

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE UNA
TORTILLA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO ENRIQUECIDA CON
HARINA DE FRIJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris* L.) PARA
AUMENTAR SU VALOR NUTRIMENTAL

POR:

JESÚS ISRAEL BARBOZA FRÍAS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México; Junio 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS

TESIS

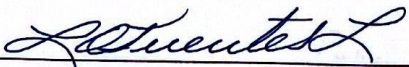
ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE UNA TORTILLA DE MAÍZ
NIXTAMALIZADO ENRIQUECIDA CON HARINA DE FRIJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris* L.)
PARA AUMENTAR SU VALOR NUTRIMENTAL

Presentada por:

JESÚS ISRAEL BARBOZA FRÍAS

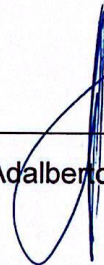
Que se somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



M.E. Laura Olivia Fuentes Lara

Presidente



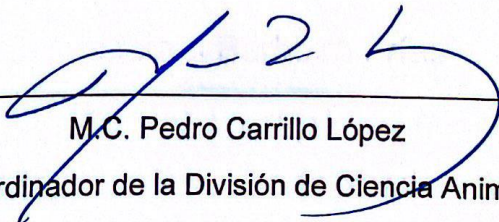
Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Vocal



Dra. Xóchitl Ruelas Chacón

Vocal



M.C. Pedro Carrillo López

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila, México; Junio 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TESIS

ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE UNA TORTILLA DE MAÍZ
NIXTAMALIZADO ENRIQUECIDA CON HARINA DE FRIJOL NEGRO (*Phaseolus
vulgaris* L.) PARA AUMENTAR SU VALOR NUTRIMENTAL

Presentada por:

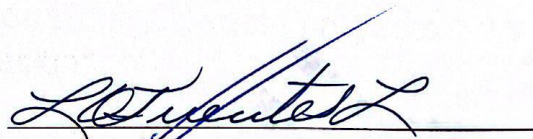
JESÚS ISRAEL BARBOZA FRÍAS

Que ha sido aprobada como requisito para obtener el título de:

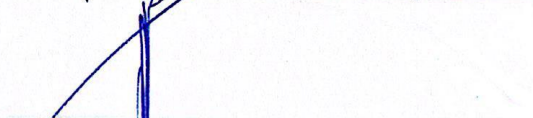
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

El presente trabajo ha sido asesorado y aceptado de acuerdo al artículo 89 del
Reglamento Académico para Alumnos de Licenciatura por el siguiente comité
asesor:

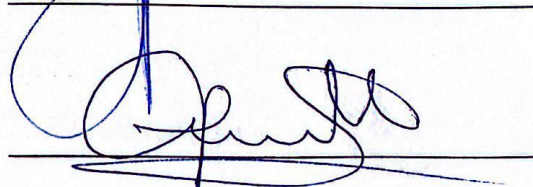
M.E. Laura Olivia Fuentes Lara
Asesor principal
Departamento de Nutrición Animal



Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor
Departamento de Horticultura



Dra. Xóchitl Ruelas Chacón
Coasesor
Departamento de Ciencia y tecnología
de Alimentos



Saltillo, Coahuila, México; Junio 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TESIS

ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE UNA TORTILLA DE MAÍZ
NIXTAMALIZADO ENRIQUECIDA CON HARINA DE FRIJOL NEGRO (*Phaseolus
vulgaris* L.) PARA AUMENTAR SU VALOR NUTRIMENTAL

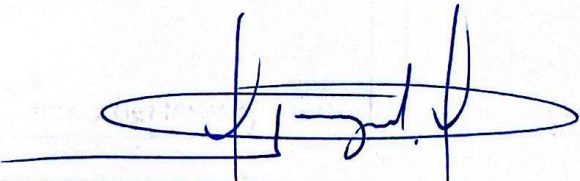
Presentada por:

JESÚS ISRAEL BARBOZA FRÍAS

presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Con la participación en la ejecución técnica de este proyecto
de investigación:



T.L.Q Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel

Saltillo, Coahuila, México; Junio 2023

Declaración de Autenticidad y no plagio

Por medio de la presente, yo Jesus Israel Barboza Frías, estudiante egresado de la carrera de Ingeniería en Ciencia y Tecnología de Alimentos manifiesto que he realizado mi trabajo de tesis denominada "Elaboración y caracterización química de una tortilla de maíz nixtamalizado enriquecida con harina de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) para aumentar su valor nutrimental" como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos, declaro que este trabajo ha sido desarrollado íntegramente y afirmo que no existe plagio de ninguna naturaleza. Así mismo dejo constancia de que las citas de los autores han sido debidamente identificadas, por lo que no se asumen como propias las ideas obtenidas de las diversas fuentes.

Jesus BF

Jesús Israel Barboza Frías

Saltillo, Coahuila, México; Junio 2023

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a aquellos que son importantes en mi vida, a los que me apoyaron durante este largo y difícil camino.

A MIS PADRES

J Virgen Barboza Camacho y Bertha Irene Frías Ochoa

HERMANOS

Isaac, Michelle y Miriam Barboza Frías

Agradecimientos

A mis padres que sacrificaron todo y dieron su máximo esfuerzo por permitirme cumplir este sueño.

A mis maestros por dedicar su tiempo y conocimiento para desarrollarme académica y profesionalmente.

A mi tutora y asesora principal M.E. Laura Olivia Fuentes Lara por apoyarme y aconsejarme durante mi carrera y guiarme en la elaboración este trabajo.

A T.L.Q Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel por apoyarme en la realización de este trabajo y compartir buenos momentos.

A mis amigos y personas que me acompañaron en este recorrido, las cuales me dejaron experiencias y recuerdos inolvidables, además agradezco a esas personas que me ayudaron a madurar.

Agradezco a mis artistas favoritos por existir y darme esa alegría cuando mas la necesitaba, por animarme en momentos difíciles, por llenar de ritmo mi vida y que con sus letras me inspiraban valor para seguir adelante y cumplir mis sueños. Gracias por todo Walküre y Aqours.

“No permitas que el miedo y tus debilidades te alejen de tus objetivos. Mantén tu corazón ardiendo. No importa que pase, sigue avanzando. Y no te rindas a pesar de haberte caído. Recuerda que el tiempo no espera a nadie, ni te hará compañía, ni compartirá tus penas” - Kyojuro Rengoku (KNY)

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	JUSTIFICACIÓN	3
1.2	HIPÓTESIS	4
1.3	OBJETIVOS	4
1.3.1	Objetivo general	4
1.3.2	Objetivos específicos	4
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1	El maíz	5
2.1.1	Historia del maíz	5
2.1.2	Importancia del maíz	6
2.1.3	Procesamiento tradicional del maíz.....	7
2.1.4	Contenido nutricional	7
2.1.5	Usos y aplicaciones del maíz.....	7
2.2	Nixtamalización	9
2.2.1	El proceso de nixtamalización.....	9
2.2.2	Elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado	9
2.2.3	Productos elaborados con masa de maíz nixtamalizado	10
2.2.4	Cambios en el valor nutritivo del maíz causados por la nixtamalización	11
2.3	Frijol negro (<i>Phaseolus vulgaris L</i>)	13
2.3.1	Historia del frijol	13
2.3.2	Importancia del frijol en México.....	14
2.3.3	Variedad de frijol negro	14
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1	Materia prima.....	16
3.2	Materiales	16
3.3	Equipos utilizados.....	17
3.4	Reactivos utilizados	18
3.5	Formulación y elaboración de las tortillas	18
3.5.1	Obtención de la harina de frijol negro	19
3.5.2	Elaboración de las tortillas.....	20
3.6	Preparación de la muestra	22

3.7	Determinación de materia seca total (% MST)	23
3.8	Determinación de humedad	25
3.9	Determinación de Ceniza o minerales	25
3.10	Determinación de proteína cruda	26
3.11	Determinación de extracto etéreo o grasa total por método Soxhlet	29
3.12	Determinación de fibra cruda.....	31
3.13	Determinación de extracto libre de nitrógeno (ELN) o carbohidratos	33
3.14	Determinación de contenido calórico (kcal)	34
3.15	Determinación de minerales	35
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1	Humedad y Materia seca total	39
4.2	Ceniza Total	40
4.3	Proteína cruda.....	41
4.4	Extracto etéreo o grasa	42
4.5	Fibra cruda.....	43
4.6	Extracto libre de nitrógeno o carbohidratos.....	44
4.7	Contenido calórico (kcal)	45
4.8	Minerales.....	46
4.8.1	Potasio (K)	47
4.8.2	Magnesio (Mg).....	48
4.8.3	Zinc (Zn)	49
4.8.4	Hierro (Fe)	50
5.	CONCLUSIONES.....	51
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Comparación de nutrientes entre dos variedades de frijol	15
Cuadro 2.	Materiales Utilizados	16
Cuadro 3.	Equipos utilizados.....	17
Cuadro 4.	Reactivos utilizados	18
Cuadro 5.	Formulaciones de tortillas de masa de maíz nixtamalizado y harina de frijol negro	18
Cuadro 6.	Comparación de medias de las variables de estudio; Análisis proximal	38
Cuadro 7.	Comparación de medias de las variables de estudio; Minerales	39
Cuadro 8.	Resultados de Humedad y Materia Seca Total	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Frijol negro en charolas de aluminio	19
Figura 2.	Harina obtenida del Frijol negro	20
Figura 3.	Adición de la harina de Frijol a la masa de Maíz	21
Figura 4.	Cocción de las tortillas en un comal	21
Figura 5.	Identificación de las tortillas de acuerdo con su tratamiento	22
Figura 6.	Muestra molida e identificada en frascos	23
Figura 7.	Pesado de los crisoles para determinar %MST	24
Figura 8.	Muestra molida y pesada en crisoles de porcelana	24
Figura 9.	Crisoles en parrillas eléctricas	26
Figura 10.	Matraces Kjeldahl en ebullición	27
Figura 11.	Matraces Erlenmeyer con destilado, a la izquierda matraz titulado con H ₂ SO ₄	29
Figura 12.	Muestra desengrasándose en el equipo Soxhlet	30
Figura 13.	Vasos de Berzelius con muestra desengrasada en ebullición	31
Figura 14.	Muestra filtrándose en embudos con tela de Lino	32
Figura 15.	Vasos de precipitado con mezcla de HClO ₄ y HNO ₃ después de la ebullición	36
Figura 16.	Espectrofotómetro de absorción atómica Modelo AA-1275	37
Figura 17.	Comparación de medias de Ceniza Total	41
Figura 18.	Comparación de medias de Proteína Cruda	42
Figura 19.	Comparación de medias de Extracto etéreo	43
Figura 20.	Comparación de medias de Fibra cruda	44
Figura 21.	Comparación de medias de ELN	45
Figura 22.	Comparación de medias del Contenido calórico	46
Figura 23.	Comparación de medias de Potasio (K)	47
Figura 24.	Comparación de medias de Magnesio (Mg)	48
Figura 25.	Comparación de medias de Zinc (ppm Zn)	49
Figura 26.	Comparación de medias de Hierro (ppm Fe)	50

RESUMEN

En México, la tortilla de maíz representa el principal alimento esencial, aproximadamente el 95 % de los mexicanos consumen tortilla, ya que es una fuente importante diaria de energía y proteínas. Aunque la digestibilidad proteica de la tortilla es de aproximadamente el 85%, su calidad proteica se considera baja. Por ello, las tortillas suelen complementarse con legumbres o productos de origen animal como alternativa para disminuir la desnutrición proteica. El objetivo de este estudio consistió en desarrollar una tortilla de maíz y harina de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) con cualidades nutritivas en base a proteína, fibra y minerales. Y realización de su caracterización química para comprobar si esta adición aumenta el valor nutrimental.

El presente estudio se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se realizaron distintas formulaciones de tortillas de maíz nixtamalizado y frijol negro con porcentaje de 0, 3, 5, 7, 10 y 100 % de frijol negro. Se realizó la caracterización química (% MST, %H, %C, %PC, %EE, %FC, %ELN, kcal/100 g, minerales: %K, %Mg, mg/L Zn y Fe) de las distintas formulaciones de maíz nixtamalizado y frijol negro.

Se analizaron los resultados mediante un paquete estadístico y se compararon los resultados encontrando que la formulación con 10 % de harina de frijol negro es la mejor opción en cuanto al contenido de nutrientes, obteniendo: 2.68 % de cenizas, 13.27 % de proteína cruda, 2.41 % de extracto etéreo, 2.26 % de fibra cruda, 79.38 % de ELN o carbohidratos y un contenido calórico de 392.33 kcal/100 g. En cuanto a los minerales se obtuvo un resultado de 0.35 % de potasio (K), 0.14 % de magnesio (Mg), 28.46 mg/L de zinc (Zn) y 42.44 mg/L de hierro (Fe).

Palabras clave: Tortilla, maíz, frijol negro, formulación, caracterización

Jesús Israel Barboza Frías

Correo electrónico: barbozafrias.jesus@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El maíz se originó en México hace más de 6000 años y es un grano clave para la economía mundial y la seguridad alimentaria (1). En México, el agroecosistema del maíz además de ser parte fundamental de la producción local y nacional de alimentos tiene una considerable relevancia social, cultural e histórica desde la época prehispánica (2).

En México, la tortilla de maíz representa el principal alimento esencial; las tortillas de maíz y los totopos son los aperitivos salados más significativos (3). Aproximadamente, 95% de los mexicanos consumen "tortilla", ya que es una importante fuente diaria de energía (~50-70 %) y proteínas (~50 %) (4).

México es el principal consumidor de tortillas en el mundo, con un consumo anual cercano a los 11 millones de toneladas de maíz, lo que representa un consumo per cápita de 79.5 kg de tortillas en zonas rurales, y de 56.7 kg en las zonas urbanas, estas cantidades equivalen al consumo diario de 7 y 5 tortillas que aportan 477 y 340kcal, respectivamente (5).

Las tortillas son cada vez más populares en todo el mundo. En 2012, las ventas mundiales de tortillas se estimaron en 12.000 millones de dólares y las de tacos, tostadas, chips de tortilla y otros aperitivos de maíz en 10.000 millones. México representa el 42 % de la producción mundial de tortillas, Estados Unidos el 36 %, Centroamérica el 9 % y otros países el 13 %. El maíz constituye el 98 % de las tortillas que se consumen en México y Centroamérica. En México, el 40 % del maíz se utiliza para tortillas (6).

Las tortillas artesanales se elaboran tradicionalmente mediante el proceso denominado nixtamalización (7). La nixtamalización confiere varios beneficios en los productos finales en comparación con los granos sin procesar, como la mejora de la biodisponibilidad del niacina y la calidad de las proteínas, la reducción de las micotoxinas en los granos crudos, el aumento del contenido de almidón resistente y calcio y la reducción del contenido de fitatos en los productos finales (8).

Los granos de maíz maduros, la cal alimentaria y el agua son los tres ingredientes fundamentales que se utilizan en la cocción alcalina para elaborar nixtamal, que se muele para obtener masa y luego se transforma en tortillas de mesa y productos afines. Otros aditivos menores como gomas, emulsificantes, acidulantes, conservadores, agentes blanqueadores y mezclas de enriquecimiento se añaden comúnmente para mejorar el color, la vida útil microbiana y textural, y las propiedades nutricionales (9;10).

Aunque la digestibilidad proteica de la tortilla es de aproximadamente el 85%, su calidad proteica global se considera baja porque carece de cantidades suficientes de lisina y triptófano. Estos aminoácidos están presentes en aproximadamente la mitad de la cantidad necesaria para un crecimiento óptimo (11).

Por ello, las tortillas suelen complementarse con legumbres o productos de origen animal como mejor alternativa para disminuir la desnutrición proteica (12).

El hambre y la malnutrición en los países en desarrollo son los problemas más graves a los que se enfrenta el ser humano. El kwashiorkor, el marasmo y otros problemas de malnutrición inhiben el crecimiento, debilitan los recursos humanos y afectan de alguna manera al menos a 925 millones de los al menos siete mil millones de habitantes del mundo.

En los países en desarrollo, el enriquecimiento y la fortificación de los alimentos básicos son las formas más eficaces de mejorar el estado nutricional de la población. Cuando se practica ampliamente, el enriquecimiento mejora el consumo de nutrientes, el rendimiento laboral individual y la salud pública. Se ha hecho hincapié en la tiamina, la riboflavina, el niacina y el hierro, y recientemente también en el zinc y el ácido fólico. Debido a su elevado consumo, las tortillas de harina de maíz y de trigo pueden utilizarse como vehículo para disminuir la malnutrición proteica y la deficiencia de otros nutrientes importantes (12).

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) común es la leguminosa más importante para consumo humano en el mundo, ya que es una fuente importante de proteína, calorías, vitaminas del complejo B y minerales (13; 14). Así mismo, el frijol es rico

en componentes bioactivos como inhibidores de enzimas, lecitinas, etc., además dentro de sus actividades biológicas están la capacidad antioxidante, la reducción de colesterol y lipoproteínas, por lo que tiene un efecto protector contra enfermedades cardiovasculares y se ha mostrado que el consumo de frijol tiene efectos favorables contra el cáncer (14). Con respecto al contenido de fibra, esta produce un efecto hipoglucemiante, lo cual quiere decir que este ayuda en el tratamiento de la diabetes tipo dos (15)(16).

Es por eso por lo que este estudio tiene como objetivo la elaboración de distintas formulaciones de tortilla a base de mezclas de maíz nixtamalizado y harina de frijol negro (*Phaseolus vulgaris L.*) y realizar su caracterización química para comprobar si esta adición aumenta su valor nutrimental.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La malnutrición es un problema que afecta gravemente la salud de la población, el estilo de vida de las personas en la actualidad hace que presten menos atención a la calidad de su salud y dieta. El consumidor de ahora tiende a consumir más los productos procesados, llenos de aditivos y bajos en nutrientes esenciales. Estos malos hábitos alimenticios en la población han generado deficiencias nutrimentales que desembocan en una gran variedad de enfermedades crónicas como la obesidad, la Diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer, etc. Una de las alternativas que se podrían generar para mitigar estos problemas, es el desarrollo de alimentos, usando mezclas de ingredientes no convencionales, que contengan un alto valor de nutrientes necesarios para el correcto desarrollo del cuerpo y que tengan propiedades funcionales para poder prevenir las enfermedades causadas por estos malos hábitos. Es por eso por lo que, en este estudio, se propone la elaboración de una tortilla a base de maíz nixtamalizado y frijol negro (*Phaseolus vulgaris L.*), para aumentar el valor nutricional de la tortilla de maíz, así se podrá ofrecer a la población una alternativa mejorada de un alimento básico, pero enriquecido nutrimentalmente.

1.2 HIPÓTESIS

La adición de harina de frijol negro a la masa de maíz nixtamalizado aumentará el valor nutricional de las distintas formulaciones, en comparación a las tortillas elaboradas solo con maíz.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una tortilla de maíz y harina de frijol negro (*Phaseolus vulgaris L.*) con cualidades nutritivas en base a proteína, fibra y minerales. Y realizar su caracterización química para comprobar si esta adición aumenta el valor nutrimental.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar las distintas formulaciones de maíz nixtamalizado y frijol negro con porcentaje de 3, 5, 7 y 10 % de frijol negro.

Elaborar las tortillas de maíz nixtamalizado y frijol negro.

Realizar la caracterización química de las distintas formulaciones de maíz nixtamalizado y frijol negro.

Analizar los resultados de las distintas formulaciones y determinar si la adición de frijol negro a la masa de maíz nixtamalizado aumenta su valor nutrimental.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El maíz

2.1.1 Historia del maíz

Hace unos 10.000 años, en algún lugar de Mesoamérica, los indígenas recolectaban diversas plantas, entre ellas, el antepasado del maíz (*Zea mays L*) que hoy conocemos. El cultivo de esta hierba, llamada teosinte, y de otras plantas autóctonas fue transformando al recolector nómada en agricultor sedentario, y así nació la agricultura primitiva. Los antiguos agricultores empezaron a seleccionar y manipular el teosinte (*Zea mexicana*) y en un par de siglos lo transformaron en varias razas de maíz precolombinas. Inmediatamente, el maíz se convirtió en el cultivo clave para la subsistencia y en el centro de sus vidas. Junto con este desarrollo crítico e importante, la gente también talló utensilios para moler y procesar los granos de maíz antiguos. Para ablandar los granos y facilitar la molienda, los indios los cocían; así nacieron los primeros prototipos de tortillas. Se dio un paso gigantesco cuando los granos se cocieron primero con una pizca de cenizas de madera y más tarde con cal (CaO). Este tratamiento alcalino mejoró el valor nutritivo del grano y su palatabilidad y permitió la producción de una masa cohesiva, que se utilizó para producir diversos alimentos básicos como tortillas, bebidas, y tamales. La introducción de otras razas de maíz procedentes de Sudamérica mejoró aún más los sistemas agrícolas y los rendimientos, proporcionó nuevo material genético y permitió la producción de una serie de genotipos de maíz para diferentes aplicaciones alimentarias. Estas razas variaban en tamaño de grano, textura, color e incluso valor nutritivo y constituyeron el germoplasma básico para las variedades e híbridos actuales que cultivamos hoy. Para entonces, el maíz se había convertido en sagrado y, por tanto, era la parte central de prácticamente todas las culturas mesoamericanas. Luego, en 1492, Cristóbal Colón desembarcó en América, y pronto los conquistadores españoles, liderados por Hernán Cortés, alcanzaron y subyugaron a la cultura indígena más avanzada, los nahuatl o aztecas. Comenzó la fusión de estas dos culturas contrastadas y, con ella, el intercambio de prácticas agrícolas y culinarias. Enseguida, los extranjeros se dieron cuenta de que el maíz era el cultivo más importante y la materia prima básica

para la elaboración de numerosos alimentos o platos exóticos. Los españoles enviaban maíz a Europa, y los viajes de vuelta traían trigo (*Triticum aestivum L.*) y arroz (*Oryza sativa L.*). Se produjo el intercambio y la difusión de los tres cultivos de cereales más importantes. La cocina mexicana pronto incorporó el trigo y otros materiales vegetales desconocidos del Viejo Mundo, y la cocina mestiza se fue desarrollando gradualmente. Las tortillas de harina de trigo fueron uno de los productos preferidos que se desarrollaron (17).

2.1.2 Importancia del maíz

El maíz, “tlayol” (en náhuatl tlayolli) “semilla de los dioses” hace referencia al maíz desgranado, una planta de gran valor para las civilizaciones antiguas, desde entonces se ha constituido como un cereal indispensable para el hombre, gracias a su versatilidad para mezclarse con diversos ingredientes y la creatividad de cada cocina, de esto deriva la importancia en su producción y consumo a nivel mundial (18).

El maíz es una planta de polinización abierta, a esto se debe la existencia de variedades pigmentadas como: azul, rojo, además del blanco y amarillo. El maíz blanco y azul es producido únicamente para el consumo humano debido al contenido nutricional, mientras el maíz amarillo tiene uso industrial o para alimentación del ganado (19). La composición nutricional del maíz varía de acuerdo con su color y características físicas, es fuente de carbohidratos, contiene en menor proporción proteínas y lípidos. En los maíces pigmentados se encuentran en mayor cantidad compuestos con propiedades antioxidantes (fenoles, flavonoides y antocianinas), (20) los cuales aportan un sin número de beneficios a la salud previniendo algunas enfermedades metabólicas como obesidad, diabetes, nefropatías, cáncer y algunas enfermedades del sistema nervioso (21).

2.1.3 Procesamiento tradicional del maíz

El maíz se procesaba tradicionalmente cociendo y remojando los granos con cal o cenizas de madera, desechando el licor de cocción o nejayotl, y frotando el nixtamalli blando resultante, entre las manos para eliminar el salvado. El producto lavado, el nixtamal, se molía a mano con una piedra cilíndrica y un metatl o losa plana de piedra. La masa resultante, llamada tamalli y yokem por los aztecas y los mayas, respectivamente, era la columna vertebral para la producción de muchos alimentos básicos (17).

2.1.4 Contenido nutricional

La cantidad de cenizas no debe sobrepasar 0.05 g/g (5 %) de muestra seca, valores por encima podrían indicar contaminaciones por calcio, sal y tierra debido a la poca limpieza en la cosecha (22). Los lípidos en el grano se encuentran en un rango de 0.2 % a 7.73 %, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés; Food and Agriculture Organization), (23) el porcentaje de lípidos oscila entre 3 % y 18 %, esto puede cambiar debido a la variedad de maíz. Los principales ácidos grasos, que lo conforman son linoleico y oleico (24), De acuerdo con el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) (25) el maíz debe contener un mínimo de 8 % de proteína, los principales aminoácidos que contiene el maíz son el ácido glutámico, seguido de la leucina (26). Los carbohidratos del maíz por su parte están ocupados mayormente por almidón, su contenido es de 72 % a 73 % del peso del grano, (23) el maíz azul es el de mayor contenido (84 %), lo cual está relacionado con la coloración que presentan.

2.1.5 Usos y aplicaciones del maíz

2.1.5.1 Harina de maíz

La harina de maíz es obtenida mediante la molienda seca de los granos, es el proceso en el que se separan las distintas partes que componen los granos de maíz (27). Existen dos clases de harina de maíz; la integral que se obtiene de los granos mediante un proceso de molienda, la cual conserva su cáscara y germen, (28) mientras que la harina de maíz no integral, también llamada harina de maíz sin

germen; debido a que, durante el proceso de molienda, se separan el germen y el salvado según la Organización Mundial de la Salud (29).

La harina de maíz es utilizada para sustituir harina de trigo en galletas, algunos alimentos son añadidos a la mezcla para mejorar su contenido nutricional. En Nigeria, las galletas de maíz con harina de almendra y coco, así como trigo en pequeñas proporciones, se realizan como una alternativa para evitar la importación de trigo y reducir costos, esta mezcla ofrece un beneficio reflejado en el incremento de la proteína (6.8 %), en consecuencia, este producto se considera una buena opción en la mejora de la desnutrición proteico-calórica (30).

2.1.5.2 Almidón

Otro de los subproductos, es el almidón, el cual es empleado como relleno de comprimidos para sustituir el uso de lactosa, con la finalidad de evitar las molestias por la intolerancia que esta causa.(31) El almidón de maíz como nano encapsulante de antocianinas, mediante esterificación, se considera una opción excelente debido a su biodisponibilidad, bajo costo, liberación controlada de moléculas bioactivas, ya que existe interacción nanopartícula-antocianina, aumentando algunas características como la cristalinidad y tamaño hidrodinámico.(32) A su vez, el almidón se emplea para la fabricación de Ogi (alimento en forma de papilla hecha a partir de cereales fermentados), dando lugar a un producto con un costo menor, contenido de carbohidratos mayor, y mejoramiento en los parámetros de sabor y aroma, no obstante, presenta una disminución de proteínas y grasas en comparación con la muestra elaborada a partir de grano de maíz (33).

2.1.5.3 Aceite

Por otro lado, el germen del grano del maíz es utilizado para producción de aceite mediante un proceso de extracción o prensado en frío, para después refinarlo, su uso principal es en la cocina debido a su alto punto de fusión.(34) Al aceite de maíz se le han añadido sustancias bioactivas como polifenoles y flavonoides, provenientes de especies vegetales, esto con el fin de enriquecerlo y darle un valor agregado, aportando aromas y sabores, que a su vez ofrecen un beneficio a la salud del consumidor, como antioxidantes (19).

2.1.5.4 Alcoholes grado combustible

La utilidad que se le ha dado al maíz como materia prima para la producción de alcoholes grado combustible, resulta una opción económica y al ser un recurso renovable se obtienen beneficios ecológicos, esto se realiza mediante un proceso de fermentación (35).

2.1.5.5 Jarabe de maíz

El jarabe de maíz de alta fructosa es un subproducto del maíz, definido por el Codex Alimentarius (36) como “una solución acuosa concentrada y purificada de sacáridos nutritivos, obtenido a partir del almidón y/o inulina”. Es altamente empleado por su bajo costo como endulzante, en productos industrializados, por ejemplo, bebidas carbonatadas y no carbonatadas, yogurt, mermelada y pan (37;38) (18).

2.2 Nixtamalización

2.2.1 El proceso de nixtamalización

Del náhuatl *nixtli*, cenizas, y *tamalli*, masa, el proceso de la nixtamalización se ha transmitido de generación en generación en Mesoamérica, y todavía se utiliza como en tiempos prehispánicos. Se inicia con la adición de dos partes de una solución de cal aproximadamente al 1 % a una porción de maíz. Esta preparación se cuece de 50 a 90 minutos y se deja remojando en el agua de cocción de 14 a 18 horas. Posterior al remojo, el agua de cocción, conocida como nejayote, sin retirar el pericarpio ni el germen del maíz, se obtiene así el llamado maíz nixtamalizado o nixtamal, que llega a tener 45 % de humedad (39).

2.2.2 Elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado

El maíz nixtamalizado es molido en un metate para producir la masa que se utiliza para formar a mano discos que luego son cocidos en un comal de barro. Es importante indicar que el proceso de molienda requiere la adición de agua y que la masa llega a tener de 48 a 55 % de humedad. Finalmente, el disco de masa, de aproximadamente 20 centímetros de diámetro, se cuece permitiendo que un lado de la tortilla este en contacto con el calor de 30 a 45 segundos, se voltea para cocer el otro lado durante un minuto y otra vez el lado inicial por otros 30 segundos para

completar la cocción. El producto resultante era llamado en náhuatl *tlaxcalli* y fue nombrado tortilla por los españoles (39).

2.2.3 Productos elaborados con masa de maíz nixtamalizado

2.2.3.1 Atole

El atole es una papilla nutritiva elaborada con masa heredada de la cultura azteca. En el sur de México y Centroamérica aún se consumen diferentes tipos de atole. Los atoles se elaboran tomando un pequeño trozo de masa que se diluye en agua o leche y se calienta para lograr una gelatinización completa del almidón. Después de la cocción se le añade opcionalmente azúcar, canela, hojas de naranja y otros saborizantes para mejorar la palatabilidad (40).

2.2.3.2 Champurrado

Champurrado es otro tipo de atole que se complementa con granos de cacao (*Theobroma cacao*), azúcar moreno, canela (*Cinnamomum zeylanicum*) y otras especias (41).

2.2.3.3 Pozol

El pozol es otro producto derivado de la masa nixtamalizada. Su nombre deriva de la palabra azteca pozolli, que significa espumoso. Esta bebida fermentada, espesa y nutritiva, sigue siendo consumida por los campesinos del sureste de México. Grandes porciones de masa (alrededor de 1 kg) se envuelven en hojas de plátano y se fermentan de forma natural durante dos semanas. Durante la fermentación se desarrolla el característico sabor ácido y agrio. El pozol fermentado se divide en bolas que se diluyen con 2 o 3 partes de agua para obtener una bebida muy sólida que suele condimentarse con sal, vainas de chile tostadas, azúcar o miel. La bebida resultante se consume durante el trabajo, en las comidas o como refresco a cualquier hora del día (42). En el estado de Tabasco, México, el Pozol se mezcla frecuentemente con cacao molido antes de la fermentación para producir Chorote. Los principales microorganismos fermentadores asociados al Pozol son *Geothricum candidum*, *Trichosporum cutaneum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Aureobasidium pullulans*, *Bacillus cereus*, *Agrobacterium azotophilum* y *Achromobacter pozolis* (42; 43).

2.2.3.4 Tamales

Los tamales son uno de los alimentos nixtamalizados preparados más antiguos. Se siguen consumiendo especialmente durante las festividades.

Los tamales consisten en masa que rodea un relleno que se ha colocado en un envoltorio y se ha cocido al vapor. En las zonas tropicales, los tamales se envuelven en hojas de plátano, mientras que en la mayor parte de México se utilizan hojas de maíz hidratadas. En la actualidad, la masa molida se mezcla con manteca de cerdo, sal, caldo de pollo o ternera y levadura en polvo para potenciar sus propiedades y su sabor. A continuación, la masa se rellena con puré de alubias, pollo desmenuzado, ternera, cerdo, pescado, marisco, queso o dulces (pastas de frutas, gelatina, frutos secos y pasas) y se envuelve con hojas de maíz o de plátano. Los tamales se cuecen en una olla grande o vaporera equipada con una rejilla en el fondo para evitar su contacto con el agua hirviendo. Antes de la cocción, los tamales se empaquetan o apilan de forma organizada porque aumentan de volumen al cocerse. La olla debe estar bien tapada con la tapa para evitar la pérdida de vapor. El tiempo de cocción varía de 1 a 3 h o hasta que la masa no se pegue al envoltorio (45; 41).

2.2.4 Cambios en el valor nutritivo del maíz causados por la nixtamalización

La nixtamalización consiste en una cocción termo-alcalina del grano de maíz con agua y cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), los granos se muelen para producir masa o se deshidratan para obtener harinas de maíz instantáneas (46). Los cambios de los nutrientes durante este proceso se deben a las pérdidas químicas y materiales del grano, que pueden derivar de la destrucción de algunos elementos nutritivos y de la transformación química de otros (23).

La cocción alcalina y el remojo provocan la disolución y el hinchamiento de las capas del pericarpio, esto hace que las paredes celulares y los componentes de la fibra dietaria de esta parte del grano se vuelvan frágiles, facilitando su remoción, lo cual disminuye el contenido de fibra dietaria insoluble. Sin embargo, por el proceso de nixtamalización la fibra dietaria soluble pasa de 0.9 % en el maíz a 1.3 % en la masa, y a 1.7 % en la tortilla.

La nixtamalización también provoca que la estructura que une a las células del endospermo, llamada lamina media, y que las paredes celulares se degraden y solubilizan parcialmente. La mayoría del germen permanece en el grano durante la nixtamalización, lo que permite que la calidad de la proteína de los productos de la masa no se vea afectada. Cuando el maíz nixtamalizado se muele pierde su estructura debido a que los componentes del grano fueron acondicionados por la cocción y el remojo. La masa resultante de la molienda consiste en fragmentos de germen, residuos del pericarpio y endospermo unidos por el almidón parcialmente gelatinizado, y por las proteínas y los lípidos emulsificados.

La digestibilidad de la proteína disminuye ligeramente tanto en el nixtamal como en la tortilla, lo cual está relacionado con el tiempo de cocción y la concentración de cal, ya que la cocción altera las prolaminas provocando que sean menos susceptibles a la digestión. Los aminoácidos liberados pueden producir un compuesto llamado lisinoalanina, que no es biodisponible, y además pueden reaccionar con azúcares reductores formando compuestos de color oscuro.

El maíz es deficiente en lisina y triptófano, sin embargo, la nixtamalización incrementa la disponibilidad de la mayoría de los aminoácidos esenciales, lo cual es una gran contribución a la nutrición humana. El maíz normal contiene en promedio 1.6 gramos de lisina y 0.5 gramos de triptófano por 100 gramos de proteína.

Los lípidos del grano de maíz disminuyen en forma importante, hasta 3.4 % en tortilla de maíz amarillo y 2.5 % en la de maíz blanco. Estas pérdidas pueden deberse a la pérdida del pericarpio, del pedicelo o el germen, en donde se localizan la mayoría de los lípidos del grano.

Las pérdidas que la cocción alcalina y la producción de tortilla provocan en las vitaminas son variables. Se sabe que cuando el maíz amarillo se somete a la nixtamalización pierde de 15 a 28% de su contenido de caroteno. La tiamina (vitamina B1), que en promedio está presente en el maíz en 0.7 miligramos por 100 gramos de materia seca, se reduce hasta en 60 %, mientras que la riboflavina (vitamina B2) y el niacina (vitamina B3) se pierden hasta en 70 y 40 %

respectivamente. Cabe mencionar que el niacina presente en el grano de maíz, no se halla disponible, pero el proceso de cocción provoca que esta vitamina sea liberada como ácido nicotínico para su aprovechamiento.

Se ha reportado que los productos del maíz nixtamalizado proporcionan entre 39 y 56 % de niacina, de 32 a 62 % de tiamina y 19 a 36 % de riboflavina del mínimo requerido diariamente por el ser humano.

En relación con el calcio, se ha observado que el contenido de este elemento en la masa se ve afectado por la cantidad de cal añadida, las temperaturas de cocción, el tiempo de remojo y el nivel de cal eliminado durante el lavado del grano cocido. Si el maíz se remoja antes de la cocción, el contenido de calcio aumenta en el grano nixtamalizado, que generalmente puede contener alrededor de 30 veces el nivel original de calcio del grano crudo.

Existe una relación entre el calcio y el fósforo, que se encuentra en el maíz de 1 a 20 y con el proceso de nixtamalización esta relación llega a ser de 1 a 1 en la tortilla.

Se ha calculado que la tortilla puede proporcionar de 32 a 62 % de los requerimientos mínimos de hierro, por lo que el aporte nutricional que el maíz suministra a la dieta humana es mucho más importante que el que da el maíz sin nixtamalizar (39).

2.3 Frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L)

2.3.1 Historia del frijol

Los frijoles pertenecen a la familia de las leguminosas. En el mundo se conocen alrededor de 150 especies de frijoles, de las cuales 70 se encuentran en México con gran variedad de tamaños y colores. Hallazgos confirman que el frijol era cultivado en Mesoamérica hace ya 8,000 años y que fue una de las principales especies que se integró a la dieta básica de las culturas indígenas (47).

El frijol pertenece a la familia Fabacea, subfamilia Papilionoideae, tribu Phaseolae, y especie *Phaseolus vulgaris* L. Por su alto contenido proteico (20-25 %) es entre

las leguminosas, el tercer cultivo más importante en el mundo, después de la soya y el cacahuate. (48)

2.3.2 Importancia del frijol en México

El frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) común es la leguminosa más importante para consumo humano en el mundo, ya que es una fuente importante de proteína, carbohidratos complejos y entre las vitaminas que aportan se encuentran las del complejo B, asimismo, tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico y son una fuente importante de hierro, magnesio, potasio, zinc, calcio y fósforo, etc. (49; 50). Además, dentro de sus actividades biológicas están la capacidad antioxidante, la reducción de colesterol y lipoproteínas, por lo que tiene un efecto protector contra enfermedades cardiovasculares y se ha mostrado que el consumo de frijol tiene efectos favorables contra el cáncer (50). Con respecto al contenido de fibra, esta produce un efecto hipoglucemiante, lo cual quiere decir que este ayuda en el tratamiento de la diabetes tipo dos (51).

Los frijoles son elemento fundamental de la mesa mexicana, pues están presentes en la mayoría de los antojitos mexicanos, por ejemplo, sopes, panuchos, tlacoyos, y por supuesto en las enfrijoladas, también son ingrediente básico de muchos platillos famosos como el caso de los frijoles puercos de diversas regiones del país o los frijoles charros, clásicos del norte de nuestro país.

El frijol es un producto estratégico para México, su producción anual supera el millón 100 mil toneladas, siendo el estado de Zacatecas el que ocupa el primer lugar en volumen de producción (47).

2.3.3 Variedad de frijol negro

El frijol negro es el tipo de frijol más consumido en el centro y suroeste de México. Esta leguminosa tiene algunas ventajas sobre otros tipos de frijol, como, por ejemplo, en que su precio es muy accesible en comparación con la variedad mayocoba, la cual es la más consumida en el norte del país. En el Cuadro 1. Se muestra una comparación del aporte nutritivo entre el frijol negro y mayocoba (52).

Cuadro 1. Comparación de nutrientes entre dos variedades de frijol

Propiedad nutricional	Frijol negro	Frijol mayocoba
Energía	284.53 kcal	337.46 Kcal
Carbohidratos	39.21%	60.09%
Fibra	12.22%	7.09%
Proteína	22.50%	20.12%
Grasas	0.97%	0.48%

Además, el consumo de frijol negro aporta nutrientes como:

Proteínas: Aporta alrededor de 8.86 g de proteína por cada 100 gramos. Contienen una gran cantidad de proteínas similares a la carne. Además, pueden proveernos de todos los aminoácidos que el organismo necesita, pero, a diferencia de la carne, contiene muy poca grasa saturada y nada de colesterol, lo cual los hace especialmente saludables.

Antioxidantes: Los antioxidantes presentes en el frijol negro son el ácido fítico, que se ha demostrado que reduce el riesgo de contraer cáncer, principalmente del colon y de seno, y los taninos, que son sustancias astringentes y de sabor amargo, que pertenecen a la familia de los polifenoles y funcionan como antioxidantes, anticancerígenos y antimutagénicos.

Fibra: El frijol negro es rico en fibra, tanto soluble como insoluble. La fibra soluble puede reducir los niveles de colesterol, así como también regular los niveles de azúcar del organismo, lo que hace al frijol negro ideal para los pacientes diabéticos. La fibra insoluble ayuda a regular el aparato digestivo y previene el estreñimiento.

Minerales: Tiene un alto contenido en magnesio y es una buena fuente de potasio, hierro, calcio, zinc y fósforo (53; 54).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal del Departamento del mismo nombre, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en el municipio de Saltillo, Coahuila, México.

3.1 Materia prima

Se utilizó masa de maíz nixtamalizado marca Don Cayetano y frijol negro marca verde valle, ambos ingredientes fueron obtenidos de un supermercado en el municipio de Saltillo, Coahuila.

3.2 Materiales

Los materiales utilizados en el presente estudio se describen a continuación en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Materiales Utilizados

Charolas de aluminio	Frascos	Pinzas para crisol y matraces	Matraz redondo de fondo plano	Perlas de vidrio	Cucharas
Maquina manual para tortillas	Bolsas de papel	Espátulas	Vasos de Berzelius	Matraces Erlenmeyer	Papel secante
Parrilla de gas	Recipientes de plástico	Desecadores	Embudos	Matraz de afluencia	Vasos de precipitado
Comal de teflón	Crisoles de porcelana	Cartuchos de celulosa	Matraz Kjeldahl	Papel filtro	Buretas
Licuada	Matraces de 50, 100, 500, mL	Papel encerado	Vidrios de reloj	Bureta	Probetas de 10, 50, 100, 500 mL

3.3 Equipos utilizados

Los equipos utilizados en el presente estudio se describen a continuación en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Equipos utilizados

Equipo	Marca	Modelo
Estufa de secado	Thelco	Modelo 27
Estufa de secado	Robertshaw	---
Balanza analítica	Ohaus	Explorer
Balanza digital	Ohaus	Scout Pro
Mufla	Thermolyne	Modelo 1500
Digestor	Labconco	---
Aparato Kjeldahl	Labconco	---
Extractor Soxhlet	Labconco	---
Aparato de reflujo	Labconco	30001
Plancha de calentamiento	Thermolyne	Cimarec 2
Espectrofotómetro de absorción atómica	Varian	AA-1275 series

3.4 Reactivos utilizados

Los reactivos utilizados en el presente estudio se describen a continuación en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Reactivos utilizados

Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) 0.1 N	Hexano	Acetona
Hidróxido de sodio (NaOH) 45 %	Granallas de zinc	Agua purificada
Ácido bórico (H ₃ BO ₃) 4 %	Anaranjado de metilo	Agua destilada
Indicador mixto	Acido perclórico	Agua desionizada
Mezcla reactiva de selenio	Ácido nítrico	Zinc

3.5 Formulación y elaboración de las tortillas

Para la elaboración de este trabajo de investigación se determinaron cuatro formulaciones, así como también las de masa de maíz nixtamalizado y harina de frijol negro, las cuales se describen a continuación en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Formulaciones de tortillas de masa de maíz nixtamalizado y harina de frijol negro

Muestra	Maíz nixtamalizado (%)	Harina frijol negro (%)
Testigo	100	0
F1	97	3
F2	95	5
F3	93	7
F4	90	10
HF	0	100

3.5.1 Obtención de la harina de frijol negro

3.5.1.1 Secado

El frijol negro, obtenido del supermercado, fue un frijol precocido, a este se le eliminó el caldo y se colocó una parte en dos charolas de aluminio previamente identificadas y pesadas, se extendió el frijol por las superficies de las charolas y dejando espacios para un correcto secado. Posteriormente se introdujeron las charolas en una estufa de secado a una temperatura entre 50 ° y 60 ° C durante 24 horas. Una vez pasado el tiempo de secado, se sacaron las charolas de la estufa y se volvieron a pesar.



Figura 1. Frijol negro en charolas de aluminio

3.5.1.2 Molienda

Enseguida la muestra seca se colocó en una licuadora y se molió hasta que se obtuvo una harina fina y homogénea. La harina resultante se almacenó en un frasco de plástico limpio, seco e identificado.



Figura 2. Harina obtenida del Frijol negro

3.5.2 Elaboración de las tortillas

La elaboración de las tortillas partió del pesaje de las correspondientes porciones de harina de frijol y masa de maíz en base a las formulaciones del Cuadro 5, obteniendo un testigo con 100 % de masa de maíz, un tratamiento con 100 % de harina de frijol y cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de masa de maíz (97 g, 95 g, 93 g, 90 g) y harina de frijol (3 g, 5 g, 7 g, 10 g) respectivamente.

Obtenidas las porciones correspondientes de cada tratamiento, se procedió a hacer la mezcla de los ingredientes, obteniendo una porción de 100 g de masa por cada tratamiento, la cual se dividió en bolitas de masa, de 25 g cada una. En total se obtuvieron cuatro bolitas por tratamiento.

Enseguida, para la elaboración de las tortillas, se colocó cada una de las bolitas en una maquina manual de tortillas, (se colocaron plásticos y se limpió su superficie en cada uso).



Figura 3. Adición de la harina de Frijol a la masa de Maíz

Una vez obtenidas las tortillas se pasaron a un comal previamente precalentado y se empleó el siguiente tiempo de cocción: 30 segundos para la primera cara, se voltea y se coloca la segunda cara por 50 segundos, finalmente se regresa a la primera cara con 25 segundos.



Figura 4. Cocción de las tortillas en un comal

Para finalizar, las tortillas obtenidas se identificaron de acuerdo a su tratamiento y se almacenaron en bolsas de papel para su posterior análisis.



Figura 5. Identificación de las tortillas de acuerdo con su tratamiento

3.6 Preparación de la muestra

Después de la obtención de las tortillas, estas fueron colocadas en charolas de aluminio previamente identificadas y pesadas, enseguida fueron introducidas en una estufa de secado a una temperatura entre 55 ° - 60° C durante un tiempo de 24 horas. Pasado el tiempo de sacado, se sacaron de la estufa y se dejaron enfriar durante tres minutos a temperatura ambiente, después, las charolas se volvieron a pesar.

Finalmente, las tortillas fueron molidas en una licuadora, hasta obtener una muestra homogénea, la muestra molida se depositó en frascos de vidrio previamente identificados y limpios, los frascos se almacenaron para su posterior uso en los siguientes análisis. Se realizaron cuatro formulaciones (3, 5, 7, 10 %), un testigo de

harina de maíz nixtamalizado (0 %) y harina de frijol negro (100 %), con tres repeticiones cada uno.



Figura 6. Muestra molida e identificada en frascos

3.7 Determinación de materia seca total (% MST)

Para realizar la determinación de % MST se utilizaron 18 crisoles de porcelana, los crisoles fueron sacados de una estufa de secado a una temperatura entre 100° - 103° C, enseguida se colocaron en un desecador con pinzas y se dejaron enfriar por 20 minutos. Pasado el tiempo, con ayuda de pinzas, los crisoles fueron identificados y pesados en una balanza analítica.



Figura 7. Pesado de los crisoles para determinar %MST

Enseguida, por triplicado, de acuerdo al A.O.A.C. 1990. Se tomaron 2 gramos de cada muestra con una espátula y se colocaron en un papel tarado, sobre la balanza, se pesó y registró la muestra.

La muestra pesada se colocó en los crisoles de porcelana previamente pesados, y fueron llevados a la estufa de secado, se dejaron por 24 horas a una temperatura entre 100° - 103° C.



Figura 8. Muestra molida y pesada en crisoles de porcelana

Después de las 24 horas, se sacaron los crisoles de la estufa con ayuda de pinzas y se colocaron en un desecador por 20 minutos. Utilizando la misma balanza analítica, se sacan los crisoles del desecador con pinzas y se pesan. Finalmente, con los datos registrados, se realizan los cálculos correspondientes de % MST con la siguiente fórmula:

$$\% MST = \frac{\text{Peso del crisol} + \text{muestra seca} - \text{peso del crisol vacío}}{\text{gramos de muestra}} * 100$$

Donde:

% MST= Porcentaje de materia seca

3.8 Determinación de humedad

A partir de los resultados de % MST, se calcula el porcentaje de humedad (%H) con la siguiente fórmula:

$$\% H = 100 - \% MST$$

Donde:

% H = Porcentaje de humedad

3.9 Determinación de Ceniza o minerales

En este análisis se utilizaron las muestras de los crisoles para determinar el porcentaje de materia seca total, se colocaron los crisoles con la muestra en parrillas eléctricas para su pre-incineración, utilizando pinzas, los crisoles se dejaron en las parrillas hasta que dejó de salir humo, enseguida se colocaron en un desecador y se llevaron a una mufla, donde se dejaron por un tiempo de 3 horas a 600 ° C.



Figura 9. Crisoles en parrillas eléctricas

Pasadas las horas, se apagó la mufla y se dejó enfriar. Lo siguiente fue retirar los crisoles de la mufla con pinzas y se colocaron en un desecador por 20 minutos. Después, utilizando pinzas, se pesaron los crisoles en la balanza analítica utilizada antes y se registraron los datos y se realizaron los cálculos correspondientes con la siguiente formula:

$$\% C = \frac{\text{peso del crisol con ceniza} - \text{peso crisol solo}}{\text{g de muestra}} * 100$$

3.10 Determinación de proteína cruda

Esta determinación se realizó mediante el método Kjeldahl, el cual consiste en tres etapas:

Digestión: se pesó 1 gramo de cada tratamiento en una balanza analítica sobre papel filtro, se identificaron las muestras y se registraron los datos, el papel filtro se

dobló para contener la muestra dentro y se colocó al fondo de un matraz Kjeldahl. Enseguida, a cada matraz se le colocó tres perlas de vidrio, una cucharada de mezcla reactiva de selenio (catalizador), y 30 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Los matraces se colocaron en el digestor del aparato Kjeldahl, se encendieron las parrillas eléctricas y el extractor de humo. Los matraces se dejaron en ebullición hasta que pasaron de un color negro a un verde cristalino.



Figura 10. Matraces Kjeldahl en ebullición

Una vez finalizada la digestión, se apaga el equipo y se dejan enfriar los matraces por 1 hora.

Destilación: finalizada la digestión se quitaron los matraces del digestor y se colocaron en canastillas, enseguida, se colocaron los matraces en un recipiente con agua para su enfriamiento, ahí mismo, se vertió 300 mL de agua destilada por las paredes del matraz lentamente. Se hizo lo mismo con cada matraz y después se les colocó 5 g de zinc y 100 mL de hidróxido de sodio (NaOH) al 45 %.

Enseguida se tomaron matraces Erlenmeyer y se les colocó 50 mL de ácido bórico al 4 % y 5 gotas de indicador mixto.

El siguiente paso fue tomar los matraces Kjeldahl y los matraces Erlenmeyer y se conectaron en el destilador del aparato de Kjeldahl, se encendieron las parrillas y se abrió la llave de paso de agua del aparato, por último, se dejó encendido el aparato hasta que se obtuvo 250 mL de destilado verde, en los matraces Erlenmeyer.

Una vez obtenido el destilado deseado, se apagó el aparato, se cerró la llave del agua y se retiraron los matraces Erlenmeyer.

Titulación: para realizar la titulación se utilizó una bureta a la cual se le agregó ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 0.1 N, esta se colocó en un soporte para buretas. Antes de titular se calibró la bureta. Se utilizaron los matraces Erlenmeyer con el destilado y se colocaron debajo de la bureta. Se liberó gradualmente el ácido sulfúrico por goteo, hasta que el destilado se tornó de un color verde a un rosado pálido. Se registraron los mL de ácido sulfúrico gastados por cada tratamiento y se realizaron los cálculos de % de Nitrógeno con la siguiente formula:

$$\% N = \frac{(mL \text{ gastados del ácido} - mL \text{ del blanco})(N \text{ del ácido})(0.014)}{\text{gramos de muestra}} * 100$$

$$\% PC = (\% N)(\text{factor de conversión})$$

Donde:

% N = Porcentaje de Nitrógeno

% PC = Porcentaje de Proteína cruda

N del ácido (H₂SO₄): 0.1 N

0.014 = Miliequivalente de Nitrógeno

Factor de conversión de nitrógeno para la tortilla: 6.25



Figura 11. Matracas Erlenmeyer con destilado, a la izquierda matraz titulado con H₂SO₄

3.11 Determinación de extracto etéreo o grasa total por método Soxhlet

En esta determinación se emplearon 18 matraces bola de fondo planos, a los cuales previamente se les había introducido 3 perlas de vidrio y fueron colocados dentro de una estufa de secado a una temperatura de 100 ° - 103 ° C por 24 horas. Se sacaron los matraces de la estufa y se colocaron en un desecador, se dejaron enfriar por 20 minutos y después se pesaron en la balanza analítica, con ayuda de pinzas. Se identificaron y se registraron los pesos de los matraces. Enseguida se pesaron 4 gramos de muestra por triplicado por cada tratamiento en cuadros de papel filtro y se registraron los pesos, se envolvieron y se introdujeron en dedales de celulosa previamente identificados, enseguida, los dedales fueron colocados en sifones Soxhlet también identificados. Después se tomaron los matraces bola y se les colocó 250 mL de hexano, se procedió a unir el equipo, montando cada sifón con su respectivo matraz, parrilla eléctrica y tubo refrigerante. Antes de encender las parrillas, se colocaron recipientes con hielo en el depósito del refrigerante y se

encendió para hacerlo circular, finalmente, se encendieron las parrillas y se dejó en funcionamiento el equipo por 8 horas (a partir de la ebullición). Cumplido el tiempo, se realizó la recuperación del hexano, los dedales de celulosa se dejaron secar y se almacenaron, los matraces fueron retirados y se colocaron en la estufa de secado por 12 horas a una temperatura de 100 ° - 103 ° C. Finalizado el tiempo se sacaron los matraces de la estufa con pinzas y se colocaron en un desecador por 20 minutos.



Figura 12. Muestra desengrasándose en el equipo Soxhlet

Enseguida se pesaron los matraces en una balanza analítica y se registraron los datos, y utilizando la siguiente formula se realizaron los cálculos de % de extracto etéreo (% EE):

$$\% EE = \frac{\text{peso del matraz con grasa} - \text{peso del matraz solo}}{\text{g de muestra}} * 100$$

Donde: % EE = Porcentaje de extracto etéreo

3.12 Determinación de fibra cruda

En esta determinación se utilizaron 2 gramos por triplicado, de la muestra previamente desengrasada, y se colocaron en vasos de Berzelius de 600 mL, a los cuales se les agregó 100 mL de ácido sulfúrico 0.225 N (H_2SO_4) y se colocaron en el aparato de reflujo, se dejaron por 30 minutos contados a partir de la ebullición.



Figura 13. Vasos de Berzelius con muestra desengrasada en ebullición

Cumplidos los 30 minutos, se filtraron las muestras en embudos con tela de lino y se lavaron con 3 porciones de agua destilada caliente por cada vaso. Con una pequeña espátula se pasó la fibra de la tela a su respectivo vaso de Berzelius y se le agregó 100 mL de hidróxido de sodio 0.313 N ($NaOH$), entonces, el vaso se colocó de nuevo al aparato de reflujo por 30 minutos. Se repitió el procedimiento de filtrado, pero esta vez, se retiró la tela de lino del embudo y con una espátula se retiró la fibra de la tela y se colocó en crisoles de porcelana ya identificados.



Figura 14. Muestra filtrándose en embudos con tela de Lino

Los crisoles se colocaron en una estufa de secado a una temperatura de 100 ° - 103 ° C por 12 horas, transcurrido el tiempo se sacaron con pinzas y se colocaron en un desecador por 20 minutos, después de enfriarse se pesaron los crisoles en una balanza analítica y se registraron los datos. Para finalizar, los crisoles se colocaron en parrillas eléctricas, la muestra se pre-incineró hasta que dejó de salir humo, se colocaron después en un desecador y finalmente, los crisoles se dejaron dentro de una mufla por 3 horas a una temperatura de 600 ° C.

Concluido el tiempo se retiraron los crisoles con pinzas y se colocaron en el desecador por 20 minutos, después se pesaron en la misma balanza analítica y se registraron los datos, para calcular el porcentaje de fibra cruda se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% FC = \frac{\text{peso crisol con fibra seca} - \text{peso crisol con ceniza}}{\text{g de muestra utilizada}} * 100$$

Donde:

% FC = Porcentaje de fibra cruda

3.13 Determinación de extracto libre de nitrógeno (ELN) o carbohidratos

El extracto libre de nitrógeno, constituido principalmente por carbohidratos digeribles, así como también vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados, se obtiene cuantitativamente con el remanente de restarle al 100% de la muestra, la suma obtenida en los análisis de proteína, lípidos y cenizas.

Antes de realizar el cálculo, se ajustaron los datos de % ceniza, % proteína cruda, % extracto etéreo y % fibra cruda en base al % de Materia Seca Total (base seca) mediante las siguientes formulas:

$$Cenizas = \frac{\% \text{ cenizas}}{\% \text{ MST}} * 100$$

$$Proteína \text{ cruda} = \frac{\% \text{ PC}}{\% \text{ MST}} * 100$$

$$Extracto \text{ etéreo} = \frac{\% \text{ EE}}{\% \text{ MST}} * 100$$

$$Fibra \text{ cruda} = \frac{\% \text{ FC}}{\% \text{ MST}} * 100$$

Ya obtenidos los datos ajustados en base seca, se calculó el % Extracto Libre de Nitrógeno o CHOS con la siguiente formula:

$$\% \text{ ELN} = 100 - (\% \text{ C} + \% \text{ PC} + \% \text{ EE} + \% \text{ FC})$$

Donde:

ELN = Extracto libre de Nitrógeno

C = Cenizas

PC = Proteína cruda

EE = Extracto etéreo

FC = Fibra cruda

3.14 Determinación de contenido calórico (kcal)

Para calcular el contenido calórico, se utilizaron los resultados obtenidos de % Proteína cruda, % Extracto etéreo y % Extracto Libre de Nitrógeno (CHOS), utilizando las siguientes formulas:

Proteína:

$$1 \text{ g} = 4 \frac{\text{kcal}}{\text{g}}$$
$$4 \text{ Kcal/g} = 100 \%$$
$$X = \% PC$$

Grasa (EE):

$$1 \text{ g} = 9 \frac{\text{kcal}}{\text{g}}$$
$$9 \text{ Kcal/g} = 100 \%$$
$$X = \% EE$$

Carbohidratos:

$$1 \text{ g} = 4 \frac{\text{kcal}}{\text{g}}$$
$$4 \text{ Kcal/g} = 100 \%$$
$$X = \% CHOS$$

Una vez que se obtuvieron los valores convertidos, se utilizó la siguiente fórmula para obtener el contenido calórico por cada 100 g (kcal / 100 g).

$$\frac{\text{Kcal}}{100 \text{ g}} = \left(PC \frac{\text{kcal}}{\text{g}} + EE \frac{\text{kcal}}{\text{g}} + CHOS \frac{\text{kcal}}{\text{g}} \right) * 100$$

Donde:

PC: Proteína cruda

EE: Extracto etéreo

CHOS: Carbohidratos

3.15 Determinación de minerales

En esta determinación se utilizaron 2 gramos de muestra por triplicado en cada tratamiento, los cuales se depositaron en vasos de precipitado de 100 mL, una vez registrado los datos, se vertió una mezcla de ácido perclórico (HClO_4) y ácido nítrico (HNO_3) en una relación de 1:3, es decir, 240 mL de ácido perclórico y 720 mL de ácido nítrico para 18 muestras en total, a cada vaso se le vertió 40 mL de mezcla.

Enseguida se colocaron los vasos de precipitado en una parrilla de calentamiento y se taparon con vidrios de reloj, donde se dejaron en ebullición hasta obtener un color del líquido claro o transparente y un volumen de 20 mL.

Lo siguiente fue filtrar el contenido de los vasos en matraces de aforación de 100 mL por medio de un embudo y papel filtro. Obtenido el filtrado, se aforo con agua desionizada, ya aforados todos los matraces, se vertió el contenido en frascos de plástico previamente identificados y limpios.



Figura 15. Vasos de precipitado con mezcla de HClO_4 y HNO_3 después de la ebullición

La determinación de minerales se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica, los minerales cuantificados fueron el potasio (K), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Magnesio (Mg)

Para los minerales de Potasio y Magnesio se realizó una dilución tomando 1 mL de muestra de sus respectivos frascos con una micropipeta y se colocó en un matraz de aforación de 100 mL, se aforó y se colocó en un frasco de plástico identificado y limpio.

Enseguida se realizó la lectura de los minerales en el equipo, se registraron los datos como porcentaje (%) para el Potasio y Magnesio o como PPM para el Zinc y Hierro.



Figura 16. Espectrofotómetro de absorción atómica Modelo AA-1275

Los datos obtenidos se convirtieron a mg / 100 g con la siguiente formula:

$$\frac{mg}{100 g} = (ppm * 0.1 * 50) * 100$$

Donde:

ppm: Lectura de las partes por millón del espectrofotómetro

0.1 = Factor de dilución a 100 mL

50 = Factor de la segunda dilución a 50 mL

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se describen los resultados obtenidos de la investigación, los cuales se obtuvieron por medio de un análisis de varianza (ANVA) de los datos y mediante una prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico Statistica for Windows.

Las variables evaluadas fueron las siguientes: % materia seca total (% MST), % humedad (% H), % cenizas (% C), % proteína cruda (% PC), % Extracto etéreo o grasa (% EE), % fibra cruda (% FC), % extracto libre de nitrógeno o carbohidratos (% ELN), contenido calórico (kcal/100 g). Los minerales analizados fueron el potasio (% K), magnesio (% Mg), zinc (ppm Zn) y hierro (ppm Fe).

En el Cuadro 6. se muestran los resultados obtenidos en el análisis proximal respecto a la concentración de la harina de frijol negro.

Cuadro 6. Comparación de medias de las variables de estudio; Análisis proximal

	0	3	5	7	10	100
% MST	96.11a	95.87a	96.28a	96.21a	95.94a	90.67b
% H	3.89a	4.13a	3.72a	3.79a	4.06a	9.33b
% C	2.28e	2.36d	2.46c	2.52c	2.68b	4.63a
% PC	10.27d	11.48c	12.00c	12.33c	13.27b	23.11a
% EE	2.45b	2.53b	2.50b	2.43b	2.41b	1.51a
% FC	1.49e	1.78d	1.98c	2.07c	2.26b	5.32a
% ELN	83.51e	81.84d	81.06c	80.66c	79.38b	65.44a
kcal/100 g	397.14e	396.08d	394.75c	393.81c	392.33b	367.76a

* Los valores promedio seguidos de la misma literal son estadísticamente iguales según Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Los valores de las columnas, de 0 a 100, indican el porcentaje de harina de frijol negro.

En el Cuadro 7. Se representan los resultados obtenidos respecto al contenido de minerales.

Cuadro 7. Comparación de medias de las variables de estudio;
Minerales

Tratamiento	% K	% Mg	ppm Zn	ppm Fe
0	0.32b	0.16b	25.47b	44.78b
3	0.31b	0.15b	25.65b	44.30b
5	0.31b	0.14b	26.81b	51.95b
7	0.26b	0.14b	27.30b	42.62b
10	0.35b	0.14b	28.46b	42.44b
100	0.55a	0.20a	30.63a	85.89a

* Los valores promedio seguidos de la misma literal son estadísticamente iguales según Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Los valores de 0 a 100 de los tratamientos indican el porcentaje de harina de frijol negro.

4.1 Humedad y Materia seca total

En el Cuadro 8. Se representan los resultados obtenidos del porcentaje de materia seca total (% MST) y porcentaje de humedad (% H) de las diferentes formulaciones.

En base a los resultados obtenidos, el porcentaje de materia seca total (% MST) y el porcentaje de humedad (% H) son estadísticamente iguales en las formulaciones de 0, 3, 5, 7 y 10% salvo el tratamiento 100 % que corresponde a la harina de frijol negro.

Cuadro 8. Resultados de Humedad y Materia Seca Total

Tratamiento	% MST	% H
0	96.11a	3.89b
3	95.87a	4.13b
5	96.28a	3.72b
7	96.21a	3.79b
10	95.94a	4.06b
100	90.67b	9.33a

* Los valores promedio seguidos de la misma literal son estadísticamente iguales según Fisher ($\alpha \leq 0.05$) Los valores de 0 a 100 de los tratamientos indican el porcentaje de harina de frijol negro.

4.2 Ceniza Total

En la Figura 17. Se representan los resultados obtenidos de ceniza total, de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$), las medias de los tratamientos 5 y 7 % son estadísticamente iguales, el tratamiento 10 % es el que contiene mayor cantidad de cenizas totales, se puede observar que el tratamiento 100 % que corresponde a la harina de frijol, cuenta con una mayor cantidad de cenizas con respecto a los tratamientos anteriores. En base a los resultados obtenidos, se demuestra como la adición de la harina de frijol a diferentes concentraciones aumenta el porcentaje de cenizas totales a la tortilla de maíz.

De acuerdo con un estudio realizado por Sánchez Chávez et al. 2017 (55), reporta que obtuvo un porcentaje de 3.36 % en ceniza del frijol negro, lo cual es inferior al porcentaje obtenido de 4,36 % en este estudio. En otro estudio realizado por V. G Virginia et al. 2017 (56), reporta un porcentaje de 1.03 % de ceniza en harina de maíz y 2.66 % en harina de frijol variedad Patashete, los cuales son valores inferiores a los obtenidos en este estudio, pero coinciden en que la adición de harina de frijol a la harina de maíz aumenta el valor de cenizas.

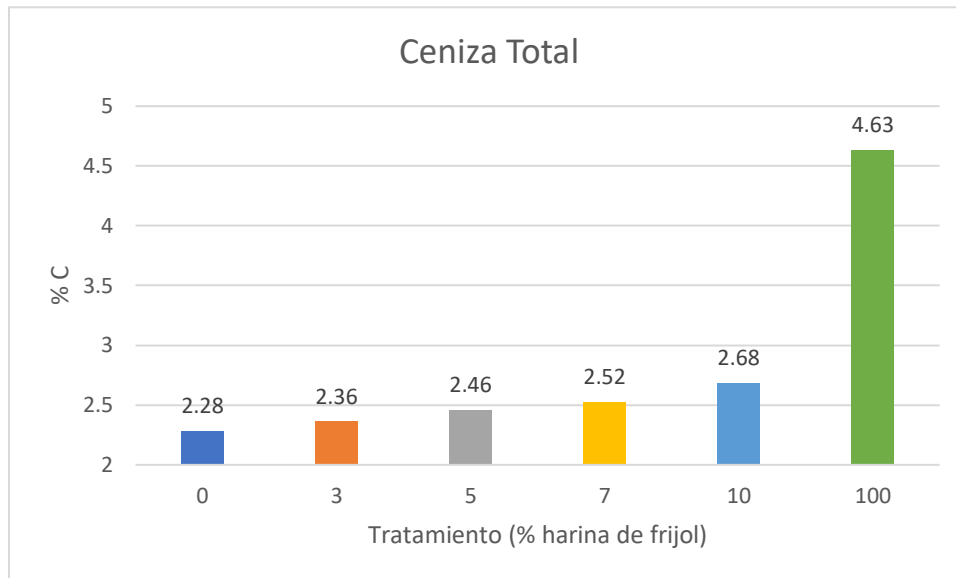


Figura 17. Comparación de medias de Ceniza Total

4.3 Proteína cruda

En la Figura 18. Se expresan la comparación de medias obtenidas de proteína cruda, según Fisher ($\alpha \leq 0.05$), las medias de los tratamientos 3 %, 5 % y 7 % son estadísticamente iguales, el tratamiento 10 % es el que mayor cantidad de proteína contiene (13.27 %), y nótese como el tratamiento 100 % el cual corresponde a la harina de frijol negro contiene 23.11 % de proteína cruda. Los resultados demuestran que la adición de harina de frijol a la harina de maíz aumenta el valor proteico, elevándose desde un 10.27 % a 13.27 %. De acuerdo con un estudio realizado por Fernández Valenciano et al. 2017 (52) y Salazar Garcés et al. 2017 (57), reportan que obtuvieron un 22.50 % y 24.05 % de proteína en la harina del frijol negro y frijol Panamito, lo cual son valores cercanos al 23.11 % obtenido en este estudio.

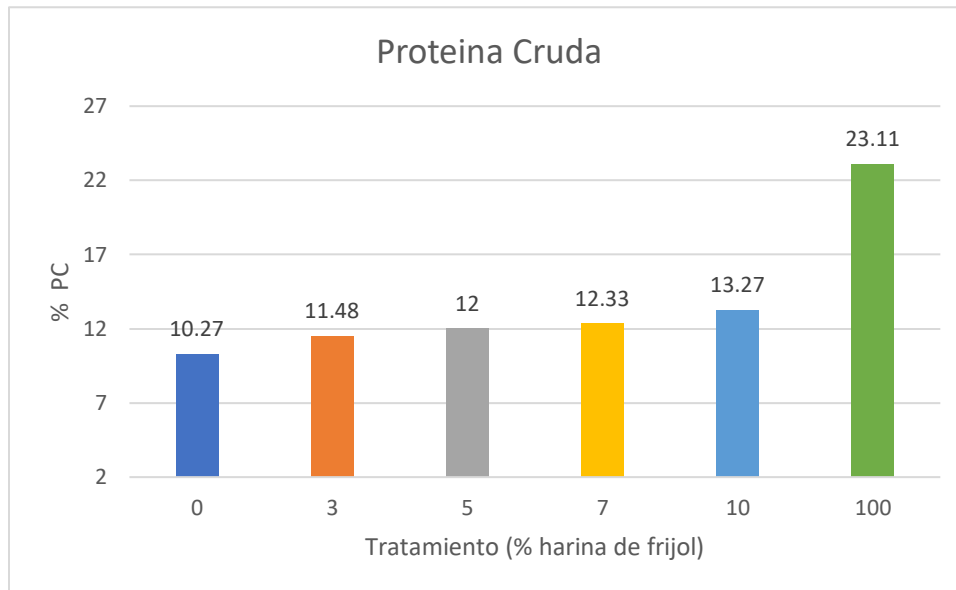


Figura 18. Comparación de medias de Proteína Cruda

4.4 Extracto etéreo o grasa

En la Figura 19. Se pueden apreciar los resultados obtenidos del extracto etéreo o grasa, de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$), las medias de los tratamientos 0, 3, 5, 7 y 10 % son estadísticamente iguales, nótese como en los tratamientos donde contienen harina de maíz tienen mayor cantidad de grasa que el tratamiento 100 % el cual corresponde a la harina de frijol negro, además en base a estos resultados, se puede observar como al aumentar la concentración de harina de frijol el porcentaje de grasa disminuye, lo cual es un beneficio para la salud. De acuerdo con el estudio realizado por Sánchez Chávez et al. 2017 (55), reporta un valor de 0.97 % de grasa en la harina de frijol negro el cual es inferior al 1.51 % obtenido en este estudio, sin embargo, el autor Salazar Garcés et al. 2017 (57), reporta un valor de 1.23 % de grasa en la harina de frijol y un 1.95 % para la harina de maíz, los cuales son valores inferiores a los obtenidos en este estudio pero coinciden en que al agregar harina de frijol a la harina de maíz, ocurre una disminución del % EE.

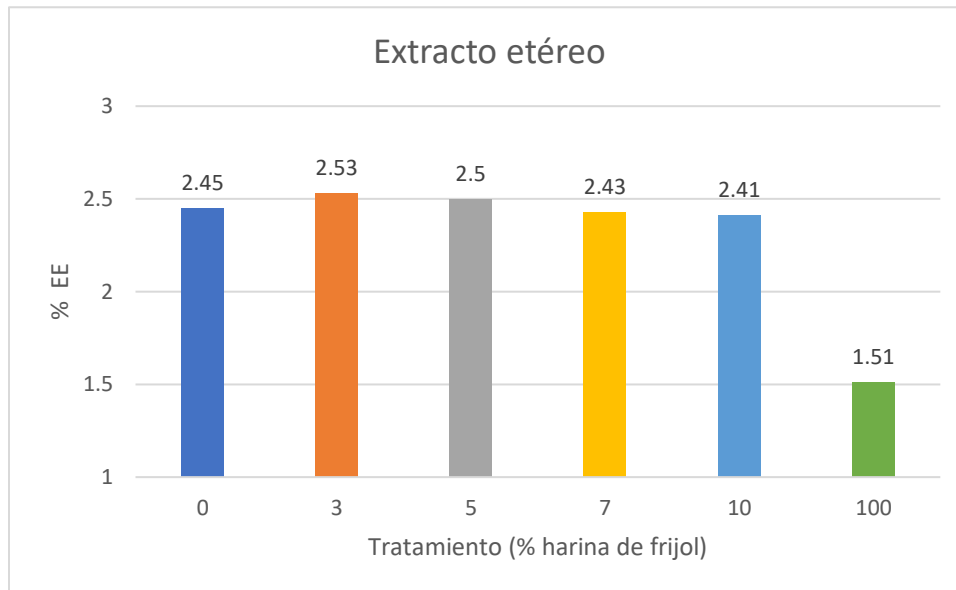


Figura 19. Comparación de medias de Extracto etéreo

4.5 Fibra cruda

En cuanto a fibra cruda, representada en la Figura 20. Tenemos que, de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$), los tratamientos 5 y 7 % son estadísticamente iguales, el tratamiento 10 % es el que mayor cantidad de fibra cruda contiene (2.26 %), además en base a los resultados obtenidos, se observa como en los tratamientos va aumentando el valor de fibra cruda al aumentar la concentración de frijol negro. Según el estudio realizado por Salazar Garcés et al. 2017 (57), reporta valores de 2.43 % de fibra en la harina de maíz el cual aumenta a 5.67 % al añadir harina de frijol, lo cual confirma que la adición de harina de frijol a la harina de maíz aumenta su valor de fibra.

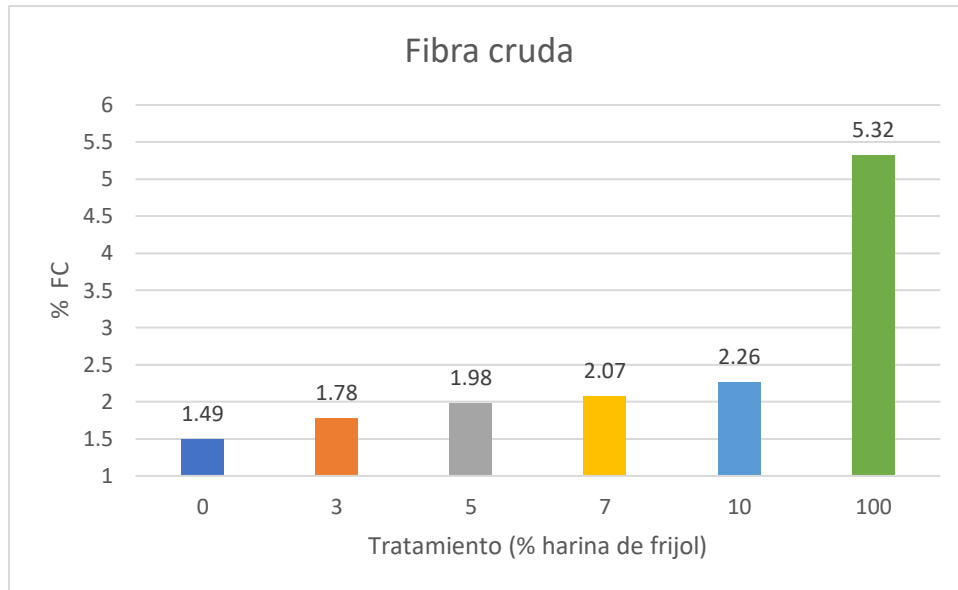


Figura 20. Comparación de medias de Fibra cruda

4.6 Extracto libre de nitrógeno o carbohidratos

En la Figura 21. Se representa la comparación de medias del extracto libre de nitrógeno o carbohidratos, de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$), los tratamientos 5 y 7 % son estadísticamente iguales, el tratamiento 0 % el cual corresponde al testigo con harina de maíz contiene un valor de 83.51 % de carbohidratos, de acuerdo con la FAO, los carbohidratos del maíz por su parte están ocupados mayormente por almidón, su contenido es de 72 % a 73 % del peso del grano (23), sin embargo esto depende de la variedad de maíz. Según Sánchez Chávez et al. 2017 (55), en su estudio reporta un valor de 39.21 % de carbohidratos en el frijol negro el cual es menor al 65.44 % obtenido en este estudio. Por su parte Salazar Garcés et al. 2017 (57) reporta en su estudio valores de 76.59 % en la harina de maíz el cual disminuye hasta 64.71 % al adicionar la harina de frijol.

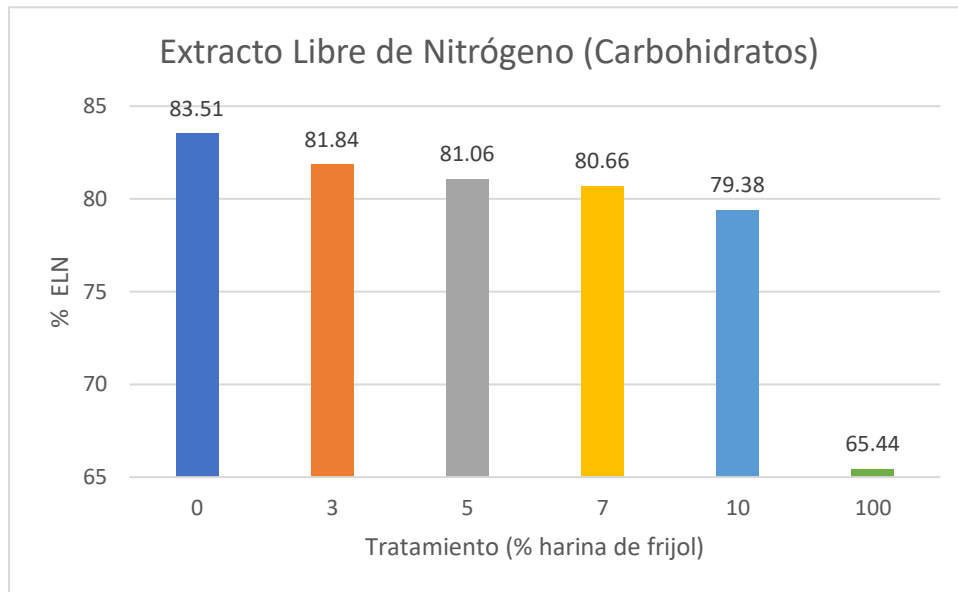


Figura 21. Comparación de medias de ELN

4.7 Contenido calórico (kcal)

En la Figura 22. Se representa la comparación de medias del contenido calórico (kcal) de los tratamientos, de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$), los tratamientos 5 y 7 % son estadísticamente iguales, los resultados demuestran que al aumentar la concentración de harina de frijol negro el contenido calórico disminuye de 397.14 (kcal/100 g) hasta 392.35 (kcal/100 g) que corresponde al tratamiento 10 %, lo cual lo convierte en la opción ideal. De acuerdo con Sánchez Chávez et al. 2017 (55), reporta que el frijol negro contiene un valor de 284.53 (kcal/100 g) lo cual es menor a 367.76 (kcal/100 g) obtenido en este estudio.

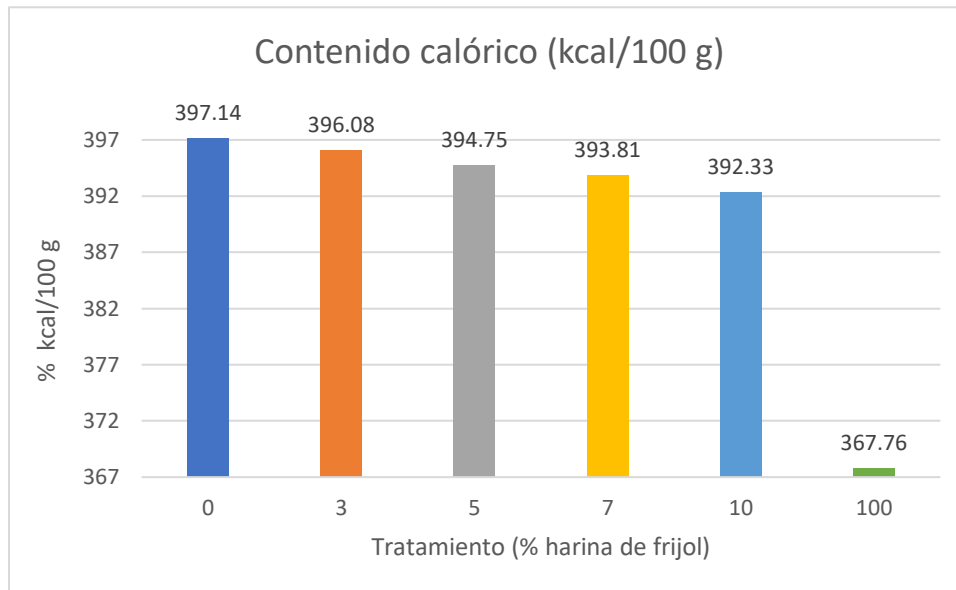


Figura 22. Comparación de medias del Contenido calórico

4.8 Minerales

Para el análisis de minerales se determinaron el potasio (K), magnesio (Mg), zinc (Zn) y hierro (Fe), por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica y se expresaron los resultados en porcentaje para los macronutrientes y ppm para los micronutrientes.

Los minerales son una parte integral de nuestro cuerpo. Son tan esenciales, que muchas de nuestras funciones metabólicas dependen de su presencia para que puedan ocurrir. Sin minerales “sin la proporción adecuada de minerales”, caeríamos enfermos en muy poco tiempo (58).

4.8.1 Potasio (K)

En la Figura 23. Se expresa la comparación de las medias obtenidas del potasio (K), de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$), los tratamientos 0, 3, 5, 7 y 10 % son estadísticamente iguales, se puede observar como el tratamiento 100 % que corresponde a la harina de frijol negro contiene mayor cantidad de potasio (K) en comparación de los demás tratamientos. Sánchez Chávez et al. 2017 (55), reporta en su estudio que la harina de frijol negro contiene un valor de 0.83 % de potasio, lo cual es un valor mayor al 0.55 % obtenido en este estudio.

Este elemento (que conforma el 0,25% del peso corporal) lleva una carga en solución y se considera un electrolito esencial que ayuda a regular los latidos del corazón. Sin potasio, la transmisión eléctrica de nuestro sistema nervioso no ocurriría, o sería insuficiente (59).

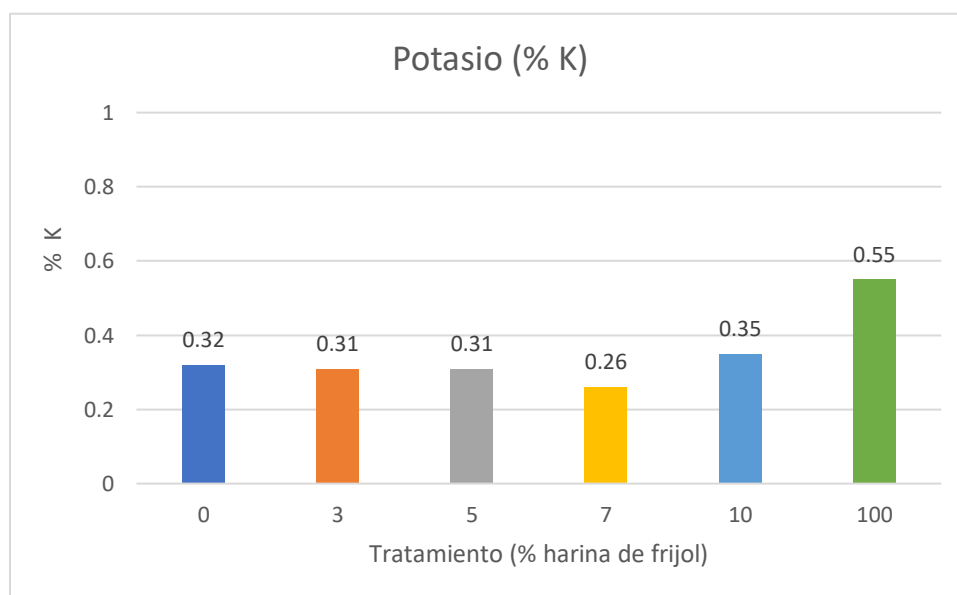


Figura 23. Comparación de medias de Potasio (K)

4.8.2 Magnesio (Mg)

En la Figura 24. Se muestra la comparación de medias del magnesio (Mg), de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$), los tratamientos 0, 3, 5, 7 y 10 % son estadísticamente iguales, el tratamiento 100 % que corresponde a la harina de frijol negro contiene mayor cantidad de magnesio (Mg). En el estudio de Sánchez Chávez et al. 2017 (55), se reporta que la harina de frijol negro contiene 0.26 % de magnesio, lo cual es semejante a la cantidad obtenida en este estudio.

El magnesio que conforma alrededor del 0,05% de nuestro cuerpo, divide su presencia y funcionalidad en entre 700 a 800 procesos enzimáticos:15 el cincuenta por ciento se encuentra en los huesos como uno de los principales ingredientes del colágeno, y el resto regado por todo el cuerpo donde sintetiza y metaboliza las proteínas, regula los latidos del corazón, la glucosa y la presión sanguínea, El magnesio también es una parte integral en el apoyo del sistema inmune, así como indispensable para el funcionamiento de los músculos, y los nervios (60; 58).

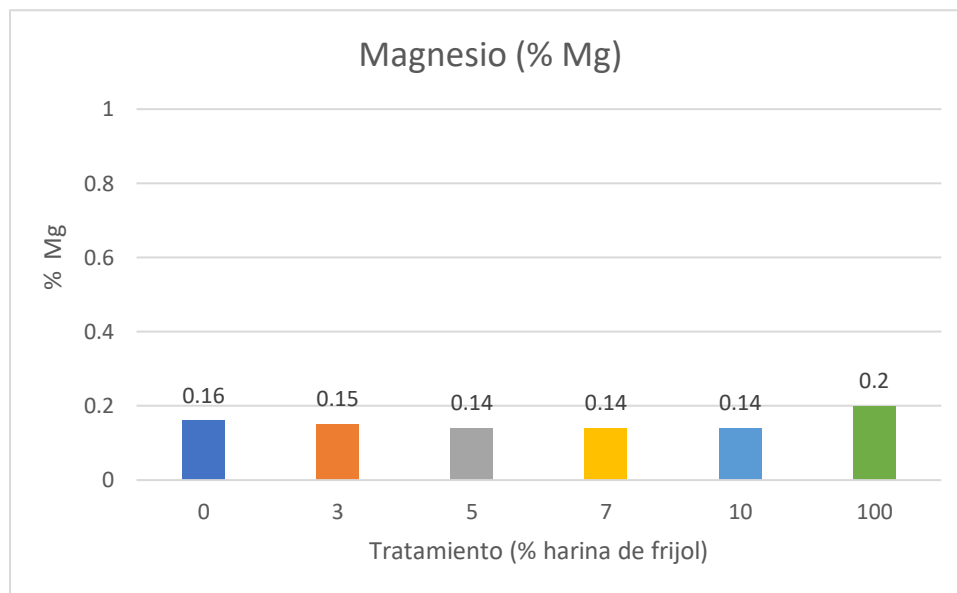


Figura 24. Comparación de medias de Magnesio (Mg)

4.8.3 Zinc (Zn)

En la Figura 25. Se representan los valores obtenidos de la cuantificación del Zinc (Zn), de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$), los tratamientos 0, 3, 5, 7 y 10 % son estadísticamente iguales, en el tratamiento 100 % que corresponde a la harina de frijol negro, se puede observar como contiene mayor cantidad de zinc (Zn). Los resultados indican que la adición de harina de frijol negro a la harina de maíz aumenta su valor nutricional. Según Sánchez Chávez et al. 2017 (55), reporta un valor de 16.74 ppm de zinc en la harina de frijol negro, lo cual es menor al 30.63 ppm obtenido en este estudio.

El zinc (0,0032%) está presente en todas las formas de vida y su deficiencia en los seres humanos aparentemente puede conducir al enanismo; también es un elemento importante en nuestra piel, y está presente en las proteínas que ayudan a regular los genes (58).

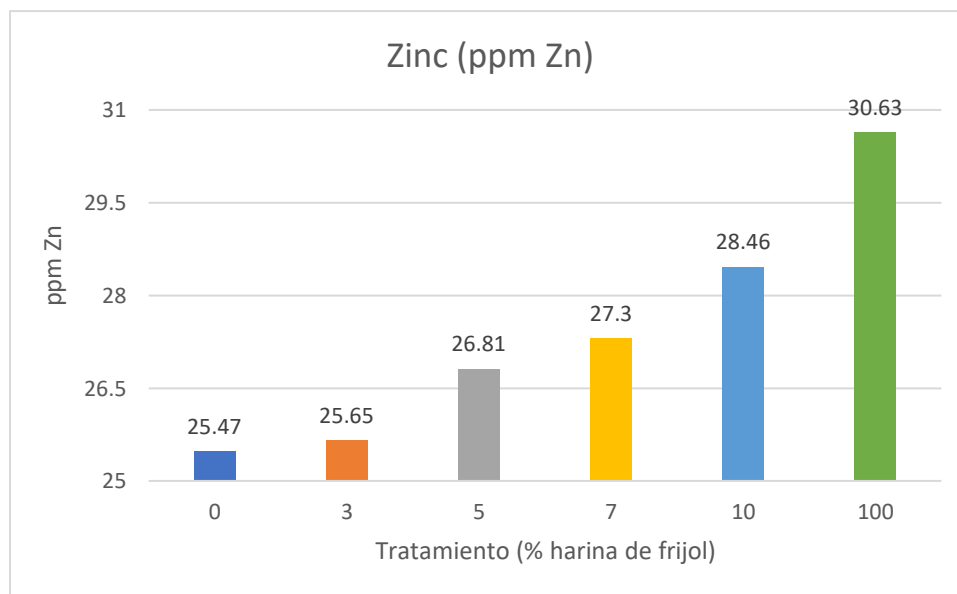


Figura 25. Comparación de medias de Zinc (ppm Zn)

4.8.4 Hierro (Fe)

En la Figura 26. Se muestra la comparación de medias del hierro (Fe), de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$), los tratamientos 0, 3, 5, 7 y 10 % son estadísticamente iguales, el tratamiento 100 % que corresponde a la harina del frijol negro destaca con una gran cantidad de este mineral, lo cual es debido ya que el frijol es una fuente importante de hierro. Sánchez Chávez et al. 2017 (55), reporta en su estudio que el frijol negro tiene un valor de 85.02 ppm de hierro, lo cual coincide con el valor de 85.89 ppm obtenido en este estudio.

El hierro (0,006% de la masa humana) es una parte integral de la hemoglobina, el vehículo para que el oxígeno esté presente en los glóbulos rojos. En otras palabras, es el hierro el que ayuda a retener el oxígeno y llevarlo a todas sus células. Por supuesto, al igual que los otros oligoelementos, también tiene otras funciones (58).

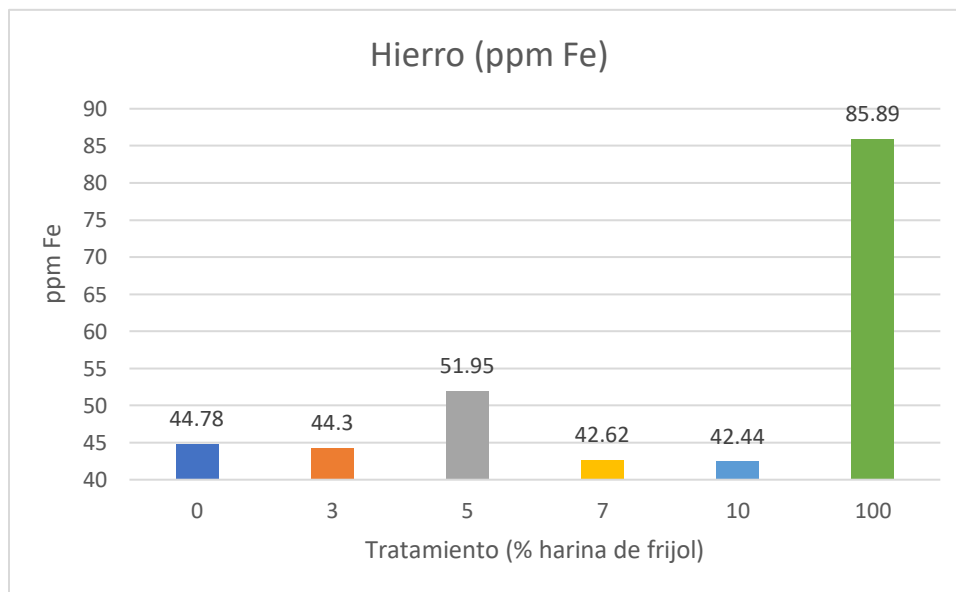


Figura 26. Comparación de medias de Hierro (ppm Fe)

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se establecen como conclusiones que:

Se desarrolló una tortilla de maíz y harina de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) con cualidades nutritivas en base a proteína, fibra y minerales. Y se realizó su caracterización química para comprobar si esta adición aumenta el valor nutrimental.

Se realizaron distintas formulaciones de maíz nixtamalizado y frijol negro con porcentaje de 3, 5, 7 y 10 % de frijol negro.

Se elaboraron tortillas de maíz nixtamalizado y frijol negro.

Se realizó la caracterización química de las distintas formulaciones de maíz nixtamalizado y frijol negro.

Se analizaron los resultados mediante un paquete estadístico y se compararon los resultados encontrando que la formulación con 10 % de harina de frijol negro es la mejor opción en cuanto al contenido de nutrientes, obteniendo: 2.68 % de cenizas, 13.27 % de proteína cruda, 2.41 % de extracto etéreo, 2.26 % de fibra cruda, 79.38 % de ELN o carbohidratos y un contenido calórico de 392.33 kcal/100 g. En cuanto a los minerales se obtuvo un resultado de 0.35 % de potasio (K), 0.14 % de magnesio (Mg), 28.46 ppm de zinc (Zn) y 42.44 ppm de hierro (Fe). Por lo que se acepta la hipótesis planteada, la cual expresa que la adición de frijol negro a la masa de maíz nixtamalizado aumenta su valor nutricional.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. González-Ortega, E., Piñeyro-Nelson, A., Gómez-Hernández, E., Monterrubio-Vázquez, E., Arleo, M., Dávila-Velderrain, J., Martínez-Debat, C., Álvarez-Buylla, E.R., 2017. Pervasive presence of transgenes and glyphosate in maize-derived food in Mexico, *Agroecol. Sust. Food Syst.* 41 (9–10), 1146–1161. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1372841>.
2. Domínguez-Hernández, M.E., Zepeda-Bautista, R., Valderrama-Bravo, M.d.C., Domínguez-Hernández, E., Hernández-Aguilar, C., 2018. Sustainability assessment of traditional maize (*Zea mays* L.) agroecosystem in Sierra Norte of Puebla, Mexico. *Agroecol. Sust. Food Syst.* 42 (4), 383–406. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1382426>.
3. Vázquez-Carrillo, M.G., Santiago-Ramos, D., Gaytán-Martínez, M., Morales-Sánchez, E., Guerrero-Herrera, M.J., 2015. High oil content maize: physical, thermal and rheological properties of grain, masa, and tortillas. *LWT - Food Sci. Technol. (Lebensmittel-Wissenschaft-Technol.)* 60 (1), 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.043>.
4. Martínez-Velasco, A., Alvarez-Ramirez, J., Rodríguez-Huezo, E., Meraz-Rodríguez, M., Vernon-Carter, E.J., Lobato-Calleros, C., 2018. Effect of the preparation method and storage time on the in vitro protein digestibility of maize tortillas. *J. Cereal. Sci.* 84, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.09.016>.
5. CEDRSSA, Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, 2014. Consumo, distribución y producción de alimentos: el caso del complejo maíz-tortilla. http://www.cedrssa.gob.mx/post_reportes_del_n-cedrssa_a-n-volumen_ii.htm. (Accessed 21 June 2019).
6. Rooney, L. W., & Serna-Saldivar, S. O. (2016). *Tortillas. Reference Module in Food Science*. doi:10.1016/b978-0-08-100596-5.00124-4
7. Bello-Pérez, L.A., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., González-Soto, R.A., 2016. Functional and beneficial properties of corn tortilla. In: Kristbergsson, K., Otlés, S. (Eds.), *Functional Properties of Traditional Foods*. Springer US, Boston, MA, pp. 139–155. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7662-8_11.

8. Gutiérrez-Urbe, J.A., Rojas-García, C., García-Lara, S., Serna-Saldivar, S.O., 2014. Effects of lime-cooking on carotenoids present in masa and tortillas produced from different types of maize. *Cereal Chem.* 91 (5), 508–512. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-07-13-0145-R>.
9. Serna-Saldivar, S.O., 2010a. Milling of maize into lime-cooked products. In: Serna-Saldivar, S.O. (Ed.), *Cereal Grains: Properties, Processing and Nutritional Attributes*. CRC Press (Taylor & Francis Group), Boca Raton, pp. 239–257.
10. Serna-Saldivar, S.O., Rooney, L.W., 2015. Industrial production of maize tortillas and snacks. In: Rooney, L.W., Serna-Saldivar, S.O. (Eds.), *Tortillas: Wheat Flour and Corn Products*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, pp. 247–281.
11. Serna-Saldivar, S. O., & Chuck-Hernandez, C. (2019). Food Uses of Lime-Cooked Corn With Emphasis in Tortillas and Snacks. *Corn*, 469–500. doi:10.1016/b978-0-12-811971-6.00017-6
12. Serna-Saldivar, S. O. (2015). Nutrition and Fortification of Corn and Wheat Tortillas. *Tortillas*, 29–63. doi:10.1016/b978-1-891127-88-5.50002-5
13. Guzmán-Maldonado SH, Acosta Gallegos JA, Álvarez-Muñoz MA, García-Delgado S, Loarca-Piña G. (2002). Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México* 28(2): 159-173.
14. Suárez-Martínez SE, Ferriz-Martínez RA, Campos-Vega R, Elton-Puente JE, de la Torre Carbot K, García-Gasca T. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA-Journal of Food* 14(1): 131-137.
15. Reynoso-Camacho R, González-Jasso E, Salgado LM. (2007). La alimentación del mexicano y la incidencia de diabetes tipo 2. *Revista de Especialidades de Ciencias Químicas Biológicas* 10: 36- 38.
16. Sánchez Chávez, E., & Fernández Valeriano, A. F. (2017). Estudio de las propiedades físico-químicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova Scientia*, 9(18), 133. doi:10.21640/ns.v9i18.763
17. Serna-Saldivar, S. O. (2015). History of Corn and Wheat Tortillas. *Tortillas*, 1–28. doi:10.1016/b978-1-891127-88-5.50001-3

18. Galindo-Olguín, C. N., Cruz-Cansino, N. del S., Ramírez-Moreno, E., Ariza-Ortega, J. A., Camacho-Bernal, G. I., & Cervantes-Elizarrarás, A. (2021). El maíz y la nixtamalización: modificación de sus componentes, técnicas de proceso y enriquecimiento de tortilla. *Educación Y Salud Boletín Científico Instituto De Ciencias De La Salud Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo*, 10(19), 205-213. <https://doi.org/10.29057/icsa.v10i19.7236>
19. de-la-Parra C, Serna-Saldivar SO, and Liu RH. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007; 55(10): 4177-4183.
20. Salinas-Moreno Y, Cruz-Chávez F, Díaz-Ortiz SA, Castillo-González F. Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 2012; 35(1): 33-41
21. Bañuelos-Pineda J, Gómez-Rodiles CC, Cuéllar, Aguirre-López LO. La contribución del maíz a la salud humana. (Primera edición). London: Ed. Amanullah and Shah Fahad; 2018: 30.
22. Agama-Acevedo E, Salinas-Moreno Y, Pacheco-Vargas G, y Bello-Pérez LA. Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2011; 2(3): 317-32
23. Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura FAO. El maíz en la nutrición humana. 1993 [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/t0395s/T0395S00.htm#Contents> Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2020.
24. Rolletschek H, Koch K, Wobus U, Borisjuk L. Positional cues for the starch/lipid balance in maize kernels and resource partitioning to the embryo. *Plant Journal*. 2005; 42(1): 69-83.
25. INEN, Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 452: 2013 Tercera revisión. 2013 [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/187-3R.pdf>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2020.
26. Martínez J, Ramírez M, Cámara-Córdova J. Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria. (Primera edición). México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 2018; 384 Pp

27. Recopilación de ILSI Argentina. Maíz y nutrición informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. (Segunda edición). Argentina: Ed. IntechOpen. 2006:10-11 Pp.
28. NOM-147-SSA1. Norma Mexicana. Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas o sus mezclas y productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. 1996. [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4891221&fecha=15/08/1997. Fecha de consulta: 1 de agosto de 2020.
29. OMS, Organización Mundial de la Salud. Cereales, legumbres, leguminosas y productos proteínicos vegetales. En Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2008. [En línea]. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1392s/a1392s00.pdf>. Fecha de consulta: 8 de septiembre de 2020
30. Makinde FM, Adeyemi A. Quality characteristics of biscuits produced from composite flours of wheat, corn, almond and coconut. *Annals Food Science and Technology*. 19(2): 216-225.
31. Sabalingam S, Dharmawansa GHGUA, Wijayabandara MDJ, Siriwardhene MA, and Pathirana W. Dextrinized maize starch-maize starch combination as exclusive fillers in tablet manufacture. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019; 81(5): 960-966
32. Escobar-Puentes AA, García-Gurrola A, Rincón S, Zepeda A, Martínez-Bustos F. Effect of amylose/amylopectin content and succinylation on properties of corn starch nanoparticles as encapsulants of anthocyanins. *Carbohydrate Polymers*. 2020; 250: 116972.
33. Kiin-kabari DB, Akusu OM, Emelike NJT. Fermentation of corn starch powder for the production of "Ogi." *Journal of Food Research*. 2018; 7(5): 49-56.
34. Gaglio M, Tamburini E, Lucchesi F, Aschonitis V, Atti A, Castaldelli G, and Fano EA. Life cycle assessment of maize-germ oil production and the use of bioenergy to mitigate environmental impacts: A gate-to-gate case study. *Resources*. 2019; 8(2): 60.

35. Bura R, Mansfield SD, Saddler JN, Bothast RJ. SO₂-Explosión de vapor catalizada de fibra de maíz para la producción de etanol. Totowa, Nueva Jersey: Humana Press. 2002; 59.
36. Codex Alimentarius. Norma Del Codex Para Los Azúcares Codex Stan 212-1999. 2001. [En línea]. Disponible en: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B212-1999%252FCXS_212s.pdf. Fecha de consulta: 28 de diciembre de 2020
37. Popkin BM, Armstrong LE, Bray GM, Caballero B, Frei BA. New proposed guidance system for beverage consumption in the United States. The American Journal of Clinical Nutrition. 2006; 83(3): 529-542.
38. Siedlecka D, Micał W, Krzewicka-Romaniuk E, Romaniuk A. The bitter side of high fructose corn syrup (HFCS) -the global obesity pandemic. Journal of Education. 2020; 10(9): 747-751
39. Paredes López, O., Guevara Lara, F., & Bello Pérez, L. A. (2010). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. Ciencias, 92(092). Recuperado a partir de <https://revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/14831>
40. Serna-Saldivar, S.O., 2010c. Quality control of cereal grains and their products. In: Serna-Saldivar, S.O. (Ed.), Cereal Grains: Properties, Processing and Nutritional Attributes. CRC Press (Taylor & Francis Group), Boca Raton, pp. 463–533.
41. Serna-Saldivar, S.O., 2010d. Production of cereal-based traditional foods. In: Serna-Saldivar, S.O. (Ed.), Cereal Grains: Properties, Processing and Nutritional Attributes. CRC Press (Taylor & Francis Group), Boca Raton, pp. 535–564.
42. Steinkraus, K.H., 1983. Handbook of Indigenous Fermented Foods. Marcel Dekker, New York.
43. Wachter, M.C., Lappe, P., 1993. Alimentos fermentados indígenas de Mexico. Universidad Autonoma de Mexico, Mexico.
44. Serna-Saldivar, S.O., Gomez, M.H., Rooney, L.W., 1990. Technology, chemistry, and nutritional value of alkaline cooked corn products. In: Pomeranz, Y.

45. (Ed.), *Advances in Cereal Science and Technology*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, pp. 243–307.
46. Ramírez-Jiménez AK, Rangel-Hernández J, Morales-Sánchez E, Loarca-Piña G, Gaytán-Martínez M. Changes on the phytochemicals profile of instant corn flours obtained by traditional nixtamalization and ohmic heating process. *Food Chemistry*. 2019;276: 57-62.
47. De Agricultura Y Desarrollo Rural, S. (s. f.). Frijol, historia y sabor. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/frijol-historia-y-sabor>
48. SINGH, S. P; H. Teran, C. G. Munoz and J.C. Takegami, “Two cycles of recurrent selection for seed yield in common vean”, *Crop Science*, 1999, 39, pp. 391-397.
49. Guzman-Maldonado SH, Acosta Gallegos JA, Álvarez-Muñoz MA, García-Delgado S, Loarca Piña G. (2002). Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México* 28(2): 159-173. Lara-Flores M. (2015). El cultivo del frijol en México. *Revista Digital Universitaria de la UNAM*. 16(2): 1-11.
50. Suárez-Martínez SE, Ferriz-Martínez RA, Campos-Vega R, Elton-Puente JE, de la Torre Carbot K, García-Gasca T. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA-Journal of Food* 14(1): 131-137.
51. Reynoso-Camacho R, González-Jasso E, Salgado LM. (2007). La alimentación del mexicano y la incidencia de diabetes tipo 2. *Revista de Especialidades de Ciencias Químicas Biológicas* 10: 36-38
52. Fernández Valenciano, A. F, y Sánchez Chávez, E. (2017). “Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México”. *Nova Scientia* 9(18): 133-148. Disponible en <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.763>
53. Lara-Flores, M. (2015). “El cultivo del frijol en México”. *Revista Digital Universitaria de la UNAM* 16(2): 1-11.
54. De Prensa Y Colaboradores, O. (2020, 27 noviembre). Frijol negro: un alimento accesible, nutritivo y antioxidante - Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Centro de Investigación en Alimentación y

Desarrollo (CIAD). <https://www.ciad.mx/frijol-negro-un-alimento-accesible-nutritivo-y-antioxidante/>

55. Sánchez Chávez, E., & Fernández Valeriano, A. F. (2017). Study of physicochemical properties and nutritional quality in different varieties of beans consumed in Mexico. *Nova Scientia*, 9(18), 133–148. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.763>
56. Virginia-Isabel, V. G., Rosa, M. M., Gilber, V. G., & Claudia-Elizabeth, G. A. Elaboración y Evaluación de la Calidad de Tortillas de Harina de Maíz y Frijol patashete (*Phaseolus lunatus* L.). *Aportaciones a las Ciencias Alimentarias*, 113.
57. Salazar Garcés, D. M.; Rodas Castillo, M. N (2017); Elaboración de tortillas de maíz Guagal (*Zea mays*) nixtamalizado con la incorporación de frijol Panamito (*Phaseolus vulgaris*) y haba Major (*Vicia faba*). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26314>
58. Wild, L. (2020). El magnesio y los minerales de tu cuerpo son absolutamente esenciales. In *Revista Anales* (Vol. 1, No. 378, pp. 401-421).
59. Orías, Marcelo, «El papel de los canales de potasio en la regulación de la presión arterial». <https://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Reuniones/nefrologia/agosto1005/2312>.
60. Dean, Carolyn, *The magnesium miracle*, 2.a ed., Ballantine Books, agosto, 2017.