina, triptófano y proteína en germinados de maíz criollo y QPM. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(4), 877-890.
- García Esteban, C. (2014). Inhibidores de proteasas en leguminosas. Grado en nutrición humana y dietética. Tesis de licenciatura. Facultad de medicina, Universidad de Valladolid, España.
- Ganesan, K. and Xu, B. (2017). Polyphenol-Rich Lentils and Their Health Promoting Effects. International Journal of Molecular Sciences, 18(11), 2390.
- Ghavidel, R. A., y Prakash, J. (2007). The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. LWT-Food Science and Technology, 40(7), 1292-1299
- Gilani, G. y Lee, N. (2003). Quality. Bureau of Nutritional Sciences. 1, 4847-4854
- González, G. y García, D. (2012). Ejercicio físico y radicales libres, ¿es necesario una suplementación con antioxidantes? Rev. Inter. Med. Cienc. Act. Fís. Dep. 12,369-88.
- Goñi, I., Garcia-Diz, L., Maññas, E., & Saura-Calizto, F. (1997). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. Food chemistry. 56(4),445-449.
- Guerrero A (1999) Cultivos Herbáceos Extensivos. Ed Mundi-Prensa. 833
- Gutiérrez, C., V. Guajardo y F. Álvarez Del Río. (2012). "Costo de la obesidad: Las fallas del mercado y las políticas públicas de prevención y

control de la obesidad en México. Capítulo 11”, En: Rivera Dommarco, J.A., et al., Obesidad en México: recomendaciones para una política de Estado, México, UNAM.

- Grusack MA (2009) Nutricional and Health- Beneficial Quality. En: Erskine W, Muehlbauer FJ, Sarker A, Sharma B (eds) The Lentil: Botany, Production and Uses. CABI Press, Wallingford, UK, 368-390
- Haug, W., & Lantzsch, H. (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34, 14232-14261.
- Henningson, A. M., Nyman, E. M. and Bjorck, I. M. (2001). Content of shortchain fatty acids in the hindgut of rats fed processed bean (*Phaseolus vulgaris*) flours varying in distribution and content of indigestible carbohydrates. *Br. J.Nutr.* 86, 379–89.
- Herlich, K. (1990). *Official Methods of Analysis of the A.O.A.C.* 15th edition, published by A.O.A.C. Inc, Arlington. 2, 1020.
- Hoover, R., Hughes, T., Chung, H. J. and Liu, Q. (2010). Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food Res.Int.* 43(2), 399–413.
- Hoover, R. and Ratnayake, W. S. (2002). Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *FoodChem.* 78, 489–498.
- Hoyos, L. *Los germinados: comida viva, fuente de vida, belleza y longevidad feliz.* Bogotá: Grupo empresarial naturaleza y vida; s.f., 87.
- Hsu, H., Vavak, I., Satterlee & Miller, G., (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal Food Science and Technology*, 42(5), 1269-1273.
- Kakade M. L., Rackis J. J., McGhee J. E. & Puski G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy product: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chemistry*, 51, 376-381.

- Kay, D.E. (1979) TPI Crop and Product Digest, No. 3 Food Legumes. Tropical Products Institute, London.
- Khan, N.; Zaman, R. y Elahi, M. (1988). Effect of processing on the phytic acid content of bengal gramas (*Cicer arietinum*) products. En:Journal of Agricultural and Food Chemistry, 36(1),274 –276
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. Food Science and Technology, 25(4),726-732.
- Liener, I. E. (1994). Implications of antinutritional components in soybeans foods. Critical Review of Food Science and Nutrition, 34, 31–67.
- Lenzi de Almeida, K. C., Spreafico Fernandes, F., Teles Boaventura, G., & Guzmán-Silva, M. A. (2008). Efecto de la semilla de linaza (*Linum usitatissimum*) en el crecimiento de ratas Wistar. Revista chilena de nutrición, 35(4), 443-451.
- Lev-Yadun S, Gopher A, Abbo S (2000) The cradle of agriculture. Science, 288,1602-1603.
- López, P., Sánchez, I., & Román, A. D. (2006). Evaluación biológica de la calidad proteica de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum* jess) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala, México. Revista chilena de nutrición, 33(1), 86-90.
- López-Sánchez, D.M. (2021). Elaboración de un dulce tradicional “muégano” con harinas de trigo y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). (Tesis licenciatura). UNAM Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli.
- Maritza E., Naspud. (2018). Determinación de la capacidad antioxidante de los extractos alcohólicos del fruto de mora (*Rubus glaucus* Benth) obtenidos con tres pretratamientos térmicos. Fecha de consulta: 20 abril 2022. Disponible en:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16411/1/UPS-CT007983.pdf>

- Martínez D.B., Ibáñez Gómez, M., & Rincón León, F. (2002). Acido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. Archivos latinoamericanos de nutrición, 52(3), 219-231.
- Matito, S.C. (2014). Efecto de la ingesta de cereales enriquecidos con triptófano sobre el sueño, niveles de melatonina, serotonina, cortisol y estado antioxidante en personas mayores (Tesis de doctorado) Universidad de Extremadura, Facultad de Ciencias, Badajoz, España.
- Mazza, G. (2000). Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado. Zaragoza, España: Acribia. 292-307.
- Megat Rusydi MR, Noraliza CW, Azrina A, Zulkhairi A. (2011). Nutritional changes in germinated legumes and rice varieties. Int Food Res J.18(2).
- Miller, H. E., Rigelhof, F., Marquart, L., Prakash, A., & Kanter, M. (2000). Whole-grain products and antioxidants. Cereal foods world, 45(2), 59-63.
- Miras, Beatris. (2014). Deshidratados y germinados para cuidar su salud y peso. Instituto Nacional de Desarrollo Social, CDMX, México.
- Moon, J., y Shibamoto, T. (2009). Antioxidant assays for plant and food components. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57, 1655-1666.
- Moongngarm, A., y Saetung, N. (2010). Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. Food chemistry, 122(3), 782-788.
- Montero, K. C., Moreno-Rojas, R., Molina, E. A., Colina, M. S., & Sánchez-Urdaneta, A. B. (2015). Evaluación de panes enriquecidos con amaranto para regimenes dietéticos. Interciencia, 40(7), 473-478.
- Moreiras, O., Carbajal, A. (2013). Tablas de composición de alimentos. 16, 46-47
- Morales Corts, R (2016) Caracterización nutricional de la lenteja de la Armuña. I convocatoria de proyectos de investigación orientados a ofrecer soluciones al sector primario. Diputación de Salamanca.

- Morales-Santos, Martha E., Peña-Valdivia, Cecilia B., García-Esteva, Antonio, Aguilar-Benítez, Gisela, & Kohashi-Shibata, Josué. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, 51(1), 43-62. Fecha de consulta: 18 de marzo de 2022. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000100043&lng=es&tlng=es.
- Muzquiz, M. (1997) Spanish legumes and the Mediterranean diet. *Grain Legumes*, 17,22-23.
- Naspud, Maritza E. (2018). Determinación de la capacidad antioxidante de los extractos alcohólicos del fruto de mora (*Rubus glaucus* Benth) obtenidos con tres pretratamientos. Tesis de licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Nkhata SG, Ayua E, Kamau EH, Shingiro JB. (2018). Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Food Sci Nutr*.6(8),2446–58.
- Nugent, A. P. (2005). Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin*, 30(1),27-54.
- Pérez de la Vega M, Fratini R, Muehlbauer FJ (2011). Lentil. En: Pérez de la Vega M, Torres AM, Cubero JI, Kole C (eds) *Genomics and Breeding of Cool Season Grain Legumes*. Science Publishers. 448.
- Rama, M., Tara, R., & Krishnan, C. (1974). Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses. *Journal food science and technology*. 11, 213-216.
- Ramos-Aguilar, Villanueva-Verduzco. (2006). Producción de germinados de frijol mungo (*vigna radiata*) y calabaza pipiana (*cucúrbita argyrosperma*). *Revista Chapingo serie horticultura* 4(2),95-100.
- Repo de Carrasco, Ritva, & Encina Zelada, Christian René. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 108-124.

- Riviére, J. La alimentación viviente: una huerta en su hogar. Bogotá: D'Solaroma; s.f., 108.
- Roberfroid, M. B. (2000). Concepts and strategy of functional food science: the European perspective. *The American journal of clinical nutrition*, 71(6), 1660S-1664S
- Rodríguez, S. A. C. (2003). Forraje Verde Hidropónico. 1ª ed. Diana, México (DF).
- SADER (2015). Lenteja símbolo de abundancia. Recuperado. Fecha de consulta: marzo 2022. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/lenteja-simbolo-de-abundancia>
- Salas-Pérez, Lilia, Gaucín Delgado, Jazmín Monserrat, Preciado-Rangel, Pablo, Gonzales Fuentes, José Antonio, Ayala Garay, Alma Velia, & Segura Castruita, Miguel Ángel. (2018). La aplicación de ácido cítrico incrementa la calidad y capacidad antioxidante de germinados de lenteja. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(20), 4301-4309. Fecha de consulta: 13 abril 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.999>
- Salgado T. (2006). Purificación y caracterización bioquímica y fisicoquímica de lecitinas de frijol y amaranto cultivados en el Estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Sarker, A., Sharma, B. *The Lentil: Botany, Production and Uses*. CABI Press, Wallingford, UK, 368-390.
- Salunkhe, D. K., Kadam, S. S., & Chavan, J. K. (1985). Postharvest biotechnology of food legumes.
- Sajilata MG, Rekha S, Singhal, Pushpa R. Kulkarni. (2006). Resistant starch-a review, *Compr Rev Food Sci F*, 5,1-17.
- Sanches, D.Y. (2020). Evaluación Nutricional y Funcional de Germinados de Amaranto. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, UNAM, Cuautitlán Izcalli, Edo. De México.

- Sathe SK, Deshpande SS, Reddy NR, Goll DE, Salunke DK. (1983). Effects of germination on protein, raffinose oligosaccharides, and antinutritional factors in the great northern beans (*Phaseolus vulgaris* L). *J Food Sci*,48, 1796-1800.
- Sattar, A., Durrani, S. K., Mahmood, F., Ahmad, A., & Khan, I. (1989). Effect of soaking and germination temperatures on selected nutrients and antinutrients of mungbean. *Food Chemistry*, 34(2), 111-120.
- Savelkoul, F. H. M. G., Van der Poel, A. F. B., & Tamminga, S. (1992). The presence and inactivation of trypsin inhibitors, tannins, lectins and amylase inhibitors in legume seeds during germination. A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 42(1), 71-85.
- Shi, M., Chen, Y., Yu, S., Gao Q. (2013). Preparation and properties of RS III from waxy maize starch with pullulanase, *Food Hydrocolloids*, 33,19-25.
- Sigh U (1999). Cooking quality of pulses. *Journal of food Science and Technology-Mysore*, 36, 1-14.
- Singh, S., Singh, H. D., & Sikka, K. C. (1968). Distribution of nutrients in the anatomical parts of common Indian pulses. *Cereal Chem*, 45, 13-18.
- Sotelo A, Mendoza J, Argote R. (2002). Contenido de ácido fítico en algunos alimentos crudos y procesados de un método colorímetro. Departamento de farmacia, Facultad de química, UNAM, CDMX.
- Strasburger E., Noll, F., Schneck, H., Schimper, A.F.W. (1994). *Tratado de Botánica*, 8ª ed. castellano. Ed. Omega.
- Thompson D. (2000). Strategies for the manufacture of resistant starch, *Trends Food Sci Technol*, 11, 245-253.
- Torres, A. R. y Calvo, A. F. M. (2011). Enfermedad hipertensiva del embarazo y el calcio. *Rev. Cubana de Obstetricia y Ginecología*. 37,551-561.
- Thomé OW (1885). *Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz in Wort und Bild für Schule und Haus*. Gera-Untermhaus,699.

- Ugarte, M., Giraudó, M., Pavesi, R., Sanchez Tuero, H., Beaufort, C., Menéndez, J. (2010). Almidón resistente en los alimentos.
- Urbano G, Porres JM, Frías J, Vidal-Valverde C (2007) Nutricional Value. En: Yadav S, McNeil D, Stevenson P (eds.) Lentil: An Ancient Crop for Modern Times, Springer, 47-93.
- Vanderstoep J. (1981). Effect of germination on the nutritive value of legumes. Food Technol, 35(3),83-85.
- Vidal-Valverde C, Frías J, Estrella I, Gorospe MJ, Ruis R, Bacon J. (1994). Effect of processing on some antinutritional factors of lentils. J Agric Food Chem ,42,2291-2295.
- Villarroel, Pía, Gómez, Camila, Vera, Camila, & Torres, Jairo. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. Revista chilena de nutrición, 45(3), 271-278.Fecha de consulta: 15 de marzo del 2022. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- Vintimilla, M. (2013). Determinación de la actividad antioxidante de las fracciones lipofílicas e hidrofílicas de los subproductos agroindustriales de mango.Fecha de consulta: 15 de febrero del 2022. Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/5752>
- 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.
- Wyatt C. J., Triana-Tejas. (1994). Soluble and insoluble Fe, Zn, Ca y phytates in foods commonly consumed in Northern Mexico.Journal of Agricultural and Food Chemistry. 42,2204-2209.
- Yadav S, Stevenson P, Rizvi A, Manohar M, Gailing S, Mateljan G (2007) Uses and Consumption. En: Yadav S, McNeil D, Stevenson P (eds) Lentil: An Ancient Crop for Modern Times. Springer,33-46.
- Zhang, G., Ao, Z. and Hamaker, B. R. (2006). Slow digestion property of native cereal starches. Biomacromol. 7,3252–3258.

- Zhou J. R., Erdman J. W. Jr. (1995). Phytic acid in health and disease C. R. C. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 35,495-508
- Zhu, D. Hettiarachy, N.S., Horax, R., & Chen, P. (2005). Isoflavone contents in germinated soybean sedes. Plants Foods for Human Nutrition, 60(3), 147-151.