

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



ESTUDIO DE ANTINUTRIENTES Y CONTENIDO DE HIERRO EN UN ALIMENTO
FUNCIONAL DE FRIJOL OBTENIDO POR SECADO DE ESPUMAS

POR

ALEXA MARGARITA PEÑA BORRAYO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN MANEJO Y APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE RECURSOS
BIÓTICOS

2023

**Estudio de antinutrientes y contenido de hierro en un alimento funcional de frijol obtenido
por secado de espumas
Comité de Tesis**



Director

Dra. Sandra L. Castillo Hernández



Secretario

MC. Karla Guadalupe García Alanís



Vocal 1

Dr. Carlos Abel Amaya Guerra



Vocal 2

Dr. Ezequiel Viveros Valdés



Vocal 3

Dr. Juan Gabriel Báez González

Subdirector de Posgrado

Dra. Katiushka Arévalo Niño

Estudio de antinutrientes y contenido de hierro en un alimento funcional de frijol obtenido por secado de espumas.



Sandra L. Castillo Hernández

Director



Dr. Eristeo García Márquez

Director Externo

DERECHOS RESERVADOS©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta Tesis está protegido, el uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material contenido que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo mencionando al autor o autores.

Financiamiento Este trabajo fue financiado por el Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica, Paicyt 52-CAT-2022

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a mis padres y a mi hermano por su apoyo incondicional en el desvarío que fue mi elección de carrera. Por su paciencia, por su ayuda y por su humor estoy aquí.

A la Dra. Sandra Castillo por la gracia y diligencia con la que guio mi formación académica por el último año.

Al departamento de Alimentos de la facultad y en especial al Dr. Báez, a la M.C. Karla y la Maestra Nayeli por propiciar mi crecimiento en el área.

Al CIATEJ sede noreste y todos los investigadores que me acompañaron en esta aventura.

Al CONACYT (No. CVU 1107128) y PAICYT (Paicyt 52-CAT-2022) por su apoyo de este proyecto.

A mis compañeras de laboratorio y amigas Mariana Pimentel y Alondra Saláis por haber recorrido este camino conmigo y haberme brindado su amistad y apoyo durante nuestras largas horas de trabajo.

A mis compañeros y amigos Jorge, David, Josué e Isidro por su apoyo y su disposición a encontrar el humor en los sitios menos esperados, juntos desde la licenciatura y hasta el final del posgrado.

A la familia que escogemos, mis amigos Pedro, Sofia, Carlos, Magy, Byron, Teresa, Marina y Ernesto. Por muchos más momentos subóptimos.

A Todos los maestros con los que tuve el gusto de tomar clase, porque su pasión por la ciencia es tal que apasiona a sus alumnos.

Finalmente, a la Facultad de Ciencias Biológicas y a la Universidad Autónoma de Nuevo León por haber sido mi casa de estudios y haber propiciado mi crecimiento por 7 años.

Dedicatoria

A mi abuelo Samuel Borrayo Salazar, usted es el hombre de acero.

Índice	
Índice de Figuras	viii
Índice de tablas	ix
Resumen	x
Summary	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
1. Anemia por deficiencia de hierro (Fe) como problema de salud pública.	3
2. Estrategias actuales para el tratamiento y prevención de la anemia ferropénica	4
2.2 Suplementación de hierro	4
2.3 Biofortificación	5
2.4 Fortificación de hierro	5
3. Propiedades del Frijol común (Phaseolus vulgaris L.)	6
4. El frijol como un aditivo nutricional	7
5. Disponibilidad de nutrientes en la leguminosa del frijol	7
6. Composición nutricia del caldo de frijol	10
7. Consumo de caldo de frijol como recomendación en casos de Anemia ferropénica	11
8. Remoción de antinutrientes	12
9. Tecnología de espumas	13
III. Justificación	15
IV. Hipótesis	16
1. Objetivo general	16
2. Objetivos particulares	16
V. Materiales y Métodos	17
1. Obtención de variedades de Frijol	17
2. Cocción y obtención del caldo de frijol	17
3. Cuantificación de Hierro total por espectrofotometría	17
4. Cuantificación de hierro total por espectroscopía de absorción atómica	18
5. Cuantificación de ácido fítico	19
6. Cuantificación de Antocianinas monoméricas	19
7. Determinación de polifenoles totales	20
8. Ensayo de capacidad antioxidante (DPPH+, ABTS+)	21
9. Espumado del caldo de Frijol	22
	vi

10. Determinación de las propiedades fisicoquímicas de la espuma: Tiempo de drenado, densidad de la espuma, expansión y propiedades reológicas	22
11. Análisis bromatológico	23
1. Preparación de las muestras	23
2. Determinación de porcentaje de humedad	23
3. Determinación de porcentaje de proteína	23
4. Determinación de grasa cruda	24
5. Determinación de ceniza	24
12. Análisis estadístico	24
VI. RESULTADOS	25
1. Obtención del material vegetal	25
2. Tratamiento de remojo, cocción y obtención del caldo de frijol	25
3. Cuantificación de hierro por absorción atómica	27
4. Determinación de ácido fítico	28
5. Cuantificación de antocianinas monoméricas	29
6. Cuantificación de Polifenoles totales	30
7. Ensayo de capacidad antioxidante vs ABTS+ y DPPH+	32
9. Espumado del caldo de frijol: Tiempo de drenado (MDT), Expansión de la espuma (FE) y Densidad de la espuma (FD).	35
9. Análisis bromatológico	37
VII. Discusión	40
VIII. Conclusiones	44
IX. Bibliografía	46
X. Anexo	52

Índice de Figuras

Figura	Contenido	Página
Figura 1	Modo de interacción entre compuestos bioactivos y proteínas o cationes. A: Taninos interactuando con proteínas por puentes de hidrógeno. B: Fitato interactuando con metales divalentes	9
Figura 2	Ilustración de una espuma donde se señalan la fase líquida continua y la fase gaseosa, distribuida en la fase líquida.	13
Figura 3	Visualización del proceso de cuantificación de Hierro Fe^{+2} en las muestras de caldo de frijol	18
Figura 4	Presentación comercial de las variedades de frijol utilizadas en este estudio.	25
Figura 5	Lixiviación de pigmentos de la testa del frijol negro Jamapa en el agua de remojo, durante el tratamiento de hidratación con diferentes cantidades de sal.	26
Figura 6	Comparación de los tamaños de partículas en suspensión antes y después del proceso de deshidratación y reconstitución.	37
Figura 7	Comparación de las propiedades nutricias del producto deshidratado de caldo de frijol contra el caldo de frijol comercial.	39

Índice de tablas

No. de tabla	Descripción	Página
Tabla 1	Composición nutrimental de variedades de frijol consumidas en México.....	8
Tabla 2:	Concentración de hierro total en caldo de frijol de las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.	27
Tabla 3:	Cantidad de hierro lixiviado por gramo de frijol utilizado en la preparación del caldo en las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.....	27
Tabla 4:	Concentración de hierro total en caldo de frijol de las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo evaluada por espectrometría de absorción atómica.....	28
Tabla 5:	Cantidad de hierro lixiviado por gramo de frijol utilizado en la preparación del caldo en las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.....	28
Tabla 6:	Concentración de ácido fítico en los caldos de frijol de las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.....	29
Tabla 7:	Cantidad de Fitato lixiviado por gramo de frijol utilizado en la preparación del caldo en las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.....	29
Tabla 8:	Concentración de antocianinas en los caldos de frijol	30
Tabla 9:	Cantidad de antocianinas lixiviadas por gramo de frijol utilizado en la preparación del caldo en las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.	30
Tabla 10:	Concentración de polifenoles totales en los caldos de frijol de las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.....	31
Tabla 11:	Polifenoles totales lixiviados en el medio de cocción en los caldos de frijol de las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.....	32
Tabla 12:	Capacidad antioxidante expresada como equivalentes de Trolox	32
Tabla 13:	Capacidad antioxidante expresada como el porcentaje de captura del radical ABTS+	33
Tabla 14:	Capacidad antioxidante expresada como equivalentes de Trolox	33
Tabla 15:	Capacidad antioxidante expresado como el porcentaje de captura del radical DPPH+.....	34
Tabla 16:	Comparación de las propiedades nutricias de los caldos de frijol elaborados durante el estudio.	34
Tabla 17:	Propiedades físicas de la espuma de caldo de frijol.....	36
Tabla 18:	Comparación de K y n de los formulados y sus tamaños de partícula promedio	36
Tabla 19:	Resultado del análisis proximal de la composición del caldo de frijol fresco y el producto deshidratado.	38
Tabla 20:	Comparación de las propiedades del producto deshidratado reconstituido y el caldo comercial seleccionado como grupo control.	38

Resumen

Los frijoles (*Phaseolus vulgaris*) son la leguminosa más importante producida para el consumo humano y contienen del 16 al 30% de proteínas y alrededor de 80 μg de Fe/ g de peso seco. No obstante, la interacción de algunos de los compuestos bioactivos, como el fitato y taninos con los nutrientes puede entorpecer la asimilación de éstos. Además, se sabe que cerca del 35% del hierro se dispersa en el caldo de cocción. Con el propósito de producir un caldo altamente nutritivo se evaluó el efecto del remojo de frijoles de las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo en soluciones con 0, 0.5 y 1% de NaCl, por 1 noche, sobre la concentración de diversos nutrientes y compuestos bioactivos. Se evaluó la concentración de Hierro por los métodos de alfa-dipiridilo y espectrometría de absorción atómica, la concentración de Polifenoles totales, por el método de Folin-ciocalteau, capacidad antioxidante por medio de los ensayos de captura de radicales ABTS y DPPH, utilizando Trolox como estándar, la concentración de antocianinas en el caldo por la prueba diferencial de pH y el fitato con el reactivo modificado de Wade como estándar. Posteriormente, se seleccionó el caldo de frijol con mejores propiedades y se adicionó con 3% de albúmina de huevo y 1 % de goma guar y se estudiaron sus características reológicas, así como su comportamiento durante la deshidratación. Finalmente se midieron los parámetros reológicos del formulado y la espuma deshidratada. Tras las pruebas se encontraron diferencias entre las cantidades de hierro en el caldo de frijol y una disminución de hasta 50% en el fitato. Asimismo, se encontraron diferencias significativas en la actividad antioxidante de los caldos y concentración de polifenoles, así como de antocianinas en función de la variedad y del tratamiento de hidratación. Se encontró que la espuma se expande en un 175% y que su densidad se reduce de 1g/mL a 0.3078 g/mL, lo que permite una deshidratación a una temperatura moderada. Por tanto se concluye que las propiedades del caldo de frijol varían en función del tratamiento de hidratación y que la espuma deshidratada de caldo de frijol constituye un posible vehículo para coadyuvar en el consumo de hierro en la población.

Summary

Common beans (*Phaseolus vulgaris*) are the most important legume for human consumption, containing between 16 and 30% protein and around 80 µg Fe/g dry weight. However, the interaction of some of its bioactive components, like phytate and tannins with nutrients can hinder their absorption. Furthermore, it is known that up to 35% of the iron contained in beans is dispersed in the cooking media. Hence, with the purpose of producing a nutrient rich broth, we evaluated the effect of soaking varieties Negro Jamapa and Pinto Saltillo in 0, 0.5 y 1% NaCl aqueous solutions overnight on the concentration of different nutrients and bioactive compounds. Iron content was evaluated through the alpha dipyrindyl and atomic absorption spectrometry, Polyphenols concentration was measured with the Folin-ciocalteau method, Antioxidant capacity was evaluated with the stable radical capture assays of ABTS+ and DPPH+ using Trolox as standard. Anthocyanins were measured by the differential pH assay and phytate content was measured with Wade's modified reagent. Afterwards, the broth with the best properties was selected and formulated with egg albumin and Guar gum (3 and 1% respectively) and the rheological properties of the mix were studied as well as the dehydrated product. This study found significant differences in the iron content of the broths and a decrease of up to 50 % in the phytate. Likewise, it significant differences were found in the antioxidant capacity of the broths, in the anthocyanin and polyphenol content, that vary in accordance with the soaking treatment and the bean variety. It was also found that the formulate forms a stable foam that expands up to 175 % in volume and that the density of the broth is thus reduced to 0.3078 g/ ml, which allows for dehydration at moderate temperatures. Therefore, it its concluded that bean broth properties can vary according to variety and soaking treatment and that the dehydrated broth constitutes a possible vehicle to encourage iron consumption in the population.

I. INTRODUCCIÓN

La anemia por deficiencia de hierro es un problema de ingesta insuficiente de alimentos que contengan hierro, un problema de atención de salud a nivel mundial. Se ha estimado que en México el 23% de los niños menores de 4 años padecen anemia (De la Cruz-Góngora et al. 2019). A pesar de que se conoce la etiología de la enfermedad y de que existen múltiples estrategias para el tratamiento de la anemia en sectores vulnerables de la población, no se ha podido eliminar este padecimiento ya que el hierro hemo es bajo y el consumo de alimentos con inhibidores de la captación de hierro, como taninos, ácido fítico y polifenoles es alto, de modo que aunque el consumo diario de hierro es adecuado (≈ 6.2 mg/día) la disponibilidad es de tan solo 3.85% (Martínez-Salgado et al. 2008, Martínez and Baptista 2019).

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una legumbre nutritiva, sin embargo, es una de las menos consumidas en México. El maíz, trigo, soya y arroz son los granos de mayor consumo per cápita. El consumo anual per cápita de frijol reportado en 2021 fue de 9 kg, el consumo diario por persona no es mayor a 25 g de frijol. Esto sucede, a pesar de conocer el valor nutritivo del frijol debido a sus aportes en proteína, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos (Iniestra-González et al. 2005, Hayat et al. 2014). Además, se ha reconocido por su alto contenido de folato y antocianinas con actividad antioxidante. Sin embargo, factores como su largo tiempo de cocción han contribuido a la reciente reducción en su consumo, que a su vez es considerado un posible factor en el aumento en la prevalencia de anemia por deficiencia de hierro (Blair et al. 2009).

Por otra parte, se estima que el caldo de frijol contiene una fracción de nutrientes presentes en el grano, que se lixivian durante la cocción, como hierro, zinc, magnesio y compuestos bioactivos como polifenoles y fitato. A pesar de la posible presencia de hierro en el caldo y recomendaciones de su consumo en personas con anemia, esta porción es frecuentemente descartada, dejando para el consumo humano, el grano entero o machacado. Inclusive se estima que algunos componentes presentes en el caldo de frijol pueden interactuar entre sí entorpeciendo la disponibilidad del hierro (Lyimo et al. 1992, Carvalho et al. 2012, Tako et al. 2014).

Varias estrategias han sido implementadas para prevenir la baja absorción del hierro por causa del fitato y los polifenoles. Entre las estrategias más usadas se menciona la adición de enzima fitasa, el remojo del grano y la adición de ácido ascórbico con diferentes grados de éxito. De estas

estrategias, el remojo del grano en soluciones salinas previo a su cocción muestra potencial dada su simplicidad (Shimelis and Rakshit 2007, Huma et al. 2008, Feitosa et al. 2018).

Finalmente, actualmente se puede apreciar mayor tendencia hacia el consumo de productos alimenticios que ofrecen ventajas tales como practicidad o cortos tiempos de cocción, así como fortificación y mayor contenido de nutrientes (Tuorila and Monteleone 2009). Un ejemplo de tecnología de alimentos que apunta a la obtención de productos funcionales que retengan sus cualidades nutrimentales es la tecnología de espumas, método que permite la deshidratación rápida de alimentos líquidos y que además conserva nutrientes volátiles y alarga la vida de anaquel del producto (Sangamithra et al. 2015, Teoh et al. 2016)

En este trabajo se estudió la reducción de ácido fítico en el caldo de frijol además de su deshidratación por espumas obteniendo un aditivo funcional para su posible uso en la prevención de la anemia por deficiencia de hierro.

II. ANTECEDENTES

1. Anemia por deficiencia de hierro (Fe) como problema de salud pública.

La anemia es una condición en la que el número de eritrocitos en sangre resulta insuficiente para satisfacer las necesidades fisiológicas del individuo. Aunque existen varias causas para este padecimiento, se estima que la deficiencia de hierro es la más común, afectando a aproximadamente un cuarto de la población mundial (Villagómez Estrada et al. 2017, Mantadakis et al. 2020).

La anemia por deficiencia de hierro o anemia ferropénica, afecta principalmente a niños, mujeres en edad reproductiva y ancianos, principalmente, grupos vulnerables y en todos los países (Martínez and Baptista 2019, Mantadakis et al. 2020). En México los resultados de la encuesta de salud ENSANUT de 2012, se ha mencionado que niños de entre 12 y 24 meses de edad son los más afectados por deficiencia de hierro, la prevalencia reportada fue de 38% (De la Cruz-Góngora et al. 2019, Martínez and Baptista 2019). La misma Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, pero en el periodo 2018-19 (ENSANUT) se comunicó aumento de 9% en la prevalencia de anemia en niños de edad preescolar y de 11% en escolares de 5 años (Shamah-Levy et al. 2020).

La anemia por deficiencia de hierro tiene múltiples consecuencias que varían de acuerdo con la intensidad de la deficiencia y la etapa del desarrollo en la que se padezca, por ejemplo, en mujeres embarazadas, la anemia incrementa el riesgo de un parto prematuro y bajo peso al nacer, en niños puede ocasionar disminución en la capacidad motora, en el rendimiento escolar y socialización (Martínez-Salgado et al. 2008).

Asimismo, se ha reportado que los individuos anémicos que reciben suplementos de hierro han mostrado mejora en pruebas de atención y memoria (Murray-Kolb and Beard 2007, Stanco 2007), e incluso se ha sugerido la existencia de una relación positiva entre la deserción y el rezago escolar en México y la anemia por deficiencia de hierro (Villagómez Estrada et al. 2017). Es por tanto evidente que la anemia es un problema multifactorial que involucra el nivel socioeconómico de los individuos y las comunidades y puede afectar sus futuras oportunidades.

2. Estrategias actuales para el tratamiento y prevención de la anemia ferropénica

Varios métodos han sido utilizados alrededor del mundo para combatir y prevenir la anemia por deficiencia de hierro. Estas estrategias incluyen, diversificación de la dieta, suplementación de hierro y fortificación de alimentos (Gera et al. 2012), aunque con distintos niveles de éxito. Aunque estas medidas han contribuido al control de la anemia ferropénica alrededor del mundo, esta forma de malnutrición continúa siendo un problema de salud pública.

2.1 Recomendaciones dietéticas para pacientes con anemia ferropénica

En el tratamiento y prevención de la anemia ferropénica, se recomienda una dieta con hierro disponible, además de vitamina B9 (Folato) y B12 (Cobalamina), ambas juegan un papel importante en la eritropoyesis (Santoyo-Sánchez et al. 2015). De modo similar, se aconseja el consumo diario de 5 porciones de frutas y verduras, ya que contienen hierro no hemo y son ricos en compuestos bioactivos que pueden contribuir a la captación de hierro. La vitamina C contenida en cítricos, causa reducción del ion férrico a ion ferroso, potenciando la absorción del ion ferroso en tres veces comparado con el ion férrico (Ghose and Yaya 2018). Otra estrategia ha sido el consumo de hierro hemo a través del consumo de pollo, carnes rojas y pescado. Las legumbres, vegetales de hoja verde como espinaca y el consumo de frutas ayudan a facilitar la captación de hierro en el duodeno debido al contenido de vitamina C.

De acuerdo con las indicaciones de la Organización mundial de la salud, las intervenciones que diversifican la dieta pueden ser estrategias efectivas y duraderas para el tratamiento y prevención de la anemia ferropénica, no obstante, se ha demostrado que pueden tomar periodos prolongados de tiempo en mostrar efectos benéficos (Girard and Olude 2012, da Silva Lopes et al. 2021).

2.2 Suplementación de hierro

Los suplementos orales de hierro son una técnica ampliamente utilizada en el tratamiento y prevención de la anemia ferropénica. La guía global de la organización mundial de la salud señala que una dosis diaria de 12.5 mg de Fe es recomendable para niños de 6 a 24 meses de edad. De modo similar, una dosis de 60 mg de hierro al día es recomendada para mujeres durante el embarazo y los 3 meses siguientes al parto (Stoltzfus & Dreyfuss, 1998). El tratamiento con suplementación diaria de hierro oral, han mostrado un incremento en los niveles de hemoglobina

de aproximadamente 0.74g/dL en niños menores a 5 años y 1.7 g/dL en niños mayores a 5 años en comparación a un grupo control en estudios de cohorte (Gera et al. 2007, Moorthy et al. 2020).

Aunque la suplementación oral de hierro ha sido generalmente reconocida como una medida efectiva contra la anemia ferropénica, se ha caracterizado por una cobertura limitada y bajos índices de adherencia al tratamiento. También se ha mostrado que puede tener efectos secundarios no deseados como náusea, estreñimiento y vómito, además de que la suplementación inyectada es muy dolorosa. Por lo tanto la búsqueda continúa para encontrar más herramientas versátiles para incrementar el consumo de hierro (Fisberg and Tosatti 2011, Gera et al. 2012, Yalçın et al. 2013).

2.3 Biofortificación

Otra estrategia para abordar el problema de la anemia ferropénica es la biofortificación. Este proceso incrementa la concentración de nutrientes y la disponibilidad en los alimentos. La biofortificación es un método aplicado en prácticas agronómicas, reproducción selectiva o ingeniería genética (Kok et al. 2018). Esta iniciativa ha resultado en cultivos con contenidos incrementados de hierro como frijoles, trigo y arroz que a su vez han mostrado efectos benéficos en pacientes con reservas bajas de hierro (Tako et al. 2014, Haas et al. 2016, Wiesinger et al. 2018), aunque no se tiene certeza sobre los efectos de biodisponibilidad de nutrientes, se ha anticipado que una aplicación excesiva de nutrientes puede ocasionar efectos fitotóxicos en cultivos.

2.4 Fortificación de hierro

La deficiencia de micronutrientes en alimentos ha ocasionado problemas de salud en aproximadamente en un tercio de la población. El retraso mental, disminución en la capacidad de trabajo y aumento en la susceptibilidad de infecciones son los efectos de mayor importancia que debe atenderse. La fortificación de alimentos para prevenir la deficiencia de hierro consiste en la adición de sales solubles, insolubles o hierro estabilizado en sustancias alimenticias consumidos en la dieta diaria de una población (Spohrer et al. 2013). La fortificación con hierro ha incrementado los niveles de hemoglobina en 0.25g/dL en niños participantes en programas de fortificación (Gera et al. 2012). El sulfato ferroso, por ejemplo, ha sido utilizado para fortificar harinas dada su solubilidad en agua, gran disponibilidad y relativamente bajo costo, aunque puede ocasionar un deterioro acelerado de alimentos con mayor contenido de lípidos (Allen et al. 2006).

A pesar de los desafíos que presenta, tales como encontrar compuestos de hierro que sean apropiados para distintos vehículos alimenticios y el incremento más moderado en niveles de hemoglobina en comparación con la suplementación oral, la fortificación ha mostrado ser una herramienta efectiva en aumentar el consumo de hierro en la población objetivo y prevenir la anemia ferropénica.

3. Propiedades del Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

El frijol (*P. vulgaris*) es fuente de proteína y ha sido un alimento básico en América latina y el este de África. En México, el frijol ha sido consumido entero o molido en diversos guisos como una de las guarniciones más utilizadas, llegando a tener un consumo anual per cápita de casi 9 kg (SAGARPA 2017). Este cultivo ha sido reconocido como una fuente accesible de proteínas, vitaminas y minerales de alta calidad y ha sido sujeto a programas de biofortificación para combatir problemas de malnutrición en zonas donde el alcance del sistema de suplementación es limitado (Hayat et al. 2014, Feitosa et al. 2018, Rezende et al. 2018).

El frijol contiene entre 2 a 3 veces más proteína que otros granos (16 a 33%), la digestibilidad proteica del frijol es equiparable a la de la carne (Iniestra-González et al. 2005, Hayat et al. 2014). También se sabe que contiene fibra total y varía entre 5.8 a 10.2 g por cada media taza de frijol, mientras que la cantidad de carbohidratos varía entre 52 a 76% en peso (Hayat et al. 2014, Chávez-Mendoza and Sánchez 2017). Asimismo, estas legumbres contienen compuestos bioactivos, tales como polifenoles, taninos, saponinas, flavonoides y antocianinas que exhiben efectos antioxidantes y antiinflamatorios. Estos compuestos han sido correlacionados con la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, la incidencia de diabetes y cáncer (Ranilla et al. 2007, Chávez-Mendoza and Sánchez 2017, Fernandes et al. 2018, Chávez-Mendoza et al. 2019).

Los frijoles comunes también han sido reconocidos como fuente de ácidos grasos insaturados, pues contienen ácido oleico y linoleico, la concentración varía entre 9.9 a 16.7% (Hayat et al. 2014). Además, se estima que una taza de frijol común puede proporcionar hasta 3 veces más potasio que una banana (Poersch et al. 2011, Santoyo-Sánchez et al. 2015). Se estima que en variedades estándar de frijol puede contener 60- 80 μg de Fe/ g de peso seco, se estima que una porción de 100 g de esta leguminosa puede satisfacer casi en su totalidad el requerimiento diario de hierro de un adulto sano (Shimelis and Rakshit 2007, Tako et al. 2014, Feitosa et al. 2018)

Finalmente, la composición nutricional de cada variedad de frijol es única, por ejemplo, las variedades de frijol negro, tienen una mayor cantidad de polifenoles y flavonoides que las variedades de frijol pinto (Chávez-Mendoza et al. 2019), por lo que cada variedad proporciona diferente cantidad de compuestos que forman parte de la nutrición humana (Petry et al. 2010) (Tabla 1).

4. El frijol como un aditivo nutricional

Los frijoles son ampliamente considerados como alimentos funcionales, es decir que ofrecen beneficios a la salud que van más allá de la simple nutrición, como sus propiedades antioxidantes y la reducción del riesgo de padecer enfermedades crónicas (Câmara et al. 2013). Los frijoles forman parte integral de la dieta recomendada para pacientes en tratamiento de anemia por su alto contenido de hierro y folato, en la que se recomienda el consumo del caldo de frijol junto con la legumbre (Santoyo-Sánchez et al. 2015).

La proteína del frijol ha sido usada como un sustituto de proteína animal en alimentos funcionales. Por ejemplo, se ha utilizado harina de frijol en el proceso de panificación para aumentar el porcentaje de proteína de pan blanco, logrando reemplazar hasta un 9% de la harina de trigo sin alterar las propiedades organolépticas del alimento (Álvarez et al. 2016). Asimismo, se ha utilizado el proceso de nixtamalización clásica para fortificar la masa de frijol (Santiago-Ramos et al. 2018).

Asimismo otras legumbres del género *Phaseolus* han sido utilizadas en el tratamiento de anemia, mostrando un aumento significativo en la formación de hemoglobina en las mujeres embarazadas que recibieron el suplemento de *Phaseolus radiatus* (Anastasia S et al. 2017). De modo similar, Oliveira Assis y colaboradores (2004) encontraron que el consumo de frijoles y su caldo aumenta en 0.7g/dl la concentración de hemoglobina en sangre en infantes de 6 a 12 meses de edad.

5. Disponibilidad de nutrientes en la leguminosa del frijol

A pesar de la composición del frijol común, estos nutrientes no siempre son fácilmente aprovechados por el organismo. Por ejemplo, el hierro presente en los frijoles es llamado hierro no Hemo (hierro férrico Fe^{3+}), el cual tiene poca solubilidad y requiere de la ayuda de la enzima Citocromo B reductasa Duodenal (DCytB) para poder ser absorbido como hierro ferroso (Fe^{2+}) (Waldvogel-Abramowski et al. 2014, Sermini et al. 2017).

Tabla 1: Composición nutrimental de variedades de frijol consumidas en México

Variedad	Color	Contenido de proteína (%)	Concentración de Hierro ($\mu\text{g/g}$)	Concentración de fitato (mg/g)	Polifenoles (mg eq de GAE/g)	Referencia
Negro Jamapa	Negro	22.16	78.10	10.9	7.96	(Díaz-Batalla et al. 2006) (Chávez-Mendoza et al. 2019) (Akond et al. 2011)
Negro Qto.		21	68.91	14.5	2.81	(Díaz-Batalla et al. 2006) (Chávez-Mendoza et al. 2019)
Negro San luís*		21.68	57.5	12.7	2.46	(Chávez-Mendoza and Sánchez 2017) (Díaz-Batalla et al. 2006) (Chávez-Mendoza et al. 2019)
Flor de Mayo	Pinto	21.16	55.34	7.8	3.91	(Sánchez Chávez and Fernández Valeriano 2017) (Díaz-Batalla et al. 2006) (Chávez-Mendoza et al. 2019)
Pinto Saltillo		21.95	50	11.8	9.12	(Sánchez Chávez and Fernández Valeriano 2017)(Iniestra-González et al. 2005) (Chávez-Mendoza et al. 2019) (Akond et al. 2011)
Ojo de cabra*		21.4	58	13.9	3.76	(Muñoz Velázquez et al. 2009) (Chávez-Mendoza et al. 2019)
Azufrados *	Amarillo	20.7	55.2	10.4	1.26	(Chávez-Mendoza and Sánchez 2017) (Iniestra-González et al. 2005) (Chávez-Mendoza et al. 2019)
Mayocoba		23.1	63.5	21.6	1.64	(Carmona-García et al. 2007)(Iniestra-González et al. 2005) (Chávez-Mendoza et al. 2019)
Peruanos		22.43	61.19	18.3	4.9	(Sánchez Chávez and Fernández Valeriano 2017)(Iniestra-González et al. 2005)(Ranilla et al. 2007)(Ranilla et al. 2007)

Además, el contenido reportado de ácido fítico (7.8 a 14.5%) en el frijol ha sido considerado un anti nutriente, puesto que reducen la disponibilidad de minerales y proteínas, debido al complejamiento entre ambos compuestos (Nikmaram et al. 2017).

Por ejemplo, el ácido fítico es una molécula que contiene 185.84 g de fósforo, una forma de almacenamiento de fósforo que representa entre 2 a 3 % del peso seco del frijol (Sotelo et al. 2002). Pero, esta forma de fósforo no puede ser aprovechada por organismos monogástricos como los humanos y que además interfiere con la captación de metales divalentes, debido a que forma complejos (sales metálicas) poco solubles, no disponibles para los organismos (Domínguez et al. 2002) (Figura 1). De un modo similar los polifenoles forman complejos estables con metales divalentes como el Calcio y el Hierro, disminuyendo de manera significativa su disponibilidad (Iniestra-González et al. 2005, Tako et al. 2014)

Los taninos por su parte pueden formar complejos con proteínas en el tracto digestivo, tanto proteínas dietéticas como enzimas digestivas interfiriendo así la absorción de nutrientes (Nikmaram et al. 2017). Sin embargo, como se mencionó antes, estos componentes cuentan con actividades biológicas que benefician al cuerpo humano. El desacomplejamiento y disponibilidad de estos compuestos mejoran el valor nutricional y disponibilidad del alimento. Por otra parte, indica que se debe tener cuidado en la selección de variedad de frijol a utilizar como alimento funcional.

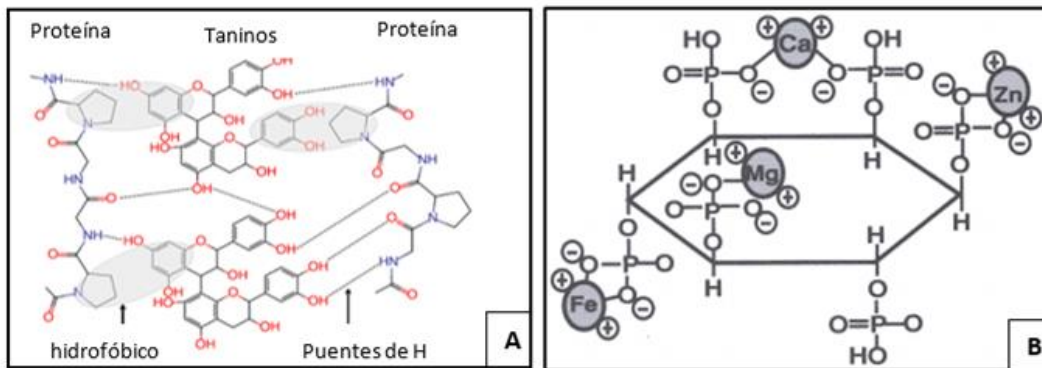


Figura 1: Modo de interacción entre compuestos bioactivos y proteínas o cationes. A: Taninos interactuando con proteínas por puentes de hidrógeno. B: Fitato interactuando con metales divalentes

6. Composición nutricia del caldo de frijol

Varios estudios señalan que durante el proceso de cocción ocurre lixiviación de nutrientes, como proteínas y minerales al caldo en el que se cocinan las legumbres (Huma et al. 2008, Haileslassie et al. 2016). Por ejemplo, se sabe que durante el proceso de cocción, hasta el 17% del contenido proteico del frijol puede ser dispersado hacia el caldo, así como 55% del contenido mineral (Lyimo et al. 1992).

En un estudio realizado por Carvalho y colaboradores (2012), se vio que un 36% del Hierro y un 21.05% del Zinc contenido en el frijol fue dispersado al caldo de cocción. Asimismo, Lyimo y colaboradores (1992), encontraron una correlación positiva entre el tiempo de cocción y la cantidad de proteínas y minerales que se dispersan al medio de cocción. De modo similar, el ácido fólico presente en el frijol es propenso a dispersarse en el caldo de cocción dada su solubilidad en agua (Santoyo-Sánchez et al. 2015).

Algunos de los anti nutrientes presentes en los frijoles son lábiles y se degradan durante el proceso de cocción, como los inhibidores de proteasas; compuestos como taninos y ácido fítico son termoestables y pueden dispersarse en el medio de cocción también (Shimelis and Rakshit 2007). Aunque existen muy pocos reportes sobre la concentración de éstos en el caldo de frijol, varios autores señalan una correlación inversa entre el proceso de cocción y la concentración de compuestos bioactivos que limitan la absorción de nutrientes, tales como el fitato, el cual se ha visto puede disminuir hasta un 60 % en la legumbre con remojo y cocción (Shimelis and Rakshit 2007, Haileslassie et al. 2016, Feitosa et al. 2018).

Aunado a esto, se conoce que cuando se presenta una deficiencia en hierro, la recomendación es consumir en su mayoría caldo de frijol formando parte de la dieta principalmente de niños con deficiencias nutricionales, aunque en casos severos, la recomendación de su consumo se amplía para adultos (Pereira et al 2012). A pesar de no existir suficiente literatura que sustenta esta recomendación, se ha especulado sobre una mayor disponibilidad del hierro presente debido a la poca interacción con los demás anti nutrientes, sin embargo, no se ha reportado datos contundentes de la cantidad de anti nutrientes presentes en el caldo (Lyimo et al. 1992). Algunas desventajas para el consumo del caldo de frijol son: La preparación tediosa del frijol, la separación del caldo, su almacenaje y su corta vida de anaquel, además de la poca información sobre la disponibilidad de hierro que el caldo posee.

7. Consumo de caldo de frijol como recomendación en casos de Anemia ferropénica

Estudios recientes sugieren que solo proveer a la población con fuentes de hierro no es suficiente para aminorar el problema de la anemia ferropénica. Por ejemplo, se ha mostrado que además de una baja oxigenación sanguínea típica, los pacientes con anemia ferropénica experimentan estrés oxidativo, donde los niveles de especies reactivas del oxígeno (ROS) se ven incrementados y la actividad enzimática de la superóxido dismutasa y catalasa (SOD y Cat), se ven disminuidas (Akond et al. 2011) contundentemente; también se ha demostrado que, aunque la suplementación de hierro es una estrategia efectiva, puede presentar efectos alternos como irritación gastrointestinal, absorción limitada y oxidación de lípidos. Por tanto, se ha propuesto complementar la administración de suplementos orales de hierro, con antioxidantes de origen natural. Por ejemplo, en un estudio realizado por Cotoraci et al. (2021), demostró que el consumo de extractos de betabel provocó el incremento en la concentración de hemoglobina en sangre y la restitución de reservas de hierro en bazo.

Los frijoles comunes contienen flavonoides, polifenoles y pigmentos, como antocianinas, con capacidad antioxidante que podrían resultar benéficas en el tratamiento de la anemia ferropénica. Por ejemplo, la quercetina es un flavonoide presente en los frijoles negros que ha sido de ayuda en el incremento de los niveles de hemoglobina, así como hierro sérico (Mazhar et al. 2018). Además, extractos de frijol han sido capaces de capturar hasta el 80 % de los radicales estables de DPPH (Herrera-Hernández et al. 2018) confirmando una gran capacidad antioxidante, que podría ser aprovechada en complementar tratamientos médicos y contribuir a la recuperación de pacientes con anemia ferropénica.

Los frijoles comunes también contienen folato, que junto con la vitamina B12 son indispensables para la eritropoyesis. Se ha demostrado que los frijoles negros contienen 10 veces más folato que la harina de trigo y una porción de 100 gramos podría satisfacer el requerimiento diario de folato de un adulto sano (Singh, 2018; World Health Organization, 2006). De modo similar, la suplementación conjunta de hierro y folato (100 mg de hierro y 0.5mg de ácido fólico) ha sido efectivamente utilizada para mitigar el problema de la anemia en mujeres jóvenes (Deshmukh et al. 2008).

La composición del frijol y de su caldo, ofrece entonces, un alimento rico en proteínas, minerales y múltiples compuestos bioactivos que podrían potencialmente ayudar a restaurar las reservas de

hierro en pacientes de anemia ferropénica. Esto sugiere que suplementos obtenidos a partir del frijol común y sus derivados podrían potencialmente ayudar en el tratamiento y prevención de la anemia ferropénica, por virtud de su composición proximal, así como de sus compuestos bioactivos (Cotoraci et al., 2021; Glahn & Noh, 2021; Spohrer et al., 2013).

8. Remoción de antinutrientes

El caldo de frijol, aunque en menor medida que la semilla completa, contiene compuestos bioactivos que pueden interactuar entre sí, inhibiendo los efectos benéficos de su consumo, es por ello que se les conoce como “antinutrientes” (Lyimo et al. 1992, Huma et al. 2008, Carvalho et al. 2012). Por ejemplo, a un pH neutro o ligeramente básico como el de los alimentos o el ambiente del duodeno, el ácido fítico (molécula que se encuentra cargada negativamente), puede establecer interacciones con proteínas y cationes, reduciendo su disponibilidad y por lo tanto dificultando su correcta absorción (Domínguez et al. 2002). De modo similar, a pH neutro los taninos pueden interactuar con proteínas mediante la formación de puentes de hidrógeno en sus grupos alcohol, formando complejos con enzimas digestivas e inhibiendo el aprovechamiento de nutrientes (Nikmaram et al. 2017). Derivado de estos hallazgos, es posible tomar medidas para mejorar la disponibilidad de nutrientes en el caldo de frijol, es decir, prevenir la interacción no deseada de sus componentes.

Estudios recientes han arrojado luz sobre el efecto que varias operaciones pueden tener sobre matrices alimentarias; específicamente, se han estudiado alternativas para remover antinutrientes de alimentos o para mejorar sus propiedades nutricias mejorando la disponibilidad de otros nutrientes (Valdés et al. 2011, Wiesinger et al. 2020). Por ejemplo, estudios recientes señalan que el proceso de molienda en harinas facilita la captación de hierro en cultivos celulares de la línea Caco-2 (Wiesinger et al. 2020).

Una estrategia que ha tenido éxito en la reducción de la concentración de compuestos bioactivos que tienen actividad antinutricional en el frijol, es el remojo de las leguminosas en soluciones salinas previo a su cocción. Por ejemplo, se ha visto que un remojo de 2 horas en una solución de cloruro de sodio (NaCl) al 2% (p/v) puede reducir la concentración de ácido fítico en la leguminosa hasta en un 68% (Shimelis and Rakshit 2007, Huma et al. 2008); Así mismo, se han estudiado los efectos de otros procesos domésticos de cocción del frijol común, donde se encontró que el tratamiento de remojo de las legumbres puede reducir la concentración de fitato, taninos y

polifenoles en el cotiledón en aproximadamente un 60 % (Hailelassie et al. 2016). Es decir, que existe evidencia de que es posible mejorar las cualidades nutricias y organolépticas de los frijoles comunes con una combinación oportuna de un tratamiento de hidratación y método de cocción.

9. Tecnología de espumas

Una espuma es una dispersión coloidal en la que un gas se encuentra disperso en un líquido continuo. La fase gaseosa usualmente se encuentra distribuida en forma de pequeñas burbujas en la fase líquida, lo que modifica propiedades del producto como su apariencia y textura, aumentando significativamente el área de superficie de un líquido y facilitando su deshidratación (Figura 2) (Hertzendorf et al. 1970, Sangamithra et al. 2015).

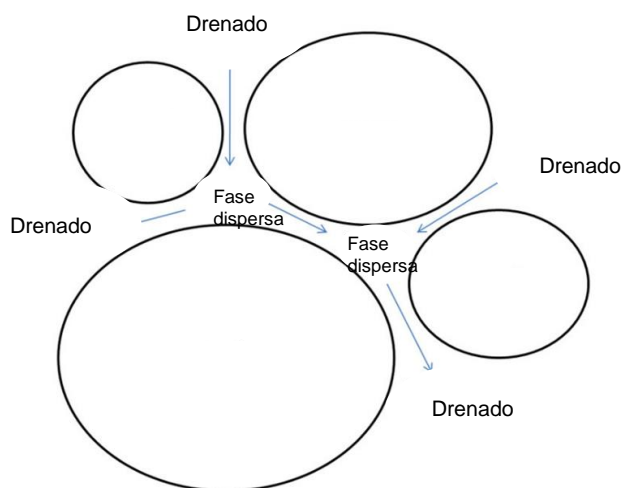


Figura 2: Ilustración de una espuma donde se señalan la fase líquida continua y la fase gaseosa, distribuida en la fase líquida. (Figura traducida de Sangamithra et al. 2015)

Las espumas son obtenidas adicionando un líquido con un agente espumante y/o un agente estabilizador y posteriormente siendo batidas hasta formar una estructura similar a un panal (Kadam and Balasubramanian 2011, Gallardo-Rivera et al. 2021). La formación de esta estructura no solo reduce enormemente la densidad del material a secarse sino que al mismo tiempo aumenta en gran medida el área de superficie, lo que permite una deshidratación mucho más rápida (Kudra and Ratti 2006).

La deshidratación de espumas depende de la formación de espumas estables. Para tal propósito se utilizan agentes espumantes como la albúmina de huevo y agentes estabilizantes como la goma guar para aumentar la resistencia de la estructura interna de la espuma (Hardy and Jideani 2017).

Una vez obtenida una espuma estable esta puede ser deshidratada en un secador de charolas convencional en un tiempo relativamente corto.

Este método de deshidratación ha recibido atención recientemente debido a que es más sencillo que la liofilización y ofrece ventajas tales como la capacidad de deshidratar alimentos delicados y la preservación de componentes volátiles. Además, al reducir la densidad del material a deshidratar, reduce la carga en el deshidratador y aumenta la capacidad de procesamiento (Kudra and Ratti 2006, Kadam and Balasubramanian 2011, Sangamithra et al. 2015).

Finalmente, este método de deshidratado presenta ventajas sobre otros métodos de secado ya que es más sencillo y económico que la liofilización, y en el caso de el secado de materiales no espumados, es más rápido, provee menores contenidos finales de agua y es efectivo en la deshidratación de materiales viscosos como el caldo de frijol (Kudra and Ratti 2006, Teoh et al. 2016).

El caldo de frijol es un candidato interesante para la deshidratación por tecnología de espumas ya que es un líquido denso y con alto contenido de sólidos disueltos. La utilización de la tecnología de espumas para deshidratar caldo de frijol constituye una alternativa relativamente sencilla y rápida de deshidratar el caldo de frijol sin comprometer sus compuestos bioactivos (Kudra and Ratti 2006). Por lo tanto en este estudio se propone remojar las leguminosa en soluciones con diferentes concentraciones de sal previo a su cocción para extraer la mayor cantidad de antinutrientes; posterior al cocimiento, obtener el caldo de frijol y deshidratarlo mediante la utilización de la tecnología de espumas preservando su composición nutricia (Sangamithra et al. 2015).

III. Justificación

Los frijoles (*Phaseolus vulgaris*) son la leguminosa más importante producida para el consumo humano y constituye un alimento básico en México, donde el consumo anual per cápita de casi 10 kg (SAGARPA 2017). Estas legumbres tienen un contenido de 60- 80 µg de Fe/ g de peso seco, de modo que una porción de 100g de frijoles puede satisfacer casi en su totalidad el requerimiento diario de hierro de un adulto sano (Shimelis and Rakshit 2007, Tako et al. 2014, Santoyo-Sánchez et al. 2015, Feitosa et al. 2018). No obstante, la anemia por deficiencia de hierro es el problema de malnutrición más común, estimándose que en México el 38% de los niños menores de 4 años la padecen (Shamah-Levy et al. 2020)(De la Cruz-Góngora et al. 2019). Por lo tanto, en el presente estudio se propone la elaboración de un alimento funcional a base de caldo deshidratado de frijol, que no requiera refrigeración y que coadyuve al tratamiento de la anemia por deficiencia de Hierro.

IV. Hipótesis

La utilización de tecnología de espumas permite obtener un alimento funcional deshidratado a base de caldo de frijol con pocos antinutrientes y mayor contenido de hierro.

Objetivos

1. Objetivo general

Obtener un alimento funcional mediante la tecnología de espumas con pocos anti nutrientes y mayor contenido de Hierro

2. Objetivos particulares

- a. Determinar las condiciones de remojo (NaCl) y cocción para obtener el caldo de frijol con mayor cantidad de hierro y menor cantidad de antinutrientes.
- b. Evaluar la concentración de anti nutrientes (ácido fítico, antocianinas y polifenoles totales) en el caldo.
- c. Establecer la capacidad antioxidante del caldo de frijol.
- d. Obtener el caldo deshidratado (mediante tecnología de espumas) que haya resultado con las mejores características nutricionales arriba mencionadas.
- e. Determinar las características fisicoquímicas de la espuma del caldo para su correcta deshidratación.
- f. Comparar las propiedades nutritivas del caldo deshidratado con las del caldo de frijol fresco mediante un análisis bromatológico.

V. Materiales y Métodos

1. Obtención de variedades de Frijol

El material vegetal fue obtenido de manera comercial en supermercados Soriana de la zona sur del área metropolitana de Monterrey. Los frijoles de ambas variedades fueron almacenados en contenedores herméticos hasta su cocción y posterior uso en los estudios de la composición nutricia del caldo.

2. Cocción y obtención del caldo de frijol

Para la obtención del caldo de frijol, se pesaron 100 g de frijol de cada variedad. Estas fueron remojadas (por separado) por 12 h en una solución acuosa de NaCl al 0, 0.5 y 1% con una razón Legumbre a Solución de 1:5 (w/v) de acuerdo con lo reportado por Huma et al., (2008) con algunas modificaciones. Posteriormente, se desechó el agua de remojo y los frijoles fueron cocidos en una olla de convencional a fuego medio por 2 h, en la misma proporción legumbre:agua. Una vez cocidos, se dejaron enfriar y se separó el caldo de los frijoles por decantación. Finalmente, el caldo se congeló hasta su uso.

Aproximadamente 100 g de frijol cada una de las variedades (negro jamapa y pinto saltillo) fueron hidratadas durante 12 h a 25 °C. La solución de hidratación fue 0, 0.5 y 1% de cloruro de sodio. La proporción de frijol:solución de hidratación fue 1:5 (peso/volumen). Huma et al., (2008), previamente han sugerido que la hidratación puede ser un factor importante en el proceso de cocción y eliminación de fitatos. Luego del proceso de hidratación las muestras de frijol fueron recuperadas y lavadas para eliminar el exceso de sal, finalmente se sometieron a proceso de cocción. El proceso de cocción se realizó usando 16.6 g de frijol hidratado por cada 83.4 g de agua (16.6% p/v). La cocción se realizó usando una olla convencional durante 2 h. Finalmente, se recuperó la solución “caldo” y se conservó a -20 °C hasta su uso.

3. Cuantificación de Hierro total por espectrofotometría

Para la cuantificación de Hierro ferroso se utilizó el método espectrofotométrico oficial de Sullivan (1977) con algunas modificaciones. Este método se basa en la formación de un complejo entre Fe^{+2} y el compuesto α - α , dipiridilo y la posterior lectura de su absorbancia en solución a 523 nm.

Las muestras de caldo fueron centrifugadas a 5000 rpm por 10 min y el sobrenadante fue filtrado por una membrana de nylon de 0.4 μm de porosidad. Para la cuantificación del hierro en las muestras se colocaron 1 ml de caldo clarificado junto con 1.5 ml de buffer de acetatos (pH 4.5), 0.5 ml de solución estándar α - α , dipiridilo (0.1g/100ml de agua destilada) y 1 ml de Eritorbato de Sodio (20 mg/ml). Posteriormente se aforó la reacción a 10 ml con agua destilada. La mezcla se dejó reposar por 3 h en la oscuridad a temperatura ambiente y posteriormente se leyó la absorbancia a 523 nm. Para evaluar la concentración de hierro en las muestras se elaboró una curva de calibración con puntos fijos en 0, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 y 3.00 $\mu\text{g/ml}$ (Anexo a.).

Esta cuantificación se llevó a cabo por triplicado en las cenizas de cada variedad y en el caldo tras la cocción de las 2 variedades seleccionadas para determinar si la variedad y el remojo tienen un efecto en la concentración de hierro en el caldo. Finalmente, se realizó esta prueba en el producto deshidratado y reconstituido para comprobar la integridad del alimento deshidratado (Figura 3).



Figura 3: Visualización del proceso de cuantificación de Hierro Fe^{+2} en las muestras de caldo de frijol

4. Cuantificación de hierro total por espectroscopía de absorción atómica

Para la cuantificación de hierro por espectrometría de absorción atómica de acuerdo con el método reportado por la AOAC, es necesario eliminar toda la materia orgánica. Por tanto, se tomaron muestras de 10 ml o 0.5 g de espuma deshidratada. Dichas muestras fueron colocadas en crisoles de 25 ml y llevados a ebullición lenta sobre una plancha de calentamiento hasta que se observó la carbonización de los sólidos disueltos o del polvo de la espuma deshidratada. Posteriormente, las muestras fueron llevadas a proceso de calcinación en una mufla a 540 $^{\circ}\text{C}$ por 12 h. Pasado ese tiempo, se agregó 1 ml de ácido clorhídrico a cada crisol y se filtraron las cenizas a través de papel Whatman n $^{\circ}$ 1 y posteriormente se aforó el volumen a 10 ml. Para la cuantificación del hierro en

las muestras se realizaron curvas de calibración con estándares preparados a concentraciones de 0 a 100 ppm de hierro (Anexo) y fueron leídas en un espectro de absorción atómica Shimadzu AA-6200.

5. Cuantificación de ácido fítico

La cuantificación de ácido fítico (AF) se llevó a cabo de acuerdo con método reportado por Gao et al., (2007). Este método se basa en la formación de un compuesto color rosa con la interacción entre Fe^{+3} y ácido sulfosalicílico (reactivo de Wade). La formación de este complejo es impedida por el ácido fítico el cual quela el hierro férrico por lo que existe una relación inversamente proporcional entre la intensidad del color formado y la concentración de AF.

Se tomaron porciones de 0.5 g de muestra y se mezclaron con 10 ml de HCL al 2.4% en tubos cónicos de 14 ml. Estos tubos fueron puestos en agitación por 16 h a 220 rpm y centrifugadas a 1000 g a 10°C por 20 min. El sobrenadante fue transferido a tubos cónicos limpios con 1g de Cloruro de sodio (NaCl) y se colocaron en agitación a 350 rpm por 20 min para asegurar la disolución de la sal y se dejaron en reposo a 4°C por 1 h. A continuación, el sobrenadante fue recuperado y utilizado para los ensayos colorimétricos, tomando 1 ml de sobrenadante y diluyéndose con 24 ml de agua destilada en tubos cónicos de 50 ml. De este modo, 3 ml de la muestra diluida se mezclaron con 1 ml del reactivo modificado de Wade (0.03% $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ + 0.3% ácido sulfosalicílico) en tubos cónicos de 14 ml y se agitaron minuciosamente por vortex y se centrifugaron a 1000 g a 10°C por 10 min. Para la cuantificación de AF se realizó una curva de calibración con soluciones estándar con concentraciones conocidas (0, 1, 5, 10, 20, 40, o 60 mg/l) de fitato de sodio (Anexo c.). Finalmente, la absorbancia de las soluciones estándar y las muestras fue medida a 500 nm. Esta cuantificación se realizó en los caldos de ambas variedades para determinar si la variedad y el remojo tienen un efecto en la concentración de ácido fítico en el caldo, además de en el caldo deshidratado

6. Cuantificación de Antocianinas monoméricas

La cuantificación de antocianinas se realizó de acuerdo con el método de pH diferencial de la AOAC (Eisele et al. 2005), con pequeñas modificaciones mencionadas por Tonutare y colaboradores (2014). Para la cuantificación de antocianinas se prepararon buffers de cloruro de

potasio (0.025 M) y acetato de sodio (0.4 M) con pH de 1 y 4.5 respectivamente. Se agregaron 0.75 ml de caldo clarificado de frijol en 1.25 ml de cada buffer y se dejaron reposar por 30 min; posteriormente, se midió su absorbancia a 510 y 700 nm. Finalmente, la concentración de antocianinas monoméricas totales expresada en equivalentes de cianidina-3-glucósido se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$\text{Antocianinas monoméricas totales} = \frac{(A)(MW)(DF)(1000)}{(\epsilon)(l)}$$

Donde

$$A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH} 1.0} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH} 4.5}$$

$$\text{MW (peso molecular)} = 449.2 \text{ g/mol}$$

DF=Factor de dilución

l= longitud de la celda (cm)

$$\epsilon = 26\,900 \text{ coeficiente de extinción molar, en } \text{L} \times \text{mol}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$$

Esta cuantificación se llevó a cabo por triplicado en el grano seco y molido del frijol y en el caldo de las 2 variedades seleccionadas para determinar si la variedad y el remojo tienen un efecto en la concentración de antocianinas en el caldo, así como en el producto deshidratado.

7. Determinación de polifenoles totales

La determinación de polifenoles totales se realizó conforme al método Foline-Ciocalteu, reportado por Valdés et al (2011) utilizando ácido gálico como estándar para la elaboración de una curva de calibración. Para ello se tomaron muestras de 200 μl de caldo centrifugado y filtrado. Posteriormente el caldo fue adicionado con 0.9 ml de agua destilada y 0.1 ml de reactivo de Foline-Ciocalteu. Esta mezcla fue agitada e incubada por 5 min; posteriormente se agregaron 0.8 ml de una solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) a 7 g/100 ml de agua. El tubo fue agitado nuevamente e incubado por 1 hora. Finalmente se leyó la absorbancia a 765 nm y la concentración de la muestra se expresó en (mg GAE/g muestra). Esta cuantificación se realizó en los caldos de ambas variedades para determinar si la variedad y el remojo tienen un efecto en la concentración

de polifenoles en el caldo y el producto deshidratado. La concentración de polifenoles fue evaluada contra una curva de calibración con estándares de 0 a 100 µg/mL (Anexo d.)

8. Ensayo de capacidad antioxidante (DPPH+, ABTS+)

La capacidad antioxidante del frijol crudo, el caldo y el producto deshidratado, fue medido con los ensayos de captura de radicales ABTS (2,2'-azinobis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate) y DDPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl). Como estándar para la actividad antioxidante se utilizó Trolox, para la elaboración de una curva de calibración (10–160 µmol) para ambos oxidantes (ABTS y DDPH), de acuerdo con lo reportado por Ozgen y colaboradores (2006) (Anexo d. y f.).

En el caso de ABTS se utilizó una solución Stock con una concentración de 7 mmol con persulfato de potasio al 2.45 mmol. Posterior al reposo, en ausencia de luz por 16 h la solución se diluyó con buffer de acetatos (pH 4.5) hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. Alícuotas de cada muestra fueron mezcladas con 2.7 ml de la solución de ABTS y se incubaron en la oscuridad por 7 min tras los cuales se midió la absorbancia a 734 nm.

Para el ensayo con DDPH se preparó una solución stock mezclando 3.9 mg del radical con 100 ml de etanol para obtener una absorbancia de 1.00 ± 0.005 a 517 nm. Alícuotas de cada muestra, fueron mezcladas con 2.25 ml de DDPH. La reacción fue incubada a temperatura ambiente en la oscuridad por 4 horas y finalmente se midió la absorbancia a 517 nm.

La actividad antioxidante se expresó como un porcentaje de inhibición de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\% \text{ de inhibición} = \left[\text{Absorbancia del control} - \frac{\text{Absorbancia de muestra}}{\text{Absorbancia del control}} \right] (100)$$

Los resultados se expresan en mmol de equivalentes de Trolox (TE)/g de la muestra evaluada. Esta cuantificación se realizó en los caldos de ambas variedades y en el producto deshidratado para determinar si la variedad y el remojo tienen un efecto en la capacidad antioxidante en el caldo.

Aplicación de la tecnología de espumas para la obtención del caldo deshidratado.

9. Espumado del caldo de Frijol

Para poder deshidratar el caldo de frijol, se utilizó la tecnología de espumas. La espuma se obtuvo adicionando 96 ml de caldo de frijol con 1% de goma guar previamente hidratada en el mismo caldo de frijol como agente espesante y 3% de albúmina de huevo previamente hidratada en caldo de frijol y sonicada al 80% de amplitud de onda como agente espumante. Se tomó especial precaución en la integración de estos componentes y se ajustó el pH a 7, dado que se ha visto que estas condiciones resultan en el mayor incremento en el volumen de la espuma y por lo tanto una mayor estabilidad. Posteriormente esta solución fue introducida en una espumadora marca Froth au Lait Inc. Modelo FNS-W, donde fue batida a 500 rpm por 10 min de acuerdo con lo reportado por Ramirez-Gutierrez (2019).

10. Determinación de las propiedades fisicoquímicas de la espuma: Tiempo de drenado, densidad de la espuma, expansión y propiedades reológicas

El tiempo medio de drenado (TMD) es una medida de la estabilidad de la espuma, la cual se define como el tiempo que se requiere para reducir a la mitad el volumen analizado, como consecuencia del drenado interlamelar. Para determinar el TMD de la espuma de caldo de frijol, de acuerdo al procedimiento propuesto por Gallardo-Rivera y colaboradores (2021) se midió colocando la espuma en una probeta graduada de 50 ml y observando el volumen de drenado en intervalos regulares por un tiempo máximo de 1 hora. La densidad de la espuma se calculó con el peso de la espuma entre el volumen de ésta reportándose como g/cm^3 . Con la siguiente fórmula: $\text{peso de la espuma} / \text{volumen de la espuma}$. La expansión de la espuma se obtuvo con la siguiente fórmula: $[(V_1 - V_0) / V_0] \times 100$. Donde V_0 es el volumen inicial de la espuma, V_1 el volumen final.

La formulación de espuma de caldo estable obtenida, se deshidrató de acuerdo con la metodología mencionada por Kumar & Mishra (2004) con algunas modificaciones; se colocó la espuma sobre una charolas cubiertas de silicona de acero inoxidable en un deshidratador de alimentos Hamilton a una temperatura de $45 \pm 2^\circ\text{C}$ por un lapso de 6 h monitoreándose la velocidad de aire.

Finalmente se midió la viscosidad del formulado con un reómetro RheolabQC Anton Paar y el tamaño de partícula con un analizador Mastersizer 3000 de Malvern. Ambas mediciones se

realizaron en el formulado fresco antes de ser espumado y en el producto deshidratado reconstituido para comparar sus propiedades.

11. Análisis bromatológico

Se llevó a cabo un análisis bromatológico con las determinaciones de humedad, proteína y grasa del caldo de frijol de las 2 variedades seleccionadas y del caldo deshidratado. Los métodos aplicados fueron según la AOAC.

1. Preparación de las muestras

El Frijol crudo fue deshidratado a 40°C en una estufa y posteriormente pulverizado con un molino. Este material vegetal pulverizado sin recibir más tratamientos fue llamado “muestra cruda”. Por su parte, el caldo deshidratado y el caldo de frijol fresco se utilizaron de manera íntegra para los análisis bromatológicos. Todos los análisis fueron realizados de acuerdo con lo reportado por Henríquez Guajardo (2014), y los métodos oficiales de la AOAC

2. Determinación de porcentaje de humedad

. La determinación de humedad se llevó a cabo tomando en un recipiente adecuado (previamente pesado), 10 g del material (polvo o líquido) y calentando a 105°C por 12 h. Posteriormente se dejó la muestra enfriar por 30 min en un desecador y finalmente se pesó el material deshidratado. El porcentaje de humedad se calculó con la siguientes fórmulas:

$$\text{Peso de la muestra} = (\text{Peso de recipiente con muestra fresca}) - (\text{peso de recipiente})$$

$$\text{Pérdida de peso} = (\text{Peso de recipiente con muestra fresca}) - (\text{Peso de recipiente con muestra seca})$$

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Pérdida de peso (g)}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

3. Determinación de porcentaje de proteína

Para la determinación de proteína se utilizó el método de Kjeldahl. Para esto se tomó una muestra de 10 ml o 0.1g en caso de tratarse de polvo y se agregó a un matraz balón junto con 6 ml de ácido sulfúrico y 3 gramos de mezcla de catalizador. Se conectó el matraz al aparato de digestión de Kjeldahl hasta que el líquido adquiriera color azul. Posteriormente, se agregaron 80ml de agua destilada y 60 ml de solución de NaOH al 40% al tiempo que se transfiere al sistema de destilación. Al mismo tiempo en un matraz Erlenmeyer de 250 ml se agregaron 25.0 mL de la solución de ácido bórico al 4% más una solución indicadora de verde de bromocresol y rojo de metilo y se colocará en el aparato de destilación. Una vez terminada la destilación se realizó la titulación con

HCL 0.1 N y se determinó la concentración de proteína en la muestra de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ de Nitrógeno} = \frac{(\text{ml de HCL})(N \text{ de HCL})(\text{meq de Nitrogeno})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ de proteína} = (\% \text{ Nitrogeno}) \times (6.25)$$

4. Determinación de grasa cruda

Para la determinación de grasas se tomaron 2 g de muestra seca envuelta en papel y se colocaron en un dedal en un aparato extractor de grasa de Goldfish. Se acopló al sistema un vaso de precipitado previamente pesado con 40 ml de éter y se realizó la extracción por 4 horas. Posteriormente se evaporó el solvente y los vasos de precipitado fueron introducidos en una estufa a 100°C por 1h para eliminar residuos de solvente. Finalmente, se pesaron los vasos de precipitado y el contenido de grasas fue determinado de acuerdo con las siguientes fórmulas.

$$\text{Peso de grasa} = (\text{Peso de recipiente con grasa seca}) - (\text{Peso de recipiente vacío})$$

$$\% \text{ de grasa} = \frac{\text{Peso de grasa (g)}}{\text{Peso de muestra seca (g)}} \times 100$$

5. Determinación de ceniza

Para la determinación de ceniza se tomaron 10 g de muestra y se colocaron en crisoles previamente pesados. La muestra en los crisoles se carbonizó con ayuda de un mechero, Posteriormente los crisoles fueron introducidos en una mufla a 600°C toda la noche. Pasado este tiempo, los crisoles fueron colocados en un desecador y finalmente pesados. La cantidad de ceniza en la muestra fue determinada con el siguiente cálculo.

$$\% \text{ de ceniza} = \frac{\text{Peso de ceniza (g)}}{\text{Peso de muestra (g)}} \times 100$$

12. Análisis estadístico

Todos los experimentos fueron realizados por triplicado. El análisis estadístico realizado fue mediante el software IBM SPSS statistics. Los resultados se expresan como medias \pm desviación estándar. Los datos fueron analizados por un test de varianza ANOVA (una vía) y un post hoc de Tukey. . Las diferencias significativas fueron consideradas con valores $p \leq 0.05$.

VI. RESULTADOS

1. Obtención del material vegetal

Se trabajó con 2 variedades de frijol disponibles comercialmente. Debido a que el perfil nutricional de cada variedad es distinto, se utilizaron la variedad con mayor y menor contenido de hierro respectivamente de acuerdo con los datos reportados en la Tabla 1: Negro Jamapa y Pinto saltillo (Figura 4).



Figura 4: Presentación comercial de las variedades de frijol utilizadas en este estudio.

2. Tratamiento de remojo, cocción y obtención del caldo de frijol

Ambas variedades de frijol fueron sometidas a los tratamientos de remojo (hidratación) descritos previamente (ver material y métodos sección V.2) con el propósito de evaluar el efecto del remojo previo en la liberación de nutrientes en el medio de cocción. De acuerdo con lo reportado por Shimelis and Rakshit en el 2007 así como Huma et al. en el 2008 el tratamiento de remojo con distintas concentraciones de sal tiene un efecto significativo en los niveles de fitato en la legumbre. Los tratamientos de remojo aplicados fueron con diferentes concentraciones de sal (0, 0.5, 1%). El remojo se llevó a cabo en una razón de 1:5 Legumbre: agua por 12 h, punto en el que fue posible observar la lixiviación de pigmentos en el caso del frijol negro (Figura 5). Una vez concluido el periodo de remojo, se retiró el agua y se colocó agua de nuevo en razón de 1:5 legumbre: agua para proceder con la cocción. Ésta se llevó a cabo por un tiempo de 1.5 horas a fuego bajo. Pasado el tiempo de cocción, se recuperaron 450 ml de caldo en promedio, mismo que fue almacenado en refrigeración o congelación hasta su uso.



Figura 5. Lixiviación de pigmentos de la testa del frijol negro Jamapa en el agua de remojo, durante el tratamiento de hidratación con diferentes cantidades de sal.

Cuantificación de hierro total por espectrofotometría

La cuantificación de hierro se realizó tanto en el frijol como en el caldo de cocción obtenido después de los tratamientos de remojo mencionados arriba.

Con ayuda de la curva de calibración mencionada en metodología (Anexo a.) se encontró que la concentración de hierro en el frijol de la variedad Negro Jamapa fue de $78 \mu\text{g/g}$ de peso seco, mientras que la concentración de hierro en la variedad Pinto Saltillo fue de $48 \mu\text{g/g}$ de peso seco (Tabla 2). Ambos valores concuerdan con lo reportado en las etiquetas comerciales de las variedades. Por otra parte, se encontró que la concentración de hierro en el caldo de frijol de la variedad Negro Jamapa tuvo un rango de ≈ 5 a $10 \mu\text{g/ml}$ como se muestra en la Tabla 2. También es posible observar una tendencia al aumento de la concentración de hierro en el caldo con el aumento de la concentración de sal en la solución de remojo, encontrando la mayor cantidad de hierro en el caldo de cocción obtenido después de un remojo con 1% de sal. En el caso de la variedad Pinto Saltillo se observó un rango de ≈ 2 a $5 \mu\text{g/ml}$ (Tabla 2), no obstante, en este caso, se puede observar una tendencia a la disminución de la concentración de Hierro en el caldo de cocción a medida que aumenta la concentración de sales. Cabe mencionar que el caldo obtenido de la cocción sin remojo, contenía una cantidad de hierro mayor que aquellos obtenidos con remojo de 0 y 0.5% de sal, a excepción del 1% para el negro Jamapa.

Tabla 2: Concentración de hierro total en caldo de frijol de las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.

Concentración de hierro total en caldo de frijol					
Variedad	Sin remojo ($\mu\text{g/ml}$)	Remojo en solución 0% NaCl ($\mu\text{g/ml}$)	Remojo en solución 0.5% NaCl ($\mu\text{g/ml}$)	Remojo en solución 1% NaCl ($\mu\text{g/ml}$)	Ceniza de frijol (mg/kg)
Negro Jamapa	8.33 \pm 0.60 a	5.14 \pm 1.83 b	7.53 \pm 1.83 a	10.93 \pm 1.5 a	78.91 \pm 0.45
Pinto Saltillo	4.8 \pm 0.82 a	4.19 \pm 1.21 a	4.14 \pm 0.93 a	2.8 \pm 0.69 b	48 \pm 0.68

Media de tres repeticiones \pm desviación estándar. Datos obtenidos por el método de determinación con α - α , dipiridilo. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

Por otra parte, se puede observar que la cantidad de hierro lixiviado por cada gramo de frijol seco se ve afectada de manera significativa por el tratamiento de remojo, llegando a dispersarse en el medio de cocción hasta 54.66 μg de Hierro por cada gramo de frijol en el caso de la variedad Negro Jamapa y 24 $\mu\text{g/g}$ en el caso de Pinto saltillo, lo que corresponde a \approx 60 y 50 % del hierro contenido en la legumbre respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3: Cantidad de hierro lixiviado por gramo de frijol utilizado en la preparación del caldo en las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.

Hierro lixiviado en medio de cocción					
Variedad	Sin remojo ($\mu\text{g/g}$ de frijol)	Remojo en solución 0% NaCl ($\mu\text{g/g}$ de frijol)	Remojo en solución 0.5% NaCl ($\mu\text{g/g}$ de frijol)	Remojo en solución 1% NaCl ($\mu\text{g/g}$ de frijol)	Ceniza de frijol ($\mu\text{g/g}$ de frijol)
Negro Jamapa	41.67 \pm 11.22 a	25.68 \pm 7.48 b	37.67 \pm 7.48 a	54.66 \pm 6.16 a	78.91 \pm 0.45
Pinto Saltillo	24.00 \pm 1.96 a	20.93 \pm 2.49 a	20.69 \pm 1.66 a	14.00 \pm 2.18 b	48 \pm 0.68

Media de tres repeticiones \pm desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

3. Cuantificación de hierro por absorción atómica

Utilizando esta técnica y su respectiva curva de calibración (Anexo b.) se encontró que la concentración de hierro en el caldo de frijol de la variedad Negro Jamapa tuvo un rango de \approx 2 a 6 $\mu\text{g/ml}$ como se muestra en la Tabla 3. Como en el caso de la cuantificación por alfa dipiridilo, también es posible observar una tendencia al aumento de la concentración de hierro en el caldo con el aumento de la concentración de sal en la solución de remojo. En el caso de la variedad Pinto

Saltillo se observó un rango de ≈ 2.5 a $2.8 \mu\text{g/ml}$ (Tabla 4), no obstante, en este caso, la concentración de sal en el tratamiento de remojo no parece tener un efecto significativo en la lixiviación de hierro en el medio de cocción.

Tabla 4: Concentración de hierro total en caldo de frijol de las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo evaluada por espectrometría de absorción atómica

Concentración de hierro total en caldo de frijol				
Variedad	Sin remojo ($\mu\text{g/ml}$)	Remojo en solución 0% NaCl ($\mu\text{g/ml}$)	Remojo en solución 0.5% NaCl ($\mu\text{g/ml}$)	Remojo en solución 1% NaCl ($\mu\text{g/ml}$)
Negro Jamapa	5.80 \pm 0.02 a	2.85 \pm 0.30 b	4.35 \pm 0.23 c	4.65 \pm 0.10 c
Pinto Saltillo	2.63 \pm 0.15 a	2.76 \pm 0.06 a	2.51 \pm 0.07 ab	2.79 \pm 0.05 ac

Media de tres repeticiones \pm desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

Por otra parte, se puede observar que la cantidad de hierro lixiviado por cada gramo de frijol seco se ve afectada de manera significativa por el tratamiento de remojo, llegando a dispersarse en el medio de cocción hasta $29.01 \mu\text{g}$ de Hierro por cada gramo de frijol en el caso de la variedad Negro Jamapa y $13.97 \mu\text{g/g}$ en el caso de Pinto saltillo, lo que corresponde a ≈ 37 y 29% del hierro contenido en la legumbre respectivamente (Tabla 5).

Tabla 5: Cantidad de hierro lixiviado por gramo de frijol utilizado en la preparación del caldo en las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.

Hierro lixiviado en medio de cocción					
Variedad	Sin remojo ($\mu\text{g/g}$ de frijol)	Remojo en solución 0% NaCl ($\mu\text{g/g}$ de frijol)	Remojo en solución 0.5% NaCl ($\mu\text{g/g}$ de frijol)	Remojo en solución 1% NaCl ($\mu\text{g/g}$ de frijol)	Ceniza de frijol ($\mu\text{g/g}$ de frijol)
Negro Jamapa	29.01 \pm 0.09 a	14.27 \pm 1.50 b	21.75 \pm 1.13 c	23.24 \pm 0.52 c	78.91 \pm 0.45
Pinto Saltillo	13.16 \pm 0.77 a	13.80 \pm 0.30 a	12.53 \pm 0.34 a	13.97 \pm 0.26 a	48 \pm 0.68

Media de tres repeticiones \pm desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

4. Determinación de ácido fítico

Se encontró que los caldos de frijol negro contienen una menor concentración de ácido fítico ($0.68 - 1.03 \text{ mg/ml}$) de caldo que sus contrapartes de frijol pinto ($0.77 - 1.18 \text{ mg/ml}$) en todos los casos,

asimismo la menor concentración de fitato se encontró en los caldos de frijol que fueron sometidos a un tratamiento de hidratación con un 0% de NaCl añadida (Tabla 6). Tomando en cuenta que la concentración de ácido fítico en la legumbre fue determinada por el mismo método, es posible observar una reducción del 40 % del ácido fítico en el caldo con respecto a la legumbre entera.

Tabla 6: Concentración de ácido fítico en los caldos de frijol de las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo

Concentración de ácido fítico en el caldo de cocción					
Tratamiento					
Variedad	Sin remojo (mg/ml)	Remojo en solución 0% NaCl (mg/ml)	Remojo en solución 0.5% NaCl (mg/ml)	Remojo en solución 1% NaCl (mg/ml)	Legumbre molida (0.5 mm) (mg/g)
Negro Jamapa	0.79±0.04 a	0.68±0.02 b	0.74 ±0.01 ab	1.03±0.01 c	7.25±1.34
Pinto Saltillo	1.0±0.01 a	0.77±0.01 b	0.83 ±0.01 c	1.18±0.01 d	29.55±0.08

Media de tres repeticiones ± desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

Por otra parte, se puede observar que la cantidad de Fitato lixiviado por cada gramo de frijol seco se ve afectada de manera significativa por el tratamiento de remojo, llegando a encontrarse en el medio de cocción hasta 3.39 mg de Fitato por cada gramo de frijol en el caso de la variedad Negro Jamapa y 3.83 mg/g en el caso de Pinto saltillo, lo que corresponde a ≈ 46.75 y 11.43 % del fitato contenido en la legumbre respectivamente o bien una reducción del 53 y 88 % respectivamente (Tabla 7).

Tabla 7: Cantidad de Fitato lixiviado por gramo de frijol utilizado en la preparación del caldo en las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.

Ácido fítico lixiviado en el medio de cocción					
Variedad/ tratamiento	Sin remojo (mg/g)	Remojo en solución 0% NaCl (mg/g)	Remojo en solución 0.5% NaCl (mg/g)	Remojo en solución 1% NaCl (mg/g)	Legumbre molida (0.5 mm) (mg/g)
Negro Jamapa	3.95±0.18 a	3.39±0.09 b	3.72±0.03 ab	5.15±0.07 c	7.25±1.34
Pinto Saltillo	4.99±0.07 a	3.83±0.07 b	4.16±0.07 c	5.90±0.03 d	29.55±0.08

Media de tres repeticiones ± desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

5. Cuantificación de antocianinas monoméricas

Durante este ensayo se encontraron pigmentos del grupo de las antocianinas únicamente en los caldos de frijol de la Variedad Negro Jamapa. En estos caldos se las encontró en concentraciones

de 5 a 20 mg/ L. El análisis estadístico de esta prueba mostró una diferencia significativa entre las concentraciones de antocianinas de los caldos de acuerdo con sus tratamientos de hidratación (tabla 8).

Tabla 8: Concentración de antocianinas en los caldos de frijol

Concentración de Antocianinas totales (mg/l)					
Tratamiento					
Variedad	Sin remojo	Remojo en solución 0% NaCl (mg/l)	Remojo en solución 0.5% NaCl (mg/l)	Remojo en solución 1% NaCl (mg/l)	Concentración en frijol (mg/g)
Negro Jamapa	20.76 ± 0.33a	13.18 ± 0.30 b	5.95 ± 0.47 c	9.05 ± 0.27 d	2.13 ± 0.02
Pinto Saltillo	0.09 ± 0.04 a	0.09 ± 0.08 a	0.11 ± 0.19 a	0.14± 0.1 a	ND

Media de tres repeticiones ± desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey . ND= No detectable

Por otra parte, se puede observar que la cantidad de antocianinas lixiviadas por cada gramo de frijol seco se ve afectada de manera significativa por el tratamiento de remojo, llegando a dispersarse en el medio de cocción hasta 0.1 mg de Antocianinas por cada gramo de frijol en el caso de la variedad Negro Jamapa, mientras que en la variedad Pinto saltillo no se encontró dicho pigmento. (Tabla 9).

Tabla 9: Cantidad de antocianinas lixiviadas por gramo de frijol utilizado en la preparación del caldo en las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo.

Antocianinas lixiviadas por gramo de frijol					
Tratamiento					
Variedad	Sin remojo (mg/g)	Remojo en solución 0% NaCl (mg/g)	Remojo en solución 0.5% NaCl (mg/g)	Remojo en solución 1% NaCl (mg/g)	Concentración en frijol (mg/g)
Negro Jamapa	0.10±0.00 a	0.07±0.00 b	0.03±0.00 c	0.05±0.00 d	2.13 ± 0.02
Pinto Saltillo	ND	ND	ND	ND	ND

Media de tres repeticiones ± desviación estándar, se utilizó el grupo sin remojo como control en una prueba de Dunnet,

* indica diferencia significativa con dicho grupo en cada renglón. ND= No detectable

6. Cuantificación de Polifenoles totales

En la prueba de polifenoles totales, se encontró una diferencia significativa entre la concentración de compuestos polifenólicos en los caldos de ambas variedades, así como en todos los tratamientos

de hidratación. La tabla 10 muestra el contenido de polifenoles en los caldos en eq de ácido Gálico en mg/ml. En los caldos de frijol de la variedad Negro Jamapa se encontró una gran concentración de polifenoles en un rango de 0.3 a 0.44 mg/ml mientras que en las muestras de caldo de frijol Pinto se encontraron concentraciones relativamente menores en un rango de 0.14 a 0.20 mg/ml. En ambos casos se observa una tendencia a la disminución en la concentración de polifenoles en el caldo a medida que aumenta la concentración de sales en el agua de remojo, no obstante, en ambos casos, se observa que al remojar las legumbres con un 1 % de sal se aprecia un incremento en los polifenoles con respecto a los otros tratamientos de remojo, lo que sugiere que existe una concentración umbral de sales que permite regular la cantidad de polifenoles que se liberan en el medio de cocción.

Tabla 10: Concentración de polifenoles totales en los caldos de frijol de las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo

Concentración de polifenoles totales (mg/ml)				
Tratamiento				
Variedad	Sin remojo	Remojo en solución 0% NaCl	Remojo en solución 0.5% NaCl	Remojo en solución 1% NaCl
Negro Jamapa	0.44±0.02 a	0.36±0.02 b	0.30±0.01 c	0.39±0.02 d
Pinto Saltillo	0.18±0.05 a	0.16±0.02 b	0.14±0.01 c	0.20±0.04 d

Media de tres repeticiones ± desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

Por otra parte, se puede observar que la cantidad de Polifenoles lixiviados por cada gramo de frijol seco se ve afectada de manera significativa por el tratamiento de remojo, llegando a dispersarse en el medio de cocción hasta 2.19 mg de Polifenoles por cada gramo de frijol en el caso de la variedad Negro Jamapa y 0.98 mg/g en el caso de Pinto saltillo, lo que corresponde a ≈ 27.5 y 10.7 % de los polifenoles contenido en la legumbre respectivamente (Tabla 11).

Tabla 11: Polifenoles totales lixiviados en el medio de cocción en los caldos de frijol de las variedades Negro Jamapa y Pinto Saltillo

Polifenoles totales lixiviados por gramo de frijol (mg/g)				
Tratamiento				
Variedad	Sin remojo	Remojo en solución 0% NaCl	Remojo en solución 0.5% NaCl	Remojo en solución 1% NaCl
Negro Jamapa	2.19±0.01 a	1.82±0.01 b	1.52±0.00 c	1.95±0.01 d
Pinto Saltillo	0.88±0.02 a	0.80±0.01 b	0.71±0.01 c	0.98±0.02 d

Media de tres repeticiones ± desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

7. Ensayo de capacidad antioxidante vs ABTS+ y DPPH+

El caldo de la variedad Negro Jamapa mostró una gran eficacia en la captura de radicales ABTS+. Todas las muestras mostraron potencial antioxidante equivalente a 5-7 mM de trolox. Por su parte las muestras de caldo de frijol pinto mostraron una actividad antioxidante menor, equivalente a la de 2-3 mM de trolox (Tabla 12).

Tabla 12: Capacidad antioxidante expresada como equivalentes de Trolox

Capacidad Antioxidante vs ABTS+ (mM de trolox/ ml de caldo)				
Tratamiento				
Variedad	Sin remojo	Remojo en solución 0% NaCl	Remojo en solución 0.5% NaCl	Remojo en solución 1% NaCl
Negro Jamapa	7.03±0.18 a	5.28±0.04 b	6.64±0.11 c	5.51±0.10 b
Pinto Saltillo	2.83±0.09 a	2.19±0.12 b	1.93±0.14 c	2.91±0.12 a

Media de tres repeticiones ± desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

Los caldos de Frijol negro Jamapa lograron capturar entre un 43 y un 55 % de los radicales de ABTS+, mientras que los de Frijol pinto mostraron la capacidad de capturar entre el 20 y el 27 % de ellos. Durante el análisis de los datos se encontró que existen diferencias significativas en la capacidad antioxidante de los diferentes caldos como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13: Capacidad antioxidante expresada como el porcentaje de captura del radical ABTS+

Captura de radical ABTS+ (%)					
Tratamiento					
Variedad	Sin remojo	Remojo en solución NaCl 0%	Remojo en solución NaCl 0.5%	Remojo en solución NaCl 1%	
Negro Jamapa	55.76±1.23 a	43.57 ± 0.25 b	53.05 ± 0.79 c	45.19±0.68	b
Pinto Saltillo	26 ± 0.64 a	22.05 ± 0.86 b	20.24 ± 0.95 c	27.05±0.86	a

Media de tres repeticiones ± desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

El caldo de la variedad Negro Jamapa mostró una gran eficacia en la captura de radicales DPPH+. Todas las muestras mostraron potencial antioxidante equivalente a 2-7 mM de trolox. Por su parte las muestras de caldo de frijol pinto mostraron una actividad antioxidante menor, equivalente a la de 0.6-3.5 mM de trolox (Tabla 14).

Tabla 14: Capacidad antioxidante expresada como equivalentes de Trolox

Capacidad Antioxidante vs DPPH+ (mM de trolox/ ml de caldo)					
Tratamiento					
Variedad	Sin remojo	Remojo en solución NaCl 0%	Remojo en solución NaCl 0.5%	Remojo en solución NaCl 1%	
Negro Jamapa	6.90±0.13 a	5.93±0.04 b	5.48±0.28 b	2.56±0.14 c	
Pinto Saltillo	3.53±0.14 a	3.76±0.16 a	2.16±0.01 b	0.59±0.29 c	

Media de tres repeticiones ± desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

Durante los ensayos de captura del radical DPPH se encontró una diferencia significativa entre la actividad de los caldos de ambas variedades, así como entre todos los tratamientos, donde los caldos de la variedad negro Jamapa mostraron la capacidad de capturar hasta el 28.29 % de los radicales, mientras que los caldos de frijol pinto capturaron hasta un 15.67 % de ellos (Tabla 15).

Tabla 15: Capacidad antioxidante expresado como el porcentaje de captura del radical DPPH+

Captura de radical DPPH+ (%)				
Tratamiento				
Variedad	Sin remojo	Remojo en solución 0% NaCl	Remojo en solución 0.5% NaCl	Remojo en solución 1% NaCl
Negro Jamapa	28.29 ± 0.54 a	24.39 ± 0.17 b	22.58 ± 1.13 b	10.88 ± 0.57 c
Pinto Saltillo	14.78 ± 0.58 a	15.67 ± 0.64 a	9.28 ± 0.057 b	2.98 ± 1.15 c

Media de tres repeticiones ± desviación estándar. Comparación de medias entre los tratamientos mediante una anova de una vía y una prueba de Tukey

8. Comparación de las propiedades nutricias de los caldos de frijol

A partir de los resultados obtenidos en cada prueba para cada tratamiento de las 2 variedades, se compiló la siguiente tabla para comparar las propiedades nutricias de los

caldos de frijol (Tabla 16). Con base en esta información se determinó que el caldo de frijol de la variedad negro Jamapa elaborado con un tratamiento de hidratación con un 0.5% de cloruro de sodio posee el mejor balance de cualidades nutricias para su deshidratación y consumo como alimento funcional deshidratado.

Tabla 16: Comparación de las propiedades nutricias de los caldos de frijol elaborados durante el estudio.

Variedad Tratamiento	Negro Jamapa					Pinto Saltillo				
	Frijol crudo	Sin Remojo	0 % NaCl	0.5% NaCl	1% NaCl	Frijol Crudo	Sin Remojo	0 % NaCl	0.5% NaCl	1% NaCl
Hierro a-d (ppm)	78.91±0.45	8.33±0.60	5.14±1.83	7.53±1.83	10.93±1.5	48 ± 0.68	4.8 ± 0.82	4.19±1.21	4.14 ± 0.93	2.8 ± 0.69
Hierro AA (ppm)	----	5.80±0.02	2.85±0.30	4.35±0.23	4.65±0.10	----	2.63±0.15	2.76±0.06	2.51±0.07	2.79±0.05
Fitato (mg/mL)	9.25±1.34	0.79±0.04	0.68±0.02	0.74±0.01	1.03±0.01	29.55±0.08	1.00±0.01	0.77±0.01	0.83±0.01	1.18±0.01
DPPH (meq Trolox/ml)	----	6.90±0.13	5.93±0.04	5.48±0.28	2.56±0.14	----	3.53±0.14	3.76±0.16	2.16±0.01	0.59±0.29
ABTS (meq Trolox/ml)	----	7.03±0.18	5.28±0.04	6.64±0.11	5.51±0.10	----	2.83±0.09	2.19±0.12	1.93±0.14	2.91±0.12
Folin (eq de Acido Gálico mg/ml)	----	4.37±0.02	3.64±0.02	3.04±0.01	3.91±0.02	----	1.75±0.05	1.60±0.02	1.41±0.01	1.96±0.04
Antocianinas (mg/L)	----	20.76±0.33	13.18±0.30	5.95±0.47	9.05±0.27	----	0.09±0.04	0.09±0.08	0.11±0.19	0.14±0.10

Media de tres repeticiones ± desviación estándar.

Aplicación de la tecnología de espumas para la obtención del caldo deshidratado.

9. Espumado del caldo de frijol: Tiempo de drenado (MDT), Expansión de la espuma (FE) y Densidad de la espuma (FD).

Durante las determinaciones de parámetros de la espuma obtenida a partir del caldo de frijol, se determinó el tiempo de drenado, lo que nos proporciona datos importantes para determinar si la formulación es estable. Al determinar este parámetro no se observó drenado en el lapso de 1 hora (señalado en la metodología) (Tabla 16) por lo que puede considerarse la formulación como estable. Así mismo, se observó que el formulado sufre una expansión del 175% y como consecuencia su densidad se reduce a 0.307 g/ cm³ (Tabla 16). Estas propiedades permiten que la espuma pueda ser deshidratada a una temperatura moderada en un deshidratador doméstico protegiendo así sus compuestos bioactivos.

8. Características reológicas: Viscosidad y tamaño de partícula.

Así mismo, de acuerdo a las características reológicas del caldo espumado, se determinó la naturaleza del formulado mediante la obtención de los valores k (coeficiente de consistencia) y n (índice de flujo) (Tabla 17), con los cuales se pudo determinar que la naturaleza del formulado es pseudoplástica, lo que permite que en condiciones estáticas tenga una gran estabilidad y ocurra un drenado mínimo. Los valores de k obtenidos para el caldo espumado fue de 25.728 K Pas.n mientras que para el caldo deshidratado resuspendido fueron de 1.99 K Pas.n. Los valores de n fueron de 0.2352 y 0.4775 respectivamente (Tabla 18). Por otra parte, el tamaño de partícula se mantuvo en 17.6 y 28.3 respectivamente.

Tabla 17: Propiedades físicas de la espuma de caldo de frijol

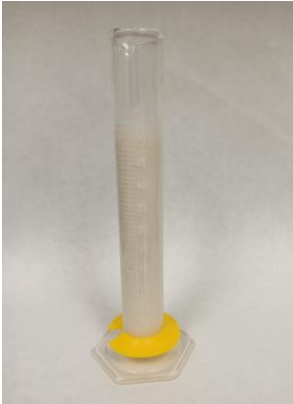


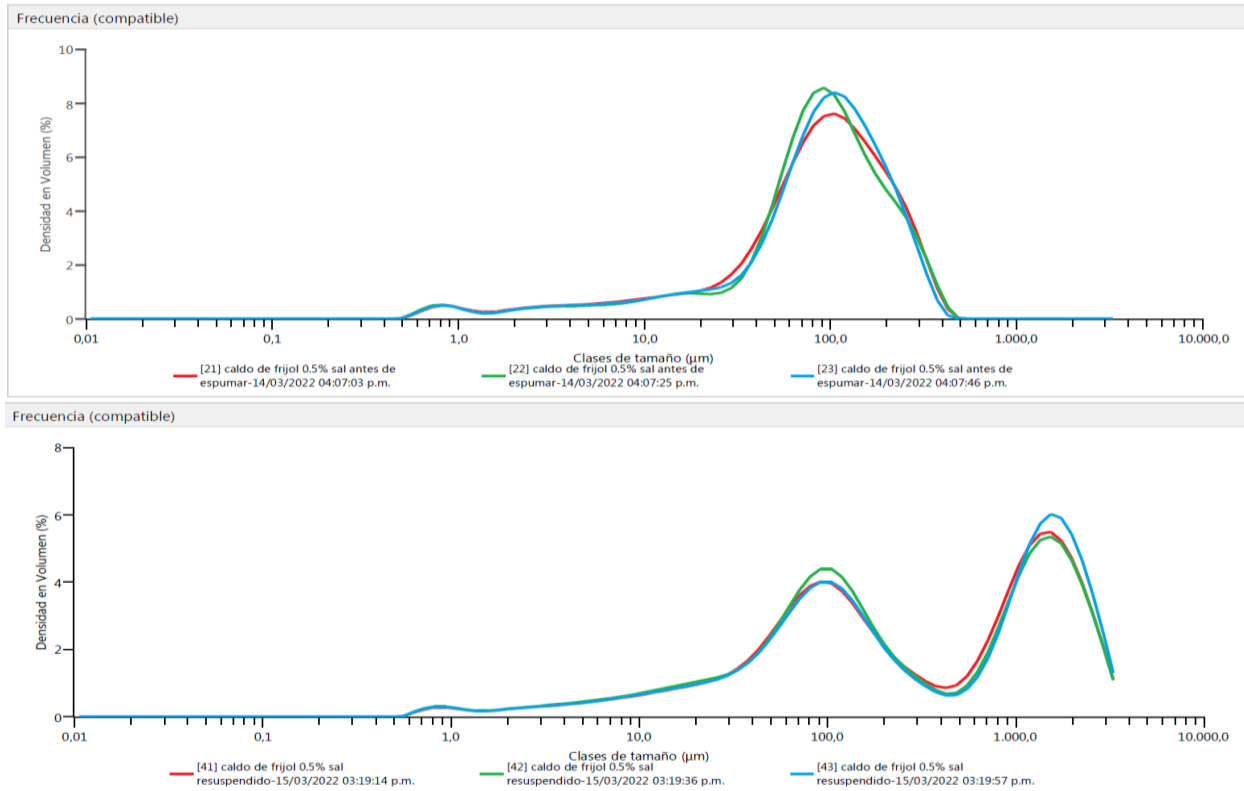
a) Tiempo medio de Drenado (MDT)	b) Expansión de la espuma (FE)	c) Densidad de la espuma (FD)
		
No se observó drenado alguno durante un periodo de 1 hora	$FE = [(v_1 - V_0) / V_0] \times 100$ $FE = [(550 - 200) / 200] \times 100$ $FE = 175\%$	$FD = (\text{Peso espuma g}) / (\text{volumen de espuma ml})$ $FD = (167.3g) / (550ml)$ $FD = 0.3078g/ml$

Tabla 18: Comparación de K y n de los formulados y sus tamaños de partícula promedio

	K (Pa·sn)	n	Tamaño de partícula (µm)
Formulado (espumado)	25.728±0.3	0.2352 ±0.02	17.6
Producto deshidratado y reconstituido	1.99 ±0.3	0.4775 ±0.01	28.7

En la Tabla 18 es posible apreciar la diferencia en la viscosidad del formulado y el caldo reconstituido, en donde el producto reconstituido tiene menor pseudoplasticidad y menor viscosidad comparada con la espuma, sin embargo, en ambos casos se detectó una tendencia a la disminución de la viscosidad a medida que aumenta la velocidad de corte, lo cual indica que ambos tienen propiedades reológicas pseudo plásticas, lo que permite que la espuma en reposo se muy estable y ligera y facilita la deshidratación. Por otra parte, también se puede apreciar un cambio en el tamaño de partícula después del tratamiento de deshidratación, ya que el tamaño de partícula promedio se ve incrementado de 17.6 µm a 28.7 µm (Figura 6).

Figura 6: Comparación de los tamaños de partículas en suspensión antes y después del proceso de deshidratación y reconstitución.



9. Análisis bromatológico

Al analizar el producto final obtenido por secado de espumas, se encontró que el alimento funcional deshidratado contiene un 5.34% de humedad en promedio, lo cual ayuda a extender su vida de anaquel. También se encontró que el porcentaje de proteína se ve drásticamente incrementado dado que el formulado contiene albúmina de huevo como agente espumante. Asimismo, el porcentaje de ceniza se ve incrementado, indicando su mayor concentración de minerales (Tabla 19).

10. Comparación de las propiedades del caldo deshidratado y un caldo de frijol comercial

Durante la comparación de las propiedades del alimento funcional deshidratado con un producto comercial (Caldo de frijoles Isadora entero) no se observó una diferencia significativa entre los niveles de hierro en el caldo de frijol deshidratado y el caldo de frijol comercial en base seca (Con valores de 79.56 ± 5.14 para el producto deshidratado mientras que para el producto comercial se obtuvieron valores de 87.60 ± 1.56) (Tabla 20). Por otra parte, se evidenció una menor capacidad

antioxidante del caldo comercial en base seca comparado con el producto deshidratado, sin embargo, el producto deshidratado contiene cerca del doble de antocianinas y apenas una quinta parte del fitato en el caldo comercial, como puede apreciarse en la Figura 7.

Tabla 19: Resultado del análisis proximal de la composición del caldo de frijol fresco y el producto deshidratado.

	Producto deshidratado	Caldo Fresco
Humedad	5.34% ± 0.001	97.54% ± 0.0002
Materia seca	94.66% ± 0.001	2.46% ± 0.0002
Ceniza	9.27% ± 0.002	14% ± 0.003
Proteína	48.97% ± 0.007	29% ± 0.009
Grasa	0.36% ± 0.000	0% ± 0.000
Fibra dietética	23.05% ± 0.007	0% ± 0.000
ELN	17.35% ± 0.000	57% ± 0.008

Media de tres repeticiones ± desviación estándar. Datos reportados en base seca para facilitar la comparación entre el producto deshidratado y el caldo fresco.

Tabla 20: Comparación de las propiedades del producto deshidratado reconstituido y el caldo comercial seleccionado como grupo control.

Prueba	Producto deshidratado reconstituido	Caldo comercial
Hierro AA (ug/g)	79.56±5.14	87.60±1.56
Hierro a-D (ug/g)	83.15±2.94	82.59±1.09
Fitato (mg/g) *	4.38±0.36	21.44±0.07
ABTS (mM de trolox/g) *	195.57±4.39	64.19±0.97
DPPH (mM de Trolox/g)*	153.30±2.31	53.17±1.32
Polifenoles totales (mg/g) *	27.56±0.11	6.06±0.06
Antocianinas (ug/g) *	211.44±7.98	27.41±1.82

Media de tres repeticiones \pm desviación estándar. * expresa diferencia significativa entre el producto deshidratado y el caldo comercial.

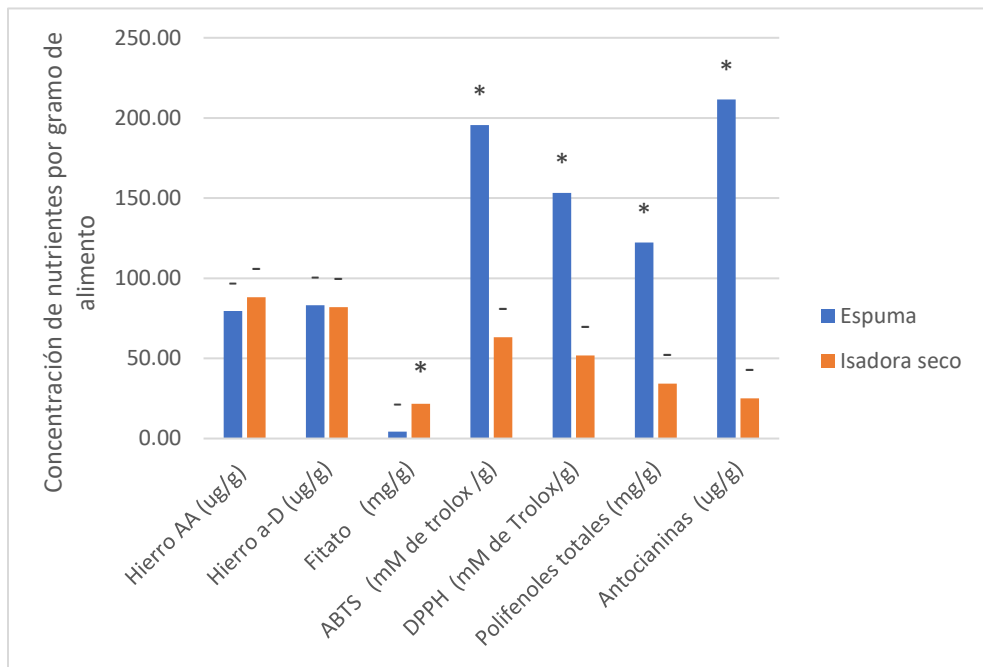


Figura 7: Comparación de las propiedades nutricias del producto deshidratado de caldo de frijol contra el caldo de frijol comercial.

VII. Discusión

Se encontró que en todos los tratamientos de remojo y variedades (Frijol pinto y negro jamapa) cerca entre un 30 y un 60% del hierro presente en el frijol fue dispersado en el medio de cocción; Siendo la mayor dispersión para el caldo de frijol negro jamapa el cual presentó cantidades mayores de hierro (comparado con el caldo de frijol pinto con el mismo tratamiento; asimismo se encontró que el tratamiento de hidratación (remojo) tuvo un efecto significativo en el proceso de lixiviación de minerales al caldo mostrando una tendencia al aumento de lixiviación de minerales en el caso del frijol Negro Jamapa. Esto es consistente con los datos reportados por Carvalho y colaboradores (2012), donde indican que cerca del 35% de los minerales presentes en la legumbre se ven dispersados en el agua durante el proceso de cocción.

Se estima que las diferencias observadas en la concentración del hierro encontradas entre ambos métodos de cuantificación (Dipiridilo Vs absorción atómica) podría deberse a la interferencia por otros iones o bien por compuestos que puedan añadir color a la reacción como lo son las antocianinas y polifenoles, que se encuentran en mayores cantidades en la testa de los frijoles negros y que a pH 4.5 adquieren un tono rojizo (Dzomba 2014, Olson et al. 2021).

De modo similar la diferencia en la tendencia observada en la lixiviación de nutrientes en el caldo de acuerdo con el tratamiento de hidratación entre ambas variedades podría deberse a un fenómeno de lixiviación facilitada por las sales de sodio y al simple hecho de que la variedad Negro Jamapa tiene un mayor contenido de hierro, por lo que es posible que, a pesar de sufrir pérdidas del mineral al desechar el agua de remojo, aun exista hierro en la legumbre que se solubiliza durante el proceso térmico (Ibrahim et al. 2002).

En materia de anti nutrientes, el ácido fítico que se detectó en el caldo, corresponde en la mayoría de los casos a menos de un 50% del ácido fítico detectado en el frijol, esto es consistente con los datos reportados por Shimelis y Ranskit en el 2004, donde se encontró que con un método de hidratación y cocción adecuados se puede reducir hasta en un 60% la concentración de fitato en frijol, aumentando así la digestibilidad de la proteína del mismo. Las diferencias en la concentración de Fitato entre cada tratamiento de remojo se atribuyen también a la concentración de sales de sodio, de modo similar a lo encontrado por Shimelis y Ranskit (2004) al utilizar bicarbonato en los tratamientos de hidratación.

Se encontró también que los frijoles negros dispersaron al caldo entre 0.05 y 0.1 mg de antocianinas por gramo de legumbre. En un estudio previo se han logrado extraer hasta 0.47 mg de antocianinas por gramo de frijol, realizando una extracción estática con solventes por una noche (Akond et al. 2011). La diferencia en estos resultados puede atribuirse a los diferentes solventes y el tiempo de extracción. En el caso de polifenoles se encontró que entre 0.71 y 2.19 de polifenoles fueron dispersados en el medio de cocción y que, en todos los casos, el contenido de polifenoles de los caldos de frijol negro fue mayor. Esto es consistente con estudios previos que señalan que las variedades de frijol negro contienen más polifenoles que variedades con testa roja, amarilla y pinta (Akond et al. 2011).

La concentración de antocianinas y Polifenoles se ve directamente afectada por el tratamiento de remojo previo a la cocción ya que ambas sustancias son solubles en agua y se pueden ver afectadas por el proceso de remojo y/o el proceso térmico de cocción del frijol (Xu and Chang 2009). De esta manera, se observa que los caldos elaborados como grupo control (Sin tratamiento de remojo), conservan una mayor concentración de polifenoles y antocianinas que los otros grupos.

Se estima que la diferencia de la capacidad antioxidante observada en la misma variedad de frijol, pero con diferentes métodos: ABTS y DPPH, podría deberse a la diferencia química y estructural de los radicales y su interacción con la muestra. De acuerdo con la literatura consultada, el ensayo de captura de radicales ABTS+ muestra una mayor correlación con los valores estimados con la prueba ORAC y los contenidos de polifenoles y flavonoides en alimentos y bebidas, por lo que es considerada más precisa (Floegel et al. 2011).

Por otra parte, se ha correlacionado la concentración de polifenoles totales y antocianinas con la capacidad antioxidante de un alimento, por ejemplo, al analizar los datos del presente estudio, se encontró una correlación de Pearson de 0.92 entre las concentraciones de polifenoles totales y la capacidad antioxidante frente al radical libre ABTS+ en ambas variedades y utilizando los datos de todos los tratamientos de hidratación. Esto se asemeja mucho a los resultados reportados por Akond et al; (2011) quienes reportaron un coeficiente de correlación de 0.86 entre la concentración de polifenoles totales y la capacidad antioxidante de extractos de frijol negro.

Las pruebas de espumado y secado, fueron realizadas en el caldo de frijol negro elaborado con un tratamiento de remojo previo con 0.5% de Sal, debido a los resultados obtenidos que mostraron mayor cantidad de hierro y menor cantidad de fitato; Este producto deshidratado, fue comparado

con un caldo comercial como referencia de mejora en el producto funcional si fuese el caso; se encontró que la concentración de hierro por gramo del caldo deshidratado no difiere significativamente de la del producto comercial actualmente en el mercado (caldo de frijol isadora entero). Asimismo, se encontró que la cantidad de fitato en el producto deshidratado se ve altamente disminuida y que la capacidad antioxidante no se ve severamente afectada por el tratamiento de deshidratación. Esto nos marca la pauta para tener un producto rico en hierro, el cual al contener bajas cantidades de fitato, podría resultar en una mejor absorción del mismo. Por otra parte, la actividad antioxidante encontrada en el producto deshidratado, podría coadyuvar a la recuperación de pacientes ya que de acuerdo con Akond et al (2011), los pacientes con anemia por deficiencia de hierro pueden padecer de estrés oxidativo o tener reacciones inflamatorias prolongadas por la malnutrición, además se ha sugerido que la ingesta de suplementos de hierro junto con antioxidantes naturales puede ayudar a mitigar el estrés oxidativo e inflamatorio y acelerar la recuperación de pacientes con Anemia (Cotoraci et al. 2021).

La viscosidad de un producto es de suma importancia para una buena textura del producto final. Los valores de k y n , representan las características viscoelásticas del producto. Valores bajos de n (menores que 1) representan un comportamiento pseudoplástico, mientras que valores altos de k representan una mayor viscosidad (Castillo et al. 2021). No obstante, el caldo natural tiene un comportamiento newtoniano, con valores de n muy cercanos a 1 y de k muy bajos, pues la viscosidad del producto natural es baja. Al realizar el análisis para k y n del caldo deshidratado y reconstituido, se observan valores de k de 1.99 y de n de 0.4775, por lo que a pesar de que la viscosidad representada por k es baja, el comportamiento pseudoplástico representado por n sigue presente. Es importante mejorar la formulación de reconstitución del producto, para obtener un valor de n más alto y de esta forma, podamos tener un producto más parecido al producto natural y que sea agradable para quien lo consuma.

En el caso de la obtención de la espuma de caldo de frijol, para su correcto secado, es importante mantener el comportamiento pseudoplástico y mayor viscosidad de la espuma, que de acuerdo a los datos de k y n obtenidos, esta condición se cumplió. Al medir el tamaño de partícula de la espuma, se obtuvo un pequeño tamaño promedio de la suspensión, que permitieron la formación de una espuma estable, por lo que no presentó drenado. El espumado del caldo de frijol redujo su densidad en un 66%, lo que permitió deshidratar el formulado, a una temperatura moderada de

45°C que protege los elementos sensibles al calor y la oxidación (Sangamithra et al. 2015). Este método requiere una menor inversión inicial que un proceso de liofilización y permite la utilización de una temperatura moderada lo que protege los compuestos bioactivos del alimento (Kumar and Mishra 2004, Kadam and Balasubramanian 2011, Gallardo-Rivera et al. 2021).

Finalmente, el producto deshidratado cuenta con un 46% de proteína, cerca de 80 µg de Hierro por gramo de peso seco, así como una cantidad reducida de Fitato (46%) y actividad antioxidante, por lo que cumple con los criterios de un alimento funcional de acuerdo con lo establecido por Câmara et al. 2013. Y dado que contiene menos de un 10% de humedad y tiene una baja actividad de agua (0.35 ± 0.004) el alimento no requiere refrigeración, y la probabilidad de crecimiento de microorganismos patógenos se ve disminuida (Badui Dergal, 2013).

Estos resultados son alentadores, al obtener un producto funcional deshidratado con menor cantidad de antinutrientes como el fitato además de preservar sus características antioxidantes, nutricionales y la presencia de hierro, lo cual nos alienta a seguir adelante mejorando la formulación para utilizar este producto como ingrediente adicional o como un producto funcional que al ser resuspendido nos provea nutrimentos que coadyuven a la recuperación de la anemia ferropénica.

VIII. Conclusiones

La combinación de técnicas de hidratación y cocción modifican las propiedades nutritivas del caldo de frijol.

El producto deshidratado de caldo de frijol contiene una cantidad similar de hierro a la legumbre cruda y una cantidad reducida del anti nutriente fitato.

Sus propiedades nutricias, sus compuestos bioactivos y su baja actividad de agua hacen al alimento deshidratado de caldo de frijol un potencial alimento funcional para coadyuvar al consumo de hierro en la población.

Perspectivas.

Este alimento puede ser mejorado mediante combinaciones con otros alimentos en su formulación. Su secado fácil y de bajo costo lo hacen elegible para formar parte de materias primas para complementar alimentos.

Se sugiere un estudio de vida útil del alimento empacado para comprobar su estabilidad en el anaquel.

IX. Bibliografía

- Akond G, Khandaker L, Berthold J, Gates L, Peters K, Delong H&, Hossain K. 2011. Anthocyanin, Total Polyphenols and Antioxidant Activity of Common Bean. *American Journal of Food Technology* 6: 385–394.
- Allen L, de Benoist B, Dary O, Hurrell R. 2006. Guidelines on Food Fortification With Micronutrients. World Health Organization, Food and Agriculture Organization, ISBN 92 4 159401 2.
- Álvarez M, Hernández G, Rosas B, Ochoa M, Núñez de Villavicencio M, Gutiérrez E. 2016. Empleo de harina de frijol blanco en panificación. *Ciencia y tecnología de alimentos* 13: 275–285.
- Anastasia S S, Soehartono S, Ngadiyono N, Muchlis M, Dyah D. 2017. Effect of Consuming Green Bean (*Phaseolus Radiatus*) Juice on Maternal Blood Profile During Pregnancy. *Belitung Nursing Journal* 3: 515–524.
- Ariza-Nieto M, Blair MW, Welch RM, Glahn RP. 2007. Screening of iron bioavailability patterns in eight bean (*Phaseolus vulgaris L.*) genotypes using the Caco-2 cell in vitro model. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 7950–7956.
- Badui Dergal S. 2006. Química de los alimentos. México: Pearson Educación. 4ta edición. p. 15-19.
- Blair MW, Astudillo C, Grusak MA, Graham R, Beebe SE. 2009. Inheritance of seed iron and zinc concentrations in common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Molecular Breeding* 23: 197–207.
- Cámara CRS, Urrea CA, Schlegel V. 2013. Pinto beans (*Phaseolus vulgaris L.*) as a functional food: Implications on human health. *Agriculture (Switzerland)* 3: 90–111.
- Carmona-García R, Osorio-Díaz P, Agama-Acevedol E, Tovar J, Bello-Pérez LA. 2007. Composition and effect of soaking on starch digestibility of *Phaseolus vulgaris (L.)* cv. “Mayocoba.” *International Journal of Food Science and Technology* 42: 296–302.
- Carvalho LMJ, Corrêa MM, Pereira EJ, Nutti MR, Carvalho JLV, Ribeiro EMG, Freitas SC. 2012. Iron and zinc retention in common beans (*Phaseolus vulgaris L.*) after home cooking. *Food and Nutrition Research* 56: 1–6.
- Chávez-Mendoza C, Hernández-Figueroa KI, Sánchez E. 2019. Antioxidant capacity and phytonutrient content in the seed coat and cotyledon of common beans (*Phaseolus vulgaris L.*) from various regions in Mexico. *Antioxidants* 8:5; doi:10.3390
- Chávez-Mendoza C, Sánchez E. 2017. Bioactive compounds from mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health. *Molecules* 22:1360.
- Cotoraci C, Ciceu A, Sasu A, Hermenean A. 2021. Natural antioxidants in Anemia treatment. *International Journal of Molecular Sciences* 22: 1–29.
- Deshmukh PR, Garg BS, Bharambe MS. 2008. Effectiveness of Weekly Supplementation of Iron to Control Anaemia Among Adolescent Girls of Nashik , Maharashtra , India. 26: 74–78.
- Díaz-Batalla L, Widholm JM, Fahey GC, Castaño-Tostado E, Paredes-López O. 2006. Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 2045–2052.
- Domínguez BM, Gómez MVI, León FR. 2002. Acido fítico: Aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* 52: 219–231.
- Dreyfuss RJSML. 1998. GUIDELINES FOR THE USE OF IRON SUPPLEMENTS TO PREVENT AND

TREAT IRON DEFICIENCY ANEMIA prepared by Dr. Rebecca Stoltzfus and Ms. Washington, D.C: ILSI Press.

- Dueik V, Chen BK, Diosady LL. 2017. Iron-polyphenol interaction reduces iron bioavailability in fortified tea: Competing complexation to ensure iron bioavailability. *Journal of Food Quality* 2017. 7, <https://doi.org/10.1155/2017/1805047>.
- Dzomba P, Togarepi E, Mupa M. 2014. Anthocyanin content and antioxidant activities of common bean species (*Phaseolus vulgaris L.*) grown in Mashonaland Central, Zimbabwe. *African Journal of Agricultural Research* 8(25): 3330-3333.
- Eisele T, Giusti MM, Hofsommer H, Koswig S, Krueger DA, Kupina S, Martin SK, Martinsen BK, Miller TC, Paquette F, Ryabkova A, Skrede G, Trenn U, Wightman JD. 2005. Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study. *JOURNAL OF AOAC INTERNATIONAL* 88: 1269–1278.
- Feitosa S, Greiner R, Meinhardt AK, Müller A, Almeida DT, Posten C. 2018. Effect of traditional household processes on iron, zinc and copper bioaccessibility in black bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Foods* 7 (8): 123, <https://doi.org/10.3390/foods7080123>.
- Fernandes I, Marques C, Évora A, Faria A, Calhau C, Mateus N, Freitas V De. 2018. Anthocyanins: Nutrition and Health. *Bioactive Molecules in Food*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54528-8_79-1
- Fisberg M, Tosatti AM. 2011. Enrichment of iron and folic acid: The real need and the dangers of this initiative. *Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia* 33: 94–95.
- Floegel A, Kim DO, Chung SJ, Koo SI, Chun OK. 2011. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 24: 1043–1048.
- Gallardo-Rivera C, Báez-González JG, García-Alanís KG, Torres-Alvarez C, Dares-Sánchez K, Szymanski A, Amaya-Guerra CA, Castillo S. 2021. Effect of three types of drying on the viability of lactic acid bacteria in foam-mat dried yogurt. *Processes* 9: 1–14.
- Gao Y, Shang C, Saghai Maroof MA, Biyashev RM, Grabau EA, Kwanyuen P, Burton JW, Buss GR. 2007. A modified colorimetric method for phytic acid analysis in soybean. *Crop Science* 47: 1797–1803.
- Gera ÑT, Sachdev HPS, Nestel P, Sachdev SS. 2007. Effect of Iron Supplementation on Haemoglobin Response in Children: Systematic Review of Randomised Controlled Trials. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* 44. 468–486.
- Gera T, Sachdev HS, Boy E. 2012. Effect of iron-fortified foods on hematologic and biological outcomes: systematic review of randomized controlled trials 1 – 4. *American Journal of Clinical Nutrition* 96: 309–324.
- Ghose B, Yaya S. 2018. Fruit and vegetable consumption and anemia among adult non-pregnant women: Ghana Demographic and Health Survey. *PeerJ* 2018: 1–16.
- Girard AW, Olude O. 2012. Nutrition education and counselling provided during pregnancy: Effects on maternal, neonatal and child health outcomes. *Paediatric and Perinatal Epidemiology* 26: 191–204.
- Haas JD, Luna S V., Lung'aho MG, Wenger MJ, Murray-Kolb LE, Beebe S, Gahutu JB, Egli IM. 2016. Consuming iron biofortified beans increases iron status in rwandan women after 128 days in a randomized controlled feeding trial. *Journal of Nutrition* 146: 1586–1592.

- Haileslassie HA, Henry CJ, Tyler RT. 2016. Impact of household food processing strategies on antinutrient (phytate, tannin and polyphenol) contents of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.): a review. *International Journal of Food Science and Technology* 51: 1947–1957.
- Hardy Z, Jideani VA. 2017. Foam-mat drying technology: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57: 2560–2572.
- Hayat I, Ahmad A, Masud T, Ahmed A, Bashir S. 2014. Nutritional and Health Perspectives of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54: 580–592.
- Henriquez Guajardo FA. 2014. COMPARACION DE LA CALIDAD CULINARIA Y DEL ANALISIS BROMATOLOGICO PROXIMAL DE LA ESPECIE *Phaseolus vulgaris* L. (FRIJOL COMUN) VARIEDAD CHAPARRASTIQUE Y LA IMPORTADA DE CHINA. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
- Herrera-Hernández I, Armendariz-Fernández V, Muñoz-Márquez E, Sida-arreola, J y Sanches E. 2018. Characterization of Bioactive Compounds , Mineral Grown And antioxidant capacity in Semi-Arid Conditions in Zacatecas , Mexico. *Foods* 7: 199.
- Hertzendorf MS, Moshy RJ, Seltzer E. 1970. Foam Drying In The Food Industry. *Critical Reviews in Food Technology* 1: 25–70.
- Huma N, Anjum FM, Sehar S, Issa Khan M, Hussain S. 2008. Effect of soaking and cooking on nutritional quality and safety of legumes. *Nutrition and Food Science* 38: 570–577.
- Iniestra-González JJ, Ibarra-Pérez FJ, Gallegos-Infante JA, Rocha-Guzmán NE, González Laredo RF. 2005. Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencia* 39: 603–610.
- Kadam DM, Balasubramanian S. 2011. Foam mat drying of tomato juice. *Journal of Food Processing and Preservation* 35: 488–495.
- Kok, A. D.-X., Yoon, L. L., Sekeli, R., Yeong, W. C., Yusof, Z. N. B., & Song, L. K. (2018). Iron Biofortification of Rice: Progress and Prospects. InTech. doi: 10.5772/intechopen.73572
- Kudra T, Ratti C. 2006. Foam-mat drying: Energy and cost analyses. *Canadian Biosystems Engineering / Le Genie des biosystems au Canada* 48: 27–32.
- Kumar P, Mishra HN. 2004. Yoghurt Powder — a Review of Process. *Food and Bioproducts Processing* 82 (C2): 133–142.
- De la Cruz-Góngora V, Martínez-Tapia B, Cuevas-Nasu L, Rangel-Baltazar E, Medina-Zacarías MC, García-Guerra A, Villalpando S, Rebollar R, Shamah-Levy T. 2019. Anemia, deficiencias de zinc y hierro, consumo de suplementos y morbilidad en niños mexicanos de 1 a 4 años: resultados de la Ensanut 100k. *Salud Pública de México* 61: 821.
- Lyimo M, Mugula J, Elias T. 1992. Nutritive composition of broth from selected bean varieties cooked for various periods. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 58: 535–539.
- Ma Q, Kim E, Lindsay EA, Han O. 2011. Bioactive Dietary Polyphenols Inhibit Heme Iron Absorption in A Dose-Dependent Manner in Human Intestinal Caco-2 cells. *Journal of food science and technology* 76: 1–19.
- Mantadakis E, Chatzimichael E, Zikidou P. 2020. Iron deficiency anemia in children residing in high and low-income countries: Risk factors, prevention, diagnosis and therapy. *Mediterranean Journal of Hematology and Infectious Diseases* 2020: 12.

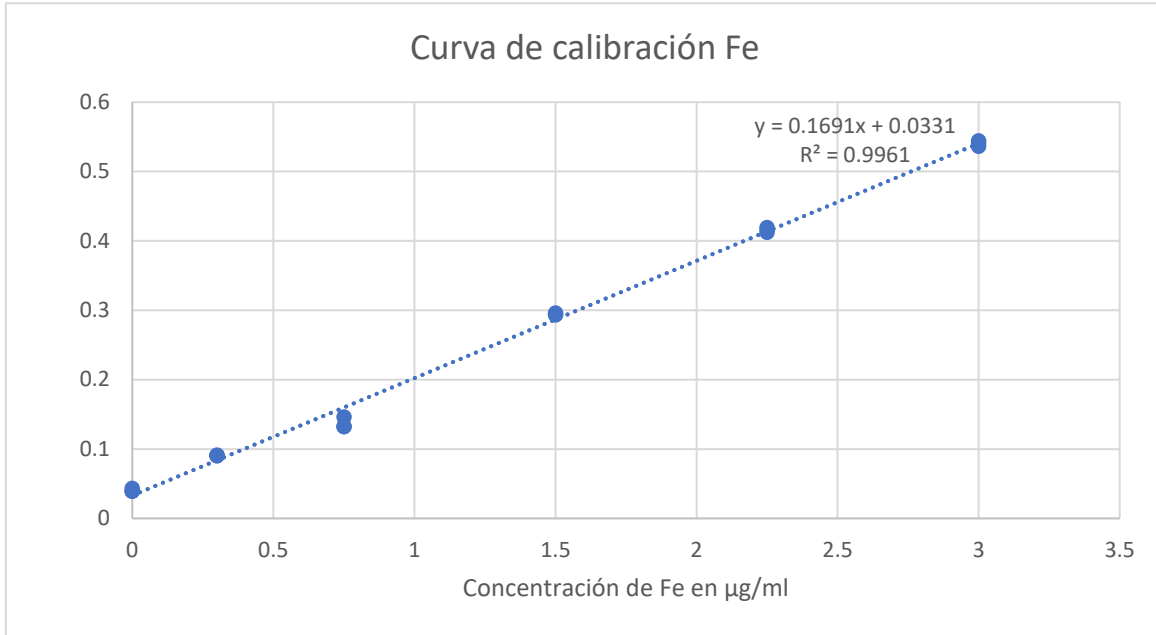
- Martínez-Salgado H, Casanueva E, Rivera-Dommarco J, Viteri F, Bourges-Rodríguez H. 2008. La deficiencia de hierro y la anemia en niños mexicanos: Acciones para prevenirlas y corregirlas. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México (Ed. española)* 65: 86–99.
- Martínez O, Baptista H. 2019. Anemia por deficiencia de hierro en niños: un problema de salud nacional. *Rev Hematol Mex.* 2019 abril-junio 20: 96–105.
- Mazhar M, Kabir N, Simjee SU. 2018. Quercetin modulates iron homeostasis and iNOS expression of splenic macrophages in a rat model of iron deficiency anemia. *Chinese Journal of Natural Medicines* 16: 580–589.
- McLean E, Cogswell M, Egli I, Wojdyla D, De Benoist B. 2009. Worldwide prevalence of anaemia, WHO Vitamin and Mineral Nutrition Information System, 1993–2005. *Public Health Nutrition* 12: 444–454.
- Moorthy D, Merrill R, Namaste S, Iannotti L. 2020. The Impact of Nutrition-Specific and Nutrition-Sensitive Interventions on Hemoglobin Concentrations and Anemia: A Meta-review of Systematic Reviews. *Advances in Nutrition* 11: 1631–1645.
- Muñoz Velázquez E, Rubio Hernández D, Bernal Lugo I, Garza García R, Jacinto Hernández C. 2009. Caracterización de genotipos nativos de frijol del estado de Hidalgo, con base a calidad del grano. *Agricultura técnica en México* 35: 429–438.
- Murray-Kolb LE, Beard JL. 2007. Iron treatment normalizes cognitive functioning in young women. *American Journal of Clinical Nutrition* 85: 778–787.
- Nikmaram N, Leong SY, Koubaa M, Zhu Z, Barba FJ, Greiner R, Oey I, Roohinejad S. 2017. Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food Control* 79: 62–73.
- Oliveira Assis AM, Gaudenzi EN, Gomes G, de Cássia Ribeiro R, Szarfarc SC, de Souza SB. 2004. Hemoglobin concentration, breastfeeding and complementary feeding in the first year of life. *Revista de Saude Publica* 38: 543–551.
- Olson, R.; Gavin-Smith, B.; Ferraboschi, C.; Kraemer, K. Food Fortification: The Advantages, Disadvantages and Lessons from Sight and Life Programs. *Nutrients* 2021, 13, 1118. <https://doi.org/10.3390/nu13041118>
- Ozgen M, Reese RN, Tulio AZ, Scheerens JC, Miller AR. 2006. Modified 2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 1151–1157.
- Petry N, Egli I, Zeder C, Walczyk T, Hurrell R. 2010. Polyphenols and phytic acid contribute to the low iron bioavailability from common beans in young women. *Journal of Nutrition* 140: 1977–1982.
- Poersch NL, Ribeiro ND, Rosa DP, Possobom MTD. 2011. Genetic control of potassium content of common bean seeds. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 46: 626–632.
- Ramirez-Gutierrez J. 2019. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE ESPUMAS FORMULADAS CON CALDO DE FRIJOL Y SU SECADO TRADICIONAL. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ranilla LG, Genovese MI, Lajolo FM. 2007. Polyphenols and antioxidant capacity of seed coat and cotyledon from Brazilian and Peruvian bean cultivars (*Phaseolus vulgaris L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 90–98.
- Rezende AA, Pacheco MTB, da SILVA VSN, Ferreira TAP de C. 2018. Nutritional and protein quality of dry brazilian beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *Food Science and Technology* 38: 421–427.

- SAGARPA. 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Secretaria De Agricultura. Avenida Municipio Libre, Col. Santa Cruz Atoyac, Del. Benito Juárez, C.P. 03310, Ciudad de México.
- Sánchez Chávez E, Fernández Valeriano AF. 2017. Estudio de las propiedades físico-químicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova Scientia* 9: 133.
- Sangamithra A, Venkatachalam S, John SG, Kuppuswamy K. 2015. Foam Mat Drying of Food Materials: A Review. *Journal of Food Processing and Preservation* 39: 3165–3174.
- Santiago-Ramos D, Figueroa-Cárdenas J de D, Véles-Medina JJ, Salazar R. 2018. Physicochemical properties of nixtamalized black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *Food Chemistry* 240: 456–462.
- Santoyo-Sánchez A, Aponte-Castillo JA, Parra-Peña RI, Ramos-Peñafoel CO. 2015. Dietary recommendations in patients with deficiency anaemia. *Revista Médica Del Hospital General De México* 78: 144–150.
- Sermini CG, Acevedo MJ, Arredondo M. 2017. Biomarkers of metabolism and iron nutrition. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica* 34: 690–698.
- Shamah-Levy T, Vielma-Orozco E, Heredia-Hernández, O. Romero-Martínez, M. Mojica-Cuevas J, Cuevas-Nasu L, Santaella-Castell J, Rivera-Dommarco J. 2020. Encuesta nacional de Salud y Nutrición 2018-19. Cuernavaca, México: INEGI-INSP. 189-193.
- Shimelis EA, Rakshit SK. 2007. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *Food Chemistry* 103: 161–172.
- da Silva Lopes K, Yamaji N, Rahman MO, Suto M, Takemoto Y, Garcia-Casal MN, Ota E. 2021. Nutrition-specific interventions for preventing and controlling anaemia throughout the life cycle: an overview of systematic reviews. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2021: 8. DOI: 10.1002/14651858.CD013092
- Sotelo Á, Mendoza J, Argote RM. 2002. Contenido de ácido fítico en algunos alimentos crudos y procesados. Validación de un método colorimétrico. *Revista de la Sociedad Química de México* 46: 301–306.
- Spohrer R, Larson M, Maurin C, Laillou A, Capanzana M, Garrett GS. 2013. The growing importance of staple foods and condiments used as ingredients in the food industry and implications for large-scale food fortification programs in Southeast Asia. *Food and nutrition bulletin* 34: 50–61.
- Stanco GG. 2007. Funcionamiento intelectual y rendimiento escolar en niños con anemia y deficiencia de hierro. *Colombia Medica* 38: 24–33.
- Stoltzfus RJ and Dreyfuss ML (2003) Guidelines for the use of iron supplements to prevent and treat iron deficiency anemia. Washington DC: ILSI Press. 11-15
- Sullivan, D. J. (1977). Collaborative study of a spectrophotometric determination of ferric, ferrous, and total iron in drugs by reaction with alpha,alpha'-dipyridyl. *Journal - Association of Official Analytical Chemists*, 60(6), 1350–1354
- Tako E, Beebe SE, Reed S, Hart JJ, Glahn RP. 2014. Polyphenolic compounds appear to limit the nutritional benefit of biofortified higher iron black bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Nutrition Journal* 13: 1–9.
- Teoh LS, Lasekan O, Azeez S. 2016. Quality Characteristics and Volatile Compounds of Foam Mat Dried Corn Flour. *Journal of Food Quality* 39: 456–464.
- Tonutare T, Moor U, Szajdak L. 2014. STRAWBERRY ANTHOCYANIN DETERMINATION BY pH DIFFERENTIAL SPECTROSCOPIC METHOD – HOW TO GET TRUE RESULTS ? 13: 35–47.

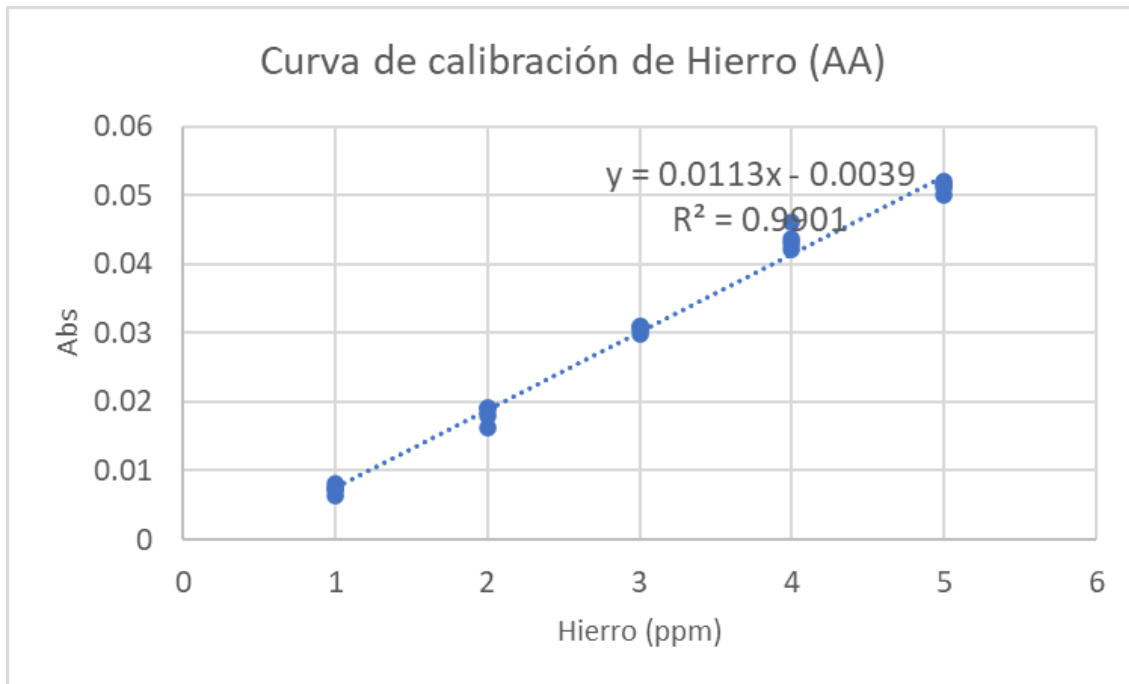
- Tuorila H, Monteleone E. 2009. Sensory food science in the changing society: Opportunities, needs, and challenges. *Trends in Food Science and Technology* 20: 54–62.
- Valdés ST, Coelho CMM, Michelluti DJ, Tramonte VLCCG. 2011. Association of genotype and preparation methods on the antioxidant activity, and antinutrients in common beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *LWT - Food Science and Technology* 44: 2104–2111.
- Villagómez Estrada KP, Mosiño Jasso A, Prieto Patron A. 2017. Impacto De La Anemia En El Desempeño Escolar De Niños Y Adolescentes En México. *Jóvenes En La Ciencia* 3: 382–386.
- Waldvogel-Abramowski S, Waeber G, Gassner C, Buser A, Frey BM, Favrat B, Tissot JD. 2014. Physiology of iron metabolism. *Transfusion Medicine and Hemotherapy* 41: 213–221.
- Wiesinger JA, Cichy KA, Hooper SD, Hart JJ, Glahn RP. 2020. Processing white or yellow dry beans (*Phaseolus vulgaris L.*) into a heat treated flour enhances the iron bioavailability of bean-based pastas. *Journal of Functional Foods* 71: 104018.
- Wiesinger JA, Cichy KA, Tako E, Glahn RP. 2018. The fast cooking and enhanced iron bioavailability properties of the manteca yellow bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Nutrients* 10: 1609; doi:10.3390/nu10111609.
- Yalçın SS, Tezel B, Yurdakök K, Pekcan G, Özbaş S, Köksal E, Tunç B, Şahinli S, Altunsu AT, Rifat M, Buzgan T, Akdağ R. 2013. A community-based iron supplementation program, “Iron-like Turkey”, and the following prevalence of anemia among infants aged 12-23 months. *Turkish Journal of Pediatrics* 55: 16–28.
- Zimmermann MB, Zeder C, Chaouki N, Saad A, Torresani T, Hurrell RF. 2003. Dual fortification of salt with iodine and microencapsulated iron : a randomized , double-blind , controlled trial in Moroccan Schoolchildren. *American Journal of Clinical Nutrition*. 77: 425-432

X. **Anexo**

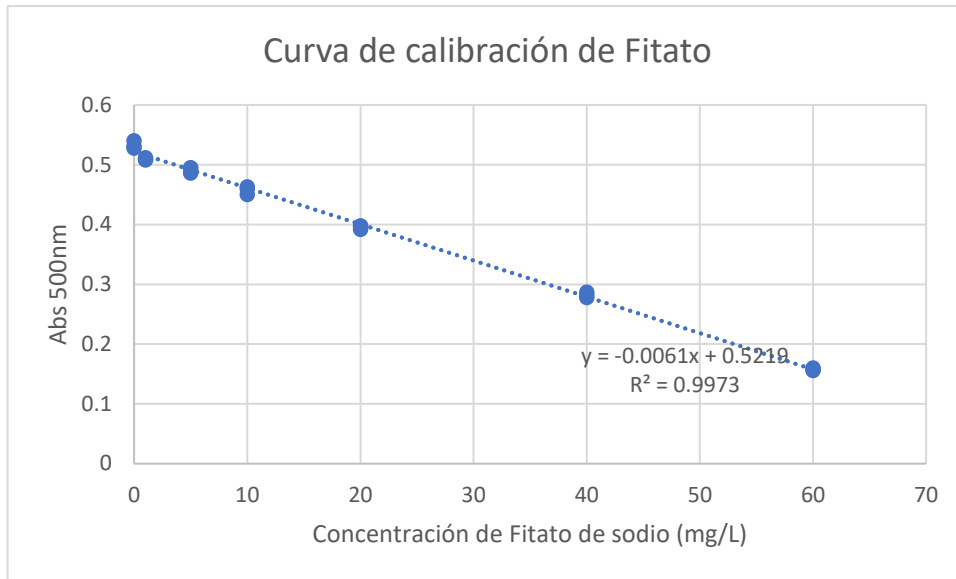
Curvas de calibración de pruebas cuantitativas espectrofotométricas



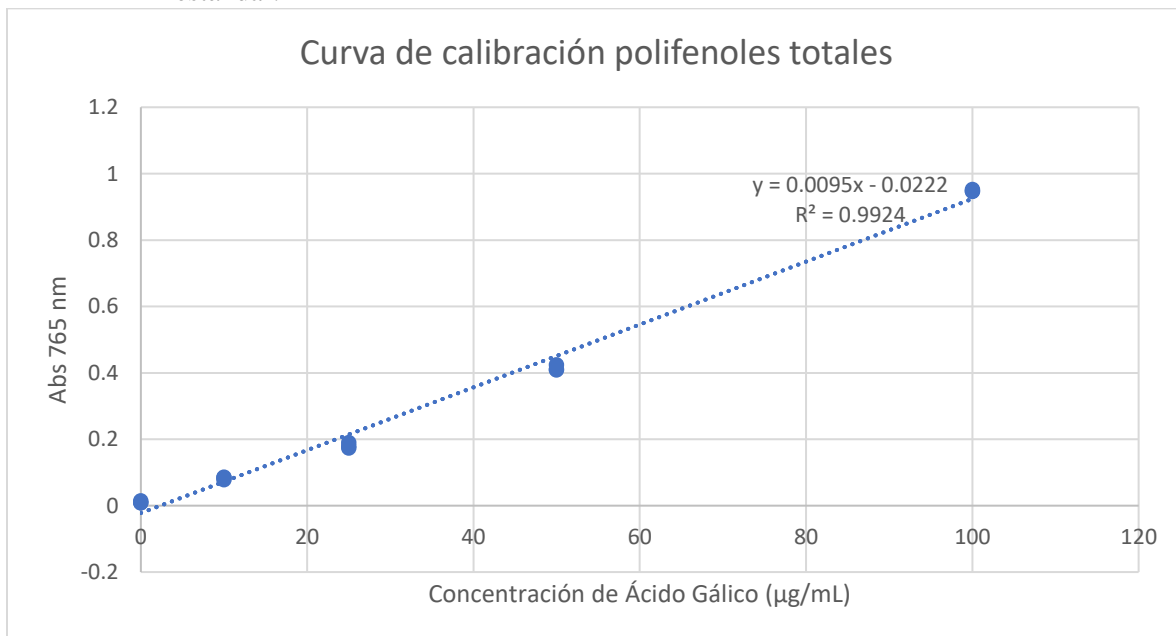
a. Curva de calibración para cuantificación de Hierro por el método de alfa dipiridilo



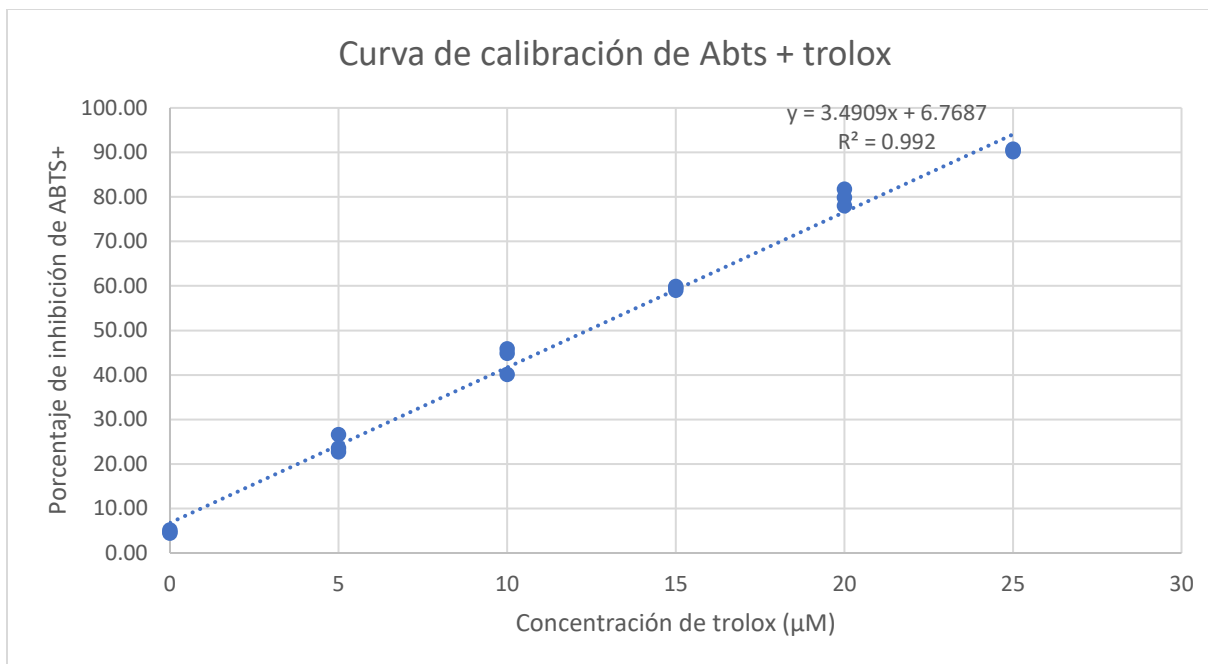
b. Curva de calibración para cuantificación de Hierro por el Espectro de absorción atómica



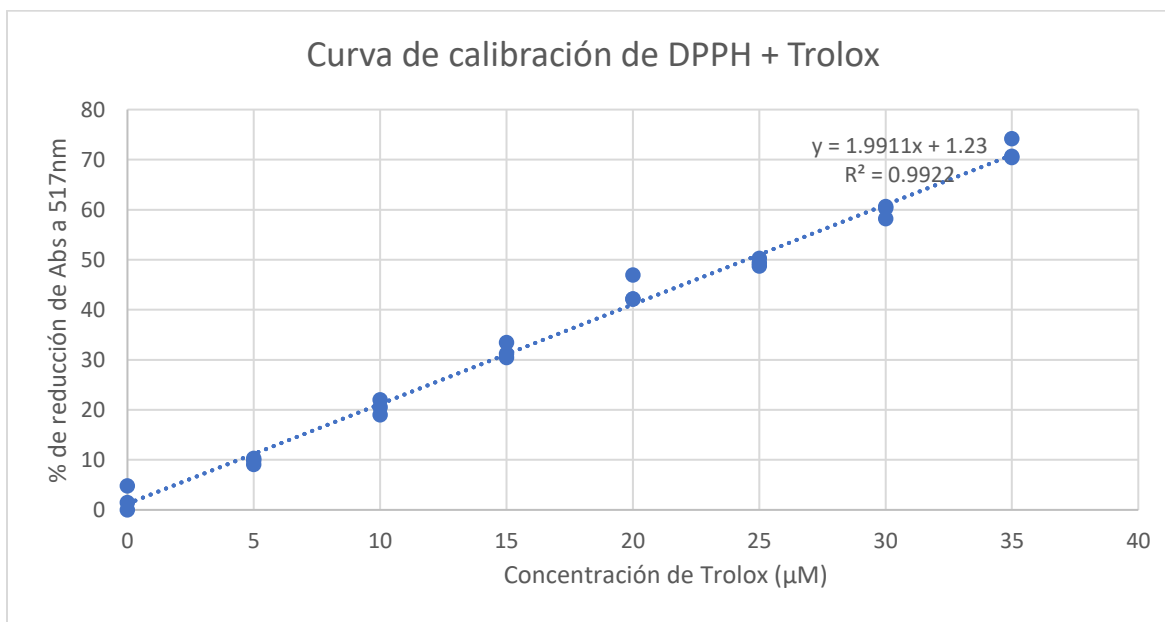
c. Curva de calibración para la cuantificación de ácido fítico utilizando fitato de sodio como estándar.



d. Curva de calibración para la cuantificación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu utilizando ácido galico como estándar



e. Curva de calibración de porcentaje de captura del radical ABTS+ utilizando trolox como estándar



f. Curva de calibración de porcentaje de captura del radical DPPH+ utilizando trolox como estándar