



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**  
**DIVISIÓN ACADEMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FUNCIONALES Y CONTENIDO DE SELENIO  
EN GERMINADOS DE *Canavalia ensiformis* BIOFORTIFICADO CON  
SELENITO DE SODIO**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRA EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS**

**PRESENTA:  
MVZ. PATRICIA JERÓNIMO LÓPEZ**

**BAJO LA DIRECCIÓN DE:  
Dr. ALDENAMAR CRUZ HERNÁNDEZ**

**EN CODIRECCION DE:  
Dr. EFRAÍN DE LA CRUZ LÁZARO**

**VILLAHERMOSA, CENTRO, TABASCO, FEBRERO, 2025**

## Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa Centro Tabasco, el día 11 del mes de febrero del año 2025, el que suscribe Patricia Jerónimo López alumna del Programa de Maestría de Ciencias Agroalimentarias con número de matrícula 222C26001, adscrito a la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autora de la Tesis presentada para la obtención del Título Maestra en ciencias Agroalimentarias y titulada CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FUNCIONALES Y CONTENIDO DE SELENIO EN GERMINADOS DE *Canavalia ensiformis* BIOFORTIFICADO CON SELENITO DE SODIO dirigida por Dr. Aldenamar Cruz Hernández.

### DECLARO QUE:

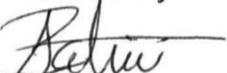
La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido del desarrollo tecnológico presentado de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente

Villahermosa, Tabasco a 11 de febrero 2025

Nombre y Firma

Nombre y Firma

  
Patricia Jerónimo López

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Villahermosa, Tabasco a 11 de febrero del 2025

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como autora y autores en la producción, creación y realización de la obra denominada "CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FUNCIONALES Y CONTENIDO DE SELENIO EN GERMINADOS DE *Canavalia ensiformis* BIOFORTIFICADO CON SELENITO DE SODIO". Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un periodo de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADORES

  
MVZ. Patricia Jerónimo López

Egresada

  
Dr. Aldenamar Cruz Hernández

Director

Dr. Efraín de la Cruz Lázaro

Codirector

TESTIGOS

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Amelio Eli Morales Morales

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Sayani Teresa López Espinosa



**UJAT**  
UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División  
Académica de  
Ciencias  
Agropecuarias

Jefatura de



Villahermosa, Tabasco a 07 de febrero de 2025  
**Of. No. 042/JP/DACA/2025**  
**Asunto:** Autorización de impresión de Tesis  
**MATRÍCULA 222C26001**

**MTRA. MARIBEL VALENCIA THOMPSON**  
**JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN**  
**Y TITULACIÓN DE LA U. J. A. T.**  
**P R E S E N T E**

En conformidad con lo establecido en el Artículo 77 fracción III del Reglamento de Titulación de la U. J. A. T., me permito comunicar a Usted que el **Dr. Aldenamar Cruz Hernández (Director)** y el **Dr. Efraín de la Cruz Lázaro (Codirector)**, dirigieron y supervisaron el Trabajo Recepcional de Tesis denominada "**Características químicas, funcionales y contenido de selenio en germinados de *Canavalia ensiformis* biofortificado con selenito de sodio**", elaborado por la **C. Patricia Jerónimo López** egresada de la **Maestría en Ciencias Agroalimentarias**. El jurado para el examen profesional conformado por el **Dr. César Márquez Quiroz**, **Dr. Armando Gómez Vázquez**, **Dr. Aldenamar Cruz Hernández**, **Dra. Laura Mercedes Lagunes Gálvez** y la **Dra. Hortensia Brito Vega**, revisaron y señalaron la modificaciones pertinentes al trabajo recepcional y que la interesada ha llevado a efecto. Por lo tanto, el trabajo recepcional de Tesis puede **imprimirse**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un afectuoso saludo.

**A T E N T A M E N T E**

**M. V. Z. JORGE ALFREDO THOMAS TÉLLEZ**  
**DIRECTOR**

U. J. A. T.



DIVISIÓN ACADÉMICA DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS  
DIRECCIÓN

c.c.p. M. C. Irma Gallegos Morales – Coordinadora de Investigación y Posgrado de la DACA  
Dra. Magally Guadalupe Sánchez Domínguez – Jefa de Posgrado de la DACA  
Dr. Rodolfo Osorio Osorio – Coordinador del Programa Maestría en Ciencias Agroalimentarias  
Dr. Aldenamar Cruz Hernández – Director de Tesis.  
Interesado.  
MGSD'aemh

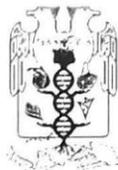
Km 25, Carretera Villahermosa-Tehuacan  
Ra. La Huasteca, 2ª sección, 86298, Centro, Tabasco, Méx  
Teléfono 993 358 1500 EXT 6601 Y 61  
Correo electrónico: direccion@daca@ujat.mx

www.ujat.mx



**UJAT**  
UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ ESTUDIO EN LA DUDA, ACCIÓN EN LA FE ”



División  
Académica de  
Ciencias  
Agropecuarias

Jefatura de Posgrado



Villahermosa, Tabasco a 07 de febrero de 2025

Of. No. 007/JP/DACA/2025

Asunto: Resultado de similitud

Matrícula 222C26001

DR. ALDENAMAR CRUZ HERNÁNDEZ – DIRECTOR DE TESIS  
DR. EFRAÍN DE LA CRUZ LAZARO - CODIRECTOR DE TESIS

PATRICIA JERÓNIMO LÓPEZ  
EGRESADA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS  
PRESENTE.

Por este medio me permito enviar los resultados de la revisión con el **Software antiplagio iThenticate**, de la tesis denominado **Características químicas, funcionales y contenido de selenio en germinados de *Canavalia ensiformis* biofortificado con selenito de sodio**” que presenta **Patricia Jerónimo López**, egresada de la Maestría en Ciencias Agroalimentaria con matrícula **222C26001**. Los resultados indican un **14% de similitud** en este documento, lo que representa un porcentaje **ACEPTABLE** comparado con el **20%** que se establece como aceptable en el **Artículo 9 de Los lineamientos y políticas para el uso y manejo del software antiplagio 2022** de la UJAT. Adjunto el informe del Software.

Sin otro particular, me despido enviándoles un cordial y afectuoso saludo.

**A T E N T A M E N T E**

**DRA. MAGALLY GUADALUPE SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ**  
**JEFA DE POSGRADO DACA**

c.c.p M.V.Z Jorge Alfredo Thomas Téllez – Director de la DACA  
M. C. Irma Gallegos Morales – Coordinadora de Investigación y Posgrado de la DACA  
Dra. Magally Guadalupe Sánchez Domínguez – Jefa de Posgrado de la DACA  
Dr. Rodolfo Osorio Osorio – Coordinador de la Maestría en Ciencias Agroalimentarias  
MGSD'aemh

Km 25, Carretera Villahermosa-Teapa  
Ra. La Huasteca, 2ª sección, 86298, Centro, Tabasco, México  
Teléfono 993 358 1500 Ext. 6607  
Correo electrónico: posgrado.daca@ujat.mx

www.ujat.mx

## **DEDICATORIA**

A Dios todopoderoso creador del cielo y de la tierra a la virgen María, madre de Jesucristo por quien vivimos y existimos ya que a través de su espíritu Santo que dio vida a todo y nos enseña por medio de las ciencias agropecuarias el sustento para una vida humana por dejar descubrir múltiples bendiciones y permitir concluir este proceso de investigación de suma importancia en mi vida; a mi esposo compañero de vida y amigo Marcos López Reyes por apoyarme siempre y motivarme en todo para alcanzar el conocimiento profesional, a mis hijos que me apoyan y motivan a ser ejemplo para ellos en la vida, a mis padres y hermanos por formar parte de mi familia, a mis asesores que me han acompañado en esta etapa de mi vida profesional, muchas gracias.

## **AGRADECIMIENTO**

A agradezco principalmente a Dios, a mis padres y hermanos, por los valores inculcados y su compañía, agradezco a mi esposo y compañero de vida, Arq. Marcos López Reyes que me haya y sigue brindando su confianza, amor, paciencia, apoyo y me impulsa a seguir preparándome, por su comprensión que me tuvo durante mi estancia en la universidad (DACCA). A mis hijas Aurora Jatzidy, Luz del Carmen y Yolotzin Mayte, a mi hijo José Martin por ayudarme usar los sistemas operativos, por cuidar a sus hermanos y ayudar en las labores del hogar muchas gracias por sus palabras y alegrías motivadoras por sus esfuerzos para sus estudios muchas gracias. A toda la división Académica de Ciencias Agropecuarias (DACCA) que hizo posible mi estancia, a la institución CONACYT, al Dr. Aldenamar Cruz Hernández por ser base fundamental para la investigación de este trabajo, al Dr. Juan Guzmán Ceferino por compartir su conocimiento para realizar este trabajo de investigación, al Dr. Efraín de la Cruz Lázaro, que me apoyó en la Maestría de Ciencias Agroalimentarias, a todos los encargados de laboratorios de los cuales estuve trabajando. Muchas gracias.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
TÍTULO.....	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
I. INTRODUCCIÓN.....	15
II. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Generalidades de las leguminosas.....	17
2.1.1 Características físicas de <i>C. ensiformis</i> .....	17
2.1.2 Compuestos antinutricionales de la <i>Canavalia ensiformis</i> .....	18
2.1 Compuestos funcionales.....	19
2.2 Germinados y su importancia.....	21
2.3. La importancia de la biofortificación.....	21
2.4 Metabolismo del selenio.....	22
2.5 Compuestos nutricionales.....	24
2.6 Metabolitos secundarios.....	25
2.7 Importancia de la actividad antioxidante.....	25
III. JUSTIFICACIÓN.....	26
IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	28
V. HIPÓTESIS.....	28
VI. OBJETIVO GENERAL.....	29
6.1 Objetivo general.....	29
6.2 Objetivos específicos.....	29
VII. METODOLOGÍA.....	30
7.1 Descripción del área de estudio.....	30
7.2 Material vegetal y producción del germinado.....	30
7.3 Diseño experimental.....	31
7.4 Análisis estadísticos.....	31
7.5 Contenido nutrimental de la harina de germinado de <i>C. ensiformis</i> .....	32
7.6 Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier.....	32

<b>7.7 Contenidos de antioxidantes .....</b>	<b>32</b>
7.7.1 Preparación de extractos .....	32
7.7.2 Contenido de fenoles totales (CFT) .....	33
7.7.3 Contenido de flavonoides .....	33
7.7.4 Contenido de taninos totales .....	34
<b>7.8 Actividad antioxidante .....</b>	<b>34</b>
7.8.1 Actividad antioxidante por el radical ABTS .....	34
7.8.2 Actividad antioxidante por el radical DPPH.....	35
7.8.3 Actividad antioxidante FRAP.....	35
<b>7.9 Contenido mineral de selenito de sodio .....</b>	<b>36</b>
<b>VIII. RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
8.1 Contenido nutrimental .....	37
8.2 Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier .....	39
8.3. Contenido de antioxidantes del germinado de <i>C. ensiformis</i> .....	40
8.4 Actividad antioxidantes .....	43
8.5 Contenido mineral del germinado de <i>C. ensiformis</i> .....	46
<b>IX. Discusión .....</b>	<b>48</b>
9.1 Contenido nutrimental .....	48
9. 2 Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier .....	50
9.3 Contenido de antioxidantes .....	52
9.4 Actividad antioxidante. ....	53
9. 5 Contenido mineral.....	54
<b>X. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>56</b>
<b>XI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>XII. REFERENCIAS CITADAS.....</b>	<b>58</b>
<b>XIII. ANEXOS .....</b>	<b>70</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** Compuestos funcionales presentes en harinas de germinado de semillas de especies vegetales ..... 20
- Tabla 2.** Contenido nutrimental de germinado de *Canavalia ensiformis* biofortificado con diferentes niveles de selenito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) ..... 38
- Tabla 3.** Contenido mineral ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  de harina) del germinado de *C. ensiformis* biofortificado con diferentes niveles de selenito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) ..... 47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Espectros FTIR de germinado de harina de <i>Canavalia ensiformis</i> biofortificado con selenito de SODIO.....	39
<b>FIGURA 2.</b> Contenido Polifenoles totales de harina del germinado de <i>C. ensiformis</i> por efecto de la biofortificación con diferentes dosis de selenito de sodio. ....	40
<b>Figura 3.</b> Contenido de flavonoide total de harina del germinado de <i>C. ensiformis</i> por efecto de la biofortificación con diferentes dosis de selenito de sodio. ....	41
<b>Figura 4.</b> Contenido de taninos totales en harina del germinado de <i>C. ensiformis</i> biofortificado con diferentes dosis de selenito de sodio .....	42
<b>Figura 5.</b> Porcentaje de los radicales DPPH en harina del germinado de <i>C. ensiformis</i> iofortificado con diferentes dosis de selenito de sodio .....	43
<b>Figura 6.</b> Porcentaje de los radicales de ABTS de harina del germinado de <i>C. ensiformis</i> biofortificado con diferentes dosis de selenito de sodio.....	44
<b>Figura 7.</b> El porcentaje del ensayo FRAP de harina del germinado de <i>C. ensiformis</i> biofortificado con diferentes dosis de selenito de sodio.....	45

TÍTULO

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FUNCIONALES Y CONTENIDO DE SELENIO  
EN GERMINADOS DE *Canavalia ensiformis* BIOFORTIFICADO CON  
SELENITO DE SODIO**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## RESUMEN

La biofortificación con selenio es una estrategia efectiva para enriquecer alimentos y mejorar la calidad nutrimental y funcional. En este estudio se evaluó el efecto de la biofortificación con selenito de sodio en el contenido mineral, bromatológico, compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides y taninos en extractos acuosos, etanólicos y metanólicos, así como su capacidad antioxidante mediante los ensayos DPPH, ABTS y FRAP de germinados de *Canavalia ensiformis*. Se aplicaron seis tratamientos de selenito de sodio (T1=0; T2= 15; T3= 30; T4= 45; T5= 60; y T6=75  $\mu\text{M L}^{-1} \text{Na}_2\text{SeO}_3$ ). Los resultados mostraron que el tratamiento T6 obtuvo el mayor contenido de selenio, mientras que T5 y T6 destacaron en la capacidad antioxidante, especialmente en los extractos metanólicos y acuosos. Los tratamientos con selenio aumentaron el contenido de flavonoides y polifenoles totales, aunque redujeron la solubilidad de taninos en extractos etanólicos y metanólicos. En cuanto a los antioxidantes, se observó un aumento en los extractos metanólicos, con porcentajes de captura de radical DPPH entre el 18% y el 23%, siendo los tratamientos T4, T5 y T6 los más destacados. La actividad de captura de radicales ABTS fue más alta en los extractos acuosos y metanólicos de los tratamientos T5 y T6, lo que sugiere un aumento en la solubilidad de los radicales ABTS debido a la biofortificación, y los extractos acuosos presentaron la mayor actividad en el ensayo FRAP, mientras que los tratamientos T4, T5 y T6 sobresalieron en la captura de radicales DPPH y ABTS. Los resultados confirman que la biofortificación con selenito de sodio mejora las propiedades nutricionales y bioactivas de los germinados de *C. ensiformis*.

**Palabras clave:** Antioxidante, Biofortificación, Flavonoides, Germinados, Minerales, Selenio, Taninos.

## ABSTRACT

Selenium biofortification is an effective strategy to enrich food and improve nutritional and functional quality. This study aims to assess the impact of biofortification with sodium selenite on the mineral and bromatological composition, bioactive compounds (e.g., phenols, flavonoids, and tannins), and antioxidant capacity of aqueous, ethanolic, and methanolic extracts of *Canavalia ensiformis* sprouts. The evaluation will employ a range of antioxidant assays, including DPPH, ABTS, and FRAP, to provide a comprehensive analysis of the biofortification effects. Results showed that the T6 treatment achieved the highest selenium content, while T5 and T6 stood out in antioxidant capacity, particularly in methanolic and aqueous extracts. Selenium treatments increased the content of flavonoids and total polyphenols, although the reduced solubility of tannin in ethanolic and methanolic extracts. Regarding antioxidants, an increase was observed in methanolic extracts, with DPPH radical scavenging percentages ranging from 18% to 23%, with T4, T5, and T6 being the most notable treatments. ABTS radical scavenging activity was higher in aqueous and methanolic extracts from T5 and T6 treatments, suggesting an increase in ABTS radical solubility due to biofortification. Aqueous extracts exhibited the highest activity in the FRAP assay, while T4, T5, and T6 treatments excelled in DPPH and ABTS radical scavenging. The results confirm that sodium selenite biofortification improves the nutritional and bioactive properties of *C. ensiformis* sprouts.

**Keywords:** Antioxidant, Biofortification, Flavonoids, Minerals, Selenium. Sprouts, Tannins.

## I. INTRODUCCIÓN

Las leguminosas son un grupo de plantas que se caracterizan por tener frutos en forma de vaina que contienen semillas comestibles como los frijoles, lentejas, garbanzos, arvejas y las habas que son fuentes importantes de proteínas, fibras, vitaminas y minerales (Reverri et al., 2017). Además, son una buena fuente de fibras dietéticas, vitaminas del complejo B, minerales como el hierro, magnesio, potasio y alto contenido de antioxidantes como los polifenoles y flavonoides (Gaucin-Delgado et al., 2024).

También son importantes en la agricultura por su capacidad de fijar nitrógeno en el suelo, lo que mejora la fertilidad y reduce la necesidad de fertilizar con químicos (Groth et al., 2020). Además, son una opción económica y sostenibles ya que son fáciles de cultivar (Rahim et al., 2020). Los granos de leguminosas son una excelente fuente de proteínas vegetales de alta calidad, lo que las convierte en una alternativa saludable a las proteínas de origen animal (Salvati et al., 2024).

Consumir leguminosas de forma regular puede ayudar a reducir el riesgo de enfermedades crónicas como la diabetes, enfermedades cardíacas y cáncer, así como mejorar la salud digestiva y promover la pérdida de peso (Moisa et al., 2024). El beneficio de las propiedades que provienen de leguminosas ha provocado interés en su aprovechamiento, debido a la cantidad de nutrimentos que contienen (Montiel et al., 2016).

Los granos de estas plantas para mejorar su aprovechamiento se deben de someter a procesamientos para su utilización como ebullición a altas temperaturas en soluciones alcalinas o acidas, tostados del grano, cocidos al vapor o la germinación de los granos (Odedeji et al., 2020).

El proceso de germinación ha demostrado que contribuye a incrementar los contenidos de compuestos bioactivos como la proteína y la capacidad antioxidante (Bjørklund et al., 2022). Aunado a lo anterior al agregar un elemento mineral a los germinados, aparte de eliminar metabolitos secundarios se obtiene un producto biofortificado (Sridhar y Seena, 2006).

Por otro lado, la mayoría de las leguminosas son plantas no acumuladoras de selenio, por lo tanto, la biofortificación con selenio es una estrategia que mejora la calidad nutricional con alto contenido de antioxidantes en los germinados (Garduño-Zepeda y Márquez-Quiroz, 2018).

Los germinados de frijol caupí, soya, garbanzo y lenteja al ser biofortificado aumentan sus características fisicoquímicas y funcionales, en este sentido los germinados de *C. ensiformis* puede ser un alimento funcional, saludable al desencadenar bioactividad antioxidante, además de que se pueden consumir en ensaladas, sándwiches o como un ingrediente en platos cocidos ricos en nutrientes y proteínas (Alcalá Escamilla et al., 2018).

Pero los granos de *C. ensiformis* presentan una deficiencia de microelementos como el zinc, magnesio y selenio, por tanto, se ha optado por adicionar este último elemento en el germinado por medio de sales de selenio para aumentar el contenido de nutrientes esenciales.

Por lo anterior el grano que proviene de la *C. ensiformis* se considera una alternativa para biofortificar con sales de selenio y mejorar las características nutricionales (Muñoz-Llandes et al., 2021). En este sentido, el objetivo de esta investigación es evaluar las características funcionales del germinado de *C. ensiformis* biofortificado con selenio.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Generalidades de las leguminosas

Las leguminosas son una familia de plantas que pertenecen al grupo de las fabáceas y son una fuente importante de proteína vegetal (24%), carbohidratos complejos (55%), fibra, vitaminas, minerales y ácidos grasos insaturados (Cobian-Núñez et al., 2022). Algunas de las leguminosas más comunes son los frijoles, garbanzos, lentejas, guisantes y habas que se pueden utilizar en varios platos como ensaladas, diversos guisos y hamburguesas veganas (Pillai et al., 2014). Además, tiene la capacidad única de fijar nitrógeno en el suelo a través de una simbiosis con bacterias que viven en sus raíces, lo que las convierte en una opción sostenible para la agricultura (Madalão et al., 2017).

El cultivo es beneficioso para el medio ambiente, ya que contribuyen a la fertilidad del suelo y ayudan a prevenir la erosión, en cuanto a su valor nutricional, son una excelente fuente de proteínas de origen vegetal por lo que son una opción saludable para vegetarianos y veganos (Snak et al., 2018). También son ricas en fibra, lo que ayuda a mantener la salud intestinal, controlar el colesterol y el azúcar en la sangre (Sosa-Montes et al., 2020). Contiene vitaminas del complejo B, hierro, zinc, magnesio y otros minerales importantes para la salud además de ser un alimento nutritivo que debería formar parte de una dieta equilibrada y saludable (Moisa et al., 2024).

#### 2.1.1 Características físicas de *C. ensiformis*

La *C. ensiformis* se conoce como el oro blanco de los agricultores, en otros países se llama frijolon, frijol espada y frijol maravilla (Francisco-Martínez et al., 2023). Es una leguminosa que se usa para la alimentación animal en forma de

forraje, y para la humana en forma de harinas, pastas y galletas, es una planta entrelazada, perenne de 1 m de altura, con raíces pivotantes profundas (Okla et al., 2021). Los tallos son color purpura, pocos ramificados, con hojas trifoliadas de largo aproximadamente 20 cm y ancho de 10 cm, de color verde intenso, la flores son de color blanco a rosa violetas, las vainas miden 36 cm de largo, 3.5 cm de ancho, aplastadas ensiforme, con rango de 12 y 20 granos color blanco de forma oblonga, aplastado liso, el follaje joven es comestible, se usa como abono verde y para fijar nitrógeno al suelo, puede crecer como planta de jardín en un lugar cálido y soleado (Odedeji et al., 2020).

## 2.1 .2 Compuestos antinutricionales de la *Canavalia ensiformis*

Las leguminosas juegan un papel importante en la alimentación, por el aporte de proteínas, minerales y contenidos de antioxidantes (Cobian-Nuñez et al., 2022). Sin embargo, el consumo de estos granos se limita por compuestos antinutricionales, sustancias naturales no fibrosas que generan las plantas como las lectinas, e inhibidoras de proteasas, taninos, aminoácidos no proteicos, canavalina y concavalina A y B, (Sridhar y Seena, 2006; Montiel et al., 2016).

Tanto las Proteasas como las lectinas tienen relevancias, las primeras reducen la eficiencia productiva ya que afecta la digestión de las proteínas de los alimentos, al inhibir las enzimas proteolíticas en el tracto digestivo, en tanto que las lectinas son proteínas que pueden unirse a los carbohidratos en las membrana celulares del intestino y pueden interferir con la absorción de nutrientes, además de tener efecto tóxicos si se consumen en grandes cantidades (Sridhar y Seena, 2006; Gan et al., 2017).

Los fitatos, aunque no se encuentran en grandes cantidades en el grano de *C. ensiformis* pueden unirse a minerales como el hierro, el calcio y el zinc y reducir la absorción de minerales en el intestino. Los compuestos antinutricionales se pueden reducir o eliminar por métodos de procesamiento, si se deja remojar y cocinar los granos de *C. ensiformis* reduce los niveles de fitatos y lectinas, lo que mejora su valor nutricional y seguridad para su consumo (Lima et al., 2024).

También los granos son ricos en nutrientes benéficos como proteína, fibra dietética, vitaminas y minerales (Gan et al., 2017)

## 2. 1 Compuestos funcionales

Durante el proceso de germinación de las semillas, se producen diversos compuestos bioactivos, como los polifenoles, flavonoides y taninos. La síntesis de estos compuestos depende principalmente de factores como el tipo de semilla, las condiciones ambientales y el tiempo de germinación (Huang et al., 2024). Estos grupos funcionales presentes en los germinados y en las plantas vegetales cambian constantemente, por el efecto de la temperatura y la humedad, así como la aplicación de tratamientos pregerminativos, está demostrado que la germinación a temperaturas más altas puede aumentar la actividad de enzimas relacionadas con la síntesis de polifenoles en semillas de trigo, también existe evidencias que la inmersión de semillas en agua caliente antes de la germinación aumenta los niveles de compuestos fenólicos en brotes de trigo (Shahidi et al., 2016; Popoola et al., 2023 ).

En este sentido, durante la germinación, las enzimas presentes en las semillas descomponen las moléculas de almidón y proteínas en compuestos más simples, como azúcares y aminoácidos, que sirven como sustratos para la biosíntesis de polifenoles a través de la vía del ácido shikímico y la vía del ácido fenilpropanoico (Zahir et al., 2021; y Al-Rooqi et al., 2023). Los flavonoides son un subgrupo de polifenoles que se encuentran en las plantas y se sintetizan a partir del aminoácido fenilalanina, durante la germinación, la actividad enzimática aumenta, lo que puede favorecer la síntesis de flavonoides, además estos compuestos tienen funciones en las plantas como: protección contra patógenos y estrés ambiental (Arora et al., 2023; Al-Rooqi et al., 2023).

Respecto a los taninos son compuestos fenólicos que se encuentran en muchas especies vegetales y pueden tener propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antitumorales, sin embargo, durante la germinación, los taninos pueden sintetizarse como parte de la respuesta de defensa de la planta contra patógenos y herbívoros

(León-López et al., 2020). Por lo anterior, las concentraciones de compuestos funcionales presentes en harinas de germinado de semillas o granos, se debe de tener presente al momento de consumir estos alimentos por los problemas que conlleva en la salud humana ( Mercado-Mercado., 2013) como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Compuestos funcionales presentes en harinas de germinado de semillas de especies vegetales

Especie vegetal	Compuesto funcional	Cantidad producción	Beneficios para la Salud humana	Referencias
Semilla de trigo	Polifenoles	10-20 mg/kg <sup>-1</sup>	Antioxidante, antiinflamatorio, prevención de enfermedades crónicas.	Ragae y Abdel-Aal, 2006
Semilla de lino	Lignanós	300-400 mg/kg <sup>-1</sup>	Efectos antioxidantes, antiinflamatorios, y potencial preventivo contra enfermedades crónicas.	Kitts et al., 2003
Semilla de girasol	Ácido clorogénico	300-400 mg/kg <sup>-1</sup>	Propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, protección cardiovascular.	Awika et al., 2003
Semilla de soya	Isoflavonas	200-300 mg/kg <sup>-1</sup>	Reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, osteoporosis y síntomas de la menopausia.	Milder et al., 2005

## 2.2 Germinados y su importancia

El germinado es un proceso que se inicia con el riego a los granos para la activación metabólica, que causa cambios en las características nutricionales, bioquímicas y sensoriales (Samukha et al., 2024) y con alto valor nutritivo (Gaucin-Delgado et al., 2024). Este proceso de germinación se utiliza en las leguminosas y gramíneas para mejorar la digestibilidad y calidad nutricional de las mismas (Odedeji et al., 2020; Ayu et al., 2023) y se consideran excelentes fuentes de vitaminas, minerales, enzimas y antioxidantes que pueden contribuir a mejorar la digestión, fortalecer el sistema inmunitario, combatir enfermedades, controlar los niveles de azúcar en sangre, prevenir enfermedades cardiovasculares y promover una piel sana (Choi et al., 2023; Desta et al., 2023). Además, se consideran alimentos que se puede utilizar desde ensaladas y sándwiches hasta sopas y batidos lo cual son una opción para mejorar la salud y el bienestar en general en humanos (Huang et al., 2024).

## 2.3. La importancia de la biofortificación

La biofortificación en brotes es una técnica innovadora que se utiliza para mejorar el valor nutricional de los alimentos. Esto se logra mediante la germinación de semillas, aprovechando el potencial de los brotes para incrementar la concentración de los nutrientes esenciales, como vitaminas, minerales y compuestos bioactivos (Abanto-Rodríguez et al., 2019).

La activación enzimática y la liberación de nutrientes que se encuentran almacenados en la semilla permite la aparición de los brotes, durante este proceso se producen cambios metabólicos que aumentan la biodisponibilidad de nutrientes y mejora la absorción por parte del organismo humano (Hossain et al., 2021).

En este sentido un aspecto importante de la biofortificación en germinados es la capacidad para aumentar la concentración de antioxidantes, como los polifenoles y flavonoides, la vitamina C, la vitamina E, que ayudan a combatir el estrés oxidativo y reducir el riesgo de enfermedades crónicas degenerativas en

humanos; también mejora el perfil mineral de los alimentos, aumenta la concentración de minerales importantes como el hierro, el calcio, el zinc y el selenio (Gan et al., 2017; El-Ramady et al., 2020; Hossain et al., 2021).

Con esta técnica de biofortificación se puede abordar deficiencias nutricionales específicas en poblaciones vulnerables, como niños pequeños, mujeres embarazadas y lactantes y personas mayores, estas poblaciones son más propensas de sufrir deficiencias nutricionales por una ingesta dietética inadecuada, por lo anterior, la biofortificación en germinados se puede aplicar a una amplia variedad de semillas comestibles, como lentejas, garbanzo, frijoles, quinoa, alfalfa, soya y *canavalia spp*, estos alimentos son accesibles, económicos y fáciles de cultivar en diferentes condiciones ambientales lo que lo convierte en una opción viable para mejorar la calidad de la dieta en comunidades con recursos limitados (Puccinelli et al., 2019; Benítez-Estrada et al., 2020).

La biofortificación en germinados también puede tener un impacto positivo en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental, ya que para producirla se requiere menos recursos hídricos y energéticos en comparación con otros cultivos y se puede cultivar en huertos urbanos, lo que aumenta su accesibilidad y resiliencia frente a las condiciones climáticas adversas (Gan et al., 2017; Puccinelli et al., 2019).

## 2.4 Metabolismo del selenio

El selenio (Se) es un oligoelemento al igual que el zinc, hierro, cobre, yodo, flúor. Pertenece a los no metales, su peso atómico es 34, se encuentra en la corteza terrestre, este mineral actúa como cofactor enzimático esencial para muchas funciones biológicas, en humanos, animales y plantas (Fu et al., 2017). Se pueden encontrar en los organismos biológicos como selenato ( $\text{SeO}_4$ ) y selenito ( $\text{SeO}_3$ ), de forma orgánica como selenocisteína (Sec), selenometionina (SeMet) y se considera importante como componentes de las enzimas antioxidantes, glutatión

peroxidasa y la tioredoxina reductasa, ayuda a proteger las células del daño causado por los radicales libres, disminuye el riesgo de enfermedades crónicas como el cáncer y enfermedades cardíacas (Tangjaidee et al., 2023).

Existen estudios *in vitro* que demuestran que los polisacáridos enriquecidos con selenio presentan excelente capacidad de antioxidante y disminuye el estrés oxidativo inducido por el peróxido de hidrogeno en células del músculo esquelético, también al hidrolizar la proteína de levadura enriquecido con selenio, reduce el estrés oxidativo inducido por radiación ultravioleta B al aumentar la actividad de glutatión peroxidasa y catalasa *in vivo* (Chen et al., 2017). Existe evidencia que demuestran un estrecho margen entre las concentraciones óptimas y tóxicas del Se, la ingesta recomendada es 60 y 75  $\mu\text{g d}^{-1}$  para mujeres y hombres respectivamente, con base en un requerimiento de 1  $\mu\text{g Se kg}^{-1}$  de peso corporal al día (Wan et al., 2018). Sin embargo, otras investigaciones demuestran que para una ingesta óptima se requiere para hombres 80  $\mu\text{g d}^{-1}$  y las mujeres 75  $\mu\text{g d}^{-1}$  (Pillai et al., 2014; Tangjaidee et al., 2023).

Está demostrado que el selenio estimula la síntesis de proteína, aminoácidos, compuestos secundarios de nitrógeno, compuestos fenólicos y otros minerales esenciales importantes en la nutrición (Garduño-Zepeda y Márquez-Quiroz, 2018). La aplicación de selenio a dosis moderadas puede ser benéfico en las plantas, pero a dosis altas puede ejercer un efecto contrario por los procesos oxidativos que genera, que está relacionado a la especie vegetal en que se aplica este microelemento (Steinbrenner et al., 2022). El metabolismo del selenio en los granos también se relaciona con la defensa de la planta al estrés abiótico, como la sequía y la salinidad. También forman complejos con otros minerales presentes en los granos de leguminosas que afectan la biodisponibilidad y la absorción de nutrientes en el organismo humano (Hosnedlova et al., 2017).

El selenio se metaboliza en el hígado en donde se sintetiza y se recicla la selenoproteína para lo cual se requiere la incorporación de la selenocisteína en lugar de la cisteína durante la traducción del ARNm, sin embargo, este proceso depende de la presencia de un codón de selenocisteína y de factores de unión al selenio que asegure la correcta incorporación del selenio en la proteína (Chen

et al., 2017). La excreción del selenio se lleva a cabo a través de la orina y las heces, la excreción renal es el principal mecanismo para eliminar el exceso de selenio del cuerpo y mantener niveles adecuados en el organismo y prevenir la toxicidad, ésta última puede provocar síntomas como pérdida de cabello, alteraciones de las uñas, problemas gastrointestinales y neuropatías (Chen et al., 2017; Tangjaidee et al., 2023).

## 2.5 Compuestos nutricionales

Son compuestos que incluyen nutrientes esenciales, como vitaminas, minerales, proteínas grasas y carbohidratos, que son fundamentales para el funcionamiento adecuado del cuerpo humano, la vitamina D es crucial para absorber el calcio y el mantenimiento de huesos y dientes fuertes, en tanto que el hierro es necesario para la producción de hemoglobina, transporte de oxígeno en la sangre, interviene en la síntesis de ácido desoxirribonucleico (ADN), se ha demostrado que la deficiencia de este elemento es la causa más común de anemia, deterioro del desarrollo mental y psicomotor de los niños y problema de salud en los adultos, afectando a más de dos mil millones de personas en todo el mundo (Lin et al., 2023).

Con respecto a los ácidos grasos son necesarios para la función cerebral, la salud cardiovascular, y se encuentran en diversos alimentos como pescados, nueces, semillas y en aceite vegetal. En granos de *C. ensiformis* se han reportado valores de 3.5 a 4.9 % grasa y 1.8 % de grasa en frijol caupí. Las proteínas son fundamentales para el crecimiento, la reparación y el mantenimiento de tejidos y células, además desempeñan funciones enzimáticas, hormonales y de transporte en el cuerpo, en frijol caupí se han reportado contenido de proteína de 27.48 % (Barrios et al., 2016) y 21.76 % de PC en 13 accesiones de ejote de caupí (Morales-Morales et al., 2020), en este sentido las leguminosas contiene entre 23 y 35% de proteína cruda y de 46 a 65 % de carbohidratos y de 5 a 11% de fibra que es crucial para la salud digestiva (Ayu et al., 2023).

## 2.6 Metabolitos secundarios

Son compuestos orgánicos que producen las plantas y no se consideran esenciales para su crecimiento, desarrollo o reproducción. Sin embargo, desempeñan un papel importante en su interacción con el medio ambiente, estos compuestos se sintetizan por diversas rutas metabólicas secundarias como respuestas a cambios ambientales o como defensas de las plantas, se encuentran en diversos organismos como las plantas, hongos, bacterias y animales (Agati et al., 2020).

Los metabolitos secundarios se pueden clasificar en varios grupos como compuestos fenoles, alcaloides o compuestos nitrogenados, terpenoides, fenilpropanoides, flavonoides; cada grupo tiene sus propiedades químicas y biológicas propiciando diversidad de funciones en la naturaleza (Finley, 2005; Agati et al., 2020). Existen estudios que demuestran que los alcaloides tóxicos que producen las plantas actúan como repelentes naturales contra insectos herbívoro y tienen propiedades antimicrobianas, otras de sus funciones de los metabolitos secundarios también pueden tener aplicaciones medicinales y comerciales como la morfina y quinina alcaloides que se derivan de plantas (Pannico et al., 2020).

## 2.7 Importancia de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante, se relaciona mayormente con la presencia de compuestos fenólicos, por la capacidad que tienen de atrapar e inhibir la producción de radicales libres, los flavonoides atrapan radicales libres y generan flavínico, menos reactivos, ya que los electrones desapareados están deslocalizado; en tanto que los flavonoles, como la quercetina y otras flavonas, pueden generar iones metálicos de transición como el hierro o el cobre que evitan la formación de compuestos reactivo de oxígeno (Martin et al., 2018).

Existe evidencia que los métodos más importante para evaluar la capacidad antioxidante son mediante el uso del radical ABTS, DPPH Y FRAP, el primer

ensayo tiene como base la activación de mioglobina con peróxido de hidrógeno en presencia de ABTS para producir el catión radical en presencia o ausencia de antioxidante (Re et al., 1999), el segundo es DPPH utiliza un radical libre estable  $\alpha$ ,  $\alpha$ -difeníl- $\beta$ -picrilhidrazilo (DPPH; C<sub>18</sub>H<sub>12</sub>N<sub>5</sub>O<sub>6</sub>, M=394,33) el ensayo mide la capacidad de eliminación de antioxidantes hacia el mismo, el electrón impar del átomo de nitrógeno en DPPH se reduce al recibir un átomo de hidrógeno de los antioxidantes a la correspondiente hidracina (Kedare y Singh, 2011).

El tercer método FRAP mide la capacidad reductora férrica del plasma, a pH bajo, cuando un complejo férrico-tripiridiltriazina (FeIII-TPTZ) se reduce a la forma ferrosa (FeII), se desarrolla un color azul intenso con un máximo de absorción a 593 nm, el ferrocino compuesto está estrechamente relacionado con la TPTZ, se ha utilizado con exceso de ácido ascórbico para medir el hierro (Benzie y Straint, 1996).

### III. JUSTIFICACIÓN

Los granos de leguminosas juegan un papel importante en la alimentación humana, aportan alto contenido nutrimental y compuestos bioactivos que ayudan a disminuir el problema de enfermedades crónica degenerativa. Actualmente se ha demostrado que la *C. ensiformis* contiene alto potencial nutritivo; al respecto, Wan et al. (2018) reportan que la harina de *C. ensiformis* se puede utilizar como alimento para consumo humano. No obstante, contiene metabolitos secundarios que limita su aprovechamiento como alimento.

Se han implementado diversas técnicas de procesamiento para su uso alimenticio que mejore la calidad nutritiva, la aceptabilidad organoléptica y reduzcan el contenido de oligosacáridos (Odedeji et al., 2020), aun cuando los granos de *C. ensiformis* posean alto valor nutritivo, existe la ausencia o concentración mínima de minerales trazas. Dentro de estos elementos minerales,

la deficiencia del selenio en los alimentos condiciona el funcionamiento del sistema vascular, enfermedades endémicas, ansiedad, depresión, enfermedades de Parkinson y Alzheimer en el humano. Por lo tanto, la ingesta que requieren los hombres es de 80  $\mu\text{g d}^{-1}$  y las mujeres 75  $\mu\text{g d}^{-1}$  (Pillai et al., 2014).

Existen evidencias de que la adición de selenio favorece la concentración del elemento en los germinados y aumenta la actividad de enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa, peroxidasa y catalasa) (Benítez-Estrada et al., 2020; Bjørklund et al., 2022). En especies agrícolas la aplicación de selenito o selenato de sodio mejora la asimilación foliar del compuesto y estimula el crecimiento, propiciando la síntesis de selenio, cisteína y glucosinolatos en los germinados de *Brassica* spp (Abanto-Rodríguez et al., 2019), sin embargo, el contenido de selenio (Se) en los germinados depende de la dosis que se utiliza; al respecto, se ha reportado que con 127  $\mu\text{M L}^{-1}$  se mejora el contenido de selenio en los germinados (Muñoz-Llandes et al., 2021).

Además, los germinados biofortificado con selenio, son capaces de convertir el Se inorgánico en selenio aminoácidos (selenometil, selenocisteína y selenometionina) (Bachiega et al., 2016). Por lo anterior se propuso evaluar la calidad nutritiva y mineral del germinados de *C. ensiformis* biofortificado con una sal de selenio, para el beneficio de la salud humana, tomando en cuenta las últimas investigaciones que consideran al germinado como el nuevo tipo de verduras o el super alimento (Muñoz-Llandes et al., 2021), que proporcionan alto valor nutricional, bajo contenido de antinutrientes y aportan mayor compuesto funcional.

#### IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo afecta el selenito de sodio a la calidad nutrimental, los compuestos bioactivos (fenoles, flavonoides, taninos) y la capacidad antioxidante de la harina del germinado de *Canavalia ensiformis*?

#### V. HIPÓTESIS

El selenito de sodio mejora el contenido nutrimental, fenoles, flavonoides, taninos y la capacidad antioxidante de la harina de germinado de *Canavalia ensiformis*

## VI. OBJETIVO GENERAL

### 6.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la biofortificación con selenito de sodio en las características químicas, funcionales y el contenido de selenio en la harina del germinado de *C. ensiformis*.

### 6.2 Objetivos específicos

1. Cuantificar el contenido nutrimental de la harina del germinado de *C. ensiformis* biofortificado con selenito de sodio.
2. Cuantificar el contenido de fenoles totales, flavonoides, taninos y actividad antioxidante de la harina del germinado de *C. ensiformis* biofortificado con selenito de sodio.
3. Determinar la concentración de selenio en la harina de los germinados de *C. ensiformis* biofortificado con selenito de sodio.

## VII. METODOLOGÍA

### 7.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ubicada en la carretera Villahermosa-Teapa Km. 25. Ra. La Huasteca, 2a sección, municipio del Centro, Tabasco, México; localizada a 17° 47' LN, 92° 57' LO. Las semillas de *C. ensiformis* se colectaron en enero del 2023 en el Rancho los Tres Hermanos que se localiza en el municipio de Macuspana, Tabasco, México.

### 7.2 Material vegetal y producción del germinado

Para la obtención de los germinados se utilizaron 5 kg de semillas de *C. ensiformis*, de las cuales se seleccionaron semillas sin daños, libres de contaminantes y de tamaño similares, posteriormente se depositaron en charolas donde se sembraron bajo condiciones controladas en el laboratorio de sanidad vegetal de la DACA, de acuerdo con la metodología descrita por Fernández-Orozco et al. (2008).

Para el proceso de germinación se tomó una muestra de 100 g por tratamiento y se desinfectaron mediante inmersión en hipoclorito de sodio al 0.07 % durante cinco minutos, posteriormente se realizó un lavado con agua destilada. Después, las semillas se sumergieron en 250 mL de cada tratamiento durante seis horas, pasado el tiempo, el agua fue eliminada y las semillas se colocaron en recipientes de plástico de 25x25 cm con papel filtro húmedo. Los recipientes se colocaron en una cámara de crecimiento Lumistell® ICP-09 a 25 °C y 70 % de humedad relativa durante 10 días. Consecuentemente, se realizó un riego diariamente con 35 mL de la solución de selenito de sodio correspondiente a cada tratamiento. Al finalizar el periodo de germinación, las semillas fueron lavadas con agua destilada y se secaron en una estufa a 50 °C hasta peso constante (96 h).

Los germinados fueron pulverizados en un molino Krups GX410011V y tamizados con una malla No. 100, se almacenaron las muestras en bolsas de polietileno a 4 °C para análisis posteriores.

### 7.3 Diseño experimental

Para biofortificar con selenio las semillas de *C. ensiformis* y conocer su efecto en los componentes nutrimentales, funcionales, la capacidad antioxidantes y contenido de minerales, se utilizó selenito de sodio ( $\text{Se}_2\text{O}_3$ ) en diferentes dosis distribuido de la siguiente manera Tratamiento:1 (agua destilada), T2 ( $15 \mu\text{M L}^{-1}$ ), T3 ( $30 \mu\text{M L}^{-1}$ ), T4 ( $45 \mu\text{M L}^{-1}$ ), T5 ( $60 \mu\text{M L}^{-1}$ ) y T6 ( $75 \mu\text{M L}^{-1}$ ) con tres repeticiones por cada tratamiento, que se distribuyeron aleatoriamente en un diseño completamente al azar. Los germinados de *Canavalia ensiformis* se lavaron con agua destilada, se retiró la testa de los germinados y se colocaron dentro de la estufa de secado a una temperatura  $50^\circ\text{C}$  durante cuatro días, hasta llegar a su peso constantes. Posteriormente los germinados se pulverizaron en un molino de café marca Krup, GX4100011V y se tamizaron con una maya número 100. Las muestras se depositaron en bolsas de polietileno a  $4^\circ\text{C}$  para sus análisis.

### 7.4 Análisis estadísticos

Los datos se sometieron a una prueba de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) posteriormente los valores se analizaron mediante un ANOVA unidireccional, seguido de una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Las correlaciones entre las variables fenoles totales, flavonoides, taninos y la actividad antioxidante se evaluaron mediante la correlación de Pearson ® (SAS 2004).

## 7.5 Contenido nutrimental de la harina de germinado de *C. ensiformis*

Se determinó la humedad residual colocando una muestra de 5 g de de harina en una estufa de secado a una temperatura de 100°-110°C hasta su peso constante; el extracto etéreo se realizó por el método Soxhlet, de acuerdo con lo descrito en la NMX-F-615.NORMEX-2018 (AOAC 2018). El nitrógeno total se realizó por el método microKjeldhl, el contenido de cenizas totales se realizó siguiendo la norma NMX-F-066-S-1978, y el contenido de fibra se determinó de acuerdo con la AOAC (2018), mientras que el contenido de carbohidrato se determinó por la diferencia de humedad, proteína, grasa, ceniza y fibra. Los resultados se expresaron en % de peso seco de acuerdo con la AOAC (2018).

## 7.6 Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier

La Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés) es una técnica utilizada para obtener un espectro infrarrojo de absorción o de emisión de un sólido, líquido o un gas, ésta técnica FTIR puede ser usada para recolectar datos de amplia resolución espectral en un amplio rango usualmente entre 5000 y 400  $\text{cm}^{-1}$  para longitudes de onda en la región media y entre 10000 y 5000  $\text{cm}^{-1}$  para la región cercana del espectro infrarrojo. El análisis mediante esta técnica permite la identificación de materiales orgánicos, inorgánicos y poliméricos usando luz infrarroja para escanear las muestras.

## 7.7 Contenidos de antioxidantes

### 7.7.1 Preparación de extractos

Los extractos de los germinados de *C. ensiformis*, biofortificado con selenito de sodio, se prepararon al 4 % con agua destilada, etanol, (I J.T Baker) y metanol (J.T Baker). Las muestras se colocaron en tubos cónicos y se sometieron a

agitación constante durante 1 h en un shaker (MULTI-WRIST) a 600 rpm, posteriormente se colocaron en una centrifuga (IEC HN-SII) a 2500 rpm por 25 min. Los extractos se recuperaron por decantación y se almacenaron a temperatura de congelación hasta su uso en ausencia de luz.

#### 7.7. 2 Contenido de fenoles totales (CFT)

Se determinó coloriméricamente empleando el reactivo de Folin-Ciocalteu de acuerdo con la metodología descrita por Sultana et al. (2009). Se realizó una curva de calibración utilizando ácido gálico como solución madre a concentración de  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ . Las muestras se prepararon mezclando  $100 \mu\text{L}$  del extracto con  $100 \mu\text{L}$  Folin, se dejó reaccionar por 5 min, se adicionó  $100 \mu\text{L}$  carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al 7.5 % de agua destilada se dejó reaccionar por 30 min. posteriormente se procedió a realizar la lectura de la absorbancia en un espectrofotómetro (VELAB VE-5100UV) a una longitud de onda de 790 nm; los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico por g de materia seca (mg EAG  $\text{g}^{-1}$  MS).

#### 7.7.3 Contenido de flavonoides

El contenido de flavonoides se determinó mediante el método propuesto por Barros et al. (2014), el cual se basa en la formación de un complejo flavonoide-aluminio. Para ello se mezcló  $125 \mu\text{L}$  del extracto con  $500 \mu\text{L}$  de agua destilada, se agitó y se adicionó  $37.5 \mu\text{L}$  de nitrato de sodio al 5% (w/v) y nuevamente se agitó durante 5 seg; posteriormente se dejó reposar 6 min y se adicionó  $37.5 \mu\text{L}$  cloruro de aluminio al 10% (w/v), se agitó y se dejó reposar 6 min; se agregó  $500 \mu\text{L}$  de hidróxido de sodio al 4 % y  $50 \mu\text{L}$  de agua destilada. Después de agitar durante 5 seg, se dejó reposar 5 min y se procedió a leer la absorbancia en un espectrofotómetro VELAB VE-5100UV ajustado a una longitud de onda de 510 nm. Los resultados se expresaron en equivalentes de catequina (mg EC g MS); para ello se preparó la curva catequina (50 a 250 mg/L) disuelta en metanol.

#### 7.7.4 Contenido de taninos totales

El contenido de taninos totales (CTT) se realizó por el método de vainillina-hcl propuesto por Choi et al. (2023), para lo cual se mezcló 100 µL de extracto acuoso, etanólico y metanólico de cada uno de los tratamientos y se adicionó 200 µL del reactivo de vainillina-hcl, reactivo que fue preparado mezclando metanol al 8 % de hcl y vainillina al 1% en metanol (1:1). Después, la mezcla se incubó en una estufa (VOVATECH) durante 20 min a 25 °C en ausencia de luz. Finalmente, la absorbancia se leyó un espectrofotómetro VELAB VE-5100UV a 500 nm. El CTT fue expresado en miligramos equivalentes de catequina por g de muestra seca (mg EC g MS), por lo que se elaboró una curva de catequina Sigma Aldrich (10 a 300 µg mL).

#### 7.8 Actividad antioxidante

La capacidad antioxidante se determinó por tres métodos diferentes: por los radicales ABTS (Acido 2,2-Azino-bis (etilbenzotiazolina-6-sulfónico)), DPPH (2,2-difenil-2-picrilhidrazilo) y FRAP (poder antioxidante reductor férrico)

##### 7.8.1 Actividad antioxidante por el radical ABTS

La actividad antioxidante total se determinó por el ensayo espectrofotométrico del radical libre ABTS [catión radical 2,2-Azinobois-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonato)], descrito por Re et al. (1999). A 50 µL de muestra se le adicionaron 990 µL de la dilución de radical ABTS y se incubó durante 10 min en ausencia de luz. La absorbancia se leyó a 734 nm en un espectrofotómetro VELAB VE-5100UV. Capacidad de atrapamiento de radical ABTS se expresó en porcentaje de captura (Muruhan et al., 2013; Annapandian y Rajagopal, 2017).

$$\% \text{ de captura de radical ABTS} = \frac{(\text{Abs ABTS} - \text{Abs M})}{(\text{Abs ABTS})} \times 100$$

Donde:

Abs ABTS= Absorbancia del radical ABTS

Abs M= Absorbancia de la Muestra

### 7.8.2 Actividad antioxidante por el radical DPPH

La actividad antioxidante DPPH se determinó por el ensayo del radical libre 2,2 difenil-picrilhidrazilo (DPPH) de acuerdo con la metodología de (Mareček et al., 2016; Alvarez-Brito et al., 2020). El radical DPPH se preparó a una concentración de 0.1 M en metanol absoluto. Seguidamente y en ausencia de luz se mezcló en microtubos eppendorf, 50 µL del extracto de cada tratamiento por separado con 950 µL de la solución DPPH, se agitó durante 10 seg y se dejó reaccionar durante 30 min en ausencia de luz a temperatura ambiente. La absorbancia se leyó en un espectrofotómetro VELAB VE-5100UV a 515 nm. Finalmente, los resultados se expresaron en porcentaje de captura mediante la siguiente.

$$\% \text{ de captura de radical DPPH} = \frac{(\text{Abs DPPH} - \text{Abs M})}{(\text{Abs DPPH})} \times 100$$

Donde:

Abs DPPH= Absorbancia del radical DPPH

Abs M= Absorbancia de la muestra

### 7.8.3 Actividad antioxidante FRAP

El ensayo FRAP se realizó como lo describe Choi et al. (2023). El reactivo FRAP se preparó mezclando tapón de acetato (300 µM, pH 3,6) con solución de TPTZ (2,4,6-triiridil-s triazina) (10 µM en HCl de 40 µM) y con FeCl<sub>3</sub> × 6 H<sub>2</sub>O (20 µM) en una relación de 10:1:1, respectivamente. Un volumen de 20 µL del extracto se hizo reaccionar con 580 µL de reactivo FRAP y se incubó a 37 °C durante 15 min en ausencia de luz. Posteriormente, la absorbancia se midió a 593 nm en espectrofotómetro (VELAB VE-5100UV). Para expresar el poder antioxidante

férrico se realizó una curva estándar de Trolox en un rango de concentración entre 5 a 40  $\mu\text{M}$ . Los resultados se expresaron en  $\mu\text{mol}$  de equivalentes de Trolox por gramo de peso seco ( $\mu\text{M ET g MS}$ ).

#### 7.9 Contenido mineral de selenito de sodio

Para el análisis de contenido mineral se realizó por  $\mu$ -fluorescencia de rayos-X de energía dispersiva ( $\mu$ -EDXRF) de acuerdo con la metodología descrita por Cardoso et al. (2018), se utilizaron 2 g de harina de germinado de *C. ensiformis* de cada tratamiento y se colocaron en la porta muestra del espectrómetro (M4 Tornado TM); la determinación con un tubo de rayos X Rh-ánodo de la ventana lateral de micro enfoque refrigerado por aire, alimentado por un generador HV de baja potencia. En todas las muestras, el generador de rayos X funcionó a 50kV y 100  $\mu\text{A}$  con un filtro de  $12^{\text{a}}$  y la detección de la radiación de fluorescencia se realizó mediante un detector de dispersión de silicio, dispersor de energía XFlashTM, con un área sensible de  $30 \text{ mm}^2$  y resolución de energía de 142 eV para todos los elementos. Los minerales cuantificados fueron fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn) y selenio (Se).

## VIII. RESULTADOS

### 8.1 Contenido nutrimental

Se observaron cambios significativos en el contenido nutrimental de los germinados de *C. ensiformis* biofortificado con diferentes dosis de selenito de sodio en todos los tratamientos (Tabla 2). El más alto contenido de humedad se presentó en los germinados T2 con una concentración de selenito de sodio de  $15 \mu\text{M L}^{-1}$  y le siguieron el T1 que no recibió selenito de sodio y los demás tratamientos con la siguiente secuencia T4 ( $45 \mu\text{M L}^{-1}$ ), T3 ( $30 \mu\text{M L}^{-1}$ ), T5 ( $60 \mu\text{M L}^{-1}$ ) T6 ( $75 \mu\text{M L}^{-1}$ ) es evidente que a elevadas dosis de selenito afecta significativamente ( $P<0.05$ ) el contenido de humedad en los germinados propiciado una disminución como ocurrió con el T5 ( $60 \mu\text{M L}^{-1}$ ) y T6 ( $75 \mu\text{M L}^{-1}$ ). Contrario a lo que ocurre con dosis pequeñas a moderada de selenito de sodio esta puede aumentar significativamente ( $P<0.05$ ) el contenido de humedad en los germinados.

Respecto al extracto etéreo en los germinados de *C. ensiformis*, presentaron efecto significativo ( $P<0.05$ ) entre los tratamientos (Tabla 2), por lo que las dosis aplicadas tuvieron en el T4 ( $45 \mu\text{M L}^{-1}$ ) 2.90 % y T5 ( $60 \mu\text{M L}^{-1}$ ) 2.85 % de extracto etéreo con respecto al resto de los tratamientos, incluyendo al T1.

El contenido de cenizas presentó un efecto significativo ( $P<0.05$ ) entre los tratamientos, debido a la aplicación de diferentes dosis de selenito de sodio. Se observó una disminución en el contenido de cenizas a medida que se incrementaba la dosis de selenito de sodio, con excepción de los tratamientos T6 ( $75 \mu\text{M L}^{-1}$ ) y T1 (testigo), los cuales no siguieron esta tendencia. En relación con el contenido de fibra cruda, se observó una influencia significativa ( $P<0.05$ ) de las dosis de selenito de sodio aplicadas. El mayor contenido de fibra cruda se registró en el tratamiento T1 (testigo), mientras que este valor disminuyó progresivamente con la aplicación de selenito de sodio. La biofortificación de la semilla de *Canavalia* con dosis elevadas de selenito de sodio (T6,  $75 \mu\text{M L}^{-1}$ ) redujo el contenido de fibra cruda en aproximadamente un 75 % en comparación con el tratamiento T2. El contenido de carbohidratos también presentó diferencias significativas ( $p<0.05$ )

entre los tratamientos, siendo los tratamientos T4 y T5 los que mayor contenido mostraron con 50.2 y 46.16 %, respectivamente, seguido por el tratamiento control con 51.21 %.

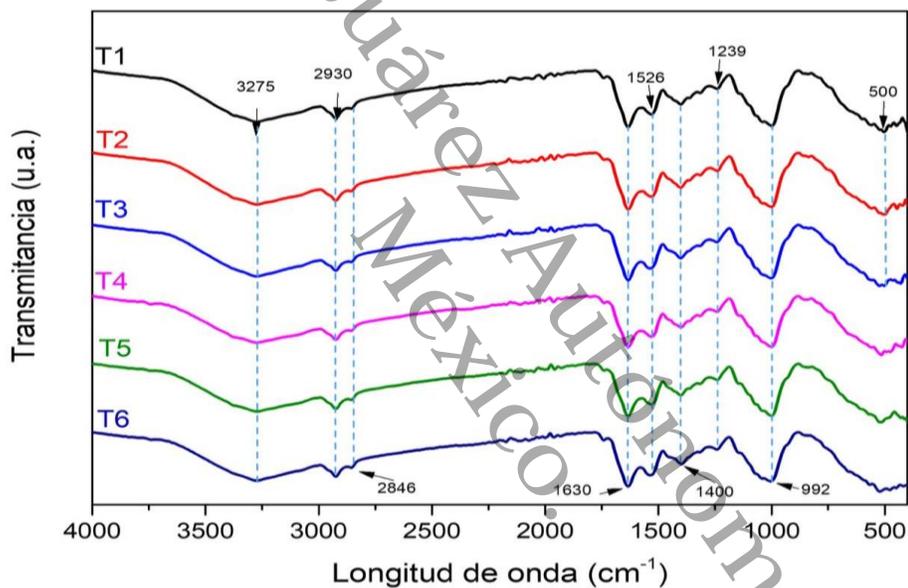
**Tabla 2.** Contenido nutrimental del germinado de *Canavalia ensiformis* biofortificado con diferentes niveles de selenito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ )

Composición nutrimental	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	(%)					
Humedad	6.75±0.28 <sup>a</sup>	6.98±0.12 <sup>a</sup>	5.49±0.41 <sup>b</sup>	5.58±0.08 <sup>b</sup>	4.03±0.53 <sup>c</sup>	2.94±0.39 <sup>d</sup>
Extracto Etéreo	2.66±0.15 <sup>b</sup>	2.68±0.12 <sup>b</sup>	2.44±0.13 <sup>c</sup>	2.90±0.05 <sup>a</sup>	2.85±0.07 <sup>a</sup>	2.67±0.13 <sup>b</sup>
Proteína Cruda	33.70±0.49 <sup>c</sup>	38.97±0.95 <sup>b</sup>	44.53±0.63 <sup>a</sup>	42.09±1.06 <sup>a</sup>	37.72±0.77 <sup>b</sup>	38.10±0.62 <sup>b</sup>
Ceniza	3.28±0.06 <sup>a</sup>	3.03±0.14 <sup>c</sup>	3.012±0.75 <sup>c</sup>	3.14±0.19 <sup>b</sup>	3.10±0.13 <sup>b</sup>	3.22±0.06 <sup>a</sup>
Fibra	3.23±0.02 <sup>a</sup>	2.43±0.03 <sup>b</sup>	2.41±0.03 <sup>b</sup>	2.21±0.03 <sup>c</sup>	2.40±0.01 <sup>b</sup>	1.83±0.03 <sup>d</sup>
Carbohidratos	50.2±0.57 <sup>a</sup>	46.16±0.51 <sup>b</sup>	42.05±1.0 <sup>c</sup>	44.±0.90 <sup>c</sup>	49.89±0.45 <sup>a</sup>	51.21±0.87 <sup>a</sup>

T1= sin  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , T2=15 $\mu\text{M L}^{-1}$ , T3=30 $\mu\text{M L}^{-1}$ , T4=45 $\mu\text{M L}^{-1}$ , T5=60 $\mu\text{M L}^{-1}$ , T6=75 $\mu\text{M L}^{-1}$ , los valores de cada variable representan el promedio y desviación estándar (media ± DE). Las letras minúsculas en la misma columna representan diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ )

## 8.2 Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier

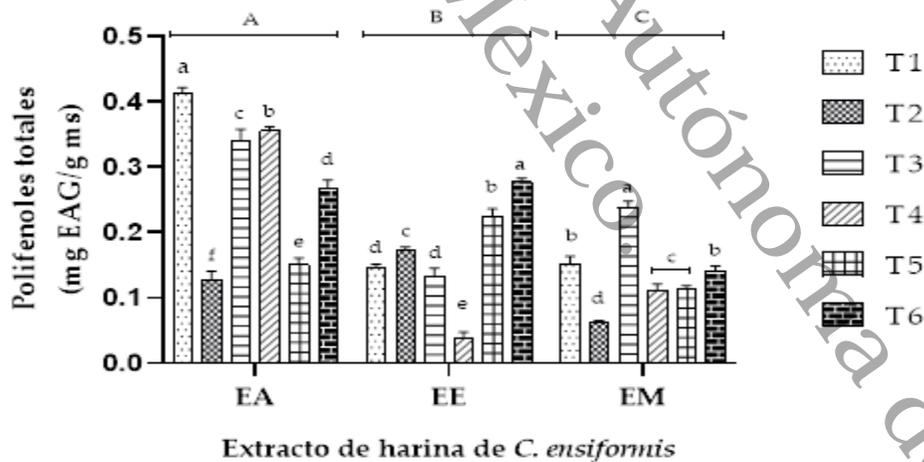
En la Figura 1 se muestran los modos vibratorios de los grupos funcionales. Los valores  $3275\text{ cm}^{-1}$ ,  $2930\text{ cm}^{-1}$  y  $2846\text{ cm}^{-1}$  en las bandas en todos los tratamientos indican vibraciones de estiramientos O-H que corresponden a fenoles, polifenoles y otros compuestos que contienen grupos hidroxilo, C-H grupos metilo y metileno, que comúnmente se encuentran en compuestos orgánicos, lípidos y otros compuestos carbonados.



**Figura 1.** Espectros FTIR de harina de germinado de *Canavalia ensiformis* biofortificado con selenito de sodio (T1:  $0\ \mu\text{M L}^{-1}$ , T2:  $15\ \mu\text{M L}^{-1}$ , T3:  $30\ \mu\text{M L}^{-1}$ , T4:  $45\ \mu\text{M L}^{-1}$ , T5:  $60\ \mu\text{M L}^{-1}$  y T6:  $75\ \mu\text{M L}^{-1}$ )

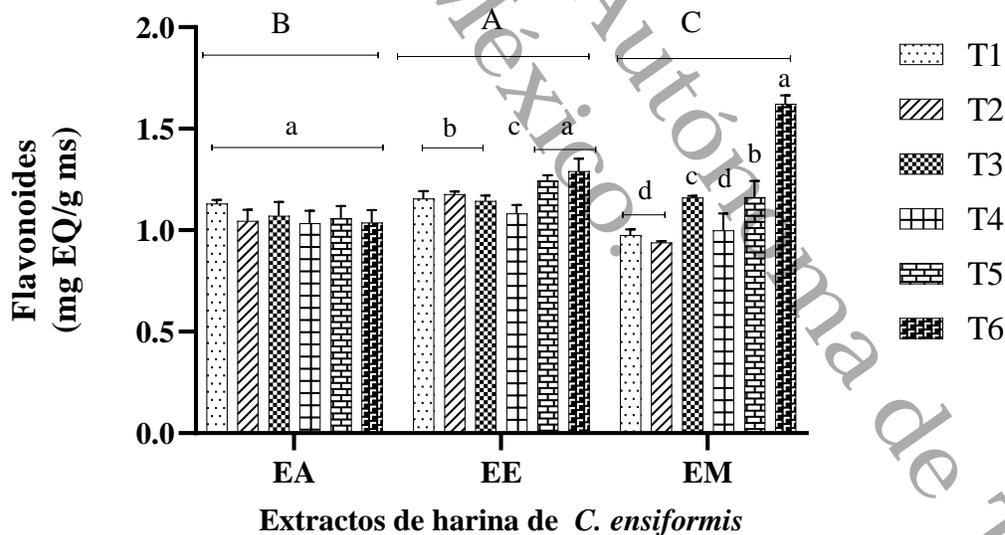
### 8.3. Contenido de antioxidantes del germinado de *C. ensiformis*

En la Figura 2 se muestra el contenido de compuestos fenólicos en los extractos de harina del germinado de *C. ensiformis*. Se observó una influencia significativa ( $P < 0.05$ ) de la concentración de selenito de sodio en los diferentes solventes empleados, con mayor presencia de polifenoles en los EA. El T1 presentó el alto contenido de polifenoles ( $0.43 \text{ mg EAG g}^{-1} \text{ MS}$ ) y le siguieron los demás tratamientos en donde el T2 presentó la menor cantidad de polifenoles ( $0.11 \text{ mg EAG g}^{-1} \text{ MS}$ ) en el mismo extracto. Sin embargo, el T3 mostró un sobresaliente contenido de polifenoles en el extracto etanólico. Con respecto al extracto metanólico se observó menor contenido de polifenol en los tratamientos excepto el T3 que presentó valores altos de polifenoles.



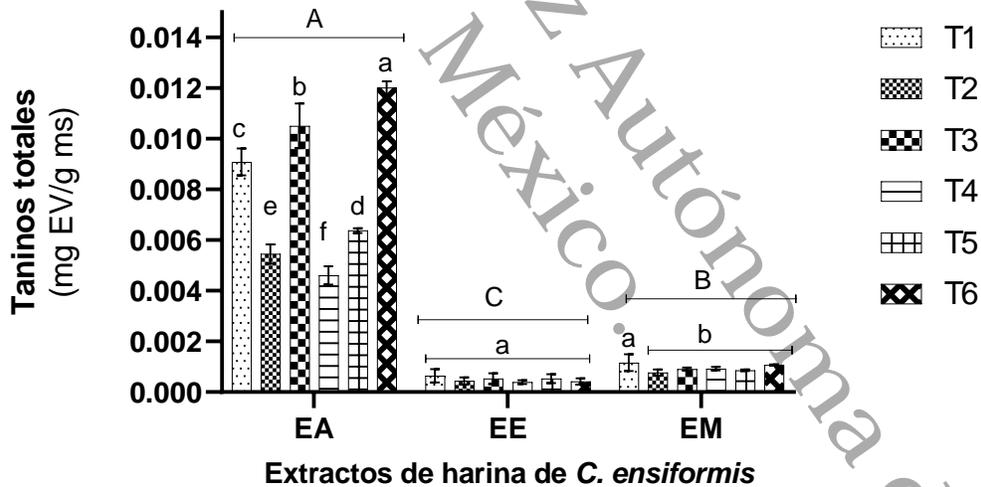
**Figura 2.** Contenido de polifenoles totales de harina del germinado de *C. ensiformis* biotificado con diferentes dosis de selenito de sodio. Con tres solventes: Extracto Acuoso (EA), Extracto Etanólico (EE), Extracto Metanólico (EM). Las letras mayúsculas representan diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre extractos y las letras minúsculas representan diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos de un mismo extracto, no se observó intersecciones entre tratamientos y extractos.

En la Figura 3 se muestran los contenidos de flavonoides en extractos de harina de germinado de *C. ensiformis*, se observó un efecto significativo ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos y entre extractos de cada tratamiento. Los valores mayores obtenidos de flavonoides se observaron en el extracto etanólico con concentraciones de 1.1 a 1.3 mg g<sup>-1</sup> ms; sin embargo, el T6 presentó el valor más alto en ambos extractos alcohólicos. No hubo efecto significativo ( $P > 0.05$ ) en los tratamientos en el extracto acuoso, pero si se observó una diferencia estadística ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos en los extractos etanólicos y metanólicos, el mejor contenido de flavonoides se presentó en el T6 con 1.75, 1.25 y 1 mg EQ g<sup>-1</sup> MS en los extractos acuoso, etanólico y metanólico respectivamente (Figura 3).



**Figura 3.** Contenido de flavonoides totales de harina del germinado de *C. ensiformis* biofortificado con diferentes dosis de selenito de sodio. Tres solventes: extracto acuoso (EA), extracto etanólico (EE), extracto metanólico (EM). Las letras mayúsculas representan diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre extractos y las letras minúsculas representan diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos de un mismo extracto.

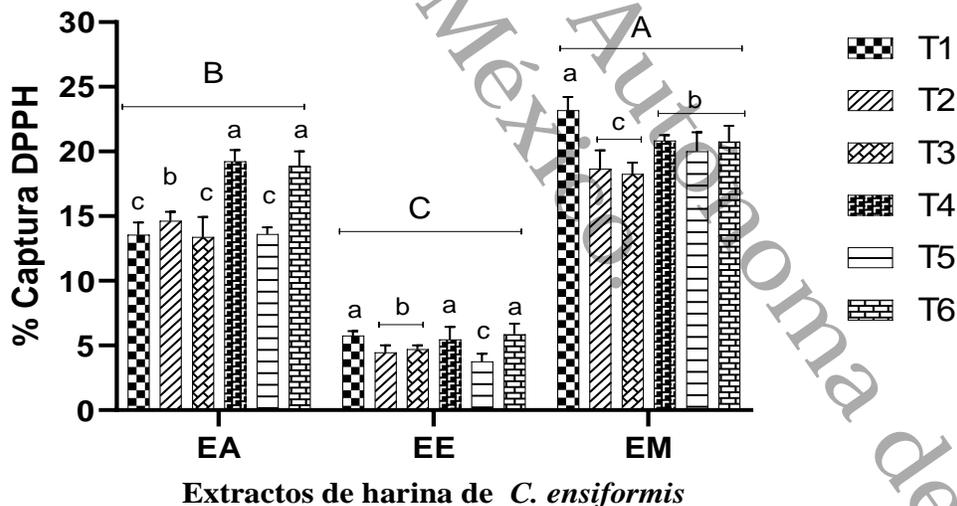
En la Figura 4 se muestra el contenido total de taninos en los extractos de harina de germinado de *C. ensiformis*. Se ha observado una influencia significativa ( $P<0.05$ ) tanto de la concentración de selenito de sodio como del tipo de solvente utilizado en cada tratamiento. Los valores sobresalientes de taninos, se encontraron en los extractos acuosos, siendo significativamente superiores en los tratamientos T3 y T6 que recibieron  $30 \mu\text{M L}^{-1}$  y  $75 \mu\text{M L}^{-1}$  en comparación con el tratamiento control (T1), mientras que los demás tratamientos presentaron valores inferiores al grupo control. Con respecto a los extractos, hubo efecto significativo ( $P<0.05$ ) entre extracto, con menor contenido de taninos en los extractos alcohólicos.



**Figura 4.** Contenido de taninos totales de harina del germinado de *C. ensiformis* biofortificado con diferentes dosis de selenito de sodio, con tres solventes: Extracto acuoso (EA), extracto etanólico (EE), extracto metanólico (EM). Las letras mayúsculas representan diferencias estadísticas ( $P<0.05$ ) entre extractos y las letras minúsculas representan diferencias estadísticas ( $P<0.05$ ) entre tratamientos de un mismo extracto

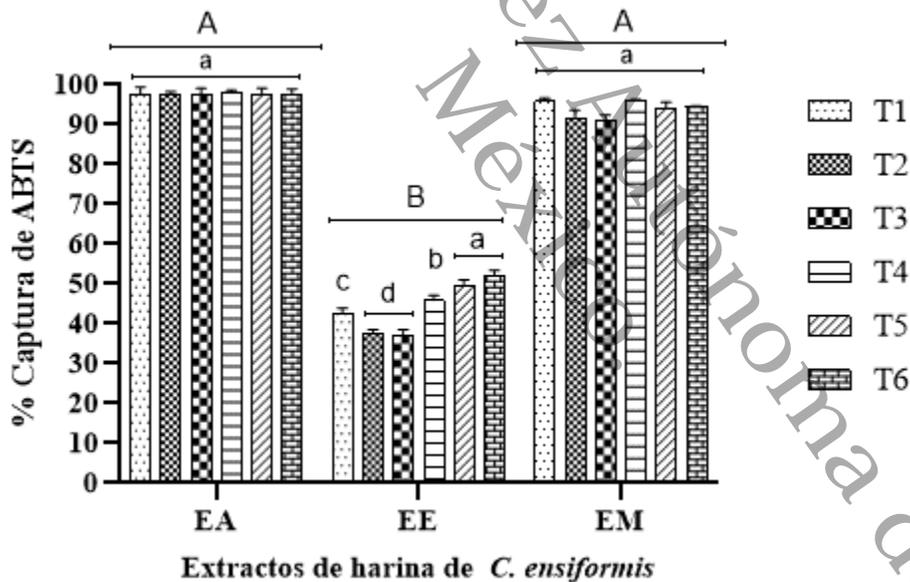
#### 8.4 Actividad antioxidantes

El efecto de la captura de radicales DPPH en extractos acuoso, etanólico y metanólico de harina de germinados de *C. ensiformis* se muestra en la figura 5 donde se ha identificado una influencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos como en los diferentes extractos debido a la biofortificación. Los extractos metanólicos exhiben los mayores porcentajes de captura de radical DPPH, con valores que oscilan entre el 18% y el 23%, con concentraciones de 1.1 a 1.3% mg g<sup>-1</sup> de materia seca. Es importante destacar que los tratamientos T4, T5 y T6 mostraron significativamente valores superiores en comparaciones del grupo control y los demás tratamientos (Figura 5). Por otro lado, no se observa un efecto estadísticamente significativo ( $P < 0.05$ ) entre los extractos acuoso de todos los tratamientos.



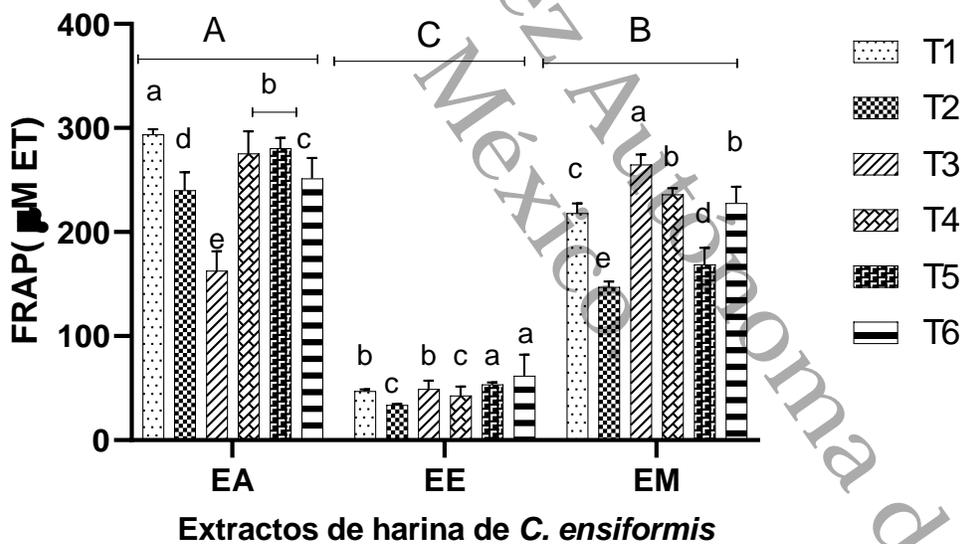
**Figura 5.** Porcentaje de los radicales DPPH en harina del germinado de *C. ensiformis* biofortificado con diferentes dosis de selenito de sodio, con tres solventes: Extracto acuoso (EA), extracto etanólico (EE), extractos metanólico (EM). Las letras mayúsculas representan diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre extractos y las letras minúsculas representan diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos de un mismo extracto.

El efecto de la capacidad de captura del radical ABTS en extractos acuoso, etanólico y metanólico de la harina de germinado de *C. ensiformis* se muestra en la figura 6 y presenta una influencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos y entre extractos. Los porcentajes sobresalientes de la actividad de captura de radicales se observaron en los extractos acuoso y metanólico y le siguió el extracto etanólico. Con los tratamientos T5 ( $60 \mu\text{M L}^{-1}$ ) y T6 ( $75 \mu\text{M L}^{-1}$ ) seguidos del T4 ( $45 \mu\text{M L}^{-1}$ ), mostraron los valores más altos en comparación con el tratamiento control y los T2 ( $15 \mu\text{M L}^{-1}$ ) y T3 ( $30 \mu\text{M L}^{-1}$ ) que exhibieron porcentajes inferiores en el extracto etanólico mientras que los demás tratamientos de los extractos presentaron valores superiores, por lo tanto, la biofortificación posiblemente incrementó la solubilidad de los radicales ABTS en los extractos acuoso y metanólico.



**Figura 6.** Porcentaje de los radicales de ABTS de harina del germinado de *C. ensiformis* biofortificado con diferentes dosis de selenito de sodio con tres solventes: Extracto acuoso (EA), extracto etanólico (EE), extractos metanólico (EM). Las letras mayúsculas representan diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre extractos y las letras minúsculas representan diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos de un mismo extracto.

El impacto de la capacidad de captura de ensayo FRAP en extractos acuoso (EA), extracto etanólico (EE) y extracto metanólico (EM) de harina de germinados de *C. ensiformis* se muestra en la Figura 6, donde se ha encontrado una influencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos dentro del mismo extracto y entre los EA, EE y EM. Los valores sobresalientes se obtuvieron en los tratamientos dentro del EA y EM, el tratamiento sin selenito de sodio en el EA mostró una mejor actividad antioxidante y le siguieron los tratamientos T4 ( $45 \mu\text{M L}^{-1}$ ) y T5 ( $60 \mu\text{M L}^{-1}$ ). Respecto al EM en el T3 ( $30 \mu\text{M L}^{-1}$ ), T4 ( $45 \mu\text{M L}^{-1}$ ) y T6 ( $75 \mu\text{M L}^{-1}$ ) se observaron actividad sobresalientes de antioxidante, independientemente de los tratamientos la menor actividad antioxidante se presentó en los extractos etanólico (Figura 7), debido a su menor capacidad de solubilización de los compuestos antioxidantes presentes en los extractos.



**Figura 7.** El porcentaje del ensayo FRAP de harina del germinado de *C. ensiformis* biofortificado con diferentes dosis de selenito de sodio con tres solventes: Extracto acuoso (EA), extracto etanólico (EE), extracto metanólico (EM). Las letras mayúsculas representan diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre extractos y las letras minúsculas representan diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos de un mismo extracto.

## 8.5 Contenido mineral del germinado de *C. ensiformis*

En la Tabla 3 se presenta el contenido mineral de la harina de germinado de *Canavalia ensiformis*, donde se observaron efectos significativos por la adición de selenito de sodio en todos los tratamientos. En cuanto al fósforo, los tratamientos T6 y T3 con selenito de sodio mostraron mayores concentraciones, superando al tratamiento T1, que no recibió  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ . Las concentraciones de potasio también variaron entre tratamientos, con valores más altos en T5 y T3, que superaron al T1. En general, el potasio se incrementó conforme aumentaron los niveles de  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , alcanzando su máxima concentración en T5.

El contenido de calcio también fue significativamente afectado por el  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , ya que todos los tratamientos que lo recibieron presentaron concentraciones diferentes que T1. El más alto valor de Ca se observó en T4. Respecto al Mg y Na, las concentraciones más altas se encontraron en T5 y T6, respectivamente. La diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre estos tratamientos indica que la absorción de Mg y Na está estrechamente relacionada con la adición de  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ .

Las concentraciones de Mn fueron relativamente constantes, aunque se observó un ligero descenso en T2 (3.60 mg/kg) y valores más altos en T1 y T3. La baja variabilidad del manganeso sugiere que su absorción podría estar menos influenciada por los niveles de selenito, dado que T1, sin  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , mostró el elevado contenido de Mn, seguido de T3 con  $30 \mu\text{M L}^{-1}$  de  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ .

En cuanto al zinc y el hierro, ambos fueron significativamente afectados ( $P < 0.05$ ) por la adición de  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ . Respecto al selenio, el tratamiento sin  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  no presentó niveles de este mineral. Sin embargo, al incrementar la dosis de  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , se observó un aumento en las concentraciones de Se en los demás tratamientos (Tabla 3), lo cual confirma que la biofortificación incrementa el contenido de Se en los germinados de *C. ensiformis*, demostrando así la eficacia del proceso de biofortificar los germinados.

**Tabla 3.** Contenido mineral (mg 100 g<sup>-1</sup>) de harina del germinado de *Canavalia ensiformis* biofortificado con diferentes niveles de selenito de sodio (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>)

Mineral	Tratamientos						EE	C.V
	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
Fósforo (p)	90.11	60.91	100.30	48.85	84.90	105.95	0.17	0.97
Potasio (K)	3367.8	3467.7	3799.0	3300.3	3876.4	3562.6	0.30	0.04
	8	7	3	5	2	0		
Calcio (Ca)	325.71	355.38	356.05	366.48	335.90	333.86	0.20	0.39
Magnesio (Mg)	0.00	0.00	0.00	246.55	598.66	355.98	0.72	0.72
Sodio (Na)	0.00	0.00	0.00	631.51	469.33	635.37	0.49	0.38
Manganeso (Mn)	5.26	3.60	5.10	3.76	4.65	3.78	0.01	7.41
Zinc (Zn)	22.85	20.30	17.48	19.35	17.40	20.25	0.11	2.59
Hierro (Fe)	61.78	17.45	15.55	18.60	22.41	20.11	0.04	6.47
Selenio (Se)	0.00	0.85	3.70	5.01	12.83	13.76	0.07	6.38

T1= sin Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, T2=15 µM L<sup>-1</sup>, T3=30 µM L<sup>-1</sup>, T4=45 µM L<sup>-1</sup>, T5=60 µM L<sup>-1</sup>, T6=75 µM L<sup>-1</sup>. EE=Error estandar, C.V= Coeficiene de variación.

## IX. Discusión

### 9.1 Contenido nutrimental

Se observaron cambios significativos en el contenido nutrimental de los germinados de *C. ensiformis* biofortificado con diferentes dosis de selenito de sodio en todos los tratamientos (Tabla 3). Este comportamiento puede estar relacionado con la polaridad del selenito de sodio, ya que es un compuesto higroscópico según Peixoto et al. (2021). En comparación con reportes previos de germinados de *C. ensiformis* sin biofortificación, los cuales registraron un contenido de humedad del 8.73 % (Odedeji et al., 2020), los valores obtenidos en este estudio fueron menores: un 1.98 % inferior en T1, 1.75 % en T2, y 5.79 % en T6 (Tabla 1). Además, Affandi et al. (2017) reportaron que la mezcla de harina de *C. ensiformis* con harina de maíz modifica el contenido de humedad, con rangos entre 8.78 % y 10.03 %. Los valores obtenidos en este estudio son inferiores a estos reportes por aproximadamente un 3 % a 5 %, lo que sugiere que el selenito de sodio podría tener un efecto deshidratante sobre las semillas germinadas de *C. ensiformis*. La disminución de la germinación con el aumento de la concentración de NaCl, según Paramo et al. (2020) y Galindo-Guzmán et al. (2022), se debe a una disminución o retraso en la absorción de agua, consecuencia de los efectos tóxicos de los iones sobre las membranas y paredes celulares del embrión, lo que reduce la permeabilidad de las membranas plasmáticas e incrementa el flujo de iones externos y la salida de solutos citoplasmáticos.

El contenido de extracto etéreo presente en los germinados de *C. ensiformis* presentaron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos (Tabla 3). Estos resultados son similares a los valores reportados por Sosa-Montes et al. (2020),

quienes encontraron un contenido de extracto etéreo entre 2.4 % y 3.1 %, y por López-Herrera et al. (2022), con valores de entre 3.7 % y 6 % utilizando diferentes dosis de selenito de sodio. Sin embargo, otros estudios reportan valores más bajos, como los encontrados por Affandi et al. (2017) con un rango de 1.14 % a 2.22 %, y por Moussa et al. (2020), con valores entre 1.0 % y 2.7 %. En comparación, los valores obtenidos en T4 y T5 de este estudio son superiores. Estos resultados sugieren que el mejor contenido de extracto etéreo en los germinados de *C. ensiformis* puede estar asociado con una mejor concentración de selenito de sodio disponible para la absorción. Las diferencias observadas podrían deberse a variaciones en la metodología experimental, las condiciones de cultivo o las fuentes de los materiales utilizados en los estudios. Sin embargo, en general, todas las investigaciones parecen mostrar una consistencia en la tendencia de mantener el contenido de extracto etéreo dentro de ciertos rangos, a pesar de las diferencias en las dosis de selenito de sodio aplicadas.

Respecto al contenido de proteína cruda (PC), los tratamientos mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) a elevadas concentraciones de selenito de sodio en los germinados (Tabla 3). Estos resultados contrastan con los reportados por Solomon et al. (2017), quienes obtuvieron un 30 % de PC en harina de semilla cruda de *C. ensiformis*. Otros estudios reportan valores de PC en semillas de *C. ensiformis* que varían entre 31.8 y 36.0 % (Samal et al., 2023), y entre 20.7 % y 28.7 % (Francisco-Martínez et al., 2023), similares a los valores de proteína obtenidos en el tratamiento T1, que no utilizó selenito de sodio (Tabla 3). El aumento en la concentración de PC se debe a que las especies de la familia Fabácea, como *C. ensiformis*, acumulan y movilizan grandes cantidades de proteínas en sus semillas como parte de su metabolismo proteico (Sridhar y Seena, 2005). Esto explica la alta acumulación de proteínas en las legumbres, que pueden contener entre 22.3 % y 39.2 % de proteína (Sridhar y Seena, 2005; Samal et al., 2023).

El contenido de cenizas totales también mostró un efecto significativo ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos con diferentes dosis de selenito de sodio (Tabla 3). Estudios previos reportan un contenido de cenizas de 3.45 % en semillas de *C. ensiformis*

(Olagbenro et al., 2022), un valor superior al obtenido en este estudio. Sin embargo, otros autores han reportado valores bajos como 0.19 % (Munjal et al., 2024) y 1.26 % (Affandi et al., 2017). La variabilidad en el contenido de cenizas podría deberse a la presencia de fibras finas que pueden incrementar el nivel de cenizas (Akinyemi et al., 2020).

En cuanto al contenido de fibra cruda, los valores obtenidos en este estudio fueron inferiores al 3.9 % reportado por Olagbenro et al. (2022) en semillas de *C. ensiformis*. La disminución en el contenido de fibra podría estar relacionada con los efectos del selenito de sodio, que podría inhibir la germinación o el crecimiento de las plántulas, como se ha reportado en estudios previos (Lazo-Vélez et al., 2018), lo que conllevaría a una deshidratación y, en consecuencia, una disminución del contenido de fibra.

El contenido de carbohidratos mostró una tendencia al alza con el incremento de la concentración de selenito de sodio (Tabla 3). Los carbohidratos en *Canavalia spp.* oscilan entre 53 % y 63 % (Purwandari et al., 2024), mientras que otros estudios reportan rangos de entre 30.98 % y 60 % (Solomon et al., 2017; Munjal et al., 2024). Estos valores superan los obtenidos en el presente estudio. Al igual que las fibras, los carbohidratos son una fuente importante de energía, y su contenido está relacionado con la presencia de monosacáridos, disacáridos y polisacáridos, algunos de los cuales actúan como fibra dietética (Sridhar y Seena, 2006; Affandi et al., 2017; Purwandari et al., 2024). La actividad de la  $\alpha$ -amilasa, que degrada el almidón en azúcares simples, también está influenciada por factores como la humedad de la semilla y las condiciones de germinación (Lazo-Vélez et al., 2016).

## 9. 2 Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier

Resultados similares a los obtenidos en este estudio se han observado en trabajos de caracterización de polvo de maíz, donde se identificaron picos de onda en  $3284\text{ cm}^{-1}$  y  $2920\text{ cm}^{-1}$ , correspondientes a los grupos funcionales O-H y C-H, respectivamente (Kumari et al., 2023). Estos picos sugieren la presencia de alcoholes, ácidos carboxílicos o agua en las muestras (Figura 1). En el presente

estudio, los espectros FTIR de los tratamientos T1 a T6 también muestran bandas en la región de  $3275\text{ cm}^{-1}$ , confirmando la existencia de grupos hidroxilo, lo que concuerda con estudios previos que señalan la presencia de estos grupos en carbohidratos y proteínas (Kacuráková et al., 2000).

Asimismo, se observaron vibraciones de estiramiento C=O, C=C y C-H en  $1630\text{ cm}^{-1}$ ,  $1526\text{ cm}^{-1}$  y  $1400\text{ cm}^{-1}$ , lo que indica la presencia de carbonilos, como cetonas, aldehídos y ácidos carboxílicos, además de compuestos aromáticos y proteínas. Estos resultados son coherentes con lo reportado por Kumari et al. (2023), quienes identificaron amidas y compuestos aromáticos en productos similares. En particular, el pico en  $1526\text{ cm}^{-1}$  observado en todos los tratamientos, corresponde a las vibraciones de deformación N-H, típicas de las aminas, o al estiramiento C=C en compuestos aromáticos, lo que sugiere la presencia de proteínas debido a los enlaces peptídicos presentes (Figura 1).

Por otro lado, las bandas en la región de  $2930\text{ cm}^{-1}$ , observadas en los tratamientos se relacionan con las vibraciones de estiramiento de los enlaces C-H, típicos de los grupos metilo y metileno, lo que indica la presencia de compuestos alifáticos como los alcanos. Estos resultados concuerdan con estudios realizados en harina de trigo, donde se identificaron picos en  $2930\text{ cm}^{-1}$  y  $3275\text{ cm}^{-1}$ , atribuidos a carbohidratos y proteínas (Kacuráková et al., 2000).

Respecto a la banda observada en  $1239\text{ cm}^{-1}$  en los espectros FTIR de las muestras T1 a T6 se asocia con las vibraciones de C-O, lo que sugiere la presencia de grupos éster y éter, compuestos típicos de lípidos y polisacáridos, como lo señalan Kumari et al. (2023) en su estudio sobre polvo de maíz. De manera similar, los picos en la región de  $992\text{ cm}^{-1}$ , observados en el presente estudio, indican la presencia de vibraciones de estiramiento C-O-C, que se relacionan con éteres y estructuras cíclicas aromáticas, lo que confirma la complejidad estructural de los compuestos presentes en las muestras analizadas.

Respecto al valor en  $500\text{ cm}^{-1}$  podría estar vinculado a la presencia de minerales o compuestos específicos en los granos, similar a lo que se ha encontrado en otros estudios sobre la caracterización de productos vegetales.

Estos resultados sugieren una composición rica en diferentes biomoléculas, como carbohidratos, lípidos y proteínas, que se ven reflejados en las bandas espectrales observadas en los tratamientos T1 a T6, alineándose con lo reportado en la literatura sobre el análisis espectroscópico de diferentes tipos de harinas y productos alimenticios.

### 9.3 Contenido de antioxidantes

En el presente estudio se observó una influencia significativa ( $P < 0.05$ ) en el contenido total de polifenoles entre los distintos tratamientos, lo que propició la siguiente distribución:  $T1 > T4 > T3 > T6$ . Esto sugiere que algunos tratamientos favorecieron una elevada concentración de polifenoles. Además, la adición de selenito de sodio mostró un efecto importante ( $p < 0.05$ ) en la inducción de componentes metabólicos en las plantas, especialmente a bajas concentraciones de selenio, como también lo ha señalado Gaucin-Delgado et al. (2024).

Según Sutedja et al. (2020), las variaciones en la concentración de polifenoles están vinculadas a la formación de enlaces de hidrógeno y la interacción hidrofóbica entre polisacáridos y fenoles. Esto respalda los resultados obtenidos en el germinado de *Canavalia ensiformis*, que presentaron un contenido antioxidante elevado, lo cual es beneficioso para la salud, al haber demostrado efectos contra enfermedades crónicas degenerativas ( Mercado-Mercado, 2013; Arora et al., 2023). Por otro lado, Guajardo-Flores et al. (2013) mencionan que la eliminación de la cáscara de las semillas de frijol negro puede aumentar considerablemente el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, similar a lo que se observó en los germinados de *C. ensiformis* en este estudio.

En cuanto a los flavonoides, se ha demostrado que el selenito de sodio disminuye su solubilidad en metanol, lo que podría estar relacionado con la biofortificación aplicada (Huang et al., 2024). Este proceso también incrementa la expresión de enzimas clave en el metabolismo de los flavonoides, lo cual contribuye a reducir el estrés oxidativo y a regular el crecimiento de las plantas (Kiyama, 2022).

Por otro lado, el contenido de taninos en los germinados podría estar relacionado con el proceso de germinación en sí mismo. Estudios previos han demostrado que la germinación activa enzimas endógenas que pueden modificar o degradar taninos, dependiendo del tipo de leguminosa y las condiciones específicas (Zahir et al., 2021). Esto concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, donde el selenito de sodio también podría haber influido en la modificación de los taninos.

#### 9.4 Actividad antioxidante.

En relación con los efectos de la biofortificación en los extractos metanólico, Annapandian y Rajagopal. (2017) señalan que la actividad de eliminación de DPPH está directamente relacionada con el contenido de antioxidantes en el extracto (Figura 5). A un mayor contenido de oxidantes, se incrementa la reducción de DPPH, como se observó en el estudio con extracto de éter de petróleo que mostró una eliminación máxima de DPPH del 92% a una concentración de 100µg/mL, demostrando una actividad antioxidante significativa. Sin embargo, Arora et al. (2023) encontraron una correlación positiva entre la suplementación con precursores como ácido-cumarico (p-CA) y L-fenilalanina (Phe) y alta actividad de radicales DPPH en los germinados de garbanzo. Lo anterior indica que es posible enriquecer los germinados de *C. ensiformis* con compuestos antioxidantes mediante el uso de selenio durante el proceso de germinación.

En un estudio sobre la capacidad de captura de radicales ABTS utilizando extractos etanólicos, Annapandian y Rajagopal (2017) reportaron un menor contenido de quercetina. Aunque en el presente estudio no se cuantificó la quercetina, se utilizó el solvente etanólico, lo que resultó en menores valores de actividad antioxidante (Figura 6). Por otro lado, More et al. (2021) investigaron la capacidad de reducción de radicales ABTS en cinco especies de *Vachellia*, encontrando una reducción del 50% en todos los extractos, resultados que fueron inferiores a los obtenidos con la harina de germinados enriquecidos con selenito de sodio en el extracto acuoso y metanólico (Figura 6), donde se reportaron capturas de radicales entre el 93% y el

99% en los tratamientos con extractos acuoso y metanólico. Estos resultados podrían estar influenciados por la concentración de H<sub>2</sub>O y el tiempo de germinación (León-López et al., 2020).

La combinación de solventes en el proceso de extracción puede influir en la capacidad de arrastrar diferentes clases de compuestos orgánicos, como ácidos fenólicos y flavonoides, solubles en mezclas hidroalcohólicas (Al-Rooqi et al., 2023), lo que podría explicar la elevada capacidad antioxidante observada en los extractos metanólicos (*C. ensiformis*). En este sentido, Álvarez et al. (2017) confirmaron que el uso de solventes combinados durante la extracción puede optimizar la obtención de diversas clases de compuestos orgánicos, proporcionando mejor estabilidad a la actividad antioxidante. Esta característica parece inherente a los compuestos bioactivos presentes en los extractos, independientemente del tratamiento aplicado. En otro estudio, Benítez-Estrada et al. (2020) evaluaron la calidad y cantidad de la harina de germinados de *C. ensiformis* como alimento funcional, destacando la importancia de diversos métodos para medir la capacidad antioxidante, como FRAP y ORAC. Estos autores señalaron que estos métodos pueden mostrar diferentes sensibilidades a los antioxidantes presentes en el producto. Así mismo, Mercado-Mercado et al. (2013) también sugiere que la harina de germinados de *C. ensiformis* puede considerarse un alimento funcional debido a su alto contenido antioxidante, lo que representa un beneficio potencial para la salud humana.

#### 9. 5 Contenido mineral

Los minerales fósforo y potasio demuestran que la biofortificación con selenio puede tener efectos directos sobre la acumulación de estos elementos, ya que la presencia de selenito influye en los procesos metabólicos de la planta que controlan la absorción de estos elementos (Escobedo-Monge et al., 2024). Con respecto a los tratamientos T6 y T3, que contienen Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, mostraron mayores concentraciones de P, lo cual concuerda con la observación de que el selenio

puede incrementar la captación de este mineral en algunas especies. Esto puede ser atribuible a cambios del pH en la actividad enzimática de las raíces inducidos por el selenio ( Abidin et al., 2020). En este sentido, el incremento en potasio que se observaron en los tratamientos T5 y T3 son similares a otros estudios donde el K también aumenta en respuesta a dosis de selenito, debido a que el K es un catión importante en la osmorregulación y está relacionado con la absorción de otros minerales en presencia de selenio (Gupta y Gupta, 2017).

La variación en el contenido de Ca y Mg también puede relacionarse con los cambios propiciado por el  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ . Ya que, el aumento de Ca en T4 puede ser resultado de una mejor absorción por canales de calcio, los cuales se activan en respuesta a estrés químico como la biofortificación con selenio (Hawrylak-Nowak et al., 2015). En cuanto al magnesio, su elevada presencia en T5 propicia una posible interacción entre este elemento y el selenio que podría estar mediada por procesos de transporte compartidos entre el Mg y otros cationes esenciales (Zhou et al., 2020).

Respecto al Mn, su baja variabilidad en todos los tratamientos, especialmente la disminución en T2, podría indicar que la absorción de este micronutriente es menos dependiente de los niveles de  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  en comparación con otros minerales. Esta tendencia ha sido observada en otros estudios donde el manganeso mostró una baja respuesta a la biofortificación con selenio, posiblemente debido a su absorción preferentemente regulada por sistemas específicos no afectados por el selenio (Zhou et al., 2020). Por otra parte, el efecto negativo de  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  sobre Zn y Fe, con menores concentraciones en los tratamientos con selenio, puede relacionarse con la competencia iónica o con la inhibición de transportadores específicos de Zn y Fe en presencia de altas concentraciones de selenito (Pannico et al., 2020). Lo anterior podría indicar que mientras el selenio mejora ciertos perfiles minerales, también puede reducir la disponibilidad de otros micronutrientes, lo cual es importante considerar en la biofortificación para asegurar una absorción equilibrada.

Respecto al incremento progresivo de Se en los tratamientos biofortificado se confirma la efectividad de la adición de selenito de sodio para mejorar los niveles

de selenio en los germinados de *Canavalia ensiformis*, lo cual se ha documentado ampliamente en diversos estudios (Pannico et al., 2020). La acumulación de Se en la planta depende de factores como la concentración de selenito en la solución nutritiva y la capacidad de la planta para metabolizar selenio, convirtiéndolo en compuestos orgánicos bioactivos que potencian sus propiedades nutraceuticas y antioxidantes (Chen et al., 2023). Este aumento en Se, junto con los cambios observados en otros minerales, señala la complejidad del proceso de biofortificación y la importancia de comprender cómo el selenio interactúa con otros nutrientes en la planta.

## X. CONCLUSIÓN

La biofortificación de germinados de *Canavalia ensiformis* con selenito de sodio mostró efectos sobre sus propiedades nutricionales, con cambios en función de la dosis aplicada. Las dosis bajas a moderadas incrementaron el contenido de humedad. En cuanto al extracto etéreo, los T4 ( $45 \mu\text{M L}^{-1}$ ) y T5 ( $60 \mu\text{M L}^{-1}$ ), presentaron valores altos. Asimismo, el contenido de cenizas y fibra cruda disminuyó con mayores dosis de selenito. Los polifenoles fueron más abundantes en el extracto acuoso, con T1 (sin selenito de sodio) mostrando el valor más alto. En flavonoides, T6 ( $75 \mu\text{M L}^{-1}$ ) tuvo la concentración elevada en los extractos etanólico y metanólico, en tanto que los taninos fueron superiores en el extracto acuoso en dosis de T3 ( $30 \mu\text{M L}^{-1}$ ) y T6 ( $75 \mu\text{M L}^{-1}$ ), mientras que los extractos alcohólicos mostraron menores cantidades. Con respecto a los extractos metanólicos los radicales DPPH en tratamientos con dosis T4, T5 y T6 mostraron sobresalientes capturas de radicales. En el ensayo ABTS y FRAP, los extractos acuoso y metanólico mostraron la actividad más alta, en los T5, T6 y T4, T5 respectivamente. Respecto al contenido minerales de la harina de germinados, en el fósforo, los tratamientos T6 y T3 presentaron concentraciones altas. Para potasio, se observó un aumento máximo en T5. Sin embargo, en el calcio destacó el T4. En cuanto a magnesio y sodio, T5 y T6 presentaron los valores más altos,

respectivamente, aunque el manganeso mostró poca variabilidad, el contenido más alto fue en T1. El zinc y hierro fueron menores en los tratamientos biofortificado. El aumento de la biofortificación con selenio (Se) en los germinados de *Canavalia ensiformis* alteró su contenido nutrimental, así como los niveles de compuestos como fenoles, flavonoides, taninos y la capacidad antioxidante en la harina de esta leguminosa.

## XI. RECOMENDACIONES

Se recomienda profundizar en el impacto de dosis bajas y moderadas, que demostraron efectos positivos en el contenido de humedad y extracto etéreo en el presente estudio. Además, investigar el impacto de la biofortificación en la concentración de minerales esenciales, como calcio, magnesio, hierro, zinc, y su relación con la absorción de selenio esto podría ofrecer una comprensión integral de las interacciones minerales. También se debe explorar la influencia de la biofortificación en la actividad antioxidante bajo distintas condiciones de almacenamiento y procesamiento, en extractos acuoso, etanólicos y metanólicos.

## XII. REFERENCIAS CITADAS

- Abanto-Rodríguez, C., Mori, G. M. S., Panduro, M. H. P., Castro, E. V. V., Dávila, E. J. P., & De Oliveira, E. M. (2019). Uso de biofertilizantes en el desarrollo vegetativo y productivo de plantas de camu-camu en Ucayali, Perú. *Revista CERES*, 66(2), 108-116. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201966020005>
- Abidin, N. Z., Zin, Z. M., Abdullah, M., Rusli, N., & Zainol, M. (2020). Physicochemical properties and sensory acceptance of *Canavalia ensiformis* tempeh energy bar. *Food Research*, 4(5), 1637-1645. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(5\).150](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(5).150)
- Affandi, D. R., Praseptianga, D., Nirmala, F. S., Amanto, B. S., & Atmaka, W. (2017). Physical and Chemical Characterization Of Greater Yam (*Dioscorea Alata*) And Jack Bean (*Canavalia Ensiformis*) - Based Composite Flour. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 193, 012041. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/193/1/012041>
- Agati, G., Brunetti, C., Fini, A., Gori, A., Guidi, L., Landi, M., Sebastiani, F., & Tattini, M. (2020). Are Flavonoids Effective Antioxidants in Plants? Twenty Years of Our Investigation. *Antioxidants*, 9(11), 1098. <https://doi.org/10.3390/antiox9111098>
- Akinyemi, Y. (2020). Relationship between economic development and road traffic crashes and casualties: empirical evidence from Nigeria. *Transportation Research Procedia*, 48, 218–232. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.017>
- Al-Rooqi, M. M., Mughal, E. U., Raja, Q. A., Hussein, E. M., Naeem, N., Sadiq, A., Asghar, B. H., Moussa, Z., & Ahmed, S. A. (2023). Flavonoids and related privileged scaffolds as potential urease inhibitors: a review. *RSC Advances*, 13(5), 3210-3233. <https://doi.org/10.1039/d2ra08284e>
- Alvarez-Brito, R., Rojas-Bourrillon, A., & López-Herrera, M. (2020). Efecto del guineo cuadrado sobre la proteína cruda, almidón, fibra y fermentación ruminal de ensilados de leguminosas. *Nutrición Animal Tropical*, 14(2), 131–155. <https://doi.org/10.15517/nat.v14i2.44684>
- Annapandian, V. M., & Rajagopal, S. S. (2017). Phytochemical Evaluation and In vitro Antioxidant Activity of Various Solvent Extracts of *Leucas aspera* (Willd.) Link Leaves. *Free Radicals and Antioxidants*, 7(2), 166–171. <https://doi.org/10.5530/fra.2017.2.25>

- AOAC- Association of Official Analytical Chemists. (2002) Official Methods of Analysis of the AOAC. Washington, D.C. USA. In: Horwitz, W. (Ed.). The Association of Official Analytical Chemists.
- Arora, J., Kanthaliya, B., Joshi, A., Meena, M., Meena, S., Siddiqui, M. H., Alamri, S., & Devkota, H. P. (2023). Evaluation of Total Isoflavones in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Sprouts Germinated under Precursors (p-Coumaric Acid and L-Phenylalanine) Supplementation. *Plants*, 12(15), 2823.  
<https://doi.org/10.3390/plants12152823>
- Awika, J. M., Rooney, L. W., Wu, X., Prior, R. L., & Cisneros-Zevallos, L. (2003). Screening Methods To Measure Antioxidant Activity of Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Sorghum Products. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 51(23), 6657-6662. <https://doi.org/10.1021/jf034790i>
- Ayu, D. G., Gea, S., Andriyani, N., Telaumbanua, D. J., Piliang, A. F. R., Harahap, M., Yen, Z., Goei, R., & Tok, A. I. Y. (2023). Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Using N-Doped ZnO/Carbon Dot (N-ZnO/CD) Nanocomposites Derived from Organic Soybean. *ACS Omega*, 8(17), 14965-14984.  
<https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07546>
- Bachiega, P., Salgado, J. M., De Carvalho, J. E., Ruiz, A. L. T. G., Schwarz, K., Tezotto, T., & Morzelle, M. C. (2015). Antioxidant and antiproliferative activities in different maturation stages of broccoli (*Brassica oleracea Italica*) biofortified with selenium. *Food Chemistry*, 190, 771-776. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.024>
- Barrios, P., Escalante Estrada, J. A. S., Sosa Montes, E., Apáez Barrios, M., Rodríguez González, M. T., & Raya Montañón, Y. A. (2016). Producción y calidad nutrimental de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en función de arreglo topológico y tipo de fertilización. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 48(2), 31-42.  
[https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-86652016000200003](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652016000200003)
- Barros, A. F., Campos, V. P., Da Silva, J. C. P., Pedroso, M. P., Medeiros, F. H. V., Pozza, E. A., & Reale, A. L. (2014). Nematicidal activity of volatile organic compounds emitted by *Brassica juncea*, *Azadirachta indica*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens* and *Cajanus cajan* against *Meloidogyne incognita*. *Applied Soil Ecology*, 80, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.02.011>

- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V. E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *Deleted Journal*, 23. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.244>
- Benzie, I. F., & Strain, J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Bjørklund, G., Shanaida, M., Lysiuk, R., Antonyak, H., Klishch, I., Shanaida, V., & Peana, M. (2022). Selenium: An Antioxidant with a Critical Role in Anti-Aging. *Molecules*, 27(19), 6613. <https://doi.org/10.3390/molecules27196613>
- Blaise, K., Nicolas, N. Y., Clémence, B., & Richard, K. (2017). Influence of spray-drying temperature on physicochemical and functional properties of protein isolates of three leguminous plants (*Canavalia ensiformis*, *Vigna unguiculata* and *Glycine max*) from Cameroon. *Cogent Chemistry*, 3(1), 1388140. <https://doi.org/10.1080/23312009.2017.1388140>
- Cardoso, P., Mateus, T., Velu, G., Singh, R., Santos, J., Carvalho, M., Lourenço, V., Lidon, F., Reboredo, F., & Guerra, M. (2018). Localization and distribution of Zn and Fe in grains of biofortified bread wheat lines through micro- and triaxial-X-ray fluorescence spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy*, 141, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2018.01.006>
- Chen, H., Wang, L., Liu, X., Hu, L., Wang, S., & Cheng, X. (2017). De novo transcriptomic analysis of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) for genic SSR marker development. *BMC Genomic Data*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12863-017-0531-5>
- Choi, Y., Yoon, H., Shin, M., Lee, S., Yi, J., Jeon, Y., Wang, X., & Desta, K. T. (2023). Nutrient Levels, Bioactive Metabolite Contents, and Antioxidant Capacities of Faba Beans as Affected by Dehulling. *Foods*, 12(22), 4063. <https://doi.org/10.3390/foods12224063>
- Cobian-Nuñez, D. A., Montañez-Escalante, P. I., Da Conceição-Dos Santos, L. F., Estrada-Medina, H., & Osornio, J. J. J. (2022). Efecto de tres especies leguminosas sobre la fertilidad de un Luvisol de trópico subhúmedo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(2). <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3218>

- Desta, K. T., Choi, Y., Shin, M., Yoon, H., Wang, X., Lee, Y., Yi, J., Jeon, Y., & Lee, S. (2023). Comprehensive evaluation of nutritional components, bioactive metabolites, and antioxidant activities in diverse sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) landraces. *Food Research International*, 173, 113390. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113390>
- El-Ramady, H., Faizy, S. E., Abdalla, N., Taha, H., Domokos-Szabolcsy, É., Fari, M., Elsakhawy, T., Omara, A. E., Shalaby, T., Bayoumi, Y., Shehata, S., Geilfus, C., & Brevik, E. C. (2020). Selenium and Nano-Selenium Biofortification for Human Health: Opportunities and Challenges. *Soil Systems*, 4(3), 57. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4030057>
- Escamilla, K. I. A., Ancona, D. A. B., Fernández, J. J. A., Aragón, P. N. N., & Ordóñez, Y. B. M. (2018). ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA JALEA REAL OBTENIDA DE COLONIAS ALIMENTADAS CON DOS DIFERENTES SUPLEMENTOS PROTEICOS. *BIOTecnia*, 21(1), 102-108. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i1.819>
- Escobedo-Monge, M. F., Bahillo-Currieses, P., Parodi-Román, J., Escobedo-Monge, M. A., Alonso-López, P., & Marugán-Miguelsanz, J. M. (2024). Calcium, Phosphate, and Vitamin D in Children and Adolescents with Chronic Diseases: A Cross-Sectional Study. *Nutrients*, 16(9), 1349. <https://doi.org/10.3390/nu16091349>
- Fernandez-Orozco, R., Frias, J., Zielinski, H., Piskula, M. K., Kozłowska, H., & Vidal-Valverde, C. (2008). Kinetic study of the antioxidant compounds and antioxidant capacity during germination of *Vigna radiata* cv. emerald, *Glycine max* cv. jutro and *Glycine max* cv. merit. *Food Chemistry*, 111(3), 622-630. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.028>
- Finley, J. W., Sigrid-Keck, A., Robbins, R. J., & Hintze, K. J. (2005). Selenium Enrichment of Broccoli: Interactions between Selenium and Secondary Plant Compounds. *Journal Of Nutrition*, 135(5), 1236-1238. <https://doi.org/10.1093/jn/135.5.1236>
- Francisco-Martínez, F., De Dios Guerrero-Rodríguez, J., López-Ortiz, S., Aceves-Ruiz, E., Olvera-Hernández, J. I., & Méndez-Espinosa, J. A. (2023). RENDIMIENTO y VALOR NUTRITIVO DE LEGUMINOSAS HERBÁCEAS NATIVAS DE MÉXICO CON POTENCIAL FORRAJERO EN EL TRÓPICO SECO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(2), 95. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.95>
- Fu, Y., Su, S., Gao, Y., Wang, P., Huang, Z., Hu, M., Luo, W., Li, S., Luo, M., Wang, Y., & Shu, H. (2017). Human Cytomegalovirus Tegument Protein UL82 Inhibits STING-

- Mediated Signaling to Evade Antiviral Immunity. *Cell Host & Microbe*, 21(2), 231-243. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2017.01.001>
- Galindo-Guzmán, A. P., Fortis-Hernández, M., De la Rosa-Reta, C. V., Zermeño-González, H., & Galindo-Guzmán, M. (2022). Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de *Lactuca sativa*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, 299-308. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3284>
- Gan, R., Lui, W., Wu, K., Chan, C., Dai, S., Sui, Z., & Corke, H. (2016). Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review. *Trends In Food Science & Technology*, 59, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.010>
- Garduño-Zepeda, A. M., & Márquez-Quiroz, C. (2018). Aplicación de selenio en cultivos agrícolas. Revisión bibliográfica. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 114(4). <https://doi.org/10.12706/itea.2018.019>
- Gaucin-Delgado, A., Márquez-Guerrero, S. Y., Carballo Méndez, F. D. J., Moreno-Reséndez, A., Espinosa-Palomeque, B., & Gaucin-Delgado, J. M. (2024). El ácido benzoico mejora la calidad nutricional en germinados de lentejas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(2), e3638. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i2.3638>
- Gordo, D. A. M. (2018). Los compuestos fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81-104. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Groth, S., Budke, C., Neugart, S., Ackermann, S., Kappenstein, F., Daum, D., & Rohn, S. (2020). Influence of a Selenium Biofortification on Antioxidant Properties and Phenolic Compounds of Apples (*Malus domestica*). *Antioxidants*, 9(2), 187. <https://doi.org/10.3390/antiox9020187>
- Guajardo-Flores, D., Serna-Saldívar, S. O., & Gutiérrez-Urbe, J. A. (2013). Evaluation of the antioxidant and antiproliferative activities of extracted saponins and flavonols from germinated black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 141(2), 1497-1503. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.010>
- Gupta, M., & Gupta, S. (2017). An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. *Frontiers In Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02074>
- Hawrylak-Nowak, B., Matraszek, R., & Pogorzelec, M. (2015). The dual effects of two inorganic selenium forms on the growth, selected physiological parameters and

- macronutrients accumulation in cucumber plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(2). <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1788-9>
- Hosnedlova, B., Kepinska, M., Skalickova, S., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B., Malevu, T. D., Sochor, J., Baron, M., Melcova, M., Zidkova, J., & Kizek, R. (2017). A Summary of New Findings on the Biological Effects of Selenium in Selected Animal Species—A Critical Review. *International Journal Of Molecular Sciences*, 18(10), 2209. <https://doi.org/10.3390/ijms18102209>
- Hossain, A., Skalicky, M., Brestic, M., Maitra, S., Sarkar, S., Ahmad, Z., Vemuri, H., Garai, S., Mondal, M., Bhatt, R., Kumar, P., Banerjee, P., Saha, S., Islam, T., & Laing, A. M. (2021). Selenium Biofortification: Roles, Mechanisms, Responses and Prospects. *Molecules*, 26(4), 881. <https://doi.org/10.3390/molecules26040881>
- Huang, C., Quan, X., Yin, Y., Ding, X., Yang, Z., Zhu, J., & Fang, W. (2024). Enrichment of Flavonoids in Short-Germinated Black Soybeans (*Glycine max* L.) Induced by Slight Acid Treatment. *Foods*, 13(6), 868. <https://doi.org/10.3390/foods13060868>
- Kacuráková, M. (2000). FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. *Carbohydrate Polymers*, 43(2), 195-203. [https://doi.org/10.1016/s0144-8617\(00\)00151-x](https://doi.org/10.1016/s0144-8617(00)00151-x)
- Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal Of Food Science And Technology*, 48(4), 412-422. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1>
- Kitts, D. D., & Weiler, K. (2003). Proteínas y péptidos bioactivos procedentes de fuentes alimentarias. Aplicaciones de bioprocesos utilizados en aislamiento y recuperación. *Diseño farmacéutico actual*, 9(16), 1309-1323.
- Kiyama, R. (2022). Estrogenic flavonoids and their molecular mechanisms of action. *The Journal Of Nutritional Biochemistry*, 114, 109250. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2022.109250>
- Kumari, S., Goyal, A., Garg, M., Antonescu, A., & Sindhu, R. K. (2023). Lyotropic Liquid Crystal System for Drug Delivery of Astaxanthin: Physical Characterization and Enhanced Antioxidant Potential. *Crystals*, 13(1), 142. <https://doi.org/10.3390/cryst13010142>
- Lazo-Vélez, M. A., Avilés-González, J., Serna-Saldivar, S. O., & Temblador-Pérez, M. C. (2015). Optimization of wheat sprouting for production of selenium enriched kernels using response surface methodology and desirability function. *LWT*, 65, 1080-1086. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.056>

- León-López, L., Escobar-Zúñiga, Y., Salazar-Salas, N. Y., Rochín, S. M., Cuevas-Rodríguez, E. O., Reyes-Moreno, C., & Milán-Carrillo, J. (2020). Improving Polyphenolic Compounds: Antioxidant Activity in Chickpea Sprouts through Elicitation with Hydrogen Peroxide. *Foods*, 9(12), 1791. <https://doi.org/10.3390/foods9121791>
- Lima, W. N., De Sousa Santos Alves, C. P., Negreiros, A. M. P., De Queiroz Ambrósio, M. M., De Medeiros, E. V., & Júnior, R. S. (2023). Macrophomina pseudophaseolina isolated from weeds is pathogenic against cowpea, mung bean, corn, and sorghum. *European Journal Of Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02748-2>
- Lin, Y., Zhou, C., Li, D., Jia, Y., Dong, Q., Yu, H., Wu, T., & Pan, C. (2023b). Mitigation of Acetamiprid Residue Disruption on Pea Seed Germination by Selenium Nanoparticles and Lentinans. *Plants*, 12(15), 2781. <https://doi.org/10.3390/plants12152781>
- López-Herrera, M., Castillo-Umaña, M., Alpízar-Naranjo, A., & Arias-Gamboa, M. (2022). Composición bromatológica de ensilados de leguminosas con diferentes fuentes de carbohidratos. *Nutrición Animal Tropical*, 16(2), 115-133. <https://doi.org/10.15517/nat.v16i2.52922>
- Madalão, J. C., De Souza, M. F., Silva, A. A., Silva, D. V., Jakelaitis, A., & Pereira, G. A. M. (2017). Action of *Canavalia ensiformis* in remediation of contaminated soil with sulfentrazone. *Bragantia*, 76(2), 292-299. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.526>
- Mareček, V., Mikyška, A., Hampel, D., Čejka, P., Neuwirthová, J., Malachová, A., & Cerkal, R. (2016). ABTS and DPPH methods as a tool for studying antioxidant capacity of spring barley and malt. *Journal Of Cereal Science*, 73, 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.11.004>
- Mercado-Mercado, G., De la Rosa Carrillo, L., Wall-Medrano, A., Díaz, J. A. L., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). [Polyphenolic compounds and antioxidant capacity of typically consumed species in Mexico]. *PubMed*, 28(1), 36-46. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6298>
- Milder, I. E. J., Arts, I. C. W., Van de Putte, B., Venema, D. P., & Hollman, P. C. H. (2005). Lignan contents of Dutch plant foods: a database including lariciresinol, pinoresinol, secoisolariciresinol and matairesinol. *British Journal Of Nutrition*, 93(3), 393-402. <https://doi.org/10.1079/bjn20051371>

- Moisa, C., Brata, A. M., Muresan, I. C., Dragan, F., Ratiu, I., Cadar, O., Becze, A., Carbanar, M., Brata, V. D., & Teusdea, A. C. (2024). Comparative Analysis of Vitamin, Mineral Content, and Antioxidant Capacity in Cereals and Legumes and Influence of Thermal Process. *Plants*, 13(7), 1037. <https://doi.org/10.3390/plants13071037>
- Montiel, W. H., Juárez, J. R., Ibáñez, E. M. A., Mendo, O. H., Flores, V. M. M., & Hernández, J. O. (2016). Uso potencial y limitantes de la leguminosa *Canavalia ensiformis* en la salud y productividad de los ovinos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10), 187. <https://doi.org/10.19136/era.a4n10.672>
- Morales, A. E. M., Noh, R. H. A., Quiroz, C. M., Mendoza, A. B., Suarez, J. M. T., Moreno, A. G., & López, C. J. A. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18). <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2171>
- More, G. K., Meddows-Taylor, S., & Prinsloo, G. (2021). Metabolomic Profiling of Antioxidant Compounds in Five *Vachellia* Species. *Molecules*, 26(20), 6214. <https://doi.org/10.3390/molecules26206214>
- Moussa, M. D., Alashi, A., Sossa-Vihotogbé, C., Akponikpè, P., Baco, M., Djènantin, A., Aluko, R., & Akissoé, N. (2020). Proximate Composition, Mineral Profile and Trypsin-Inhibitory Activity of West African Leafy Vegetables: Influence of Urea Micro-Dosing and Harvest Time. *Polish Journal Of Food And Nutrition Sciences*, 70(2), 179-188. <https://doi.org/10.31883/pjfn/119674>
- Munjal, S. D., Dhankhar, J., Sharma, A., & Dhull, S. B. (2024). Physicochemical properties of native Jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch: An underutilised legume. *Journal Of Applied And Natural Science*, 16(1), 410-419. <https://doi.org/10.31018/jans.v16i1.5370>
- Muñoz-Llandes, C. B., Guzmán-Ortiz, F. A., Olivares, L. G. G., Palma-Rodríguez, H. M., Román-Gutiérrez, A. D., & Castro-Rosas, J. (2021). Germinación: un método de bioproceso que incrementa la calidad nutricional, biológica y funcional de harinas de leguminosas. *PADI Boletín Científico de Ciencias Básicas E Ingenierías del ICBI*, 9(Especial2), 119-122. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9iespecial2.7971>
- Muruhan, S., Selvaraj, S., & Viswanathan, P. K. (2013). In vitro antioxidant activities of *Solanum surattense* leaf extract. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(1), 28–34. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60019-2](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60019-2)

- NORMEX. (2018). NMX-F-615-NORMEX-2018: Alimentos – Determinación de fibra dietética en alimentos – Método de ensayo. NORMEX.
- Odedeji, J., Akande, E., Ayinde, L., & Alade, O. (2020). Influence of Sprouting on Proximate and Anti-nutritional Factors of Jacbean (*Canavalia ensiformis*) Flour. *Journal Of Applied Science And Environmental Management*, 24(8), 1455-1461. <https://doi.org/10.4314/jasem.v24i8.22>
- Okla, M. K., Akhtar, N., Alamri, S. A., Al-Qahtani, S. M., Ismail, A., Abbas, Z. K., Al-Ghamdi, A. A., Qahtan, A. A., Soufan, W. H., Alaraidh, I. A., Selim, S., & AbdElgawad, H. (2021). Potential Importance of Molybdenum Priming to Metabolism and Nutritive Value of *Canavalia* spp. Sprouts. *Plants*, 10(11), 2387. <https://doi.org/10.3390/plants10112387>
- Olagbenro, M., Ravi, S., Myers, D., Lin, D., Woodburn, W., Walter, J. R., & Xu, S. (2022). Assessment of Blue Light Phototherapy for Grover Disease. *JAMA Dermatology*, 159(1), 102. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2022.4491>
- Pannico, A., El-Nakhel, C., Graziani, G., Kyriacou, M. C., Giordano, M., Soteriou, G. A., Zarrelli, A., Ritieni, A., De Pascale, S., & Roupael, Y. (2020). Selenium Biofortification Impacts the Nutritive Value, Polyphenolic Content, and Bioactive Constitution of Variable Microgreens Genotypes. *Antioxidants*, 9(4), 272. <https://doi.org/10.3390/antiox9040272>
- Paramo, L. A., Feregrino-Pérez, A. A., Guevara, R., Mendoza, S., & Esquivel, K. (2020). Nanoparticles in Agroindustry: Applications, Toxicity, Challenges, and Trends. *Nanomaterials*, 10(9), 1654. <https://doi.org/10.3390/nano10091654>
- Peixoto, P., Barros, A., & Oliveira, M. H. (2021). Modelo de Kirkwood para fluidos polares puros constituídos de moléculas com polarizabilidades desprezíveis. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2021-0219>
- Pillai, R., Uyehara-Lock, J. H., & Bellinger, F. P. (2014). Selenium and selenoprotein function in brain disorders. *IUBMB Life*, 66(4), 229-239. <https://doi.org/10.1002/iub.1262>
- Pontieri, P., Pepe, G., Campiglia, P., Merciai, F., Basilicata, M. G., Smolensky, D., Calcagnile, M., Troisi, J., Romano, R., Del Giudice, F., Aletta, M., Guida, M., Alifano, P., & Del Giudice, L. (2021). Comparison of Content in Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity in Grains of White, Red, and Black

- Sorghum Varieties Grown in the Mediterranean Area. *ACS Food Science & Technology*, 1(6), 1109-1119. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00115>
- Popoola, J. O., Ojuederie, O. B., Aworunse, O. S., Adelekan, A., Oyelakin, A. S., Oyesola, O. L., Akinduti, P. A., Dahunsi, S. O., Adegboyega, T. T., Oranusi, S. U., Ayilara, M. S., & Omonhinmin, C. A. (2023). Nutritional, functional, and bioactive properties of african underutilized legumes. *Frontiers In Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1105364>
- Puccinelli, M., Malorgio, F., Rosellini, I., & Pezzarossa, B. (2019). Production of selenium-biofortified microgreens from selenium-enriched seeds of basil. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 99(12), 5601-5605. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9826>
- Purwandari, F. A., Fogliano, V., & Capuano, E. (2024). Tempeh fermentation improves the nutritional and functional characteristics of Jack beans (*Canavalia ensiformis* (L.) DC). *Food & Function*, 15(7), 3680-3691. <https://doi.org/10.1039/d3fo05379b>
- Ragae, S., & Abdel-Aal, E. M. (2005). Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. *Food Chemistry*, 95(1), 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.012>
- Rahim, F. P., Rocio, C. G., Adalberto, B. M., Rosaura, S. C. L., & Maginot, N. H. (2020). Agronomic Biofortification with Selenium in Tomato Crops (*Solanum lycopersicon* L. Mill). *Agriculture*, 10(10), 486. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100486>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology And Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- Reverri, E. J., Randolph, J. M., Kappagoda, C. T., Park, E., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B. M. (2017). Assessing beans as a source of intrinsic fiber on satiety in men and women with metabolic syndrome. *Appetite*, 118, 75-81. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.07.013>
- Salvati, D., Paschoalinotto, B. H., Mandim, F., Ferreira, I. C. F. R., Steinmacher, N. C., Pereira, C., & Dias, M. I. (2024). Exploring the Impacts of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Germination on the Flour's Nutritional, Chemical, Bioactive, and Technological Properties. *Foods*, 13(3), 491. <https://doi.org/10.3390/foods13030491>

- Samal, I., Bhoi, T. K., Raj, M. N., Majhi, P. K., Murmu, S., Pradhan, A. K., Kumar, D., Paschapur, A. U., Joshi, D. C., & Guru, P. N. (2023). Underutilized legumes: nutrient status and advanced breeding approaches for qualitative and quantitative enhancement. *Frontiers In Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1110750>
- Samukha, V., Fantasma, F., D'Urso, G., Caprari, C., De Felice, V., Saviano, G., Lauro, G., Casapullo, A., Chini, M. G., Bifulco, G., & Iorizzi, M. (2024). NMR Metabolomics and Chemometrics of Commercial Varieties of *Phaseolus vulgaris* L. Seeds from Italy and In Vitro Antioxidant and Antifungal Activity. *Plants*, 13(2), 227. <https://doi.org/10.3390/plants13020227>
- Secretaría de Economía. (1978). NMX-F-066-S-1978: Determinación de la humedad en alimentos. Dirección General de Normas.
- Shahidi, F., & Yeo, J. (2016). Insoluble-Bound Phenolics in Food. *Molecules*, 21(9), 1216. <https://doi.org/10.3390/molecules21091216>
- Snak, C., C, G. A. A., & De Queiroz, L. P. (2018). A new species of *Canavalia* (Leguminosae, Papilionoideae) subgenus *Wenderothia* from the Colombian and Venezuelan Llanos. *Brittonia*, 70(2), 233-240. <https://doi.org/10.1007/s12228-017-9512-2>
- Solomon, S. G., Okomoda, V. T., & Oguche, O. (2017). Nutritional value of raw *Canavalia ensiformis* and its utilization as partial replacement for soybean meal in the diet of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings. *Food Science & Nutrition*, 6(1), 207-213. <https://doi.org/10.1002/fsn3.548>
- Sosa-Montes, E., La Fuente, J. I. A., Pro-Martínez, A., González-Cerón, F., Enríquez-Quiroz, J. F., & Torres-Cardona, M. G. (2020). Composición química y digestibilidad de cuatro leguminosas tropicales mexicanas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 24, 211-220. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2371>
- Sridhar, K., & Seena, S. (2005). Nutritional and antinutritional significance of four unconventional legumes of the genus *Canavalia* – A comparative study. *Food Chemistry*, 99(2), 267-288. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.049>
- Steinbrenner, H., Duntas, L. H., & Rayman, M. P. (2022). The role of selenium in type-2 diabetes mellitus and its metabolic comorbidities. *Redox Biology*, 50, 102236. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2022.102236>
- Sultana, B., Anwar, F., & Ashraf, M. (2009). Effect of Extraction Solvent/Technique on the Antioxidant Activity of Selected Medicinal Plant Extracts. *Molecules*, 14(6), 2167-2180. <https://doi.org/10.3390/molecules14062167>

- Sutedja, A. M., Yanase, E., Batubara, I., Fardiaz, D., & Lioe, H. N. (2020). Identification and Characterization of  $\alpha$ -Glucosidase Inhibition Flavonol Glycosides from Jack Bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC. *Molecules*, 25(11), 2481.  
<https://doi.org/10.3390/molecules25112481>
- Tangjaidee, P., Swedlund, P., Xiang, J., Yin, H., & Quek, S. Y. (2023). Selenium-enriched plant foods: Selenium accumulation, speciation, and health functionality. *Frontiers In Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.962312>
- Wan, J., Zhang, M., & Adhikari, B. (2018). Advances in selenium-enriched foods: From the farm to the fork. *Trends In Food Science & Technology*, 76, 1-5.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.021>
- Zahir, M., Fogliano, V., & Capuano, E. (2021). Soybean germination limits the role of cell wall integrity in controlling protein physicochemical changes during cooking and improves protein digestibility. *Food Research International*, 143, 110254.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110254>

México. Universidad Autónoma de Tabasco.

### XIII. ANEXOS

#### Evidencias del envío del artículo



ingalde cruz <aldenamarch@gmail.com>

---

#### Emirates Journal of Food and Agriculture: Manuscript Submission #148751 Acknowledgement

---

Emirates Journal of Food and Agriculture <ejfa@pensoft.net>  
Para: aldenamarch@gmail.com  
Cc: journals@pensoft.net

4 de febrero de 2025, 14:12

Dear ALDENAMAR CRUZ-HERNANDEZ:

Thank you for submitting the manuscript #148751 "EFFECTS OF SODIUM SELENITE BIOFORTIFICATION ON THE NUTRITIONAL PROPERTIES, ANTIOXIDANT CAPACITY, AND CHARACTERISTICS OF *Canavalia ensiformis* SPROUTS" to Emirates Journal of Food and Agriculture. You can keep track of its progress through the manuscript's URL:

<https://goto.arphahub.com/vHZPPSvUHceF>

You can also view all manuscripts with which you are associated either as submitting author, or reviewer, or editor by clicking on the [My tasks](#) button on the journal's homepage, after login.

Thank you for considering Emirates Journal of Food and Agriculture as the venue for your work.

Emirates Journal of Food and Agriculture Editorial office

<https://ejfa.pensoft.net>  
ARPHA Platform

Please do not forward this email to other people, as it contains your personal auto login link.

My tasks

Pending 0

My manuscripts

Active 1

Published 0

Rejected 0

Incomplete 29

Uploaded 0

Submission #148751

EFFECTS OF SODIUM SELENITE BIOFORTIFICATION ON THE NUTRITIONAL PROPERTIES, ANTIOXIDANT CAPACITY, AND CHARACTERISTICS OF *Canavalia ensiformis* SPROUTS

Edit

Patricia Jerónimo López, ALDENAMAR CRUZ-HERNANDEZ, Efraín de la Cruz Lázaro, Carlos Juan Alvarado-López, JUAN GUZMAN CEFERINO, Amelio Eli Morales Morales, Cinthia García-Mendoza, César Márquez-Quiroz

Article type: Research Article Type of review: Conventional peer review

Current status Metadata Suppl. files (0)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

<b>Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional</b>	
<b>Título de Tesis:</b>	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FUNCIONALES Y CONTENIDO DE SELENIO EN GERMINADOS DE <i>Canavalia ensiformis</i> BIOFORTIFICADO CON SELENITO DE SODIO
<b>Autor(a) o autores(ras) de la Tesis:</b>	MVZ. PATRICIA JERÓNIMO LÓPEZ
<b>ORCID:</b>	<a href="https://orcid.org/0009-0007-6625-8441">https://orcid.org/0009-0007-6625-8441</a>
<b>Resumen de la Tesis:</b>	<p style="text-align: center;"><b>RESUMEN</b></p> <p>La biofortificación con selenio es una estrategia efectiva para enriquecer alimentos y mejorar la calidad nutrimental y funcional. En este estudio se evaluó el efecto de la biofortificación con selenito de sodio en el contenido mineral, bromatológico, compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides y taninos en extractos acuosos, etanólicos y metanólicos, así como su capacidad antioxidante mediante los ensayos DPPH, ABTS y FRAP de germinados de <i>Canavalia ensiformis</i>. Se aplicaron seis tratamientos de selenito de sodio (T1=0; T2= 15; T3= 30; T4= 45; T5= 60; y T6=75 <math>\mu\text{M L}^{-1}</math> <math>\text{Na}_2\text{SeO}_3</math>). Los resultados mostraron que el tratamiento T6 obtuvo el mayor contenido de selenio, mientras que T5 y T6 destacaron en la capacidad antioxidante, especialmente en los extractos metanólicos y acuosos. Los tratamientos con selenio aumentaron el contenido de flavonoides y polifenoles totales, aunque redujeron la solubilidad de taninos en extractos etanólicos y metanólicos. En cuanto a los antioxidantes, se observó un aumento en los extractos metanólicos, con porcentajes de captura de radical DPPH entre el 18% y el 23%, siendo los tratamientos T4, T5 y</p>

	<p>T6 los más destacados. La actividad de captura de radicales ABTS fue más alta en los extractos acuosos y metanólicos de los tratamientos T5 y T6, lo que sugiere un aumento en la solubilidad de los radicales ABTS debido a la biofortificación, y los extractos acuosos presentaron la mayor actividad en el ensayo FRAP, mientras que los tratamientos T4, T5 y T6 sobresalieron en la captura de radicales DPPH y ABTS. Los resultados confirman que la biofortificación con selenito de sodio mejora las propiedades nutricionales y bioactivas de los germinados de <i>C. ensiformis</i>.</p>
<p><b>Palabras claves de la Tesis:</b></p>	<p>Antioxidante, Biofortificación, Flavonoides, Germinados, Minerales; Selenio, Taninos.</p>
<p><b>Referencias citadas:</b></p>	<p>Abanto-Rodríguez, C., Mori, G. M. S., Panduro, M. H. P., Castro, E. V. V., Dávila, E. J. P., &amp; De Oliveira, E. M. (2019). Uso de biofertilizantes en el desarrollo vegetativo y productivo de plantas de camu-camu en Ucayali, Perú. <i>Revista CERES</i>, 66(2), 108-116. <a href="https://doi.org/10.1590/0034-737x201966020005">https://doi.org/10.1590/0034-737x201966020005</a></p> <p>Abidin, N. Z., Zin, Z. M., Abdullah, M., Rusli, N., &amp; Zainol, M. (2020). Physicochemical properties and sensory acceptance of <i>Canavalia ensiformis</i> tempeh energy bar. <i>Food Research</i>, 4(5), 1637-1645. <a href="https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(5).150">https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(5).150</a></p> <p>Affandi, D. R., Praseptiangga, D., Nirmala, F. S., Amanto, B. S., &amp; Atmaka, W. (2017). Physical and Chemical Characterization Of Greater Yam (<i>Dioscorea Alata</i>) And Jack Bean (<i>Canavalia Ensiformis</i>) - Based Composite Flour. <i>IOP Conference Series: Materials Science and Engineering</i>, 193, 012041. <a href="https://doi.org/10.1088/1757-899X/193/1/012041">https://doi.org/10.1088/1757-899X/193/1/012041</a></p> <p>Agati, G., Brunetti, C., Fini, A., Gori, A., Guidi, L., Landi, M., Sebastiani, F., &amp; Tattini, M. (2020). Are Flavonoids Effective Antioxidants in Plants? Twenty Years of Our Investigation. <i>Antioxidants</i>, 9(11), 1098. <a href="https://doi.org/10.3390/antiox9111098">https://doi.org/10.3390/antiox9111098</a></p> <p>Akinyemi, Y. (2020). Relationship between economic development and road traffic crashes and casualties: empirical evidence from Nigeria. <i>Transportation Research Procedia</i>, 48, 218–232. <a href="https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.017">https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.017</a></p> <p>Al-Rooqi, M. M., Mughal, E. U., Raja, Q. A., Hussein, E. M., Naeem, N., Sadiq, A., Asghar, B. H., Moussa, Z., &amp; Ahmed, S. A. (2023). Flavonoids and related privileged scaffolds as potential urease inhibitors: a review. <i>RSC Advances</i>, 13(5), 3210-3233.</p>

<https://doi.org/10.1039/d2ra08284e>

Alvarez-Brito, R., Rojas-Bourrillon, A., & López-Herrera, M. (2020). Efecto del guineo cuadrado sobre la proteína cruda, almidón, fibra y fermentación ruminal de ensilados de leguminosas. *Nutrición Animal Tropical*, 14(2), 131–155.

<https://doi.org/10.15517/nat.v14i2.44684>

Annapandian, V. M., & Rajagopal, S. S. (2017). Phytochemical Evaluation and In vitro Antioxidant Activity of Various Solvent Extracts of *Leucas aspera* (Willd.) Link Leaves. *Free Radicals and Antioxidants*, 7(2), 166–171.

<https://doi.org/10.5530/fra.2017.2.25>

AOAC- Association of Official Analytical Chemists. (2002) *Official Methods of Analysis of the AOAC*. Washington, D.C. USA. In: Horwitz, W. (Ed.). *The Association of Official Analytical Chemists*.

Arora, J., Kanthaliya, B., Joshi, A., Meena, M., Meena, S., Siddiqui, M. H., Alamri, S., & Devkota, H. P. (2023). Evaluation of Total Isoflavones in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Sprouts Germinated under Precursors (p-Coumaric Acid and L-Phenylalanine) Supplementation. *Plants*, 12(15), 2823. <https://doi.org/10.3390/plants12152823>

Awika, J. M., Rooney, L. W., Wu, X., Prior, R. L., & Cisneros-Zevallos, L. (2003). Screening Methods To Measure Antioxidant Activity of Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Sorghum Products. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 51(23), 6657-6662.

<https://doi.org/10.1021/jf034790i>

Ayu, D. G., Gea, S., Andriyani, N., Telaumbanua, D. J., Piliang, A. F. R., Harahap, M., Yen, Z., Goei, R., & Tok, A. I. Y. (2023). Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Using N-Doped ZnO/Carbon Dot (N-ZnO/CD) Nanocomposites Derived from Organic Soybean. *ACS Omega*, 8(17), 14965-14984.

<https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07546>

Bachiega, P., Salgado, J. M., De Carvalho, J. E., Ruiz, A. L. T. G., Schwarz, K., Tezotto, T., & Morzelle, M. C. (2015). Antioxidant and antiproliferative activities in different maturation stages of broccoli (*Brassica oleracea Italica*) biofortified with selenium. *Food Chemistry*, 190, 771-776.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.024>

Barrios, P., Escalante Estrada, J. A. S., Sosa Montes, E., Apáez Barrios, M., Rodríguez González, M. T., & Raya Montaña, Y. A. (2016). Producción y calidad nutrimental de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en función de arreglo topológico y tipo de fertilización. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 48(2), 31-42.

[https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-86652016000200003](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652016000200003)

Barros, A. F., Campos, V. P., Da Silva, J. C. P., Pedroso, M. P., Medeiros, F. H. V., Pozza, E. A., & Reale, A. L. (2014). Nematicidal activity of volatile organic compounds emitted by *Brassica juncea*, *Azadirachta indica*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens* and *Cajanus cajan* against *Meloidogyne incognita*. *Applied Soil Ecology*, 80, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.02.011>

Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V. E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *Deleted Journal*, 23. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.244>

Benzie, I. F., & Strain, J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>

Bjørklund, G., Shanaida, M., Lysiuk, R., Antonyak, H., Klishch, I., Shanaida, V., & Peana, M. (2022). Selenium: An Antioxidant with a Critical Role in Anti-Aging. *Molecules*, 27(19), 6613. <https://doi.org/10.3390/molecules27196613>

Blaise, K., Nicolas, N. Y., Clémence, B., & Richard, K. (2017). Influence of spray-drying temperature on physicochemical and functional properties of protein isolates of three leguminous plants (*Canavalia ensiformis*, *Vigna unguiculata* and *Glycine max*) from Cameroon. *Cogent Chemistry*, 3(1), 1388140. <https://doi.org/10.1080/23312009.2017.1388140>

Cardoso, P., Mateus, T., Velu, G., Singh, R., Santos, J., Carvalho, M., Lourenço, V., Lidon, F., Reboredo, F., & Guerra, M. (2018). Localization and distribution of Zn and Fe in grains of biofortified bread wheat lines through micro- and triaxial-X-ray fluorescence spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy*, 141, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2018.01.006>

Chen, H., Wang, L., Liu, X., Hu, L., Wang, S., & Cheng, X. (2017). De novo transcriptomic analysis of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) for genic SSR marker development. *BMC Genomic Data*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12863-017-0531-5>

Choi, Y., Yoon, H., Shin, M., Lee, S., Yi, J., Jeon, Y., Wang, X., & Desta, K. T. (2023). Nutrient Levels, Bioactive Metabolite Contents, and Antioxidant Capacities of Faba Beans as Affected by Dehulling. *Foods*, 12(22), 4063. <https://doi.org/10.3390/foods12224063>

Cobian-Nuñez, D. A., Montañez-Escalante, P. I., Da Conceição-Dos Santos, L. F., Estrada-Medina,

H., & Osornio, J. J. J. (2022). Efecto de tres especies leguminosas sobre la fertilidad de un Luvisol de trópico subhúmedo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(2). <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3218>

Desta, K. T., Choi, Y., Shin, M., Yoon, H., Wang, X., Lee, Y., Yi, J., Jeon, Y., & Lee, S. (2023). Comprehensive evaluation of nutritional components, bioactive metabolites, and antioxidant activities in diverse sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) landraces. *Food Research International*, 173, 113390. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113390>

El-Ramady, H., Faizy, S. E., Abdalla, N., Taha, H., Domokos-Szabolcsy, É., Fari, M., Elsakhawy, T., Omara, A. E., Shalaby, T., Bayoumi, Y., Shehata, S., Geilfus, C., & Brevik, E. C. (2020). Selenium and Nano-Selenium Biofortification for Human Health: Opportunities and Challenges. *Soil Systems*, 4(3), 57. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4030057>

Escamilla, K. I. A., Ancona, D. A. B., Fernández, J. J. A., Aragón, P. N. N., & Ordóñez, Y. B. M. (2018). ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA JALEA REAL OBTENIDA DE COLONIAS ALIMENTADAS CON DOS DIFERENTES SUPLEMENTOS PROTEICOS. *BIOTecnia*, 21(1), 102-108. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i1.819>

Escobedo-Monge, M. F., Bahillo-Curienes, P., Parodi-Román, J., Escobedo-Monge, M. A., Alonso-López, P., & Marugán-Miguelsanz, J. M. (2024). Calcium, Phosphate, and Vitamin D in Children and Adolescents with Chronic Diseases: A Cross-Sectional Study. *Nutrients*, 16(9), 1349. <https://doi.org/10.3390/nu16091349>

Fernandez-Orozco, R., Frias, J., Zielinski, H., Piskula, M. K., Kozłowska, H., & Vidal-Valverde, C. (2008). Kinetic study of the antioxidant compounds and antioxidant capacity during germination of *Vigna radiata* cv. emerald, *Glycine max* cv. jutro and *Glycine max* cv. merit. *Food Chemistry*, 111(3), 622-630. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.028>

Finley, J. W., Sigrid-Keck, A., Robbins, R. J., & Hintze, K. J. (2005). Selenium Enrichment of Broccoli: Interactions between Selenium and Secondary Plant Compounds. *Journal Of Nutrition*, 135(5), 1236-1238. <https://doi.org/10.1093/jn/135.5.1236>

Francisco-Martínez, F., De Dios Guerrero-Rodríguez, J., López-Ortiz, S., Aceves-Ruiz, E., Olvera-Hernández, J. I., & Méndez-Espinosa, J. A. (2023). RENDIMIENTO y VALOR NUTRITIVO DE LEGUMINOSAS HERBÁCEAS NATIVAS DE MÉXICO CON POTENCIAL FORRAJERO EN EL TRÓPICO SECO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(2), 95. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.95>

Fu, Y., Su, S., Gao, Y., Wang, P., Huang, Z., Hu,

M., Luo, W., Li, S., Luo, M., Wang, Y., & Shu, H. (2017). Human Cytomegalovirus Tegument Protein UL82 Inhibits STING-Mediated Signaling to Evade Antiviral Immunity. *Cell Host & Microbe*, 21(2), 231-243.

<https://doi.org/10.1016/j.chom.2017.01.001>

Galindo-Guzmán, A. P., Fortis-Hernández, M., De la Rosa-Reta, C. V., Zermeño-González, H., & Galindo-Guzmán, M. (2022). Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de *Lactuca sativa*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, 299-308.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3284>

Gan, R., Lui, W., Wu, K., Chan, C., Dai, S., Sui, Z., & Corke, H. (2016). Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review. *Trends In Food Science & Technology*, 59, 1-14.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.010>

Garduño-Zepeda, A. M., & Márquez-Quiroz, C. (2018). Aplicación de selenio en cultivos agrícolas. Revisión bibliográfica. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 114(4).

<https://doi.org/10.12706/itea.2018.019>

Gaucin-Delgado, A., Márquez-Guerrero, S. Y., Carballo Méndez, F. D. J., Moreno-Reséndez, A., Espinosa-Palomeque, B., & Gaucin-Delgado, J. M. (2024). El ácido benzoico mejora la calidad nutricional en germinados de lentejas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(2), e3638.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v15i2.3638>

Gordo, D. A. M. (2018). Los compuestos fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81-104.

<https://doi.org/10.22490/21456453.1968>

Groth, S., Budke, C., Neugart, S., Ackermann, S., Kappenstein, F., Daum, D., & Rohn, S. (2020). Influence of a Selenium Biofortification on Antioxidant Properties and Phenolic Compounds of Apples (*Malus domestica*). *Antioxidants*, 9(2), 187. <https://doi.org/10.3390/antiox9020187>

Guajardo-Flores, D., Serna-Saldívar, S. O., & Gutiérrez-Urbe, J. A. (2013). Evaluation of the antioxidant and antiproliferative activities of extracted saponins and flavonols from germinated black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 141(2), 1497-1503.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.010>

Gupta, M., & Gupta, S. (2017). An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. *Frontiers In Plant Science*, 7.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02074>

Hawrylak-Nowak, B., Matraszek, R., & Pogorzelec, M. (2015). The dual effects of two inorganic selenium forms on the growth, selected physiological parameters and macronutrients accumulation in cucumber plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(2).

<https://doi.org/10.1007/s11738-015-1788-9>

Hosnedlova, B., Kepinska, M., Skalickova, S., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B., Malevu, T. D., Sochor, J., Baron, M., Melcova, M., Zidkova, J., & Kizek, R. (2017). A Summary of New Findings on the Biological Effects of Selenium in Selected Animal Species—A Critical Review. *International Journal Of Molecular Sciences*, 18(10), 2209.

<https://doi.org/10.3390/ijms18102209>

Hossain, A., Skalicky, M., Brestic, M., Maitra, S., Sarkar, S., Ahmad, Z., Vemuri, H., Garai, S., Mondal, M., Bhatt, R., Kumar, P., Banerjee, P., Saha, S., Islam, T., & Laing, A. M. (2021). Selenium Biofortification: Roles, Mechanisms, Responses and Prospects. *Molecules*, 26(4), 881.

<https://doi.org/10.3390/molecules26040881>

Huang, C., Quan, X., Yin, Y., Ding, X., Yang, Z., Zhu, J., & Fang, W. (2024). Enrichment of Flavonoids in Short-Germinated Black Soybeans (*Glycine max* L.) Induced by Slight Acid Treatment. *Foods*, 13(6), 868.

<https://doi.org/10.3390/foods13060868>

Kacuráková, M. (2000). FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. *Carbohydrate Polymers*, 43(2), 195-203. [https://doi.org/10.1016/s0144-8617\(00\)00151-x](https://doi.org/10.1016/s0144-8617(00)00151-x)

Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal Of Food Science And Technology*, 48(4), 412-422. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1>

Kitts, D. D., & Weiler, K. (2003). Proteínas y péptidos bioactivos procedentes de fuentes alimentarias. Aplicaciones de bioprocesos utilizados en aislamiento y recuperación. *Diseño farmacéutico actual*, 9(16), 1309-1323.

Kiyama, R. (2022). Estrogenic flavonoids and their molecular mechanisms of action. *The Journal Of Nutritional Biochemistry*, 114, 109250.

<https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2022.109250>

Kumari, S., Goyal, A., Garg, M., Antonescu, A., & Sindhu, R. K. (2023). Lyotropic Liquid Crystal System for Drug Delivery of Astaxanthin: Physical Characterization and Enhanced Antioxidant Potential. *Crystals*, 13(1), 142.

<https://doi.org/10.3390/cryst13010142>

Lazo-Vélez, M. A., Avilés-González, J., Serna-Saldivar, S. O., & Temblador-Pérez, M. C. (2015). Optimization of wheat sprouting for production of selenium enriched kernels using response surface methodology and desirability function. *LWT*, 65, 1080-1086.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.056>

León-López, L., Escobar-Zúñiga, Y., Salazar-Salas, N. Y., Rochín, S. M., Cuevas-Rodríguez, E.

O., Reyes-Moreno, C., & Milán-Carrillo, J. (2020). Improving Polyphenolic Compounds: Antioxidant Activity in Chickpea Sprouts through Elicitation with Hydrogen Peroxide. *Foods*, 9(12), 1791. <https://doi.org/10.3390/foods9121791>

Lima, W. N., De Sousa Santos Alves, C. P., Negreiros, A. M. P., De Queiroz Ambrósio, M. M., De Medeiros, E. V., & Júnior, R. S. (2023). *Macrophomina pseudophaseolina* isolated from weeds is pathogenic against cowpea, mung bean, corn, and sorghum. *European Journal Of Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02748-2>

Lin, Y., Zhou, C., Li, D., Jia, Y., Dong, Q., Yu, H., Wu, T., & Pan, C. (2023b). Mitigation of Acetamiprid Residue Disruption on Pea Seed Germination by Selenium Nanoparticles and Lentinans. *Plants*, 12(15), 2781. <https://doi.org/10.3390/plants12152781>

López-Herrera, M., Castillo-Umaña, M., Alpízar-Naranjo, A., & Arias-Gamboa, M. (2022). Composición bromatológica de ensilados de leguminosas con diferentes fuentes de carbohidratos. *Nutrición Animal Tropical*, 16(2), 115-133. <https://doi.org/10.15517/nat.v16i2.52922>

Madalão, J. C., De Souza, M. F., Silva, A. A., Silva, D. V., Jakelaitis, A., & Pereira, G. A. M. (2017). Action of *Canavalia ensiformis* in remediation of contaminated soil with sulfentrazone. *Bragantia*, 76(2), 292-299. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.526>

Mareček, V., Mikyška, A., Hampel, D., Čejka, P., Neuwirthová, J., Malachová, A., & Cerkal, R. (2016). ABTS and DPPH methods as a tool for studying antioxidant capacity of spring barley and malt. *Journal Of Cereal Science*, 73, 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.11.004>

Mercado-Mercado, G., De la Rosa Carrillo, L., Wall-Medrano, A., Díaz, J. A. L., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). [Polyphenolic compounds and antioxidant capacity of typically consumed species in Mexico]. *PubMed*, 28(1), 36-46. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6298>

Milder, I. E. J., Arts, I. C. W., Van de Putte, B., Venema, D. P., & Hollman, P. C. H. (2005). Lignan contents of Dutch plant foods: a database including lariciresinol, pinoresinol, secoisolariciresinol and matairesinol. *British Journal Of Nutrition*, 93(3), 393-402. <https://doi.org/10.1079/bjn20051371>

Moisa, C., Brata, A. M., Muresan, I. C., Dragan, F., Ratiu, I., Cadar, O., Becze, A., Carbutar, M., Brata, V. D., & Teusdea, A. C. (2024). Comparative Analysis of Vitamin, Mineral Content, and Antioxidant Capacity in Cereals and Legumes and Influence of Thermal Process. *Plants*, 13(7), 1037. <https://doi.org/10.3390/plants13071037>

Montiel, W. H., Juárez, J. R., Ibáñez, E. M. A.,

Mendo, O. H., Flores, V. M. M., & Hernández, J. O. (2016). Uso potencial y limitantes de la leguminosa *Canavalia ensiformis* en la salud y productividad de los ovinos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10), 187. <https://doi.org/10.19136/era.a4n10.672>

Morales, A. E. M., Noh, R. H. A., Quiroz, C. M., Mendoza, A. B., Suarez, J. M. T., Moreno, A. G., & López, C. J. A. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18). <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2171>

More, G. K., Meddows-Taylor, S., & Prinsloo, G. (2021). Metabolomic Profiling of Antioxidant Compounds in Five *Vachellia* Species. *Molecules*, 26(20), 6214. <https://doi.org/10.3390/molecules26206214>

Moussa, M. D., Alashi, A., Sossa-Vihotogbé, C., Akponikpè, P., Baco, M., Djèntonin, A., Aluko, R., & Akissoé, N. (2020). Proximate Composition, Mineral Profile and Trypsin-Inhibitory Activity of West African Leafy Vegetables: Influence of Urea Micro-Dosing and Harvest Time. *Polish Journal Of Food And Nutrition Sciences*, 70(2), 179-188. <https://doi.org/10.31883/pjfn/119674>

Munjal, S. D., Dhankhar, J., Sharma, A., & Dhull, S. B. (2024). Physicochemical properties of native Jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch: An underutilised legume. *Journal Of Applied And Natural Science*, 16(1), 410-419. <https://doi.org/10.31018/jans.v16i1.5370>

Muñoz-Llandes, C. B., Guzmán-Ortiz, F. A., Olivares, L. G. G., Palma-Rodríguez, H. M., Román-Gutiérrez, A. D., & Castro-Rosas, J. (2021). Germinación: un método de bioproceso que incrementa la calidad nutricional, biológica y funcional de harinas de leguminosas. *PADI Boletín Científico de Ciencias Básicas E Ingenierías del ICBI*, 9(Especial2), 119-122. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9iespecial2.7971>

Muruhan, S., Selvaraj, S., & Viswanathan, P. K. (2013). In vitro antioxidant activities of *Solanum surattense* leaf extract. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(1), 28-34. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60019-2](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60019-2)

NORMEX. (2018). NMX-F-615-NORMEX-2018: Alimentos – Determinación de fibra dietética en alimentos – Método de ensayo. NORMEX.

Odedeji, J., Akande, E., Ayinde, L., & Alade, O. (2020). Influence of Sprouting on Proximate and Anti-nutritional Factors of Jackbean (*Canavalia ensiformis*) Flour. *Journal Of Applied Science And Environmental Management*, 24(8), 1455-1461. <https://doi.org/10.4314/jasem.v24i8.22>

Okla, M. K., Akhtar, N., Alamri, S. A., Al-Qahtani, S. M., Ismail, A., Abbas, Z. K., Al-Ghamdi, A. A., Qahtan, A. A., Soufan, W. H., Alaraidh, I. A.,

Selim, S., & AbdElgawad, H. (2021). Potential Importance of Molybdenum Priming to Metabolism and Nutritive Value of Canavalia spp. Sprouts. *Plants*, 10(11), 2387. <https://doi.org/10.3390/plants10112387>

Olagbenro, M., Ravi, S., Myers, D., Lin, D., Woodburn, W., Walter, J. R., & Xu, S. (2022). Assessment of Blue Light Phototherapy for Grover Disease. *JAMA Dermatology*, 159(1), 102. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2022.4491>

Pannico, A., El-Nakhel, C., Graziani, G., Kyriacou, M. C., Giordano, M., Soteriou, G. A., Zarrelli, A., Ritieni, A., De Pascale, S., & Roupheal, Y. (2020). Selenium Biofortification Impacts the Nutritive Value, Polyphenolic Content, and Bioactive Constitution of Variable Microgreens Genotypes. *Antioxidants*, 9(4), 272. <https://doi.org/10.3390/antiox9040272>

Paramo, L. A., Feregrino-Pérez, A. A., Guevara, R., Mendoza, S., & Esquivel, K. (2020). Nanoparticles in Agroindustry: Applications, Toxicity, Challenges, and Trends. *Nanomaterials*, 10(9), 1654. <https://doi.org/10.3390/nano10091654>

Peixoto, P., Barros, A., & Oliveira, M. H. (2021). Modelo de Kirkwood para fluidos polares puros constituídos de moléculas com polarizabilidades desprezíveis. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2021-0219>

Pillai, R., Uyehara-Lock, J. H., & Bellinger, F. P. (2014). Selenium and selenoprotein function in brain disorders. *IUBMB Life*, 66(4), 229-239. <https://doi.org/10.1002/iub.1262>

Pontieri, P., Pepe, G., Campiglia, P., Merciai, F., Basilicata, M. G., Smolensky, D., Calcagnile, M., Troisi, J., Romano, R., Del Giudice, F., Aletta, M., Guida, M., Alifano, P., & Del Giudice, L. (2021). Comparison of Content in Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity in Grains of White, Red, and Black Sorghum Varieties Grown in the Mediterranean Area. *ACS Food Science & Technology*, 1(6), 1109-1119. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00115>

Popoola, J. O., Ojuederie, O. B., Aworunse, O. S., Adelekan, A., Oyelakin, A. S., Oyesola, O. L., Akinduti, P. A., Dahunsi, S. O., Adegboyega, T. T., Oranusi, S. U., Ayilara, M. S., & Omonhinmin, C. A. (2023). Nutritional, functional, and bioactive properties of african underutilized legumes. *Frontiers In Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1105364>

Puccinelli, M., Malorgio, F., Rosellini, I., & Pezzarossa, B. (2019). Production of selenium-biofortified microgreens from selenium-enriched seeds of basil. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 99(12), 5601-5605. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9826>

Purwandari, F. A., Fogliano, V., & Capuano, E. (2024). Tempeh fermentation improves the nutritional and functional characteristics of Jack beans (*Canavalia ensiformis* (L.) DC). *Food & Function*, 15(7), 3680-3691. <https://doi.org/10.1039/d3fo05379b>

Ragae, S., & Abdel-Aal, E. M. (2005). Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. *Food Chemistry*, 95(1), 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.012>

Rahim, F. P., Rocio, C. G., Adalberto, B. M., Rosaura, S. C. L., & Maginot, N. H. (2020). Agronomic Biofortification with Selenium in Tomato Crops (*Solanum lycopersicon* L. Mill). *Agriculture*, 10(10), 486. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100486>

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology And Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)

Reverri, E. J., Randolph, J. M., Kappagoda, C. T., Park, E., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B. M. (2017). Assessing beans as a source of intrinsic fiber on satiety in men and women with metabolic syndrome. *Appetite*, 118, 75-81. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.07.013>

Salvati, D., Paschoalinotto, B. H., Mandim, F., Ferreira, I. C. F. R., Steinmacher, N. C., Pereira, C., & Dias, M. I. (2024). Exploring the Impacts of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Germination on the Flour's Nutritional, Chemical, Bioactive, and Technological Properties. *Foods*, 13(3), 491. <https://doi.org/10.3390/foods13030491>

Samal, I., Bhoi, T. K., Raj, M. N., Majhi, P. K., Murmu, S., Pradhan, A. K., Kumar, D., Paschapur, A. U., Joshi, D. C., & Guru, P. N. (2023). Underutilized legumes: nutrient status and advanced breeding approaches for qualitative and quantitative enhancement. *Frontiers In Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1110750>

Samukha, V., Fantasma, F., D'Urso, G., Caprari, C., De Felice, V., Saviano, G., Lauro, G., Casapullo, A., Chini, M. G., Bifulco, G., & Iorizzi, M. (2024). NMR Metabolomics and Chemometrics of Commercial Varieties of *Phaseolus vulgaris* L. Seeds from Italy and In Vitro Antioxidant and Antifungal Activity. *Plants*, 13(2), 227. <https://doi.org/10.3390/plants13020227>

Secretaría de Economía. (1978). NMX-F-066-S-1978: Determinación de la humedad en alimentos. Dirección General de Normas. Shahidi, F., & Yeo, J. (2016). Insoluble-Bound Phenolics in Food. *Molecules*, 21(9), 1216. <https://doi.org/10.3390/molecules21091216>

Snak, C., C, G. A. A., & De Queiroz, L. P. (2018).

A new species of *Canavalia* (Leguminosae, Papilionoideae) subgenus *Wenderothia* from the Colombian and Venezuelan Llanos. *Brittonia*, 70(2), 233-240. <https://doi.org/10.1007/s12228-017-9512-2>

Solomon, S. G., Okomoda, V. T., & Oguche, O. (2017). Nutritional value of raw *Canavalia ensiformis* and its utilization as partial replacement for soybean meal in the diet of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings. *Food Science & Nutrition*, 6(1), 207-213. <https://doi.org/10.1002/fsn3.548>

Sosa-Montes, E., La Fuente, J. I. A., Pro-Martínez, A., González-Cerón, F., Enríquez-Quiroz, J. F., & Torres-Cardona, M. G. (2020). Composición química y digestibilidad de cuatro leguminosas tropicales mexicanas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 24, 211-220. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2371>

Sridhar, K., & Seena, S. (2005). Nutritional and antinutritional significance of four unconventional legumes of the genus *Canavalia* – A comparative study. *Food Chemistry*, 99(2), 267-288. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.049>

Steinbrenner, H., Duntas, L. H., & Rayman, M. P. (2022). The role of selenium in type-2 diabetes mellitus and its metabolic comorbidities. *Redox Biology*, 50, 102236. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2022.102236>

Sultana, B., Anwar, F., & Ashraf, M. (2009). Effect of Extraction Solvent/Technique on the Antioxidant Activity of Selected Medicinal Plant Extracts. *Molecules*, 14(6), 2167-2180. <https://doi.org/10.3390/molecules14062167>

Sutedja, A. M., Yanase, E., Batubara, I., Fardiaz, D., & Lioe, H. N. (2020). Identification and Characterization of  $\alpha$ -Glucosidase Inhibition Flavonol Glycosides from Jack Bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC. *Molecules*, 25(11), 2481. <https://doi.org/10.3390/molecules25112481>

Tangjaidee, P., Swedlund, P., Xiang, J., Yin, H., & Quek, S. Y. (2023). Selenium-enriched plant foods: Selenium accumulation, speciation, and health functionality. *Frontiers In Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.962312>

Wan, J., Zhang, M., & Adhikari, B. (2018). Advances in selenium-enriched foods: From the farm to the fork. *Trends In Food Science & Technology*, 76, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.021>

Zahir, M., Fogliano, V., & Capuano, E. (2021). Soybean germination limits the role of cell wall integrity in controlling protein physicochemical changes during cooking and improves protein digestibility. *Food Research International*, 143, 110254. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110254>