

REPOSITORIO ACADÉMICO DIGITAL INSTITUCIONAL

INNOVACIÓN ALIMENTARIA: FORMULACIÓN DE TOSTADAS DE HABA (*Vicia faba* L.) FORTIFICADAS CON HIERRO (FUMARATO FERROSO).

Autor: INGRID RUBI ROMERO CAMPUZANO

**Tesis presentada para obtener el título de:
LICENCIADA EN NUTRICIÓN**

**Nombre del asesor:
MCQ ABEL SUÁREZ CASTRO**

Este documento está disponible para su consulta en el Repositorio Académico Digital Institucional de la Universidad Vasco de Quiroga, cuyo objetivo es integrar, organizar, almacenar, preservar y difundir en formato digital la producción intelectual resultante de la actividad académica, científica e investigadora de los diferentes campus de la universidad, para beneficio de la comunidad universitaria.

Esta iniciativa está a cargo del Centro de Información y Documentación "Dr. Silvio Zavala" que lleva adelante las tareas de gestión y coordinación para la concreción de los objetivos planteados.

Esta Tesis se publica bajo licencia Creative Commons de tipo "Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada", se permite su consulta siempre y cuando se mantenga el reconocimiento de sus autores, no se haga uso comercial de las obras derivadas.





FACULTAD EN CIENCIAS DE LA SALUD

ESCUELA DE NUTRICIÓN

**INNOVACIÓN ALIMENTARIA: FORMULACIÓN DE
TOSTADAS DE HABA (*Vicia faba L.*)
FORTIFICADAS CON HIERRO (FUMARATO
FERROSO).**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA EN
NUTRICIÓN

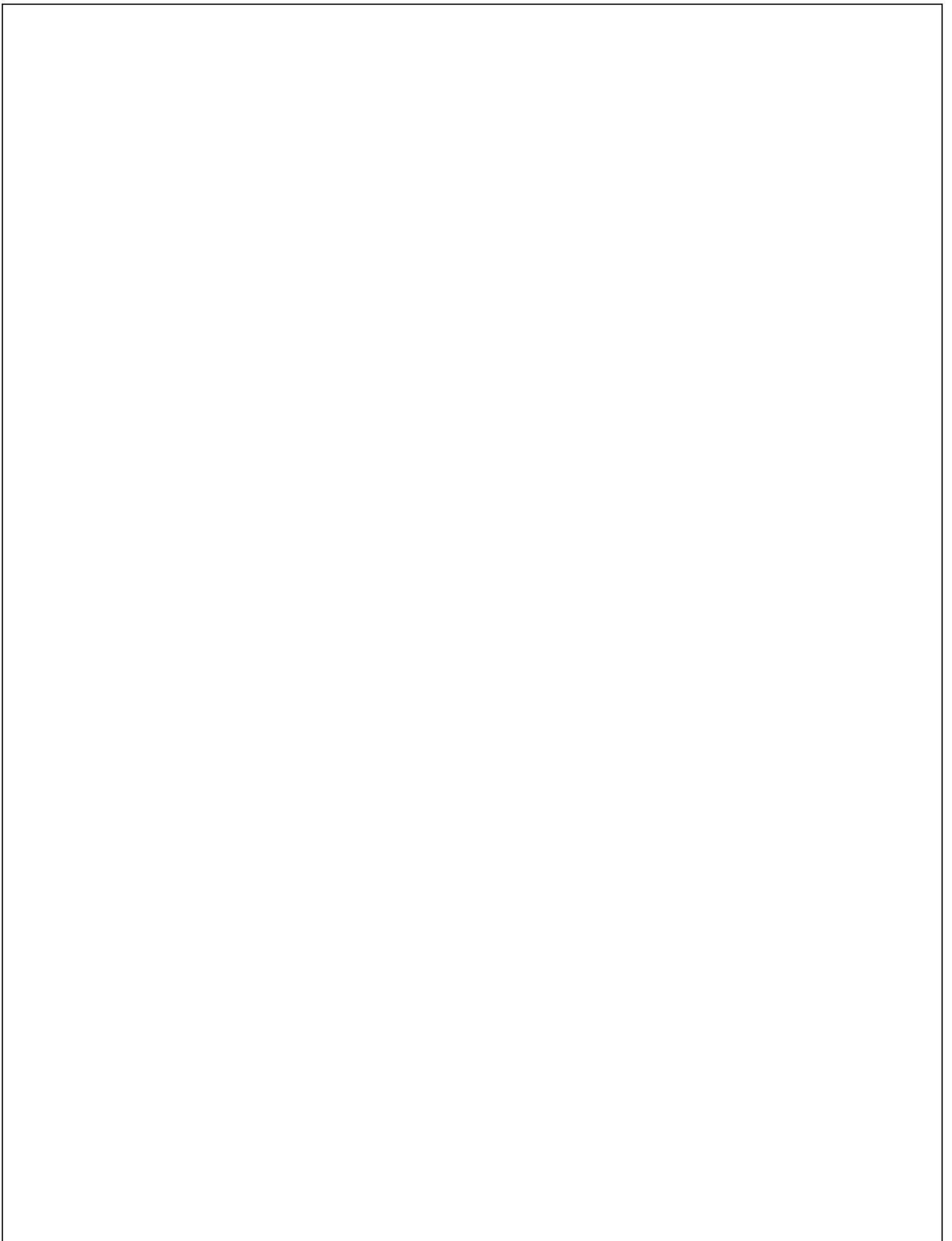
PRESENTA:

INGRID RUBI ROMERO CAMPUZANO

DIRECTOR DE TESIS:

MCQ ABEL SUÁREZ CASTRO

MORELIA MICHOACÁN, NOVIEMBRE DE 2018



AGRADECIMIENTOS

El momento llegó que concluí el trabajo de tesis, primero que nada, le agradezco a Dios por darme la fortaleza para llevar a cabo este proyecto en mi vida, que empezó con un sueño que no pensé que se hiciera realidad, pero poco a poco y con ayuda de muchas personas que me brindaron apoyo y su cariño.

Agradezco que me brindó unos padres excepcionales que a pesar de los momentos de alegría, tristeza, desesperación, angustia y tranquilidad siempre me apoyaron en todos los aspectos.

Papito sé que no puedes leer esto y que nunca pasara, pero estas líneas son para ti estoy eternamente agradecida por darme ese ejemplo y como decías “siempre da lo mejor de ti y reconocer los errores porque esos nos hacen mejores personas”, y siempre estar conmigo físicamente y ahora en espíritu.

Mamá mi incondicional, gracias por siempre ser mi mejor juez, mi guía y darme la fortaleza que la vida sigue y se debe seguir a delante a pesar de las adversidades.

Mis hermanas mis mejores compañeras de vida que Dios me pudo mandar a pesar de las diferencias siempre están para lo que necesite.

Mis amigas por el apoyo que me brindaron para lo que empezó siendo una locura, las quiero mucho.

Y todo esto no su hubiese logrado a mi mejor maestro, mi asesor, una gran persona y es MCQ. Abel del cual agradezco infinitamente por su gran apoyo, por escucharme, guiarme y más que nada ayudarme para que este sueño se hiciera realidad.

¡Muchas Gracias!

Y que Dios los bendiga siempre.

Los quiere demasiado Ingrid Rubí Romero Campuzano

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	I
LISTA DE ABREVIATURAS	VII
LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICAS.....	IX
LISTA DE TABLAS.....	X
I. RESUMEN.....	1
ABSTRACT	3
II. INTRODUCCIÓN.....	5
III. MARCO TEÓRICO.....	6
CAPÍTULO I HIERRO	6
3.1 GENERALIDADES DEL HIERRO.....	6
3.1.1 TIPO Y FORMA.....	6
3.1.2 IMPORTANCIA BIOLÓGICA.....	6
3.1.3 FUNCIONES COMO NUTRIENTE.....	6
3.1.4 FUENTES ALIMENTARIAS.....	6
3.1.5 METABOLISMO.....	7
3.2 INSUFICIENCIA Y DEFICIENCIA DE HIERRO.....	8
3.2.1 INSUFICIENCIA DE HIERRO.....	8
3.2.2 DEFICIENCIA DE HIERRO.....	8
3.2.3 CAUSAS Y FACTORES ASOCIADOS.....	8
3.2.4 PREVALENCIA.....	8
3.3 CONSECUENCIAS E IMPLICACIONES POR DEFICIENCIA DE HIERRO.....	9
3.3.1 DESARROLLO MENTAL.....	9
3.3.2 RIESGO DE DESARROLLAR ENFERMEDADES CRÓNICAS.....	9
3.3.3 REGULACION DE LA TEMPERATURA CORPORAL.....	9
3.3.4 ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE LA CÉLULAS EPITELIALES.....	10
3.4 REQUERIMIENTOS DE HIERRO EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE LA VIDA... ..	10
3.4.1 MUJER EMBARAZADA Y LACTANDO.....	10
3.4.2 RECIÉN NACIDOS.....	10
3.4.3 PREESCOLAR.....	11
3.4.4 ADULTO.....	11

3.4.5 ADULTO MAYOR.....	11
3.5 FORTIFICACIÓN CON HIERRO.	12
3.5.1 SELECCIÓN DE COMPUESTOS QUE CONTIENEN HIERRO.....	12
3.5.2 OBLIGATORIA.....	12
3.5.3 FOCALIZADA.....	12
3.5.4 VOLUNTARIA.	12
CAPÍTULO II ALIMENTOS FORTIFICADOS CON HIERRO.....	13
3.6 COMPUESTOS DE HIERRO PARA LA FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS.....	13
3.6.1 COMPUESTOS DE HIERRO INORGÁNICO.	13
3.6.2 COMPUESTOS DE HIERRO PROTEGIDO.	13
3.7 COMPATIBILIDAD TECNOLÓGICA Y NIVELES DE FORTIFICACIÓN.....	13
3.7.1 EFECTOS INDESEABLES Y DOSIS POTENCIALMENTE DAÑINA PARA EL ORGANISMO.....	14
CAPÍTULO III INNOVACIÓN ALIMENTARIA A BASE DE HABA (<i>Vicia faba</i> L.).....	16
3.8 INNOVACIÓN ALIMENTARIA.	16
3.9 ALIMENTOS FUNCIONALES.	16
3.10 HABA.....	16
3.10.1 TAXONOMÍA, ORIGEN Y VARIEDADES.	16
3.10.2 PRODUCCIÓN Y CONSUMO.....	17
3.10.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	17
3.11 ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTARIOS A BASE DE HABA.....	18
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
V. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	19
VI. JUSTIFICACIÓN.....	19
VII. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	19
7.1 HIPÓTESIS NULA	20
VIII. OBJETIVO GENERAL.....	20
8.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
IX. MATERIALES Y MÉTODOS	20
9.1 TIPO DE ESTUDIO.....	21
9.2 ALCANCE.....	21
9.3 ÁREA DE ESTUDIO.....	21

9.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.	21
9.5 CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	21
9.6 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.	21
9.7 VARIABLES.....	21
9.8 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	23
9.8.1 Formulación de las tostadas de haba (<i>Vicia faba L.</i>).....	23
9.8.2 Cálculos estequiométricos para la fortificación de las tostadas de haba (<i>Vicia faba L.</i>) con hierro (fumarato ferroso).	24
9.8.3 Determinación de la concentración real de hierro en las tostadas de haba después de su fortificación.	25
9.8.4 Análisis bromatológico.....	25
9.8.5 Modelo de experimentación en animales.	26
9.8.6 Degustación de las tostadas de haba (<i>Vicia faba L.</i>) fortificadas con hierro (fumarato ferroso).....	28
9.9 Instrumentos para la obtención de los datos.....	29
9.10 Análisis estadístico.....	29
X. PLAN DE TRABAJO.	29
10.1 RECURSOS HUMANOS.....	29
10.2 RECURSOS MATERIALES.....	30
10.3 RECURSOS FINANCIEROS.....	30
XI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
11.1 Determinación de la concentración real de hierro en las tostadas de haba después de su fortificación.....	31
11.2 Análisis bromatológico.....	32
11.3 Determinación de las concentraciones de hierro plasmático en los animales de experimentación.	36
11.4 Estudio de la aceptación del producto en base a escalas de tipo Likert	42
XII.CONCLUSIONES.....	45
XIII. REFERENCIAS.	47
XIV. ANEXOS.	49

LISTA DE ABREVIATURAS

°C (*grado Centígrado*)

FF (*Fumarato Ferroso*)

g (*gramo*)

gxTH (*gramos por tostadas de haba*)

h (*hora*)

HB (*Haba*)

IDR (*Ingesta Diaria Recomendada*)

Kcal (*kilocaloría*)

μg (*microgramo*)

μL (*microlitro*)

μm (*micrómetro*)

M (*molar*)

m/m (*masa/masa*)

mm (*milímetro*)

mg (*miligramo*)

min (*minuto*)

mL (*mililitro*)

mM (*milimolar*)

MT (*moles totales*)

NZ (*Nueva Zelanda*)

NH (*Niveles de hierro*)

P (*peso*)

pp (*puntos porcentuales*)

PAFe (*peso atómico de hierro*)

RPT (*Resultado de la porción total*)

RTH (*Ración tostadas de haba*)

uma (*unidades de masa atómica*)

LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICAS

Figura 1. Flujograma en general del proceso metodológico	23
Figura 2. Flujograma del proceso de elaboración, formulación y fortificación de la tostada de haba.....	24
Figura 3. Tostada de haba (<i>Vicia faba L.</i>) fortificada con hierro (fumarato ferroso)	31
Figura 4. Animal de experimentación, conejo Nueva Zelanda número cinco (caso).....	50
Figura 5. Animal de experimentación, conejo Nueva Zelanda número cuatro (caso).....	50
Figura 6. Animal de experimentación, conejo Nueva Zelanda número tres (caso; alimentado con tostada de haba fortificada con hierro).....	51
Figura 7. Animal de experimentación, conejo Nueva Zelanda número dos (caso; alimentado con tostada de haba fortificada con hierro).....	51
Figura 8. Animal de experimentación, conejo Nueva Zelanda número uno (control).....	52
Figura 9. Animales de experimentación, conejo Nueva Zelanda (casos).....	52
Figura 10. Animal de experimentación, conejo Nueva Zelanda ; evidencia del consumo de tostada de haba fortificada con hierro.....	53
Figura 11. Muestras de sangre de los animales de experimentación.....	53
Figura 12. Toma da muestra de sangre en animal de experimentación.....	54
Gráfica 1. Comportamiento de niveles de hierro plasmático en los conejos sometidos al experimento.....	38
Gráfica 2. Comparación de la concentración promedio de hierro plasmático en los cinco conejos.....	42
Gráfica 3. Resultados de la encuesta de aceptación sobre la apariencia de las tostadas.....	43
Gráfica 4. Resultados de la encuesta de aceptación sobre la textura de las tostadas.....	44
Gráfica 5. Resultados de la encuesta de aceptación sobre el color, olor y sabor de las tostadas.....	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables	22
Tabla 2. Cantidades de alimento convencional y suplementos que contienen hierro administrado a los conejos según el peso y el diseño experimental propuesto.	27
Tabla 3. Instrumento para aplicar la encuesta sobre las características organolépticas de la tostada de haba.	29
Tabla 4. Lista de material y/o equipo necesario para la formulación de las tostadas de haba fortificadas con fumarato ferroso	
Tabla 5. Información Nutricional de la Tostada de haba (<i>Vicia faba L.</i>) fortificada con hierro (fumarato ferroso).	33
Tabla 6. Resultados de los parámetros analizados en el análisis bromatológico	34
Tabla 7. Resultados de los ácidos grasos y % relativo	34
Tabla 8. Resultados de los ácidos grasos por cada 100 g de muestra	35
Tabla 9. Resultados de hierro plasmático de cada conejo por semana.	36
Tabla 10. Concentración de hierro plasmático y peso de los conejos por semana.	39
Tabla 11. Comparación y cálculo del promedio y desviación estándar de las concentraciones de hierro plasmático de los conejos empleados en el experimento.....	41

I. RESUMEN

Innovación alimentaria: Formulación de Tostadas de Haba (*Vicia faba L.*) Fortificadas con Hierro (fumarato ferroso).

Palabras clave: *Tostadas de haba, fortificación con fumarato ferroso, concentración plasmática de hierro.*

Introducción: El hierro es un oligoelemento esencial para la vida. En la actualidad la principal deficiencia en cuanto a micronutrientes es de hierro (Forrellat M, 2000). Dentro del cuerpo humano, el hierro participa en la mayoría de los procesos de oxidación y reducción en los que participan hemoproteínas, en donde puede considerarse que su papel se basa por formar parte de dos compartimientos: uno funcional, formando por los numerosos compuestos, entre los que se incluyen la hemoglobina, la mioglobina, la transferrina y las enzimas. La fortificación es el proceso en el que: se administra una cantidad de un nutriente con el fin de mejorar su calidad para las personas que lo consumen, en general con el objeto de reducir o controlar una carencia de nutrientes. Uno de los alimentos que es buena fuente de hierro es el haba (*Vicia faba L.*), siendo una leguminosa abundante en nuestro país.

Objetivo: Encontrar la formulación adecuada de tostadas a base de haba (*Vicia faba L.*) que cumpla con la fortificación voluntaria de hierro (fumarato ferroso).

Material y métodos: Estudio exploratorio experimental. La cantidad de fumarato ferroso para fortificar las tostadas de haba fue determinada por estequiometría y se comprobó con espectroscopía de absorción atómica. La composición nutrimental se obtuvo con un estudio bromatológico. Se exploraron los cambios en la concentración plasmática de hierro semanalmente por efecto de la alimentación con las tostadas formuladas en cinco conejos Nueva Zelanda durante cinco semanas dividiéndose en tres grupos, dos fueron alimentados con tostadas y otros dos con

fumarato ferroso en proporciones equivalentes del alimento fortificado y de fumarato ferroso comercial además de la administración de vitamina C. El conejo restante fue tomado como control. Se midió el hierro plasmático con inmunofluorescencia comparando los resultados con estadística descriptiva. La aceptación organoléptica del producto se realizó con la aplicación de encuestas tipo Likert.

Resultados: la cantidad de hierro de la fortificación fue de 5.22mg en 90g. La composición nutrimental por cada 90g fue: 219.6Cal; proteínas: 17.55g; lípidos:0.99 g y glúcidos: 35.19g. La concentración plasmática de hierro se analizó comparando al conejo 2 con el 4 teniendo una diferencia promedio de 70.2 $\mu\text{g/dL}$; DE=19.7, y el conejo 3 con el 5 la diferencia promedio fue de 22.4 $\mu\text{g/dL}$; DE= 22.0. el conejo 1 (control) tuvo una concentración plasmática de hierro promedio de 160.3 $\mu\text{g/dL}$; DE=47.5. La degustación de las tostadas fue altamente aceptable.

Conclusión: se obtuvieron tostadas de haba fortificadas con fumarato ferroso con una concentración de hierro adecuada según las guías de fortificación de América latina y el Caribe. La comparación del hierro plasmático muestra un incremento en el promedio de este micronutriente en los conejos alimentados con las tostadas comparados con los que recibieron fumarato ferroso. Los cálculos de la desviación estándar de las diferencias de hierro plasmático nos dan la pauta para proponer estudios experimentales con un mayor número de modelos de experimentación animal.

ABSTRACT

Food innovation: Formulation of Broad bean Toasts (*Vicia faba L.*) Fortified with Iron (ferrous fumarate).

Key words: Broad bean tostadas, fortification with ferrous fumarate, iron plasma concentration.

Introduction: Iron is an essential trace element for life. At present, the main deficiency in micronutrients is iron (Forrellat M, 2000). Within the human body, iron participates in most of the processes of oxidation and reduction of haemoproteins, where its role can be based on being part of two compartments: functional, formed by the numerous compounds, between those that include haemoglobin, myoglobin, transferrin and enzymes. Fortification is the process in which: a quantity of a nutrient is administered to improve its quality for the people who consume it, in general to reduce or control a lack of nutrients. One of the foods that is good source of iron is the broad bean (*Vicia faba L.*), being an abundant legume in our country

Objective: To formulate broad bean-based tostadas fortified with ferrous fumarate, which have an acceptable nutritional composition and to explore the concentration of plasma iron in New Zealand rabbits after being fed the formulated tostadas.

Material and methods: Experimental and exploratory study. The amount of ferrous fumarate to fortify the tostadas of broad bean was determined by stoichiometry and was verified with atomic absorption spectroscopy method. The nutritional composition was obtained with a bromatological study. Changes in iron plasma concentration were explored weekly by feeding effect with the formulated tostadas in five New Zealand rabbits for five weeks divided into three groups, two were fed tostadas and another two with ferrous fumarate in equivalent proportions of the fortified feed. and of commercial ferrous fumarate in addition to the administration of vitamin C. The remaining rabbit was taken as control. Plasma iron was measured with immunofluorescence method comparing the results with descriptive statistics. The organoleptic acceptance of the product was carried out with the application of Likert type surveys.

Results: the amount of iron in the fortification was 5.22mg in 90g. The nutritional composition for each 90g was: 219.6Cal; proteins:17.55g; lipids: 0.99g and carbohydrates: 35.19g. Plasma iron concentration was analysed by comparing rabbits 2 with 4 having an average difference of 70.2 $\mu\text{g} / \text{dL}$; SD = 19.7, and rabbit 3 with 5 the average difference was 22.4 $\mu\text{g} / \text{dL}$; SD = 22.0. rabbit 1 (control) had an average iron plasma concentration of 160.3 $\mu\text{g} / \text{dL}$; SD = 47.5. The tasting of the tostadas was highly acceptable.

Conclusion: broad bean tostadas fortified with ferrous fumarate were obtained with an adequate iron concentration according to the fortification guidelines of Latin America and the Caribbean. The comparison of plasma iron shows an increase in the average of this micronutrient in rabbits fed toast compared to those that received ferrous fumarate. The calculations of the standard deviation of plasma iron differences give us the guidelines to propose experimental studies with a greater number of models of animal experimentation.

II. INTRODUCCIÓN

El hierro es un oligoelemento esencial para la vida. En la actualidad la principal deficiencia en cuanto a micronutrientes es de hierro (Forrellat M, 2000). Dentro del cuerpo humano, el hierro participa en la mayoría de los procesos de oxidación y reducción en los que participan hemoproteínas, en donde puede considerarse que su papel se basa por formar parte de dos compartimientos: uno funcional, formando por numerosas enzimas oxido-reductasas que contienen grupo hemo, y el compartimiento de depósito, constituido por la ferritina y la hemosiderina, que constituye sus reservas corporales. La absorción del hierro depende del tipo de hierro que se ingiera, es decir, hemo o no hemo. La absorción del hierro inorgánico por la acción del ácido clorhídrico del estómago pasa de un estado oxidado a su forma reducida, (hierro ferroso), que es la forma química soluble capaz de atravesar la membrana de la mucosa intestinal (Beard John L, 1996), su absorción más eficiente se da en el duodeno y la parte alta del yeyuno, debido a la existencia de un receptor específico para su paso a través de la membrana del enterocito teniendo en cuenta que la apotransferrina del citosol contribuye a este proceso aumentando la velocidad y eficacia de la absorción de hierro.

La fortificación es el proceso en el que: se administra una cantidad de un nutriente con el fin de mejorar su calidad para las personas que lo consumen, en general con el objeto de reducir o controlar una carencia de nutrientes. Uno de los alimentos que es buena fuente de hierro es el haba (*Vicia faba L.*), un alimento del grupo de las leguminosas, fuente importante de hierro y de amplio consumo en nuestro país. El cual representará la materia prima para la formulación de un alimento con aporte de hierro, como una opción adicional al tratamiento farmacológico alopático y homeopático, así como al de la farmaconutrición basada en el consumo de suplementos alimenticios con un aporte importante del mismo mineral

III. MARCO TEÓRICO.

CAPÍTULO I HIERRO

3.1 GENERALIDADES DEL HIERRO.

3.1.1 TIPO Y FORMA.

El hierro (Fe) está clasificado como un metal de peso atómico 55.847uma, su abundancia es de aproximadamente el 4% de la corteza terrestre, es muy reactivo con las especies de oxígeno libres (óxidos), y se comporta como un cofactor durante los procesos catalíticos de las hemoproteínas (Forrellat M, 2000).

3.1.2 IMPORTANCIA BIOLÓGICA.

Es uno de los cofactores necesario para las reacciones de óxido-reducción, debido a su capacidad de modificar sus estados de oxidación (+2; +3) haciéndolo un factor estabilizante de especies reactivas que contienen oxígeno. La mayoría de los mamíferos lo utilizan como parte de su sistema de generación de energía, debido a que los seres primitivos en un principio se presume que se encontraron en una zona donde el oxígeno era abundante, llevando a estos organismos vivos a sintetizar moléculas que tuvieran capacidad de unir el hierro para aprovechar su efecto catalítico como cofactor (Pérez G. , 2005).

3.1.3 FUNCIONES COMO NUTRIENTE.

El hierro es un micronutriente necesario pues les proporciona funcionalidad a las enzimas de la clase 1 (oxido-reductasas) y a las hemoproteínas. Dentro del metabolismo, su papel como micronutriente es el de coadyuvar en la generación de energía ya sea a través del transporte de oxígeno por la hemoglobina o bien por la mioglobina y en última instancia, en la membrana interna mitocondrial a través de los citocromos b y c y en los complejos I, II y IV los cuales juegan un papel muy importante en el metabolismo aerobio dentro de la fosforilación oxidativa (Forrellat M, 2000).

3.1.4 FUENTES ALIMENTARIAS.

En los alimentos se encuentra el hierro en dos formas:

El hierro hemo se encuentra en los alimentos de origen animal, formando parte de las proteínas hemoglobina y mioglobina y por otro lado, el hierro no hemo se encuentra contenido en los vegetales. El hierro se absorbe mucho mejor que el que se encuentra en los alimentos de origen vegetal. Las fuentes alimentarias de hierro hemo son: vísceras (hígado, riñón, corazón, etc.) carnes rojas, aves y pescados (un 40% del hierro de la mayoría de estos alimentos es hierro hemo). Mientras que las fuentes alimentarias de hierro no hemo, son: los alimentos de origen vegetal, tales como: leguminosas, frutos secos y algunas verduras; el cual se absorbe en pequeñas cantidades, comparado con una fuente de origen animal. El hierro no hemo en los alimentos de origen vegetal, principalmente en leguminosas, frutos secos y algunas verduras se absorbe en muy pequeñas cantidades.

El 10% del hierro que diariamente ingiere una persona es hierro hemo, del que se absorbe más de un 20%. Por ello, se recomienda que, al menos, un 25% del hierro provenga de alimentos de origen animal. Por el contrario, sólo del 2- 20% del hierro no hemo es absorbido, dependiendo de las reservas de hierro y de otros factores dietéticos. Por ejemplo, la vitamina C favorece la absorción del hierro no hemo de los alimentos de origen vegetal (Angeles, 2013).

3.1.5 METABOLISMO.

El metabolismo del hierro sigue desde su absorción en el duodeno y la parte alta del yeyuno siendo el ácido clorhídrico y la vitamina C dos factores reductores para asegurar la entrada de hierro a través de los enterocitos del borde de cepillo del lumen intestinal. Una vez dentro del torrente sanguíneo, el hierro es transportado por la proteína transferrina y es liberado a favor de un gradiente de concentración en los diferentes tejidos y órganos donde es requerido. Prácticamente todos los tejidos ocupan hierro al tener enzimas y proteínas que contienen el grupo hemo llevando a clasificar al hierro como: funcional y de depósito. Primero funcional por estar presente en los miles de proteínas que contienen un grupo protésico como el grupo hemo que ocupa de hierro para poder ejercer su efecto catalítico o de transporte de especies reactivas de oxígeno. Y de depósito de la proteína ferritina que se encarga de almacenarlo en el hígado (Forrellat M, 2000).

3.2 INSUFICIENCIA Y DEFICIENCIA DE HIERRO.

3.2.1 INSUFICIENCIA DE HIERRO.

La insuficiencia de hierro es un problema nutricional común en nuestra población. Se han establecido múltiples factores para llegar a la disminución de su concentración plasmática. El nivel normal de hierro es de 37.0 – 170.0 µg/dL, por lo tanto, las concentraciones por debajo de ese nivel se consideran como insuficiencia. El resultado inmediato por la deficiencia de hierro es la anemia ferropénica (Lagua & Claudio, 2007).

3.2.2 DEFICIENCIA DE HIERRO.

Es cuando se da la incapacidad del organismo para: absorber, transportar, almacenar y aprovechar el hierro para los procesos normales de síntesis de hemoproteínas o bien de enzimas oxido-reductasas. Se considera deficiencia de hierro cuando sus niveles plasmáticos están por debajo de 37.0 µg/dL. Es hasta este entonces que debe haber una suplementación bien sea con alimentos funcionales fortificados o bien adicionados con hierro (OMS, 2001).

3.2.3 CAUSAS Y FACTORES ASOCIADOS.

La homeostasis del hierro depende de varios factores como la dieta, la biodisponibilidad, la eliminación excesiva, la etapa de crecimiento en la que se encuentre o bien alguna condición clínica que no debe ser siempre por causa de la enfermedad como, por ejemplo, el embarazo. Una ventaja del hierro hemínico a nivel de la absorción es que el no necesita sufrir ninguna modificación química adicional. La producción de células hemáticas como los glóbulos rojos determina en gran medida, la cantidad de hierro absorbido a nivel intestinal (Comite Nacional de Hematología Oncológica y Medicina Transfusional, Comité Nacional de Nutrición., 2017).

3.2.4 PREVALENCIA.

A nivel global según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la prevalencia fue de 29% de lo cual son 533 millones de mujeres con anemia, la cifra es alarmante debido que con este padecimiento trae consecuencias en la salud como son una

mayor mortalidad materna, respuesta inmune disminuida, la productividad disminuye y aumenta el riesgo a enfermedades cardiovasculares.

En México según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de 2006 y 2012 hay una disminución de la prevalencia de 4.8 pp, tanto en áreas urbanas o rurales, comparando en el 2006 al 2012 disminuyo 4.8 pp, en el año 2016 en comparación con el 2012 incremento 6.7pp, esto significa que existe un problema de salud pública, se deberán aplicar acciones para atender el problema (Levy, 2017).

3.3 CONSECUENCIAS E IMPLICACIONES POR DEFICIENCIA DE HIERRO.

3.3.1 DESARROLLO MENTAL.

La deficiencia de hierro presenta un papel sumamente importante para el desarrollo mental, se ha demostrado que es indispensable para que se lleve a cabo una adecuada mielinización de los oligodendrocitos, cabe resaltar que este tipo de células requieren hierro para poder sintetizar colesterol a través de las enzimas del citocromo P450, las cuales ocupan hierro como cofactor. Se ha demostrado que la deficiencia de hierro en las primeras etapas de la vida puede causar retraso en el desarrollo mental (Casanueva & Kaufer-Horwitz, 2010).

3.3.2 RIESGO DE DESARROLLAR ENFERMEDADES CRÓNICAS.

Cuando existe alguna deficiencia de hierro en el ser humano se provoca un cambio de retroalimentación positiva al incrementar la captación de oxígeno derivado del incremento del número de células cardíacas, lo que puede conllevar al desarrollo del incremento de la tensión arterial. Otra complicación importante es el desarrollo de la anemia ferropénica derivado directamente primero de la deficiencia de hierro y en seguida por la ausencia de este.

3.3.3 REGULACION DE LA TEMPERATURA CORPORAL.

La regulación de la temperatura es un problema frecuente asociado a la función tiroidea y la deficiencia de hierro asociada a la secreción de la hormona estimulante de la tiroides y por consecuencia a la de las hormonas tiroideas (triyodotironina: T3) (Casanueva & Kaufer-Horwitz, 2010).

3.3.4 ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE LA CÉLULAS EPITELIALES.

Cuando el hierro es deficiente en las células epiteliales, éstas sufren una reestructuración en la función del epitelio en donde los tejidos más afectados son las uñas, la lengua, boca, hipofaringe, estómago, cabello y piel. A nivel gastrointestinal las papilas de la lengua sufren atrofia, enrojecimiento y una sensación de quemadura; a nivel del estómago se reducen de las secreciones gástricas provocando una pérdida de la cantidad de ácido clorhídrico (HCl), luego la de la pepsina y, por último, la del factor intrínseco del cual se puede atribuir a otras deficiencias (Casanueva & Kaufer-Horwitz, 2010).

3.4 REQUERIMIENTOS DE HIERRO EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE LA VIDA.

3.4.1 MUJER EMBARAZADA Y LACTANDO.

La deficiencia de hierro durante el embarazo tiene efectos adversos tanto en la madre como en su hijo. Las concentraciones bajas de hemoglobina a lo largo de la gestación se vinculan con una mayor morbilidad y mortalidad materna, la madre se enfrenta a limitaciones para realizar actividad física, puede sufrir abortos espontáneos, tiene el riesgo de una mayor incidencia de que aparezcan complicaciones ginecobstetricias, partos prematuros y bajo peso al nacer (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

La ingestión diaria sugerida de hierro en la mujer embarazada es de 28-29mg al día, en cuando están lactando es de <6 meses 17-19mg y >6 meses 25mg (Casanueva & Kaufer-Horwitz, 2010).

3.4.2 RECIÉN NACIDOS.

Los recién nacidos cuentan con una reserva de hierro que refleja los depósitos de hierro maternos prenatales, las madres con deficiencia de hierro durante el embarazo transmiten menos hierro al feto, lo cual tal vez aumente el riesgo de anemia durante la lactancia; es posible que los recién nacidos con deficiencia de hierro estén expuestos a otros factores de riesgo para su desarrollo general, como peso bajo al nacer (Brown, 2010).

La ingestión diaria sugerida de hierro en la etapa pediátrica de 6 meses a 1 año es de 16mg al día (Casanueva & Kaufer-Horwitz, 2010).

3.4.3 PREESCOLAR.

Los preescolares son un grupo etario en donde los niveles de hierro se satisfacen con dificultad, a medida que los infantes crecen hay un incremento de la absorción de hierro del cual hay una disminución de ferritina llevándolos a una deficiencia parcial o completa. En niños entre los 4 y 6 años, la anemia por deficiencia de hierro parece ser la causa bajo aprovechamiento escolar (Brown, 2010).

La ingestión diaria sugerida de hierro en el niño es de 1.1- 3 años 13mg al día (Casanueva & Kaufer-Horwitz, 2010).

3.4.4 ADULTO

En las mujeres, las necesidades de hierro disminuyen por día en la menopausia. Los beneficios del consumo suficiente de hierro son eritrocitos sanos que trasportan oxígeno para el metabolismo y la energía en general. (Brown, 2010)

La ingestión diaria sugerida de hierro en el hombre de 19 años de edad 15mg a partir de los 23-64 años aumenta a 17mg al día, en la mujer 19-64 años de edad es de 21mg (Casanueva & Kaufer-Horwitz, 2010)

3.4.5 ADULTO MAYOR.

Las necesidades de hierro disminuyen con la edad en mujeres posmenopáusicas, los adultos mayores son una población heterogénea, y no todas las personas de edad avanzada tienen reservas adecuadas de hierro. Las razones para un estado inadecuado de este elemento incluyen sangrados por enfermedades o medicamentos, malabsorción debida a interferencia antiácidos o disminución de la secreción acida gástrica (Brown, 2010).

La ingestión diaria sugerida de hierro en el adulto 65 años y más es de 8mg al día, y la ferritina se incrementa con facilidad (Brown, 2010).

3.5 FORTIFICACIÓN CON HIERRO.

3.5.1 SELECCIÓN DE COMPUESTOS QUE CONTIENEN HIERRO.

Para la selección de los compuestos que contienen hierro, se deben identificar aquellos que no alteren las características organolépticas del producto formulado finalizado, teniendo en cuenta que se deben disminuir los inhibidores de la absorción del hierro en el tracto gastrointestinal, satisfaciendo las necesidades nutricionales del mismo. (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

Según la Organización Panamericana de la Salud, la fortificación de hierro se puede clasificar como: obligatoria, focalizada y voluntaria que a continuación se describen.

3.5.2 OBLIGATORIA.

Es aquella en la que los reglamentos nacionales exigen que el producto contenga cierto micronutriente, y éste se convierta en una característica del producto alimentario. Los alimentos con la fortificación obligatoria deben pasar por un control de calidad de forma obligatoria siendo la compatibilidad tecnológica en cuanto a la cantidad de hierro, uno de los indicadores que proporciona el compuesto utilizado como agente fortificante buscando que no genere cambios sensoriales. (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

3.5.3 FOCALIZADA.

La fortificación focalizada es dirigida a una población específica, por lo general dentro de la acción de un programa de bienestar social. La mayor parte de los países están invirtiendo recursos en investigación y desarrollo de alimentos fortificados con hierro principalmente para los lactantes y niños siendo la etapa preescolar el grupo etario más vulnerable. (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

3.5.4 VOLUNTARIA.

Es aquella en la cual la industria alimenticia agrega voluntariamente micronutrientes a un producto alimentario. Se recomienda que el tipo de hierro a ser agregado sean sulfato ferroso y fumarato ferroso para proporcionar de 5 a 10 mg de Fe, o de 15 a un 30% de la ingesta diaria sugerida (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

CAPÍTULO II ALIMENTOS FORTIFICADOS CON HIERRO

3.6 COMPUESTOS DE HIERRO PARA LA FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS.

Existe dos categorías de compuestos de hierro para llevar a cabo la fortificación de los alimentos: hierro inorgánico y los compuestos de hierro protegido.

3.6.1 COMPUESTOS DE HIERRO INORGÁNICO.

Los compuestos de hierro inorgánico se clasifican en los que son solubles en agua como el sulfato ferroso, la desventaja de este compuesto es que reacciona rápidamente con otras sustancias que están presentes en la matriz alimentaria y puede afectar las características organolépticas del producto final (Hurell, 1997); y los que son poco solubles en agua como el fumarato ferroso que se absorbe de igual manera que el sulfato ferroso, la ventaja de este último es que interactúa menos que las sustancias que se encuentran en la matriz alimentaria de la cual no cambia las características organolépticas (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

3.6.2 COMPUESTOS DE HIERRO PROTEGIDO.

Los compuestos de hierro protegido se utiliza un agente quelante como el ácido etilendiaminotetraacético disódico ($\text{EDTA } 2\text{Na}^+$) y que tiene como principal ventaja que este compuesto esté protegido de los inhibidores de absorción de hierro. El factor económico es una desventaja y no es fácil de encontrar en el mercado; los compuestos encapsulados son el sulfato ferroso y el fumarato ferroso contienen capas cubiertas de aceite o maltodextrina lo que impide el contacto con la matriz alimentaria y no cambia las características organolépticas y el liberado el hierro y absorbidos por el intestino delgado (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

3.7 COMPATIBILIDAD TECNOLÓGICA Y NIVELES DE FORTIFICACIÓN.

El hierro es un elemento sumamente reactivo y afecta negativamente las propiedades organolépticas de un producto alimentario del cual un punto clave para conocer la compatibilidad tecnológica y el nivel de fortificación es conocer el tiempo de vida de anaquel y verificar los cambios que puede sufrir el compuesto, claro está

que este puede variar en función del lugar donde se realice el producto y una de ellas son las condiciones climatológicas, la matriz alimentaria del producto inicial; La comparación del costo de los compuestos químicos que contienen hierro es sumamente importante ya que se busca que el compuesto que mejor se adapte a la matriz alimentaria para que no genere un cambio en sus características y que cumpla en la parte nutricional anteriormente mencionado, después de determinar todo lo anterior se deberá localizar en el nivel de la fortificación del producto este punto es sumamente crítico debido en los dictámenes periciales de científicos profesionales en materia de alimentos y epidemiólogos nutricionales que valoran verdaderamente la propuesta del nuevo alimento fortificado (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

3.7.1 EFECTOS INDESEABLES Y DOSIS POTENCIALMENTE DAÑINA PARA EL ORGANISMO.

La dosis tóxica ha sido clásicamente estimada a partir de 20 mg/kg de hierro elemental, pero con recientes propuestas de 15 mg/Kg como valor de riesgo para toxicidad, aunque para la mayoría de los autores las manifestaciones de toxicidad estarán presentes con dosis ingeridas mayores de 40 mg/Kg y el valor de dosis letal 50 % (LD50) alrededor de 150 - 250 mg/g de hierro elemental (Weinberg, 2009).

Los efectos secundarios más comunes de los suplementos con hierro son molestias del tubo digestivo que incluyen dolor, náuseas, diarrea, estreñimiento e hiperacidez (Bustamante, 2011).

La enfermedad por sobrecarga de hierro, un trastorno normalmente hereditario conocido como hemocromatosis es un trastorno caracterizado por el almacenamiento de hierro en el que el incremento inapropiado de la absorción tiene como consecuencia un depósito de cantidades excesivas de este en las células parenquimatosas con lesión hística y trastorno funcional de los órganos. Al pigmento producido por el almacenamiento del hierro se denominó hemosiderina porque se creía que derivaba de la sangre. Se emplea el termino hemosiderosis para describir la presencia de hierro que se pueden teñir en los tejidos, pero es necesario cuantificar el hierro hístico para valorar con precisión el estado de hierro corporal.

El termino hemocromatosis implica como sobrecarga progresiva potencialmente grave de hierro que tiene como consecuencias fibrosis y falla orgánica. Manifestaciones frecuentes de este problema son cirrosis hepática, diabetes mellitus, artritis, miocardiopatía e hipogonadismo hipogonadotrópico (Harrison T, 2006).

CAPÍTULO III INNOVACIÓN ALIMENTARIA A BASE DE HABA (*Vicia faba* L.).

3.8 INNOVACIÓN ALIMENTARIA.

Es la creación o modificación de un producto, servicio o proceso que tenga una aplicación exitosa imponiéndolo en el mercado. Para que una innovación sea exitosa, debe comenzar por un talento creativo y/o técnico. Una eventual idea o creación que no llega al mercado y que no es comercialmente exitosa en corto o mediano plazo, no puede ser considerada como una verdadera innovación. Los alimentos funcionales se han convertido en un tipo de innovación alimentaria siendo éstos bioactivos y sujetos a revisión científica para comprobar sus beneficios (Valenzuela A, 2015).

3.9 ALIMENTOS FUNCIONALES.

Son aquellos que proporcionan un beneficio para la salud además de su función como fuente de macro y micronutrientes. Estas nuevas corrientes de estudio en la nutrición han llevado a generar nuevas formas de formular, de proponer la elaboración y/o de modificaciones genéticas que contribuyan al beneficio de la salud humana (Instituto de Nutrición y Transtornos Alimentarios, 2014).

3.10 HABA

3.10.1 TAXONOMÍA, ORIGEN Y VARIEDADES.

Su nombre es *Vicia faba* L. El fruto de la planta es una legumbre de longitud variable. El número de granos oscila entre 2 y 9. El color de la semilla es amarillo. Su clasificación taxonómica se es de reino *Plantae*; división *Tracheophyta*; clase *Magnoliopsida*; orden *Fabales*; familia *Fabáceas*; género *Vicia* y especie *faba* L.

La composición química del haba (*Vicia faba* L.), es en su mayoría proteína, hidratos de carbono, lípidos, fibra en forma de lignina es uno de los biopolímeros que está presente en un 70% del haba y 7.2% contienen suberina es un polímero de ácidos grasos saturados y poliinsaturados (Hartmann, 2002).

La composición nutrimental del haba cocida en 85g con un contenido energético distribuidos en 94kcal, de proteína 6.5g, lípidos 0.3g, hidratos de carbono 16.7g, fibra 4.6g y en los micronutrientes contiene hierro no hem 1.3mg, selenio 2.2µg, sodio 4.3mg, fósforo 106.3mg y potasio 281.4mg (Pérez A. P., 2014).

Con distintas interpretaciones acerca de su origen, algunos especialistas consideran que la **Vicia faba L.** pudo ser originaria del Norte de África, mientras que la **Vicia Faba M.** del sur del Mar Negro, en Asia. Otros creen que su punto de origen fue el Lejano Oriente, desde donde se extendió a diversas partes gracias al desarrollo de la cultura y sobre todo del comercio. De esta forma, su difusión se dio en cuatro direcciones:

3.10.2 PRODUCCIÓN Y CONSUMO.

Es la tercera leguminosa consumida a nivel nacional después del frijol y la lenteja (INEGI, 2012), y a su vez ocupa el quinto lugar de consumo en la población mundial después del frijol (**Phaseolus vulgaris**), el chícharo (**Pisum sativum**) el garbanzo (**Cicer arietinum**) y la lenteja (**Lens culinaris**), (FAO,2008).

El principal productor de haba en México en primer lugar lo ocupa Puebla, el segundo Veracruz, el tercero Tlaxcala, el cuarto y el quinto el Estado de México. (SAGARPA, 2014).

3.10.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES.

El haba (**Vicia faba L.**) familia de las fabaceae, se ubica como una de las leguminosas que tiene una importancia como fuente proteínica en diversos países del mundo. (Castañeda, 1991).

Es un alimento que se encuentra en todo el territorio mexicano, cuenta con los tres principales macronutrientes y en menor cantidad de micronutrientes. El haba seca contiene en pequeña cantidad de hierro 0.13mg y en el transcurso de los años su consumo ha perdido fuerza debido a las nuevas costumbres tanto socioculturales como alimentarias, es la tercera leguminosa consumida a nivel nacional después del frijol y la lenteja (Castañeda, 1991).

El haba es un excelente alimento complementario para que los grupos etarios en sus primeras etapas del desarrollo satisfagan sus necesidades diarias de energía. Su alto contenido de nutrientes también vuelve a él haba ideal para las personas vegetarianas y veganas dado que aseguran la ingesta suficiente de proteínas, minerales y vitaminas.

Al combinarse con alimentos ricos en vitamina C, el gran contenido de hierro puede convertirlas en un alimento que puede reabastecer las reservas de hierro, en especial para las mujeres en su etapa reproductiva y que son más vulnerables a la anemia ferropénica.

El gran contenido en fibra aumenta la saciedad y contribuye a estabilizar los niveles plasmáticos de glucosa, reduciendo los picos después de comer y mejorando la resistencia a la insulina (FAO, 2016).

3.11 ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTARIOS A BASE DE HABA.

En la actualidad se cuenta con algunos productos alimentarios a base de haba (*Vicia faba L.*), y que se describen de forma breve a continuación.

Una harina de haba de alto contenido proteico evitando hacer uso de productos similares a las harinas y que su procedencia es de origen animal.

También se encontró una sopa instantánea a base de haba como alternativa en el consumo de un producto de fácil preparación, seguro para la salud y de buena calidad, para una población de bajos recursos económicos y con un estado de desnutrición (Macías, 2011).

Al final se identificó una galleta a base de haba con la intención de lograr que la población con desnutrición y pobreza tenga la alternativa relativamente fácil para obtener una proteína de alto valor biológico.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El haba es poco utilizada para la elaboración de productos alimentarios pese a su considerable producción en México. No existe evidencia científica relevante respecto a técnicas culinarias de dicho alimento. No se cuenta en México, con una norma que establezca el rango y tipo de fortificación con hierro que se debe realizar. La fortificación con hierro a las leguminosas no se cuenta en México con una norma que establezca el rango y que tipo de fortificación se debe realizar, considerando la importancia fisiológica del hierro.

V. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la formulación adecuada de tostadas a base de haba (*Vicia faba L*) que cumplan con la fortificación voluntaria de hierro (fumarato ferroso)?

¿Cuál será el efecto en la concentración plasmática de hierro, en modelos de experimentación animal alimentados con las tostadas de haba formuladas?

VI. JUSTIFICACIÓN

El haba es una leguminosa la cual contiene los tres principales macronutrientes y algunos micronutrientes de los que cabe destacar es el hierro que es uno de los micronutrientes que en la población en general cuenta con deficiencia. Teniendo en cuenta que el haba no cuenta con muchas técnicas culinarias para aumentar su consumo, es muy importante dar alternativas a la población del consumo de esta. La fortificación de un producto a base de haba con fumarato ferroso puede contribuir a tener una línea de acción adicional a los suplementos alopáticos de hierro para disminuir la deficiencia de dicho mineral y contribuir a la disminución de las deficiencias de micronutrientes y al mismo tiempo se puede ampliar el uso culinario del haba.

VII. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La formulación adecuada de tostadas a base de haba (*Vicia faba L*) cumple con la fortificación voluntaria de hierro (fumarato ferroso).

7.1 HIPÓTESIS NULA

La formulación adecuada de tostadas a base de haba (*Vicia faba L*) no cumple con la fortificación voluntaria de hierro (fumarato ferroso).

VIII. OBJETIVO GENERAL

Formular adecuadamente tostadas a base de haba (*Vicia faba L*) que cumpla con la fortificación voluntaria de hierro (fumarato ferroso).

8.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Calcular la cantidad de fumarato ferroso necesario en cada tostada por métodos estequiométricos.
- Estandarizar el proceso de formulación de las tostadas de haba.
- Determinar la concentración de hierro real después de la formulación de las tostadas de haba a través de espectrometría de absorción atómica.
- Determinar la composición nutrimental de las tostadas de haba fortificadas con fumarato ferroso a través de un análisis bromatológico.
- Explorar las concentraciones plasmáticas de hierro en animales de experimentación después de ser alimentados con las tostadas formuladas comparadas con la administración de fumarato ferroso vía oral.

IX. MATERIALES Y MÉTODOS

Al momento de realizar la presente investigación, se realizó una búsqueda de información al respecto en buscadores y bases de datos web como Google académico, Pubmed, FoodSciNut entre otros y revistas de carácter científico como son Nutrición Hospitalaria, The American Journal of Clinical Nutrition, The Journal of Nutrition, entre otras con las palabras clave: haba, formulación de alimentos, técnicas culinarias del haba, fortificación de las legumbres, utilización de las habas, entre otras no habiendo encontrado información sobre la evidencia científica relevante que nos hable sobre las técnicas culinarias del haba mucho menos sobre la fortificación con hierro de un producto similar al que aquí se propone.

9.1 TIPO DE ESTUDIO.

Experimental.

9.2 ALCANCE.

Exploratorio.

9.3 ÁREA DE ESTUDIO.

Tecnología alimentaria

9.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.

Animales de experimentación (5 conejos machos Nueva Zelanda)

9.5 CRITERIOS DE INCLUSIÓN.

Conejos machos raza Nueva Zelanda, provenientes de un bioterio, peso entre 2.150kg \pm 350g, sin problemas de absorción intestinal, edad entre 55 días \pm 2.

9.6 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.

Que presenten problemas digestivos, que fueran hembras, que pesaran más de 2.600kg, que no sean de raza Nueva Zelanda, que tenga más de 58 días de nacidos

9.7 VARIABLES.

Las variables analizadas se muestran en la tabla 1 y corresponden a las mediciones y determinación de cantidad de hierro en las tostadas formuladas, así como en la dieta utilizada en el experimento en los modelos animales y la concentración de hierro plasmático.

Tabla 1. Variables

Variable	Definición	Instrumento de medición
Cantidad exacta de hierro en las tostadas formuladas	Es la cantidad de hierro en ppm por cada 90g de tostadas	Espectrometría de absorción atómica
Contenido de macronutrientes	Macronutrientes contenidos en 100 g de alimento	Análisis bromatológico
Cantidad de fumarato ferroso vía oral	Peso de fumarato ferroso en g a administrar a los modelos animales	Balanza analítica
Cantidad de vitamina C vía oral	Volumen en mL de ácido ascórbico disuelto en agua	Jeringa para administración vía oral
Concentración de hierro plasmático	Cantidad de hierro en $\mu\text{g/dL}$ contenido en el plasma de los modelos animales	Inmunoensayo con ferrozina

9.8 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

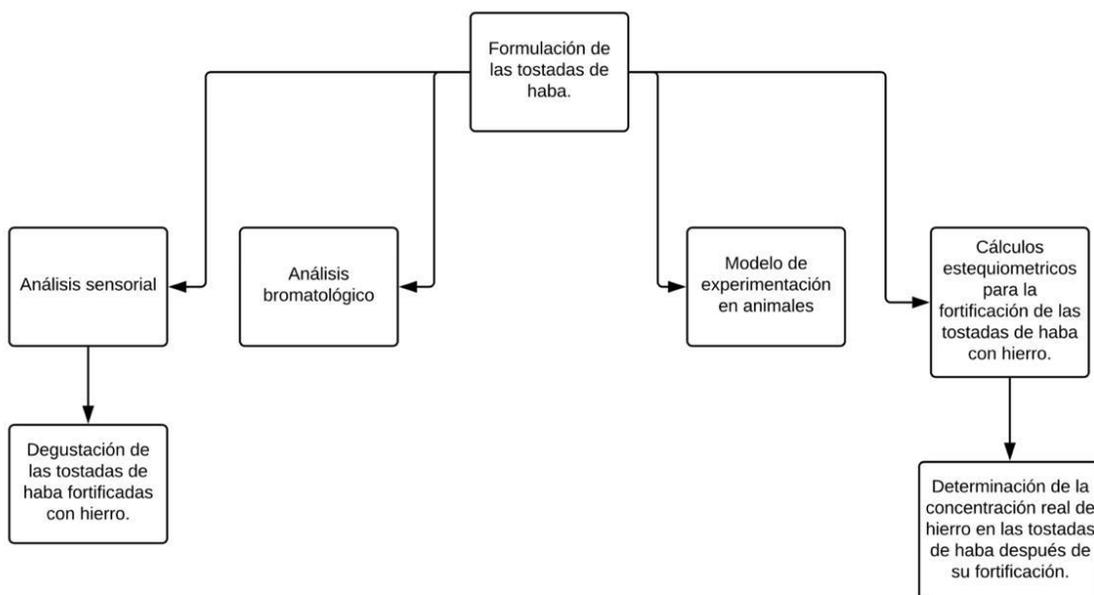


Figura 1. Flujograma en general del proceso metodológico.

9.8.1 Formulación de las tostadas de haba (*Vicia faba L.*).

A continuación, se describe el procedimiento general para la adecuada formulación de las tostadas de haba:

1. Se lavaron las habas según las buenas prácticas del lavado de leguminosas, que es someter las habas a un proceso de presión de agua y posterior se ponen a escurrir.
2. Se dejaron reposar durante 5 minutos para lograr eliminar la humedad excesiva
3. A continuación, se sometieron a un proceso de tostado a 146°C (aproximadamente) con el objetivo de hacer la preparación previa a la molienda
4. Después se sometieron a cocción a 80°C (aproximadamente) por un tiempo de 10 minutos

5. En seguida, el producto tostado se sometió a un proceso de trituración y molienda por tres ciclos completos para asegurarnos que obtuvimos una mezcla completamente homogénea en tamaño y composición
6. Se pesaron 0.2063 g de fumarato ferroso a los que se les agregó 100 mL de agua para disolverlo y que posteriormente se utilizó esta solución para hidratar 1 Kg de masa de haba
7. Posterior a la hidratación se prepararon porciones de 45g de masa de haba para elaborar las tortillas que dieron paso a las tostadas previamente calentadas y deshidratadas a una temperatura de aproximadamente 127°C por 48 minutos hasta quedar como se muestra en la **Figura 3**.

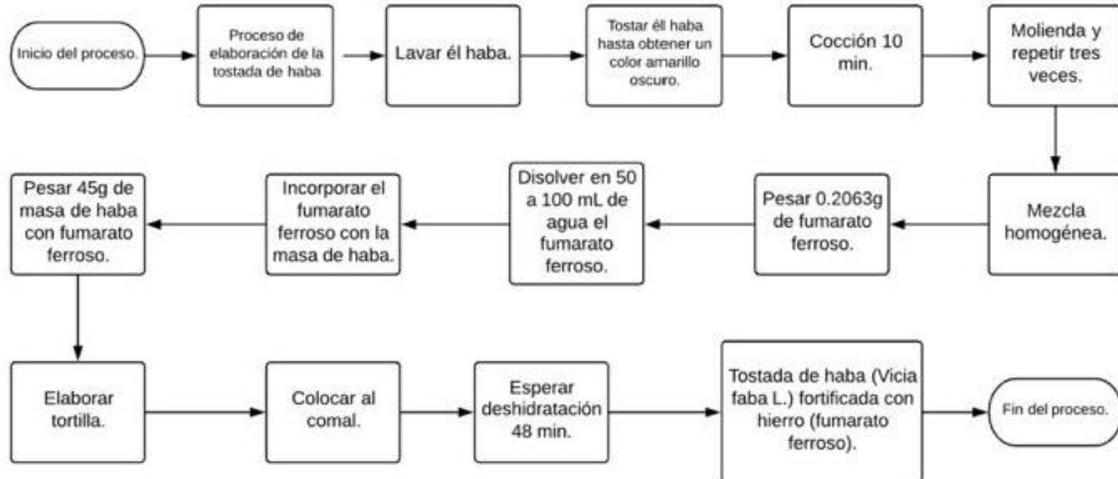


Figura 2. Flujograma del proceso de elaboración, formulación y fortificación de la tostada de haba”.

9.8.2 Cálculos estequiométricos para la fortificación de las tostadas de haba (*Vicia faba L.*) con hierro (fumarato ferroso).

Se calculó la cantidad de fumarato ferroso necesario para fortificar las tostadas de haba hasta alcanzar la cantidad de 5.20 mg por cada 30g del producto. Se realizó un cálculo estequiométrico involucrando la cantidad final de hierro necesaria por cada 30g de tostadas de haba, el peso molecular del fumarato ferroso y la cantidad molar de hierro necesaria. El cálculo mostró que se necesitan 0.04156 g de fumarato

ferroso que es el equivalente a un poco más de la mitad de una tableta de fumarato ferroso genérico comercial y que fue añadido a la masa de las tostadas para lograr la fortificación deseada.

$$5.20mg Fe - 1.37 mg Fe HB = 3.83 mg \quad \textbf{Ecuación 1.}$$

$$\frac{HB 85g - 0.13mg Fe}{HB90 g - 0.137mg Fe} \quad \textbf{Ecuación 2.}$$

$$\frac{1 mol=FF}{MT=RPT} \quad \textbf{Ecuación 3.}$$

$$(PAFe) (MT) = gXTH \quad \textbf{Ecuación 4}$$

9.8.3 Determinación de la concentración real de hierro en las tostadas de haba después de su fortificación.

La cantidad de fumarato ferroso necesaria para fortificar el producto formulado fue calculada teniendo, luego, el producto fue sometido a la medición de la concentración de Fe a través de espectroscopia de absorción atómica en el laboratorio de la Facultad Químico-Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, para la verificación de la fortificación

9.8.4 Análisis bromatológico

Se solicitó la realización de un análisis bromatológico según las normas y métodos, para la determinación de la humedad NOM-116-SSA1-1994, grasa por hidrólisis ácida NOM-086-SSA1-1994, proteína NMX-F-608-NORMEX-2011, ceniza NMX-F-607-NORMEX-2013, carbohidratos totales (por diferencia) respectivamente igual para los disponibles, fibra dietética total método AOAC 985.29 (2000), azúcares reductores totales NOR-086-SSA1-1994 y el sodio método EPA 6010 C 2000, según los métodos del "Bufete Químico, S.A. de C.V. Se empleó detector de ionización de flama en un cromatógrafo de gases, para la determinación del perfil de ácidos grasos a partir de los esteres metílicos de los ácidos grasos de la muestra. El resultado en base al % relativo de ácidos grasos, utilizando los métodos de prueba NMX.F.490.1999-NORMEX, AOAC 969.33 AÑO 2000, AOCS Ce If-96 Reapproved 1997 para ácidos grasos cis y trans.

9.8.5 Modelo de experimentación en animales.

Selección de los conejos:

En el presente estudio se adquirieron cinco conejos Nueva Zelanda machos que pesen aproximadamente 2Kg provenientes del Laboratorio de Investigaciones de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Los conejos permanecieron en jaulas individuales dentro del laboratorio del edificio C de la Escuela de Nutrición de la Universidad Vasco de Quiroga.

Suplementos alimenticios:

Las tostadas de haba se obtuvieron a partir de la formulación según el procedimiento propuesto en esta tesis, el fumarato ferroso se adquirió de forma comercial genérica en una presentación de 200 mg. La vitamina C se adquirió en una dosificación de 0.312g. Los conejos se dividieron en tres grupos de forma aleatoria (**Tabla 1.**), un conejo fue tomado como control al que no se alimentó con productos fortificados con hierro ni se le administró hierro ni vitamina C, sólo se le brindó de alimento con aproximadamente de 197g y agua a libre demanda. Para calcular la cantidad de tostadas y de fumarato ferroso a administrar en los cuatro conejos restantes se realizaron los cálculos tomando en cuenta la cantidad de hierro que contiene cada 30g y 60g de tostada de haba para que sean comparados, y fumarato ferroso 200.3mg y 400.6mg respectivamente. El conejo dos con el cuatro y el tres con el cinco. Los mismos cuatro conejos se consideraron como casos de estudio. Dos de estos conejos fueron alimentados con tostadas de haba a diferente peso para asegurar que cada uno ingirió diferente concentración de fumarato ferroso donde al conejo dos se alimentó diariamente con 30 g de tostadas de haba fortificadas con hierro mezcladas con el alimento de cual se les adicionó 167g de conejina N de purina, y se administró 0.312mg de vitamina C en solución vía oral y agua a libre demanda. Al conejo tres se alimentó diariamente con 60 g de tostadas de haba fortificadas con hierro mezcladas con el alimento de cual se les adicionó 137g de conejina N de purina, y se administró 0.624 mg de vitamina C vía oral y agua a libre demanda. Para el conejo cuatro se le administró 200.3mg de fumarato

ferroso disuelto en agua por la vía oral, además de 0.312mg de vitamina C en solución también vía oral. Por último, al conejo cinco se le administró 400.6mg de fumarato ferroso disuelto en agua y 0.78mg de vitamina C en solución por la vía oral. Este experimento tuvo como duración cinco semanas en donde en cada ocho días se tomó una muestra de sangre de la vena marginal de la oreja de cada conejo y que fue depositada en un tubo sin aditivos (rojo) para medir la cantidad de hierro. Todos los conejos fueron pesados para observar la ganancia o la pérdida de peso semanalmente.

Diseño experimental:

Los cinco conejos se clasificarán de forma aleatoria como se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 2. Cantidades de alimento convencional y suplementos que contienen hierro administrado a los conejos según el peso y el diseño experimental propuesto.

Conejo	1	2	3	4	5
Alimento convencional	90g/kg/día				
Tostadas de haba	--	30g/día	60/día	--	--
Fumarato ferroso	--	--	--	200.3mg/día	400.6mg/día
Vitamina C	--	0.312g/día	0.312g/día	0.312g/día	0.312g/día

Preparación de los suplementos alimenticios:

El cálculo de la cantidad de alimento convencional, fumarato ferroso y de las tostadas de haba se obtuvo a partir del peso de cada conejo según la clasificación de la **tabla 2**. Luego se mezclaron todos los alimentos y se administraron por la vía oral según las recomendaciones del bioterio de donde fueron adquiridos. La vitamina C se administrará vía oral disuelta en agua.

Primer evento:

En el primer día de experimentación se tomó una muestra de sangre de la vena marginal de la oreja de cada conejo y que fue depositada en un tubo sin aditivos (rojo) para medir la cantidad de ferritina sérica la que fue considerada como la concentración basal (antes de la suplementación con fumarato ferroso y con tostadas de haba fortificadas con hierro). Después de esto, los conejos fueron alimentados por primera vez y diariamente con las cantidades individuales para cada conejo.

Eventos subsecuentes:

Después del primer evento, se tomó de nuevo una muestra sanguínea a cada conejo de la vena marginal de la oreja cada siete días durante un mes, para medir la concentración de hierro.

Medición del hierro plasmático:

La medición del hierro se realizó en un laboratorio privado de la ciudad de Morelia con el método de ensayo inmunofluorescente en el equipo *i-Chroma*® según sus procedimientos internos de procesamiento y control de calidad con un ensayo colorimétrico bajo condiciones no acidas utilizando ascorbato como agente reductor y como revelador de la reacción con ferrozina.

9.8.6 Degustación de las tostadas de haba (*Vicia faba L.*) fortificadas con hierro (fumarato ferroso).

Se llevó a cabo una degustación del producto final, donde contestaran una encuesta de tipo Likert (**Tabla 3**), que su contenido será referente a las características organolépticas como son el olor, color, textura, sabor y apariencia.

Tabla 3. Instrumento para aplicar la encuesta sobre las características organolépticas de la tostada de haba.

Por favor, pruebe las muestras en el orden que se le dan, e indique su nivel agrado con cada muestra marcando con una (X) en la escala que mejor describe su sentir con el código de la muestra.

Parámetros	Parámetros evaluados				
	Sabor	Textura	Color	Olor	Apariencia
Me gusta					
No me gusta ni me disgusta					
Me disgusta					

9.9 Instrumentos para la obtención de los datos.

Para conocer la cantidad de hierro para cumplir con la fortificación se hicieron cálculos estequiométricos. La cantidad real de hierro en cada 30g de masa de haba se determinó mediante el uso de un espectrómetro de absorción atómica. El análisis bromatológico se realizó con los instrumentos marcados en las siguientes normas: NOM-116-SSA1-1994, NOM-086-SSA1-1994, NMX-F-608-NORMEX-2011, NMX-F-607-NORMEX-2013, AOAC 985.29 (2000), NOR-086-SSA1-1994 y EPA 6010 C 2000 según los métodos de determinación del “Bufete Químicos S.A. de C.V.”

9.10 Análisis estadístico.

Los resultados fueron analizados con cálculos estadísticos empleado el programa estadístico IBM SPSS Statistics 22.

X. PLAN DE TRABAJO.

10.1 RECURSOS HUMANOS.

Para llevar a cabo este proyecto de investigación se necesitó de un pasante de Nutrición con la colaboración de un Químico Farmacobiólogo capacitado en análisis

bromatológico en el Laboratorio de Alimentos de la Facultad de Químico-Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

10.2 RECURSOS MATERIALES.

Tabla 4. Lista de material y/o equipo necesario para la formulación de las tostadas de haba fortificadas con fumarato ferroso

Material y/o equipo y/o aparato	Utilidad
Alimentos y micronutrientes	
Habas secas	Componente principal del producto
Fumarato ferroso comercial genérico	Micronutriente fortificante
Vitamina C en tableta efervescente	Micronutriente necesario para la absorción intestinal de hierro
Material de laboratorio	
Jeringas de plástico desechables	Dosificador de solución de vitamina C
Tubos de recolección de muestras	Recipientes para sangre de los modelos animales
Báscula digital y analítica	Instrumento de medida exacta
Material de cocina	
Báscula de cocina	Instrumento apropiado para el pesaje de alimentos
Molino de mecánico manual	Instrumento para lograr hacer la masa de haba homogénea
Comal y cacerola	Material para lograr el desecado del producto y la elaboración de la tostada
Tortillera de acero	Instrumento para lograr la forma circular de la tostada de haba.

10.3 RECURSOS FINANCIEROS.

En la formulación de tostadas de haba fortificadas con hierro se estimó con una inversión de \$12,845.00 pesos mexicanos, estos cubren desde la materia prima, utensilios, equipo de cocina, análisis bromatológico y determinación de hierro.

En los estudios en animales de experimentación se requirió un presupuesto de \$10,120.00 pesos mexicanos, de los cuales cubre con las pruebas de medición de hierro, los animales de experimentación, alimentación, equipo para su estancia y suplementación.

XI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La tostada de haba es un producto elaborado, troquelado en forma circular, cocido y tostado, color de amarillo de una textura rígida y crujiente, de olor y sabor característico.



Figura 3. Tostada de haba (*Vicia faba L.*) fortificada con hierro (fumarato ferroso).

11.1 Determinación de la concentración real de hierro en las tostadas de haba después de su fortificación

En los alimentos del grupo de las leguminosas no se cuenta una norma mexicana que establezca un rango de la fortificación de hierro (fumarato ferroso) por medio de una búsqueda exhaustiva Sin embargo, existen guías de fortificación de América Latina y el Caribe donde señalan que hay diferentes tipos de fortificación de la cual

las leguminosas Se encuentran en la fortificación voluntaria en la voluntaria (de 5.2 a 10 mg) por ración de producto (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

Primero se investigó el contenido total aproximado de hierro del haba para poder calcular la cantidad de fumarato ferroso para fortificar el producto formulado después, el producto fue sometido a la medición de la concentración de hierro a través de espectroscopia de absorción atómica en el laboratorio de la Facultad Químico-Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, para la verificación de la fortificación; se obtuvo un resultado de 226 ppm de la cual se realiza una conversión a concentración mg/g: por cada parte por millón (ppm) = 0.001mg/g dando como resultado 0.2226 mg/g de masa de haba, por lo tanto cada 350 g de tostadas de haba contienen 20.34 mg de hierro, cada 30 g de tostadas de haba contienen 1.74mg de hierro, se cumple la fortificación voluntaria del producto. Cabe señalar que no se encontró algún producto similar al formulado aquí para poder comparar la cantidad exacta de hierro contenido en nuestras tostadas (Angeles, 2013), (Bianchini, 1974), (Gutierrez, 2000).

En la actualidad existen dos formas de encontrar la concentración de hierro para llevar a cabo la fortificación de un alimento con fumarato ferroso, una de ellas consiste en el ensayo y error, hasta llegar a la fortificación adecuada, la cual presenta varias desventajas entre ellas el gasto de materia prima y recurso para la comprobación de la fortificación adecuada. La otra forma consiste en realizar el cálculo estequiométrico para llegar a la aproximada concentración de fumarato ferroso, la cual fue adoptada para llevar a cabo la fortificación del alimento elaborado en donde se optimizo el gasto de recursos materiales que no se pueden evitar en la forma por ensayo y error.

11.2 Análisis bromatológico

El análisis bromatológico es sumamente importante debido a que con dicho análisis a que determino la cantidad energética (Kcal), los macronutrientes y micronutrientes en este caso fue la fibra dietética y el sodio, la cantidad precisa de los mismos en g y mg solo en el sodio, se llevó acabo en "Bufete Químicos S.A. de C.V." de acuerdo con los métodos y normas anteriormente mencionadas puede observar en la **Tabla**

5. La información nutrimental representada en la **Tabla 5**, se elaboró de acuerdo con la NOM-051-SCFI/SSA1-2010. Derivado del análisis bromatológico las tostadas de haba formuladas presentaron un contenido nutrimental como se muestra en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Información Nutrimental de la Tostada de haba (Vicia faba L.) fortificada con hierro (fumarato ferroso).

Información nutrimental				
Tamaño por Porción: 3 Piezas (90g)				
Porciones por envase: 2 porciones.				
	Por: 90g		Por:100g	
Contenido energético:	930.6kJ	219.6Cal	1034kJ	244Cal
Proteínas	17.55g		19.5g	
Grasas (lípidos)/Grasas totales	0.99g		1.1g	
Grasas saturadas	0.27g		0.3g	
Carbohidratos disponibles (hidratos de carbono)	35.19g		39.1g	
Azúcares	0g		0g	
Fibra dietética	11.61g		12.9g	
Sodio		%VNR		%VNR
	164.7mg	8%	183mg	9%
Hierro		%VNR		%VNR
	5.22mg	31%	5.8mg	34%
Porcentajes de valores nutrimentales de referencia (%VNR) de acuerdo a la NOM-051-SCFI/SSA1-2010.				

Tabla 6. Resultados de los parámetros analizados en el análisis bromatológico

Determinaciones	Resultados
Humedad (% en peso) Método: NOM-116-SSA1-1994	25.4
Grasa por hidrólisis ácida (% en peso) Método: NOM-086-SSA1-1994 (Apéndice Normativo C 1.3)	1.1
Proteína (% en peso) Método: NMX-F-608-NORMEX-2011	19.5
Cenizas (% en peso) Método: NMX-F-607-NORMEX-2013	2.0
Carbohidratos Totales (por diferencia) (% en peso)	52.0
Carbohidratos Disponibles (por diferencia) (% en peso)	39.1
Fibra dietética total (% en peso) Método: AOAC 985.29 (2000)	12.9
Azúcares reductores totales (% en peso) (ART) Método: NOM-086-SSA1-1994 (Apéndice Normativo C Inciso 2)	< 3.0
Sodio (mg/Kg) Método: EPA 6010C 2000	1, 830.2

De acuerdo con el detector de ionización de flama en un cromatógrafo de gases se obtuvieron estos resultados donde se puede observar en las **Tablas 7 y 8.**

Tabla 7. Resultados de los ácidos grasos y % relativo.

Ácidos grasos		% Relativo
Nombre	Clave	
Mirístico	C14:0	2.38
Palmítico	C16:0	15.80
Esteárico	C18:0	5.21
Oléico	C18:1	29.26
Linoléico	C18:2	43.61
Linolénico	C18:3	3.37

Tabla 8. Resultados de los ácidos grasos por cada 100 g de muestra.

Ácidos grasos	g/100g de muestra
Saturados	0.26
Monoinsaturados	0.32
Poliinsaturados	0.52
Insaturados Trans	0.00
Insaturados Cis	0.84

Antes de realizar un análisis bromatológico se realizó un cálculo de acuerdo con el sistema mexicano de equivalentes tomando en cuenta todos los macronutrientes que contiene el haba cocida. Al llevar acabo el análisis bromatológico encontramos distintos resultados un poco más elevados de los que se esperaban con respecto al contenido de energía, proteínas, hidratos de carbono y en la fibra dietética, con la determinación de ácidos grasos se encontró que no contiene ácidos grasos insaturados de tipo trans. Cabe mencionar que el cálculo con el sistema mexicano de equivalentes con el resultado de la información nutrimental de acuerdo con el análisis bromatológico no puede compararse debido que no se cuenta con los mismos métodos y por eso se obtuvieron distintos resultados (Instituto de Nutrición y Transtornos Alimentarios, 2014), (Macías, 2011). La humedad del producto nos indica que se encuentra por encima de los valores normales, siendo que el máximo porcentaje debe de ser 15% y el producto llega a 25.4%, esto puede tener una explicación debido a que el producto se realizó de forma artesanal y no se contaba con maquinaria específica para la deshidratación y que llegue al porcentaje deseado, es importante resaltar que es un punto sumamente valioso pero puede ser un objetivo de una investigación subsecuente a futuro.

11.3 Determinación de las concentraciones de hierro plasmático en los animales de experimentación.

Después de llevar a cabo los experimentos con los conejos, se obtuvieron las concentraciones de hierro plasmático (**Tabla 9.**) y que fueron determinados a través de ensayos de inmunofluorescencia.

Tabla 9. Resultados de hierro plasmático de cada conejo por semana.

Conejos	Hierro plasmático (µg/dL)				
	Semanas				
	1	2	3	4	5
1	201.2	146.4	206	89	159
2	134.5	221.4	190.4	96.4	258.8
3	167.2	120.1	104.7	SR*	SR*
4	196.3	168.2	126.2	164	154.7
5	182.3	125	151.8	132.3	169.6

*SR= Sin resultado debido a que el conejo número tres, falleció poco después de la tercera semana.

El conejo 1 (control) que no recibió la administración de Fe, presentó los siguientes resultados: en la primera semana de hierro plasmático es de 201.2, la segunda semana 146.4, tercera semana 206 fue el pico máximo de hierro plasmático en el estudio el conejo uno en la cuarta semana disminuyó de forma muy drástica a 89 en la última semana se incrementó a 159 de hierro plasmático.

El conejo dos, tres, cuatro y cinco son los casos de tal manera de que se subdividen en dos grupos de diferente presentación de hierro que se les administro, el conejo dos y tres se les administro en forma de tostadas de haba fortificadas y en cuatro y cinco por medio de la suplantación con fumarato ferroso vía oral, a todos los casos se les suplemento vitamina C para lograr una mejor absorción.

El conejo dos se compara con el conejo cuatro debido a que se les administra la misma cantidad de fumarato ferroso, teniendo en cuenta que la primera semana el conejo cuatro tiene mayor hierro plasmático con un total de 196.3 y el otro 134.5, en

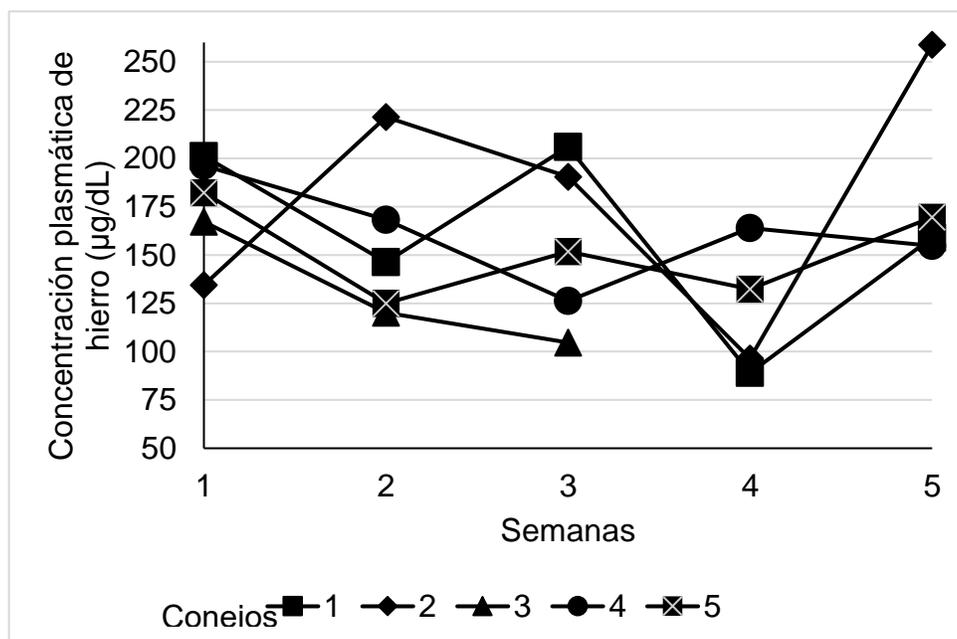
la segunda semana se obtuvo un resultado que el conejo dos aumento el hierro plasmático a 221.4 y el cuatro disminuyo a 168.2, tercera semana se observó el suceso a la inversa el conejo cuatro aumenta la concentración a 126.2 el conejo dos a 190.4, en la penúltima semana hay un evento muy interesante el conejo dos son da un resultado de 96.4 de hierro plasmático siendo el más bajo de su participación en el estudio y del otro lado el conejo cuatro 164 de hierro plasmático en la última semana el conejo cuatro nos revela un hierro plasmático de 157.4 y el conejo dos nos muestra un incremento 258.8 de hierro plasmático en todo el estudio es el más alto del cual es el que fue alimentado con tostadas de haba y suplementado con vitamina C. Por otra parte el conejo tres y el conejo cinco son los que se comparan debido a que se administró la misma cantidad de fumarato ferroso pero en diferente presentación el conejo tres en las tostadas de haba y en el conejo cinco vía oral, cabe mencionar que no se llegó a su término del estudio, dado que el conejo tres falleció en la semana cuatro, pero se puede ver cómo va disminuyendo sus niveles de hierro plasmático y el conejo cinco siempre está por arriba del conejo dos.

Para poder visualizar el comportamiento en cuanto a la absorción de hierro los resultados se presentan en la **(Grafica 1)**

Se decidió incluir solo a cinco conejos en el experimento (debido a razones económicas y de espacio) de los cuales 4 fueran casos para administrar el hierro a diferentes concentraciones proveniente de tostadas de haba y de fumarato ferroso además de añadir la vitamina C para asegurar su absorción. Un solo conejo fue considerado como control sin recibir algún suplemento de hierro ni vitamina C para comparar las concentraciones plasmáticas de hierro con los otros cuatro conejos. La suplementación con hierro y su alimentación fue de acuerdo con el peso de cada conejo.

En la semana inicial del experimento, se pesaron y se les determinó la concentración plasmática de hierro (**Tabla 10**; primera fila). Durante la primera semana cuentan con distintas concentraciones en el caso del conejo dos con el cuatro, el conejo cuatro cuanta con mayor concentración de hierro con una diferencia de 61.8, en la semana dos disminuyo la concentración el conejo cuatro

con una diferencia de 53.2 a favor del conejo dos, en la semana tres de igual manera disminuyo la cantidad de hierro pero el conejo dos es el que menos pierde de dicha diferencia de 64.2, la semana cuatro los conejos siguen disminuyendo su concentración de hierro en sangre de los cuales el que más perdió fue el conejo dos del cual muestra una diferencia de 67.6, la quinta semana sucede que aumento la concentración del conejo dos y se ve disminuida en el conejo cuatro y de la cual hubo una mayor diferencia entre ello que llego a 104.1



Gráfica 1. Comportamiento de niveles de hierro plasmático en los conejos sometidos al experimento.

Cabe resaltar que el conejo dos recibió tratamiento para infección de vías respiratorias en la semana cuatro de las cuales se puede observar que su concentración del hierro fue la más inferior en todo el estudio. La comparación del conejo tres con el cinco en la primera semana se mantuvo aumentada la concentración de hierro en conejo cinco pasos el mismo suceso en la segunda y en la tercera semana, con una diferencia en la semana uno 15.1 en la dos 4.9 y en la tres hubo mayor diferencia de 47.1, el conejo tres en la semana cuatro fue eliminado de estudio debido a su defunción causada por infección de vías respiratorias.

El control en la primera semana obtuvo la mayor concentración de hierro en comparación con los casos, en la segunda semana se logró la mayor concentración en el conejo dos uno de los casos, en la tercera semana se obtuvo el control obtuvo mayor concentración hierro, la semana cuatro el conejo cuatro obtuvo mejor concentración de hierro y la última semana del estudio el conejo que obtuvo mayor concentración de hierro es el conejo dos con la concentración más alta en todo el estudio con un total de 258.8.

Tabla 10. Concentración de hierro plasmático y peso de los conejos por semana.

Semanas	1		2		3		4		5	
	P	Fe _p	P	Fe _p	P	Fe _p	P	Fe _p	P	Fe _p
1	2.1	201,2	1.9	146,4	2.1	206	2.150	89	2.3	159
2	1.8	134,5	1.7	221,4	2	190,4	2.2	96,4	2.6	258,8
3	2	167,2	1.84	120,1	1.7	104,7	*SR	*SR	*SR	*SR
4	2.1	196,3	2	168,2	2.24	126,2	2.5	164	2.7	154,7
5	2.5	182,3	2.15	125	2.3	151,8	2.6	132,3	2.76	169,6

Fe_p = Niveles de hierro plasmático en $\mu\text{g/dL}$, *P*= peso en Kg y *SR= Sin resultado debido a que el conejo número tres, falleció poco después de la tercera semana.

Descripción integral semanal sobre el experimento

Semana uno: el comportamiento de los conejos es inquieto, se le realiza la primera toma de muestra de sangre de la cual nos da unos resultados de conejo uno (control) 201,2 mg de hierro y los casos mostraron diferentes concentraciones de hierro como se muestra en la **Tabla 10**.

Semana dos: se notó una disminución de peso de todos los conejos a $100\pm 350\text{g}$ del peso inicial.

Semana tres: se observa una ganancia de peso 100 ± 200 gramos excepto en el conejo tres es un caso del cual disminuyo su peso 140 g y se sometió a tratamiento con antibacterianos por una infección de vías respiratorias; el conejo cuatro se

puede observar que hay una ganancia de peso, pero no aumenta la concentración de hierro.

Semana cuatro no se contó con el conejo tres debido a su fallecimiento, se notó la ganancia de peso en la mayoría de los conejos. Hubo un cambio de comportamiento del conejo uno, no se pudo determinar la causa, se sospechó que pudo haber sido por la ausencia del conejo 3, sin embargo, no se vieron afectados los resultados en las mediciones plasmáticas de hierro. El conejo dos disminuyó la concentración de hierro en sangre; el conejo cuatro y cinco aumentan de peso a si mismo de concentración de hierro.

Semana cinco: va en incremento el peso de los conejos, las concentraciones de hierro se aumentaron en los conejos uno, dos y quinto, no así para el conejo cuatro pues sus concentraciones disminuyeron $9.3 \mu\text{g/dL}$ en comparación de la semana tres.

En cuanto a la ganancia de peso, se puede decir que comparando la semana uno con la quinta, si hay ganancia de peso, pero en la concentración de hierro se observa una disminución gradual. Por el cambio de ambiente al que se sometieron los conejos, estrés, cambio de la alimentación, y la adaptación a la que se enfrentaron, la duración del experimento fue muy corta por lo que no se pudo observar si estando más tiempo el comportamiento, la concentración de hierro y el peso pudieran haber tenido un comportamiento regular y que pudiera mostrarnos algunas características y patrones interesantes. Debemos tomar en cuenta que son seres vivos los conejos y hay muchos factores (variables) que modifican la absorción, distribución metabolismo y eliminación de nutrientes como el hierro en tracto digestivo.

En cuanto a los hallazgos a partir de las concentraciones plasmáticas de hierro se absorbió mejor en su forma de fumarato contrario a lo reportado por Kehiri y colaboradores (Kheiri, 2017), puesto que ellos reportaron una mejor absorción de hierro en su forma oxidada (óxido de hierro). Sin embargo para nuestro caso no se pudo aplicar alguna herramienta de la estadística inferencial debido a varios

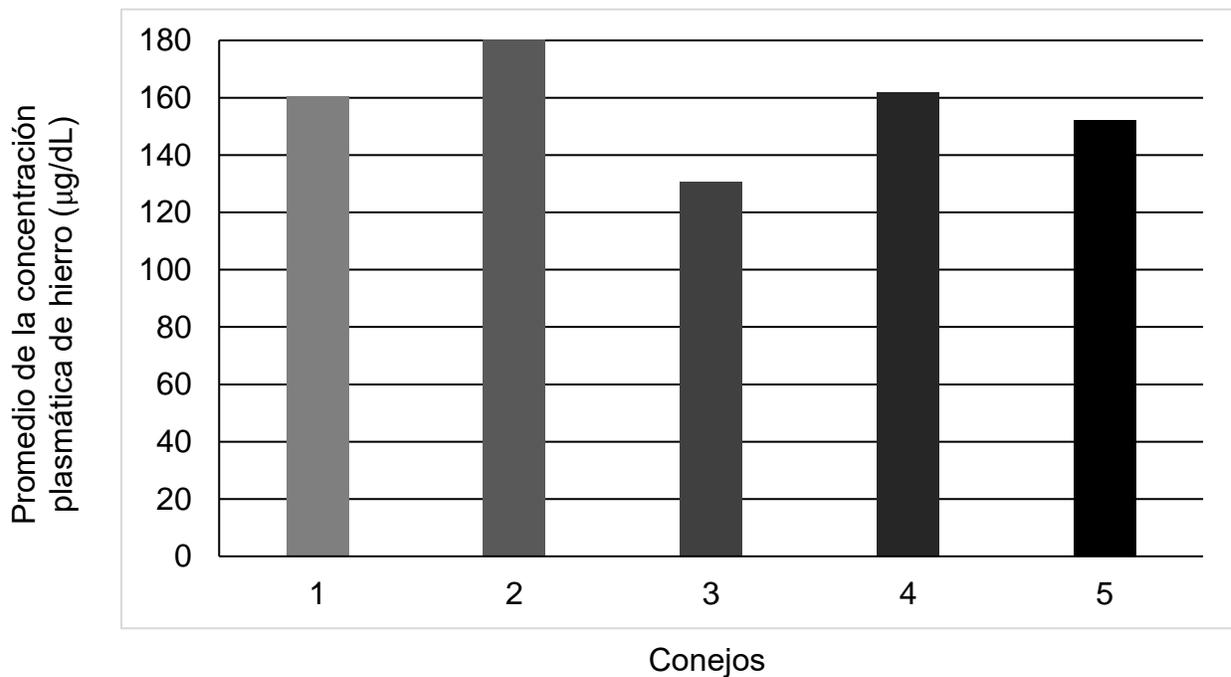
factores, en primer lugar, por el número de resultados para una sola variable, seguido de la heterogeneidad de los resultados en cuanto al comportamiento probablemente de la absorción del hierro, a la asimilación de la vitamina C administrada etc. por lo que se decidió efectuar el cálculo de la diferencia de las concentraciones plasmáticas de hierro entre los conejos que fueron alimentados con cantidades equivalentes de hierro que provenían de las tostadas de haba para dos de ellos y directamente del fumarato ferroso comercial. Los resultados se muestran en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Comparación y cálculo del promedio y desviación estándar de las concentraciones de hierro plasmático de los conejos empleados en el experimento

Semana	Comparaciones de concentración plasmática de hierro ($\mu\text{g/dL}$)						Conejo 1 (control)
	Conejo 2	Conejo 4	Diferencia	Conejo 3	Conejo 5	Diferencia	
1	134,5	196,3	61,8	167,2	182,3	15,1	201,2
2	221,4	168,2	53,2	120,1	125	4,9	146,4
3	190,4	126,2	64,2	104,7	151,8	47,1	206
4	96,4	164	67,6	SM*	132,3	SM*	89
5	258,8	154,7	104,1	SM*	169,6	SM*	159
X	180,3	161,9	70,2	130,7	152,2	22,4	160,3
SD	65,4	25,3	19,7	32,6	24,2	22,0	47,5

Una de las interrogantes más interesantes e importantes sería conocer cuál de los pares de conejos comparados es el que se observa el incremento en la concentración de hierro plasmático y cuál fue el promedio mayor en cuanto a la diferencia de esa cantidad de hierro. La respuesta pudiera esclarecer y darnos la pauta para pensar en que nuestro producto formulado puede tener una mayor asimilación de hierro desde la absorción comparado con los suplementos comerciales que contienen hierro, sin embargo no es así puesto que en algunas ocasiones los resultados de hierro plasmático semanales favorecen al conejo que fue alimentado con tostadas de haba y en otra ocasión se observa una mayor concentración de hierro a los conejos suplementados con fumarato ferroso comercial. Haciendo un análisis estadístico más a fondo, se decidió calcular y graficar la desviación estándar tanto de las concentraciones plasmáticas de hierro semanal

(Gráfica 2) de cada conejo además de la correspondiente a la diferencia entre las concentraciones de los pares de conejos comparados. La gráfica 2 muestra claramente que el conejo 2 mostró una mayor concentración promedio de hierro plasmático. Desafortunadamente el conejo 3 falleció durante el experimento dejándonos sin datos adicionales para poder hacer una comparación completa.

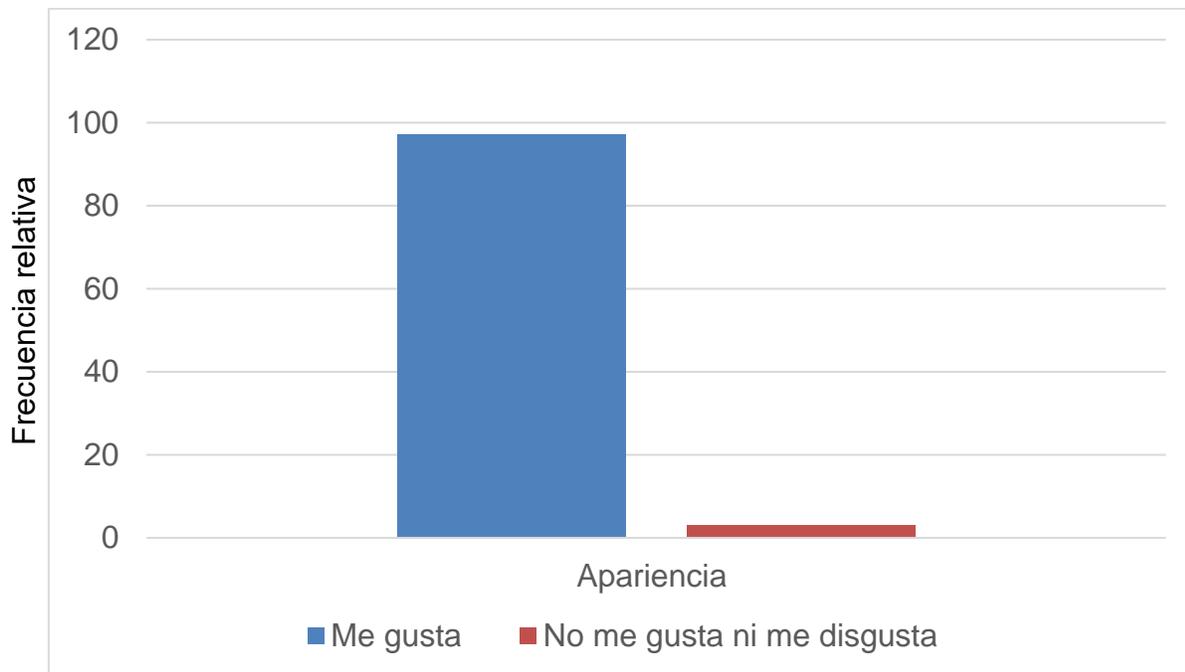


Gráfica 2. Comparación de la concentración promedio de hierro plasmático en los cinco conejos.

11.4 Estudio de la aceptación del producto en base a escalas de tipo Likert

Obteniendo las tostadas se sometió a un estudio de aceptación de las características organolépticas a través del uso de escalas de tipo Likert de las cuales se realizó de forma aleatoria en dos puntos estratégicos del Puerto de Acapulco de Juárez Estado de Guerrero, se les dio una degustación de las tostadas de haba y se les aplicó el instrumento se encuentra en la **Tabla 3** Con una duración 1 a 2 minutos.

Los resultados obtenidos de las características organolépticas corresponden a 100 personas seleccionadas de forma aleatoria durante 2 días. Fueron del sexo femenino 53 personas y de masculino 47 personas, en el cual se les pidió llenar una encuesta en cual evaluaron la aceptación de los parámetros contenidos en la **Gráfica 3**. La apariencia obtuvo un 97% de aceptación mientras que el 3% no quisieron opinar al respecto.

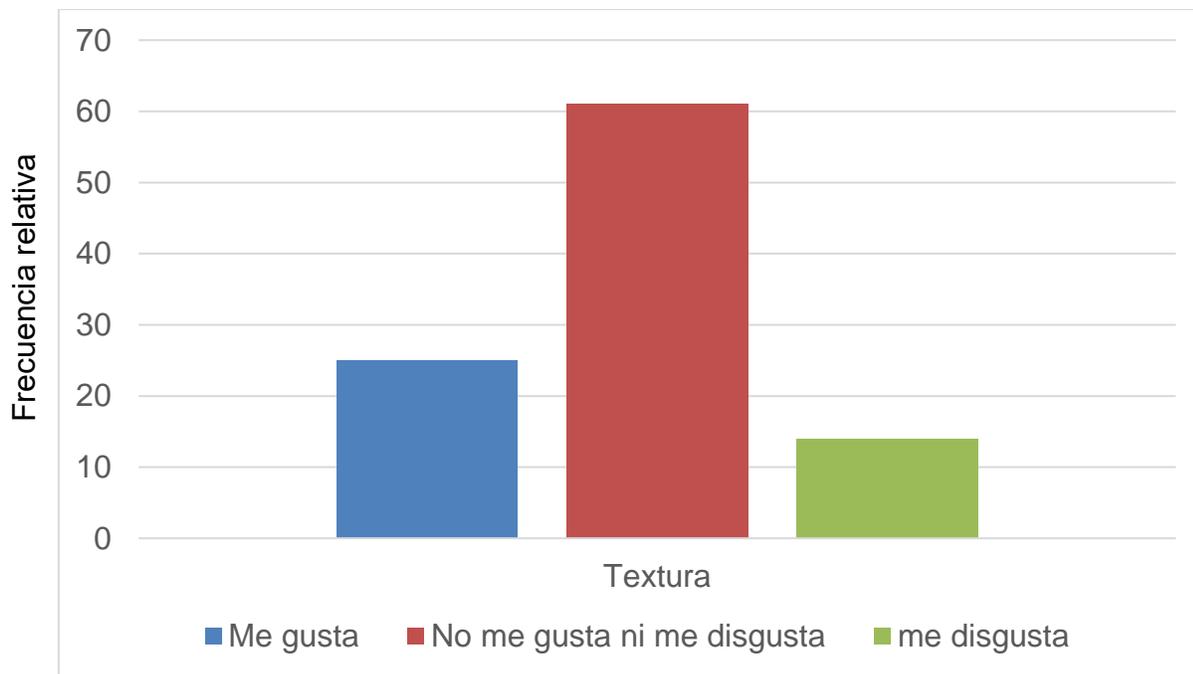


Gráfica 3. Resultados de la encuesta de aceptación sobre la apariencia de las tostadas.

La textura fue aceptada por 25 personas, no obstante, 61 personas no quisieron aclarar si la aceptan o no y solo 14 no lo aceptaron, como se observó en la **Gráfica 4**.

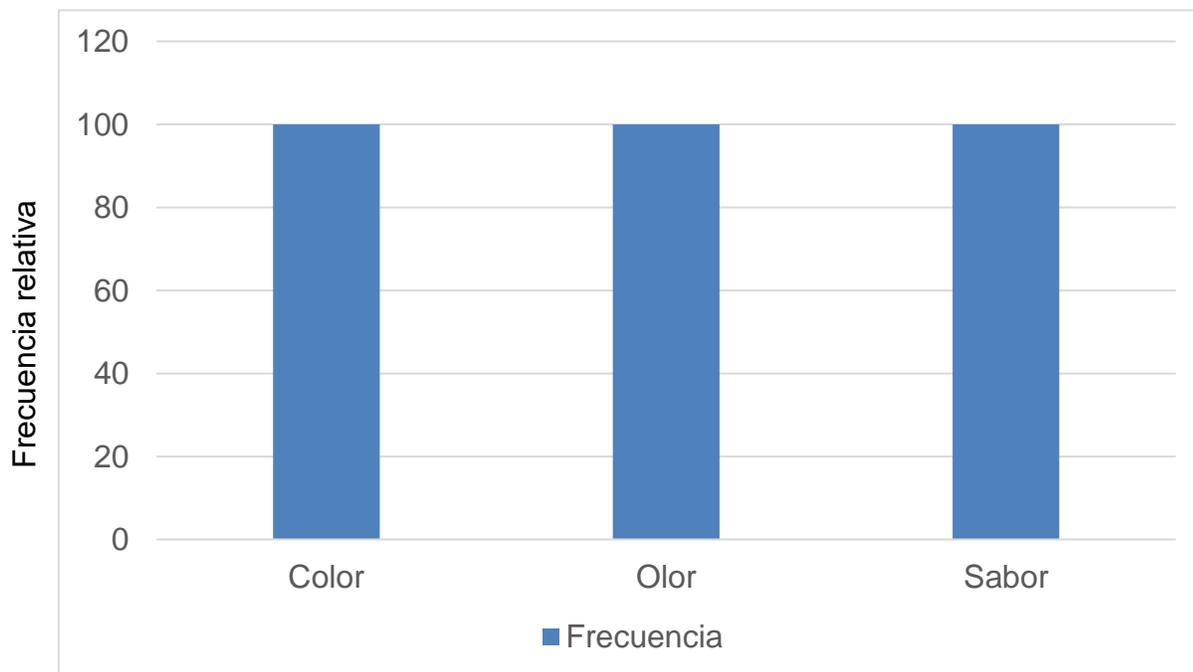
Los resultados sobre la encuesta de aceptación nos orientan a que hay una buena aceptación de producto, el cual la población en general podrá consumirlo y probablemente podrá tener un beneficio nutrimental que en su caso es el aporte de hierro el cual es mineral que requiere para varios procesos fisiológicos como el transporte de oxígeno hacia los tejidos, el desarrollo mental, regulación de

temperatura y disminuir el riesgo a desarrollar enfermedades crónicas. No hay algún escrito novedoso relacionado a los estudios o publicaciones previas



Gráfica 4. Resultados de la encuesta de aceptación sobre la textura.

El total de la población acepta el olor, el color y el sabor como se muestra en la **Gráfica 5.**



Gráfica 5. Resultados de la encuesta de aceptación sobre el color, sabor y olor de las tostadas.

Una de las grandes fortalezas es la apariencia de la tostada obtenida pues se asemeja al producto convencional derivado de un cereal del cual no hay ningún rechazo, la limitante que no se contaba con la maquinaria industrial para desarrollar la deshidratación de manera óptima y por lo cual se realizó artesanal con la colocación de la tortilla de haba fortificada en el comal esperando con un determinado tiempo llegando a una deshidratación. El haba, es un alimento de fácil acceso en el mercado, para su formulación se observa que es manejable que fácilmente se puede elaborar una harina con un proceso de tostado y molienda, pero en el momento de realizar la tortilla y someterla a calor se obtiene la tostada se comprueba que la consistencia del producto no es agradable al paladar, por lo cual se agrega un proceso más para la formulación de la misma se realizó la ebullición del cual se obtuvo mejores características organolépticas de producto.

XII.CONCLUSIONES

El haba es una leguminosa abundante en México y es relativamente económica, fácil de conseguir. Es posible aprovecharla para formular o proponer alimentos funcionales y/o fortificados con micronutrientes que puedan ser transportados por medio de estos alimentos como las tostadas que son consideradas como parte de la dieta frecuente de la población mexicana.

Se obtuvieron tostadas de haba fortificadas con hierro (fumarato ferroso) con una concentración de hierro 5.22mg en 90g de tostada de haba que se encuentra adecuada según las guías de fortificación de América latina y el Caribe. Se determinó la composición nutrimental de la tostada de haba en 90g de la misma, se obtuvo un alto contenido energético, proteico, en los carbohidratos disponibles y en la fibra dietética; el producto de acuerdo con la NOM-086-SSA1-1994 se considera bajo en grasa y no contiene ácidos grasos insaturados Trans. Es una buena alternativa de alimento, debido a los beneficios que da para el organismo.

La comparación del hierro plasmático muestra un incremento en el promedio de este micronutriente en los animales de experimentación alimentados con las tostadas comparados con los que recibieron fumarato ferroso, sin embargo, los cálculos de la desviación estándar de las diferencias de hierro plasmático muestran ser muy heterogéneos además que el número de animales es muy pequeño, lo que nos da la pauta para proponer nuevos estudios experimentales y así estudiar el perfil de absorción de hierro proveniente de las tostadas de haba comparado con otros suplementos que contengan este mineral en un número considerable de animales de experimentación, que permitan observar diferencias significativas o en su defecto tendencias para sobre el perfil de absorción.

XIII. REFERENCIAS.

- Angeles, C. (2013). *Minerales*. Madrid: Pearson.
- Ávila, M. H. (2012). *ENSANUT*. México D.F.
- Beard John L, D. H. (1996). Iron Metabolism. *Nutrition Reviews*, 295-311.
- Bianchini, F. (1974). *Frutos de la Tierra*. Barcelona: AEDOS.
- Brown, J. (2010). *Nutrición en las diferentes etapas de la vida*. México: McGrawHill.
- Bustamante. (2011). Intoxicación aguda por hierro. *Rev. CES Medicina*, 79-96.
- Canaval, P. V. (2009). *Farmacología del hierro*. Bogotá, Colombia.
- Casanueva, E., & Kaufer-Horwitz, M. (2010). *Nutriología Medica*. México: Medica Panamericana.
- Castañeda, F. J. (1991). La producción de Haba en nuestro país . *Claridades Agropecuarias*, 3-4.
- Comite Nacional de Hematología Oncológica y Medicina Transfusional, Comité Nacional de Nutrición. (2017). Deficiencia de hierro y anemia ferropénica. *Archivos Argentinos de Pediatría*, 68-82.
- Cook JD, S. B. (1994). Iron deficiency: the global perspective. *Advances Expertuse in Medical Biology*, 219-228.
- Davidsson L, M. H. (2004). Helicobacter pylori infection, iron absorption, and gastric acid secretion in Bangladeshi children. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 149-159.
- Derman DP, B. T. (1980). Importance of ascorbic acid in the adsorption of iron from infant. *Journal of Haematology*, 193-201.
- Forrellat M, G. H. (2000). Metabolismo del hierro. *Revista Cubana de Nutrición* , 149-160.
- Gutierrez, J. B. (2000). *Ciencia Bromatológica*. Madrid: Diaz de Santos.
- Harrison T. (2006). *Principios de Medicina Interna*. México: McGraw-Hill.

- Hartmann, K. P. (2002). Chemical composition and ultrastructure of broad bean (*Vicia faba* L.) nodule endodermis in comparison to the root endodermis. *Planta*, 14-25.
- Hurell, R. (1997). Preventing iron deficiency through food fortification. *Nutr Rev*, 210-222.
- Instituto de Nutrición y Transtornos Alimentarios. (2014). *Alimentos Funcionales*. Madrid, España.
- Lagua, R., & Claudio, V. (2007). *Diccionario de nutrición y dietoterapia*. México: McGraw-Hill.
- Levy, S. (2017). Tendencia en la prevalencia de anemia entre mujeres mexicanas en edad reproductiva 2006-2016, ENSANUT MC 2016. *Salud Pública de México*, 301-308.
- Loukie, W., & Jill, C. (2009). *Ingredientes*. España: H.F. ULLMANN.
- Lynch SR, C. J. (1980). Interaction of vitamin C and iron. *Ann N Y Acad Sci*, 32-34.
- Macías, E. (2011). *Elaboración de sopa instantánea a partir de harina de haba*. Quito, Ecuador.
- Organización Panamericana de la Salud. (2002). Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos. *Guías para América Latina y el Caribe*.
- Pérez, A. P. (2014). *Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes*. México: Ogali.
- Pérez, G. (2005). Homeostasis del hierro, mecanismos de absorción, captación celular y regulación. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 3-8.
- Repetto, M. (2006). *Toxicología Alimentaria*. España: Diaz de Santos.
- Valenzuela A, V. R. (2015). La innovación en la industria de alimentos: historia de algunos innovadores y de sus innovadores. *Rev Chilena de Nutrición*, 404-408.
- Weinberg, E. D. (2009). Iron toxicity: New conditions continue to emerge. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 107-109.

XIV. ANEXOS.



Figura 4. Animal de experimentación, conejo *Nueva Zelanda* número cinco (caso).



Figura 5. Animal de experimentación, conejo *Nueva Zelanda* número cuatro (caso).



Figura 6. Animal de experimentación, conejo *Nueva Zelanda* número tres (caso; alimentado con tostada de haba fortificada con hierro).



Figura 7. Animal de experimentación, conejo *Nueva Zelanda* número dos (caso; alimentado con tostada de haba fortificada con hierro).



Figura 8. Animal de experimentación, conejo *Nueva Zelanda* número uno (control).



Figura 9. Animales de experimentación, conejo *Nueva Zelanda* (casos).



Figura 10. Animal de experimentación, conejo *Nueva Zelanda*; evidencia del consumo de tostada de haba fortificada con hierro.

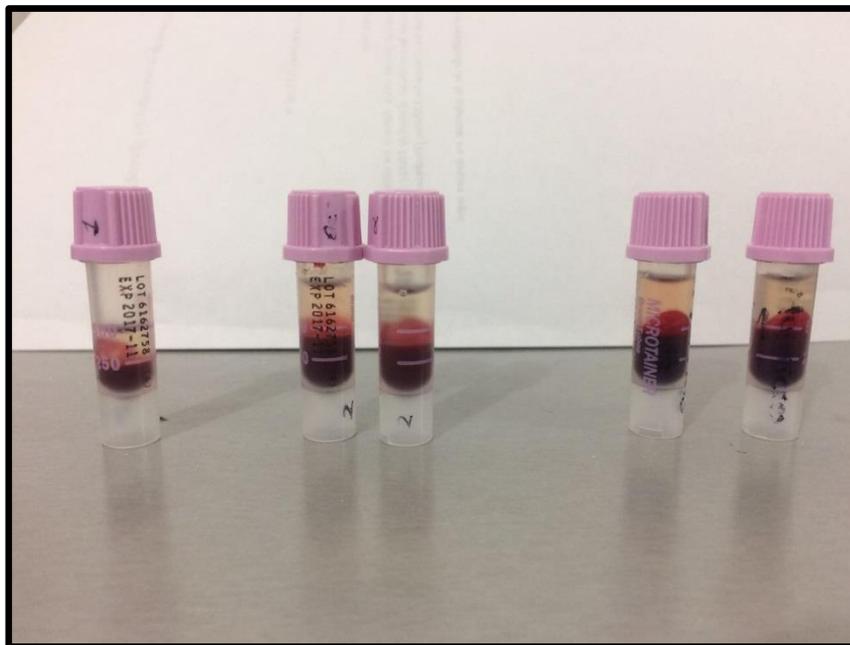


Figura 11. Muestras de sangre de los animales de experimentación.



Figura 12. Toma da muestra de sangre en animal de experimentación.

