

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS



“Fortificación de una tortilla de masa de maíz nixtamalizado con harina de ejote
para incrementar sus cualidades nutricionales”

Por:

MARIA VANESSA ADAME BARRAGAN

TESIS

Presentada como el requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México, marzo 2026

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

TESIS

"Fortificación de una tortilla de masa de maíz nixtamalizado con harina de ejote
para incrementar sus cualidades nutricionales"

Presentada por:

María Vanessa Adame Barragan

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 con el 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. Sonia Noemí Ramírez Barrón
Coasesor
Departamento de Ciencias Básicas



Saltillo, Coahuila, México; marzo 2026

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

TESIS

"Fortificación de una tortilla de masa de maíz nixtamalizado con harina de ejote
para incrementar sus cualidades nutricionales"

Presentada por:

María Vanessa Adame Barragan

Que se somete a consideración del comité asesor como requisito parcial para obtener el
título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



M.E. Laura Olívia Fuentes Lara

Asesor principal




Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Coasesor



Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón

Coasesor



M.C. Pedro Carrillo López
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México; marzo 2026

Declaración de Autenticidad y no plagio.

Por medio de la presente, yo María Vanessa Adame Barragan, estudiante egresado de la carrera Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos, declaro que la presente tesis titulada “Fortificación de una tortilla de masa de maíz nixtamalizado con harina de ejote para incrementar sus cualidades nutricionales” es el resultado de mi trabajo original y que todas las fuentes utilizadas están debidamente referenciadas y citadas. Confirmando que este trabajo no ha sido previamente presentado para la obtención de ningún otro título académico.

Aseguro que todas las ideas, conceptos, datos y conclusiones presentadas son el resultado de mi propia investigación y análisis. Cuando se han utilizado las ideas de otros autores, proporciono referencias a las fuentes.

María Vanessa Adame Barragan

DEDICATORIAS

A Dios

Por acompañarme siempre en cada paso que di en mi etapa universitaria, por darme esa fuerza de poder estar lejos de mi familia y también por siempre escucharme y hacerme sentir acompañada. Porque en los momentos difíciles que pasé con mi salud mental, él se encargó de darme fuerza a través de mis oraciones hacia él.

A mis padres

José Adame Terán y Guadalupe Barragán Guzmán, por apoyarme siempre en cada decisión que tomaba y darme ánimos de seguir adelante, porque sin ellos no hubiera logrado llegar hasta donde estoy ahora, por hacer hasta lo imposible para que yo siempre estuviera bien y no me faltara nada aun estando lejos.

A mis hermanos

Larry Adame Barragán y Anthony Adame Barragán, por siempre estar apoyándome en todo y acompañándome en cada paso que doy, por siempre alegrarse de mis logros y recordarme cada día el potencial que tengo y todo lo que puedo llegar a realizar si yo me lo propongo. Espero seguir compartiendo con ellos cada uno de nuestros logros hasta que Dios nos lo permita.

A mi abuelita

Paula Guzmán Martínez o como la conocemos familiarmente “mamá pavita”, le dedico este logro a mi mamá Pavi por siempre darme un motivo de felicidad que es ella y por siempre brindarme su apoyo y su amor incondicional, porque a pesar de estar lejos, el saber que la tengo a ella es saber que lo tengo todo, y con eso me basta para seguir adelante y no rendirme.

A mis padrinos

María Guadalupe Barragán Guzmán y Agustín Betancur Santos, por siempre hacerme sentir querida y apoyarme en todo momento, también por haberme enseñado el camino de Dios y por sentirse orgullosos de mí en cada logro que he obtenido.

A mi familia

Por siempre estar para mí en todo momento y por siempre felicitarme y alegrarse de mis logros, a mis tíos, tías, primos, primas, y sobrinos.

Y por último a mis mascotas que consideré como mi familia, a colmillo, pelusa, peluchín, phanter y foggy, por siempre alegrarme la vida hasta el día de su fallecimiento. Pero en especial, a mi niño "Hachi", que hizo mi vida muy bonita y me dio muchos momentos de risas a lo largo de su vida, lo perdí en el último semestre de la carrera y fue lo peor, pero también desde el cielo me dio la fuerza para seguir sin él y resignarme a no tenerlo.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** mi Alma Terra Mater, la que me acobijó todos estos años que han sido de esfuerzo y dedicación, también la que me permitió conocer a buenas amigas que hoy en día considero familia, a cada uno de mis Profesores que me fueron forjando para ser una buena Ingeniera. Gracias por permitirme tener muy buenas experiencias en tu sede, y por todos esos conocimientos adquiridos a lo largo de esta trayectoria.

A mi asesora principal de este trabajo, la maestra **Laura Olivia Fuentes Lara**, por ser parte importante en esta investigación y por apoyarme siempre para que este trabajo se hiciera posible, también por tenerme paciencia y estar disponible para mí en cuanto tenía dudas y resolverlas.

A mis padres **José Adame Terán** y **Guadalupe Barragán Guzmán**, gracias por ser mi mayor motivación e inspiración para terminar esta carrera y por demostrarme siempre su apoyo y amor incondicional a pesar de la distancia.

A mis amigas **Alo Gayosso, Yeni Cervantes, Jacibe Janet, Jaqueline Miroslava, Ana Paola y Zarina Guadalupe**, gracias por hacer mi etapa de la universidad más bonita y por siempre estar conmigo, escucharme y darme consejos. Les agradezco infinitamente por alegrarme la vida con esas anécdotas que creamos juntas, siempre las llevaré en mi corazón.

A la **Dra. Xochitl Ruelas Chacón**, porque desde que la conocí siempre estuvo apoyándome a mí y a mis amigas en lo que podía, por siempre darnos buenos consejos y querer lo mejor para todos los estudiantes. Docentes como ella son muy pocas en la Universidad, gracias por siempre preocuparse y estar pendiente en todo. Siempre será un recuerdo muy bonito en mi vida.

A la **M.C. Mayra Alejandra Sosa Flores** por apoyarme en el laboratorio y tener paciencia y dedicación durante el desarrollo de este trabajo. Su guía y conocimientos fueron fundamentales para alcanzar este logro.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS	3
1.1.2	Objetivo general	3
1.1.3	Objetivos específicos.....	3
1.2	Justificación	4
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1	El ejote y su importancia como leguminosa.....	5
2.2	Nutrientes.....	5
	Cuadro 1. Composición proximal del ejote.....	6
2.3	Carbohidratos.....	6
2.4	Lípidos	6
	Cuadro 2. Contenido de ácidos grasos en ejote fresco (<i>P. vulgaris</i> L.)	7
2.5	Proteína.....	7
2.6	Fibra.....	8
2.7	Antecedentes del maíz y la tortilla	8
2.7.1	Relevancia cultural del maíz en Mesoamérica	8
2.7.2	Proceso de nixtamalización: fundamentos químicos	9
2.7.3	Propiedades nutricionales de la tortilla de maíz	10
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1	Obtención de la harina de ejote.....	12
3.2	Obtención de la harina de una tortilla de maíz con adición de harina de ejote en diferentes concentraciones.....	13
3.3	Formulaciones.....	13
3.4	Obtención del porcentaje de materia seca total.....	15
3.5	Obtención del porcentaje de cenizas.....	16
3.6	Obtención del porcentaje de extracto etéreo o grasa.....	16
3.7	Obtención del porcentaje de fibra cruda.....	18
3.8	Obtención del porcentaje de proteína cruda.....	19
3.9	Obtención del porcentaje de extracto libre de nitrógeno.....	22
3.10	Obtención del porcentaje de kilocalorías	26
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1	% MATERIA SECA TOTAL	31

4.2. % DE HUMEDAD	32
4.3 % CENIZA.....	33
4.4 % EXTRACTO ETÉREO O GRASA	34
4.5 % PROTEÍNA CRUDA	35
4.6 % FIBRA CRUDA	36
4.7 % CARBOHIDRATOS	37
4.8 % KILOCALORÍAS.....	38
V. CONCLUSIONES	39
VI. BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición proximal del ejote.....	6
Cuadro 2. Contenido de ácidos grasos en ejote fresco (<i>P. vulgaris</i> L.)	7

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Beneficio de los ejotes	5
Figura 2. La nixtamalización.....	9
Figura 3. Valores de MST.....	32
Figura 4. Porcentaje de Humedad.....	32
Figura 5. Porcentaje de ceniza.....	33
Figura 6: Porcentaje de EE	34
Figura 7. Porcentaje de Proteína Cruda.....	35
Figura 8. Porcentaje de Fibra Cruda	36
Figura 9. Porcentaje de CHO	37
Figura 10. Porcentaje de kcal.....	38

RESUMEN

Las tortillas de maíz representan uno de los alimentos fundamentales en la alimentación de la población mexicana. Debido a su alto consumo, la incorporación de ingredientes con valor nutricional constituye una alternativa para mejorar su calidad nutrimental. El ejote es el fruto inmaduro del frijol, que destaca por su contenido de fibra, vitaminas y minerales, los cuales aportan beneficios a la salud. Por ello, la adición de harina de ejote en la elaboración de tortillas de maíz puede contribuir al enriquecimiento nutricional de este alimento, representando una opción viable para mejorar la calidad de la dieta.

En el presente trabajo se realizaron cinco formulaciones, 0 %, 3 %, 5 %, 7 % y 10 % de harina de ejote. Se determinó la caracterización química en las tortillas; materia seca total (% MST), cenizas (% C), extracto etéreo (% EE), proteína cruda (% PC), fibra cruda (% FC), extracto libre de nitrógeno o carbohidratos (% ELN), y % kcal.

Los resultados fueron analizados por medio de un análisis de varianza (ANVA) y mediante una prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico StaTPlus: mac Pro (2018). Los datos mostraron que la mejor formulación de tortilla, en cuanto a valor nutricional, fue la de 10 % de harina de ejote, ya que presentó 2.81 % de minerales, PC 13.07 %, FC 3.29 % y un bajo contenido de carbohidratos con 78.48 % y 387.28 % kcal.

Palabras clave: Valor nutricional, tortilla, nixtamalización, harina de ejote.

I. INTRODUCCIÓN

En México el consumo *per cápita* de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) ha incrementado de 0.9 a 1.1 kg en los últimos años, por lo que se requiere aumentar su productividad y su calidad. Esto puede lograrse mediante prácticas agronómicas. La fecha de siembra es útil, para aprovechar al máximo las características del clima y que el cultivo exprese su potencial productivo (Nicolás Salinas Ramírez, 2008).

La tortilla de maíz (*Zea mays* L.) es el alimento más importante para los mexicanos. Actualmente se comercializan diferentes tipos; no obstante, la tortilla recién elaborada sigue en la preferencia de los consumidores. (Vázquez Carillo, 2011).

La elaboración de tortilla de maíz se ha convertido en una actividad compleja de gran escala. Este producto ha trascendido la simple fabricación casera y artesanal, para consolidarse como una actividad agroindustrial que implica innovación tecnológica, estrategias de comercialización, cambios en las preferencias de los consumidores, disminución notable de la regulación estatal que antes la caracterizaba. La industria de la tortilla se encuentra actualmente por un momento de transición. Por una parte, existe una industria moderna altamente tecnificada que está representada principalmente por la producción de harina de maíz nixtamalizado (HMN) que ha ido desplazando de manera gradual a la molienda de nixtamal tradicional. Ante la incapacidad de la industria tradicional de satisfacer el abasto de tortilla, la industria harinera y la venta de tortilla empacada, además de la integración de la tortillería como un servicio adicional de las cadenas de tiendas de autoservicio, se han desarrollado como alternativas a los métodos tradicionales (Consejo Empresarial de la Industria del Maíz y sus Derivados, 2001; Torres y col., 1996). La HMN ofrece ventajas tecnológicas para los fabricantes de tortillas como la facilidad en su manejo y almacenamiento, su mayor vida útil, características más uniformes y la facilidad para incorporar sabores, nutrientes y aditivos que mejoren su desempeño y la calidad final de las tortillas. Sus principales desventajas son: mayor

costo, falta de sabor, textura pobre en los productos que se elaboran con ella y envejecimiento más rápido (Gómez y col., 1987).

Por lo antes, mencionado el presente trabajo de investigación está basado en la propuesta de la harina de ejote como adición en la tortilla de maíz nixtamalizado. Planteando los siguientes objetivos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.2 Objetivo general

Desarrollar una tortilla de maíz nixtamalizado adicionada con harina de ejote y evaluar sus propiedades nutricionales.

1.1.3 Objetivos específicos

- Elaborar tortillas de maíz nixtamalizado con diferentes formulaciones (T0, F1 3 %, F2 5 %, F3 7 %, F4 10 %) de harina de ejote.
 - Evaluar la caracterización química de las tortillas obtenidas (% Humedad, % cenizas, %fibra cruda, % proteína cruda, % Extracto libre de nitrógeno, % kcal).
 - Establecer la formulación óptima de harina de ejote que permita mejorar el valor nutricional.

1.2 Justificación

La tortilla de maíz nixtamalizado constituye uno de los alimentos básicos de mayor importancia en la dieta de la población mexicana ya que aporta una proporción significativa de la energía diaria y forma parte fundamental de la cultura alimentaria del país. Además, el proceso de nixtamalización mejora la biodisponibilidad de algunos nutrientes, como el calcio, y aumenta el valor nutritivo (Serna-Saldivar, 2010).

No obstante, las tortillas elaboradas de manera tradicional presentan limitaciones en el contenido de fibra dietética y proteínas por lo que resulta necesario explorar alternativas que permitan mejorar su perfil nutricional.

En este sentido, la incorporación de ingredientes vegetales ricos en compuestos funcionales representa una estrategia viable para el desarrollo de alimentos más nutritivos. El ejote (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa ampliamente consumida que destaca por su contenido de fibra dietética, proteínas, vitaminas y minerales como hierro y calcio que contribuyen a mejorar la salud digestiva y el estado nutricional de la población (USDA, 2022).

Por ello la adición de harina de ejote a la tortilla de maíz nixtamalizado puede contribuir a incrementar su contenido de fibra y micronutrientes sin modificar de manera importante sus características sensoriales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El ejote y su importancia como leguminosa

Las leguminosas constituyen una familia botánica ampliamente presente en la alimentación cotidiana a nivel mundial. En México, su consumo es especialmente significativo, destacando productos como los ejotes, que forman parte esencial de la dieta (FAO, 2016). En términos generales, estos alimentos aportan una cantidad considerable de carbohidratos y proteínas, además de ser ricos en fibra. Asimismo, se caracterizan por su bajo contenido de lípidos —con excepción de la soya y el cacahuate— y por proporcionar minerales de gran importancia fisiológica, como calcio, magnesio, potasio, hierro y zinc. También son fuente relevante de vitaminas, principalmente del complejo B y ácido fólico (Badui y Cejudo Gómez, 2006).



(FitoterapiaCampos, 2019)

2.2 Nutrientes

El contenido de humedad en las vainas de la familia Leguminosae es cercano al 80 %. En años recientes, estas vainas han sido consideradas subproductos con un alto valor biológico, principalmente por su elevado contenido de fibra y su relación indirecta con la reducción de afecciones asociadas al síndrome metabólico, como la obesidad (Abu-Reidah et al., 2013). En el Cuadro 1 se muestra la composición proximal de ejote (*P. vulgaris* L.) en estado fresco.

Cuadro 1. Composición proximal del ejote.

Componente	Contenido
Agua (%)	88.2
Proteína (g)	2.40
Carbohidratos (g)	8.10
Fibra (g)	2.30

*Composición en 100 g de materia comestible (Virgilio-Gonzales, 2003).

2.3 Carbohidratos

En el ejote, los carbohidratos representan el componente más abundante después del agua. Su concentración varía en función del grado de madurez, la variedad y el tipo de cultivo, ya sea arbustivo o trepador (Ranhotra et al., 1998; SAGARPA, 2017; Virgilio-Gonzales, 2003). Asimismo, el contenido de azúcares puede verse influenciado por daños mecánicos o por la presencia de plagas (Halder et al., 2006). Por su parte, Stolle-Smits et al. (1999) señalaron que en ejotes frescos de *P. vulgaris* predomina el ácido urónico (>98%). También observaron una disminución notable en los polisacáridos de la pared celular —principalmente arabinosa, galactosa y ácido galacturónico— a lo largo de cuatro etapas de desarrollo. En contraste, azúcares como fructosa, ramnosa y xilosa permanecieron sin cambios significativos durante todo el proceso de desarrollo.

2.4 Lípidos

En el Cuadro 2 se muestra el perfil de ácidos grasos del ejote de la especie *P. vulgaris* L. El contenido de lípidos en este alimento es reducido (0.1 mg/g) en comparación con otros de sus componentes (SAGARPA, 2017). No obstante, aunque se encuentran en bajas cantidades, los ácidos grasos presentes —principalmente linoleico y linolénico (17.65 y 24.21 mg/g, respectivamente)— son de gran relevancia, ya que el organismo humano no puede sintetizarlos y deben

obtenerse mediante la dieta. Asimismo, el ejote contiene ácidos grasos saturados, como el palmítico (18.01 mg/g) y el esteárico (4.06 mg/g) (García et al., 2000).

Cuadro 2. Contenido de ácidos grasos en ejote fresco (*P. vulgaris* L.)

Ácidos grasos	*Contenido
Mirístico	0.27
Palmítico	28.30
Hexadecanoico	1.79
Esteárico	4.65
Oleico	32.73
Linoleico	32.69

*Contenido de ácidos grasos expresados como mg/g (Abu-Reidah et al., 2013).

2.5 Proteína

Las proteínas son macromoléculas altamente versátiles en los seres vivos, ya que cumplen funciones de transporte, almacenamiento y actúan como catalizadores en diversas reacciones enzimáticas, entre otras (McKee y McKee, 2013). Según su solubilidad, se clasifican en cuatro grupos: albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas. En las leguminosas, las fracciones predominantes son las albúminas y las globulinas. Las albúminas participan en el metabolismo de compuestos almacenados en el grano, como glicosidasas y proteasas, además de distribuirse en toda la planta y contribuir a su defensa mediante compuestos como inhibidores de tripsina y lectinas. Por otro lado, las globulinas funcionan principalmente como proteínas de reserva y representan entre el 35 y el 75 % del contenido proteico en estas especies (Chander et al., 1987; Guerrero et al., 2003).

En términos generales, las vainas actúan como estructuras encargadas del almacenamiento y transporte de nutrientes desde la planta hacia el grano. Esta función ha sido evidenciada a partir de su actividad proteolítica y de la disminución del contenido de proteínas en las vainas conforme se acumulan en los cotiledones

durante el desarrollo, aunque este no es el único mecanismo mediante el cual el grano adquiere nutrientes (Chander et al., 1987). Debido a su función natural de reserva, el ejote se considera una fuente importante de nutrientes; por ejemplo, en la especie *P. vulgaris* L. se ha reportado un contenido de proteína de hasta 17.1 mg/g en tejido fresco (Baz et al., 2016).

2.6 Fibra

En 100 gramos de ejote se pueden encontrar aproximadamente 5.2 g de fibra dietética, lo que representa más de una quinta parte de la ingesta diaria recomendada por especialistas. Esta se distingue por su resistencia a la digestión y absorción en el intestino delgado, por lo que es fermentada total o parcialmente en el intestino grueso. Lo anterior, de acuerdo con el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) (Infobae, 2022).

2.7 Antecedentes del maíz y la tortilla

2.7.1 Relevancia cultural del maíz en Mesoamérica

El maíz está tan presente en la vida cotidiana de los mexicanos que pocas veces se reconoce lo extraordinario de esta planta. A nivel mundial, se encuentra entre los principales cultivos agrícolas junto con el trigo y el arroz, destacando por su gran capacidad de adaptación, lo que lo convierte en un alimento básico en numerosos países. Para las culturas mesoamericanas, el maíz no solo era un producto comercial o un componente esencial de la dieta —junto con el frijol y el chile—, sino también un elemento fundamental de su identidad y cultura. Civilizaciones como la nahua, maya, zapoteca y olmeca basaron gran parte de su desarrollo en su cultivo y aprovechamiento. En distintas culturas de Mesoamérica, el maíz era considerado una planta sagrada que simbolizaba el universo y la materia con la que se originó la humanidad. Además, formaba parte esencial del calendario agrícola y de diversas celebraciones relacionadas con la fertilidad y la creación. En la actualidad, el maíz sigue siendo un componente central en la alimentación diaria a través de productos

como tortillas, esquites, atole, chilaquiles, huitlacoche y pozole. Asimismo, continúa siendo uno de los símbolos más representativos de la identidad mexicana (mexicana, 2025).

2.7.2 Proceso de nixtamalización: fundamentos químicos

La nixtamalización es una técnica ancestral originada en las civilizaciones prehispánicas de Mesoamérica, especialmente entre aztecas y mayas. Desde una perspectiva histórica y cultural, representa un proceso de gran relevancia que, además, es esencial para la elaboración de uno de los alimentos más representativos de México: la tortilla.



Figura 2. La nixtamalización
(TIA, 2025)

La nixtamalización es un proceso químico que consiste en cocer el maíz en una solución de agua con cal (hidróxido de calcio) y se lleva a cabo en distintas etapas. Primero, los granos se hierven con cal, lo que facilita la separación de la cáscara y modifica su estructura. Posteriormente, se dejan en reposo en la misma solución durante varias horas, generalmente entre 12 y 14, permitiendo la absorción de agua y nutrientes. Después, el maíz se lava con agua limpia para retirar los residuos de cal y las cutículas desprendidas. Finalmente, el nixtamal se muele para obtener una masa suave y manejable, base para la elaboración de tortillas y otros productos derivados del maíz. El término “nixtamalización” proviene del náhuatl: nextli

(cenizas) y tamalli (masa de maíz cocido). Este método ha sido empleado durante miles de años por las culturas 10 mesoamericanas, con evidencias que datan aproximadamente del año 1500 a.C., permitiendo un mejor aprovechamiento del maíz como alimento fundamental. Este proceso es relevante por diversas razones. Desde el punto de vista nutricional, incrementa el valor del maíz al liberar el niacina (vitamina B3), mejorando su digestibilidad y evitando enfermedades como la pelagra, asociada a su deficiencia. En el aspecto culinario, transforma la estructura del almidón y las proteínas, dando como resultado una masa más flexible, homogénea y con mejor sabor. Además, facilita la molienda del grano, optimizando la producción de masa para alimentos como tortillas, tamales, atole y pozole. Asimismo, actúa como un método de conservación al limitar el desarrollo de microorganismos. Más allá de sus beneficios tecnológicos y nutricionales, la nixtamalización representa un elemento esencial de la cultura mexicana. La tortilla, elaborada a partir de masa nixtamalizada, ocupa un lugar central en la alimentación diaria y en la gastronomía del país, siendo la base de una gran variedad de platillos como tacos, totopos, enchiladas y tamales (Milpa Viva, 2025).

2.7.3 Propiedades nutricionales de la tortilla de maíz

De acuerdo con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la producción de tortillas a partir de masa tradicional o de harinas de maíz nixtamalizado —como Maseca, Harimasa y Blancas— aporta compuestos esenciales que benefician la salud. Entre sus principales efectos se encuentran una mayor disponibilidad de aminoácidos, el apoyo en la síntesis de proteínas y una mejora notable en la digestión. ¹¹ El consumo de tortillas de maíz también contribuye al fortalecimiento del sistema óseo, ya que proporciona minerales y vitaminas como magnesio, fósforo, potasio, niacina e hierro. En este sentido, la interacción de las vitaminas C y D con el calcio presente en este alimento es clave para la adecuada fijación de los huesos. Además, su valor nutricional resulta fundamental tanto para adultos como para niños, ya que ayuda a proteger al organismo frente a agentes oxidantes, como la radiación ultravioleta y la contaminación ambiental. Asimismo, favorece el desarrollo de huesos y dientes,

disminuyendo el riesgo de padecimientos como osteopenia y osteoporosis en etapas posteriores de la vida. Por su parte, la Secretaría de Salud señala que el consumo de tortilla se relaciona con la prevención de enfermedades como la pelagra —originada por la deficiencia de niacina—, el raquitismo —asociado a la falta de calcio— y el cáncer de hígado. Este último representa una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial, con aproximadamente 830,000 defunciones registradas en 2020, según la Organización Mundial de la Salud (Joseph Na'a, 2024). En el caso de las mujeres embarazadas, la tortilla de maíz también ofrece beneficios importantes. Un ejemplo de ello es la aprobación, en 2016, por parte de la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) para la adición de ácido fólico a la harina de maíz nixtamalizado. Este compuesto, una forma sintética del folato (vitamina B), es esencial para prevenir malformaciones congénitas en el desarrollo del sistema nervioso del feto. En conjunto, la tortilla de maíz no solo representa un alimento con un profundo arraigo cultural, sino también un elemento clave para la salud de la población mexicana, al aportar múltiples beneficios nutricionales que favorecen el bienestar a lo largo de la vida (Joseph Na'a, 2024).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio fue realizado en el Laboratorio de Nutrición Animal perteneciente a la División de Ciencia Animal que cuenta la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en el municipio de Saltillo, Coahuila, México.

3.1 Obtención de la harina de ejote.

Materiales:

Materiales de laboratorio	Equipos
<ul style="list-style-type: none">- Recipiente para lavar los ejotes- Cuchillo- Tabla para picar- Charola de aluminio	<ul style="list-style-type: none">- Olla vaporera- Licuadora Osterizer- Horno de secado a 50° C, marca Blue M, modelo Single-Wall

Metodología:





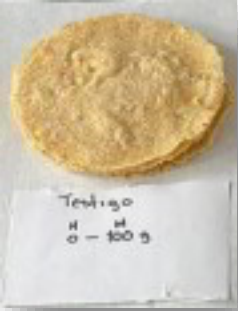
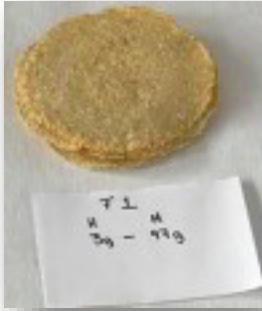
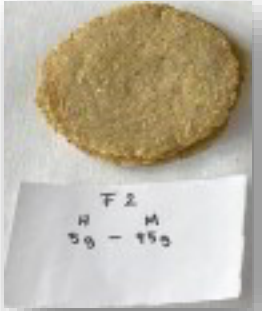

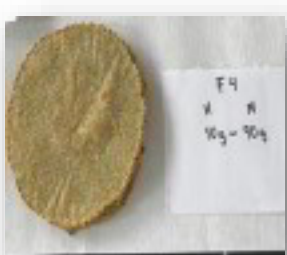
Se saca el ejote del horno, se tritura y se obtiene la harina.

3.2 Obtención de la harina de una tortilla de maíz con adición de harina de ejote en diferentes concentraciones.

Materiales:

Materiales de laboratorio	Equipos
- Masa de maíz de la marca H-E-B	- Prensa para hacer tortillas
- Harina de ejote	- Charola de aluminio
- Frascos para guardar la harina	- Licuadora marca Osterizer

3.3 Formulaciones

Testigo	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Formulación 4
H: 0 g M: 100 g	H: 3 g M: 97 g	H: 5 g M: 95 g	H: 7 g M: 93 g	H: 10 g M: 90 g
				

H: Harina

M: Masa

Metodología:



Se le agregó a la masa diferentes concentraciones de harina de ejote.



Se realizaron los tamaños de las bolitas para que la tortilla tenga un mismo tamaño.



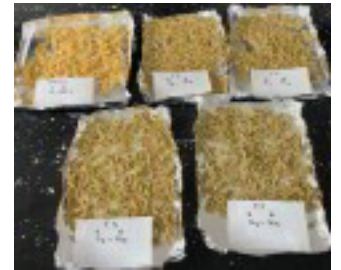
Tortillas a diferentes concentraciones, 4 de cada una.



Finalmente se obtiene la harina de cada concentración.



Se pasan a la licuadora y se comienza a triturar la tortilla.



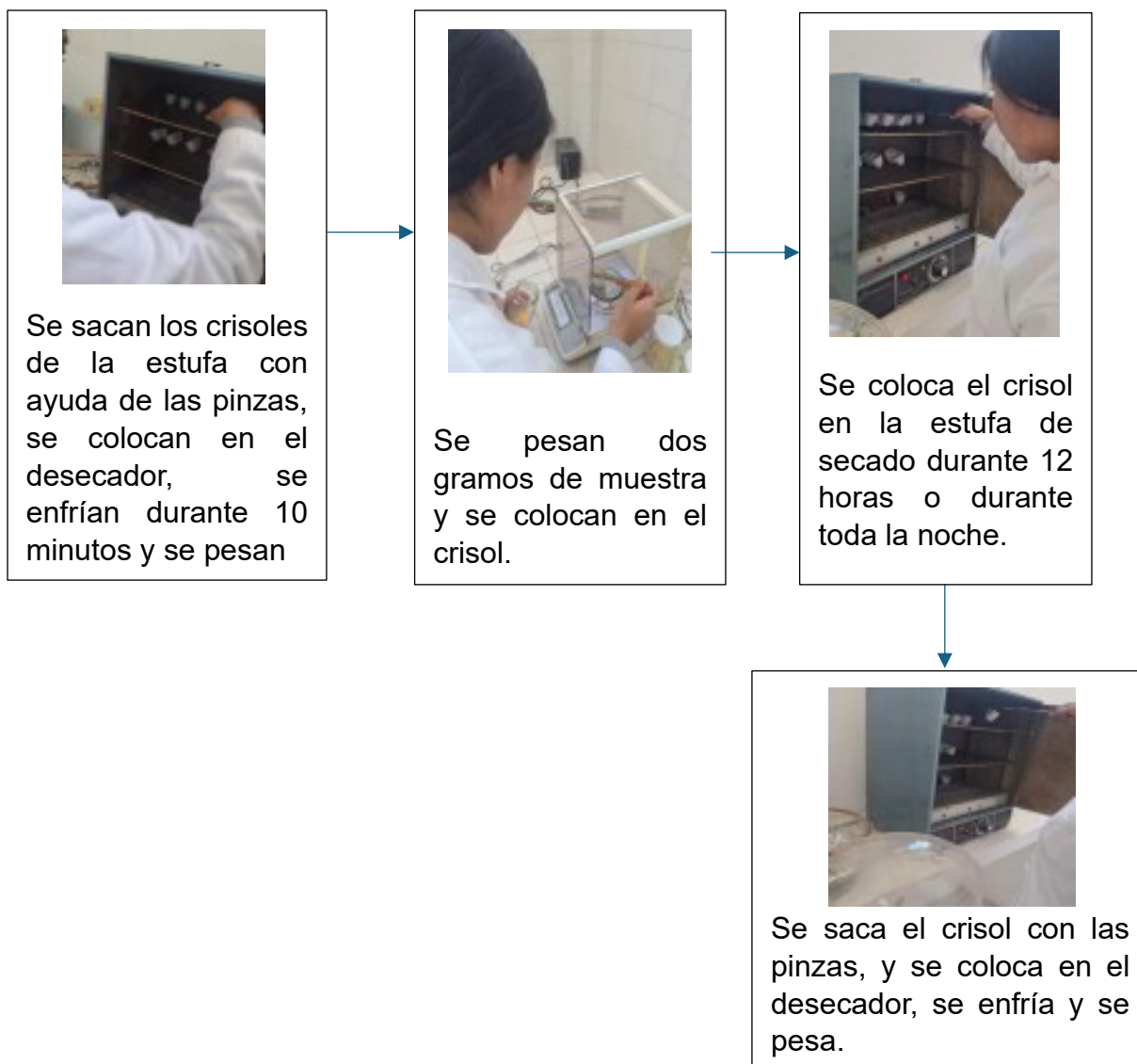
Se corta la tortilla en trozos pequeños para que sea fácil de triturar.

3.4 Obtención del porcentaje de materia seca total.

Materiales:

Materiales de laboratorio	Equipos
<ul style="list-style-type: none">- Crisoles de porcelana- Pinza para crisol- Espátula de acero inoxidable	<ul style="list-style-type: none">- Estufa de aire de temperatura de 80-200° C- Desecador- Balanza analítica, marca A&D, modelo HR-200.

Metodología:



3.5 Obtención del porcentaje de cenizas.

Materiales:

Materiales de laboratorio	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> - Crisol de porcelana - Pinzas - Desecador 	<ul style="list-style-type: none"> - Mufla (550-600° C), marca Thermo Scientific. - Balanza analítica, marca A&D, modelo HR-200. - Mechero

Metodología:



3.6 Obtención del porcentaje de extracto etéreo o grasa.

Materiales de laboratorio:

Materiales de laboratorio	Equipos	Reactivo
<ul style="list-style-type: none"> - Dedales de asbesto - Pinzas - Perlas de vidrio - Papel de filtro - Algodón 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato extractor tipo Soxhlet - Matraces bola fondo plano y boca esmerilada - Balanza analítica - Desecador 	<ul style="list-style-type: none"> - Hexano o éter anhidrido

Metodología:



Se pesan 4 g de muestra sobre un papel filtro y después se coloca en un dedal de asbesto.



Se saca de la estufa de secado un matraz bola de fondo plano, se enfría en el desecador y se pesa.



Se agrega al matraz bola de fondo plano 250 ml de hexano o éter.



Se enciende la parrilla de calentamiento y se abre la llave del agua fría. Se deja el sifoneo durante 12 horas, para obtener el extracto etéreo.



Se conecta el matraz bola de fondo plano al otro extremo del embudo Soxhlet.



Se coloca el dedal con la muestra en el embudo Soxhlet y después se ensambla al tubo refrigerante.



Se retira el dedal del embudo Soxhlet y se recupera el solvente.



Se coloca el matraz bola de fondo plano en la estufa de secado durante 12 horas. Después de 12 horas, se saca el matraz bola de fondo plano de la estufa de secado, se enfría en el desecador y se pesa.

3.7 Obtención del porcentaje de fibra cruda.

Materiales de laboratorio	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none">- Filtros de tela de lino- Embudo de vidrio- Espátula	<ul style="list-style-type: none">- Digestor Labconco- Vasos de Berzelius de 600 ml- Soporte para embudo	<ul style="list-style-type: none">- Ácido Sulfúrico 0.225 N- Hidróxido de Sodio 0.313 N- Agua destilada

Metodología:



Se pesa 2 g de muestra desengrasada y se coloca en el vaso Berzelius.



Se agrega 100 ml de ácido Sulfúrico.



Se coloca el vaso Berzelius en el aparato de reflujo y se enciende la parrilla en el nivel 3-4. Se abre la llave del agua del aparato de reflujo.



Se coloca el embudo con el filtro de tela en el soporte y debajo un vaso de precipitado para recoger el líquido. Pasado los 30 minutos, se retira el vaso Berzelius del aparato de reflujo y se filtra la muestra. Se lava el vaso Berzelius y la muestra con agua caliente.



Se deja la muestra en ebullición durante 30 minutos. Se calienta agua destilada en un vaso de precipitado y se vacía a una pisseta lavadora.

Con una espátula, se vacía la muestra nuevamente al vaso Berzelius, se agrega 100 ml de hidróxido de Sodio y se coloca en el aparato de reflujo.

Se deja la muestra en ebullición durante 30 minutos.

Pasado los 30 minutos, retirar el vaso Berzelius del aparato de reflujo y filtrar la muestra.

Lavar el vaso Berzelius y la muestra con agua caliente.




Se saca un crisol de la estufa de secado y se enfría en el desecador. Con la espátula, se retira el residuo sólido del filtro de tela y se coloca en el crisol.



Se coloca el crisol en la estufa durante 12 horas.

Se saca el crisol de la estufa con las pinzas, se coloca en el desecador, se enfría y se pesa.




Se coloca el crisol en la mufla durante 2 horas, se enfría en el desecador y se pesa.

3.8 Obtención del porcentaje de proteína cruda.

Materiales de laboratorio	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> - Matraz Kjeldahl de 800 ml - Matraz Erlenmeyer 500 ml - Bureta - Perlas de vidrio 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de digestión y destilación Kjeldahl marca Labconco 	<ul style="list-style-type: none"> - Ácido sulfúrico 0.1 N - Hidróxido de sodio 45% - Ácido bórico 4% - Indicador mixto - Agua destilada - Mezcla reactiva de selenio - Ácido sulfúrico concentrado

Metodología: Fase de digestión.



Se pesa 1 gramo de muestra y se coloca en el matraz Kjeldahl. Se agrega 1 cucharada de mezcla reactiva de selenio (catalizador).



Se agregan 5 perlas de vidrio.



Se agregan 30 ml de ácido sulfúrico concentrado.



Se coloca el matraz en el digestor Kjeldahl, se enciende la parrilla de calentamiento y el motor aspirador de gases. Se digiere la muestra hasta que cambie de color café oscuro a verde claro.

Metodología: Fase de destilación.



Se enfría el matraz Kjeldahl, se agrega 300 ml de agua destilada y después se añade 110 ml de hidróxido de sodio y 6-7 granallas de zinc.



En el matraz Erlenmeyer se colocan 50 ml de ácido bórico y 5-6 gotas de indicador mixto.



Se coloca el matraz Kjeldahl en el aparato de destilación, se enciende la parrilla de calentamiento y se conecta la boca del matraz al bulbo de destilación.



Se coloca la manguera del destilador dentro del matraz Erlenmeyer y se recibe de 200 a 300 ml de destilado.

Metodología: Fase de titulación.



Se titula el destilado con ácido sulfúrico 0.1 N hasta observar el cambio de color de azul a rojo.

3.9 Obtención del porcentaje de extracto libre de nitrógeno.

Datos T1R1:

% Cenizas	1.66
% Extracto etéreo	0.75
% Proteína cruda	10.14
% Fibra cruda	1.43

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{Cenizas} + \% \text{E. E.} + \% \text{P. C.} + \% \text{F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (1.66+0.75+10.14+1.43) = 86.02$$

Datos T1R2:

% Cenizas	1.79
% Extracto etéreo	1.74
% Proteína cruda	10.52
% Fibra cruda	0.89

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{Cenizas} + \% \text{E. E.} + \% \text{P. C.} + \% \text{F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (1.79+1.74+10.52+0.89) = 85.06$$

Datos T1R3:

% Cenizas	1.8
% Extracto etéreo	2.01
% Proteína cruda	10.08
% Fibra cruda	0.73

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{Cenizas} + \% \text{E. E.} + \% \text{P. C.} + \% \text{F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (1.8+2.01+10.08+0.73) = 85.38$$

Datos F1R1:

% Cenizas	2.16
% Extracto etéreo	1.0
% Proteína cruda	11.35
% Fibra cruda	0.82

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{ Cenizas} + \% \text{ E. E.} + \% \text{ P. C.} + \% \text{ F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.16+1.0+11.35+0.82) = 84.67$$

Datos F1R2:

% Cenizas	2.03
% Extracto etéreo	2.0
% Proteína cruda	10.34
% Fibra cruda	1.38

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{ Cenizas} + \% \text{ E. E.} + \% \text{ P. C.} + \% \text{ F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.03+2.0+10.34+1.38) = 84.25$$

Datos F1R3:

% Cenizas	2.14
% Extracto etéreo	1.99
% Proteína cruda	11.46
% Fibra cruda	1.47

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{ Cenizas} + \% \text{ E. E.} + \% \text{ P. C.} + \% \text{ F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.14+1.99+11.46+1.47) = 82.94$$

Datos F2R1:

% Cenizas	2.35
% Extracto etéreo	1.73
% Proteína cruda	12.03
% Fibra cruda	1.77

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{ Cenizas} + \% \text{ E. E.} + \% \text{ P. C.} + \% \text{ F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.35+1.73+12.03+1.77) = 82.12$$

Datos F2R2:

% Cenizas	2.11
-----------	------

% Extracto etéreo	2.0
% Proteína cruda	11.13
% Fibra cruda	1.69

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{ Cenizas} + \% \text{ E. E.} + \% \text{ P. C.} + \% \text{ F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.11+2.0+11.13+1.69) = 83.07$$

Datos F2R3:

% Cenizas	2.37
% Extracto etéreo	2.01
% Proteína cruda	12.12
% Fibra cruda	1.81

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{ Cenizas} + \% \text{ E. E.} + \% \text{ P. C.} + \% \text{ F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.37+2.01+12.12+1.81) = 81.69$$

Datos F3R1:

% Cenizas	2.6
% Extracto etéreo	2.02
% Proteína cruda	11.66
% Fibra cruda	2.05

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{ Cenizas} + \% \text{ E. E.} + \% \text{ P. C.} + \% \text{ F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.6+2.02+11.66+2.05) = 81.67$$

Datos F3R2:

% Cenizas	2.52
% Extracto etéreo	2.0
% Proteína cruda	12.19
% Fibra cruda	2.77

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{ Cenizas} + \% \text{ E. E.} + \% \text{ P. C.} + \% \text{ F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.52+2.0+12.19+2.77) = 80.52$$

Datos F3R3:

% Cenizas	2.59
% Extracto etéreo	2.5
% Proteína cruda	12.97
% Fibra cruda	2.5

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{Cenizas} + \% \text{E. E.} + \% \text{P. C.} + \% \text{F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.59+2.5+12.97+2.5) = 79.44$$

Datos F4R1:

% Cenizas	2.82
% Extracto etéreo	1.99
% Proteína cruda	13.54
% Fibra cruda	2.69

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{Cenizas} + \% \text{E. E.} + \% \text{P. C.} + \% \text{F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.82+1.99+13.54+2.69) = 78.96$$

Datos F4R2:

% Cenizas	2.82
% Extracto etéreo	2.52
% Proteína cruda	12.49
% Fibra cruda	3.87

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{Cenizas} + \% \text{E. E.} + \% \text{P. C.} + \% \text{F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.82+2.52+12.49+3.87) = 78.3$$

Datos F4R3:

% Cenizas	2.79
% Extracto etéreo	2.51
% Proteína cruda	13.19
% Fibra cruda	3.32

Cálculos:

$$\% \text{ E. L.N.} = 100 - (\% \text{Cenizas} + \% \text{E. E.} + \% \text{P. C.} + \% \text{F. C.})$$

$$\% \text{ E.L.N.} = 100 - (2.79+2.51+13.19+3.32) = 78.19$$

3.10 Obtención del porcentaje de kilocalorías

Datos T1R1:

% E.L.N	86.02
% Proteína cruda	10.14
% Extracto etéreo	0.75

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((86.02 \cdot 4) + (10.14 \cdot 4) + (0.75 \cdot 9)) = 391.39$$

Datos T1R2:

% E.L.N	85.06
% Proteína cruda	10.52
% Extracto etéreo	1.74

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((85.06 \cdot 4) + (10.52 \cdot 4) + (1.74 \cdot 9)) = 397.8$$

Datos T1R3:

% E.L.N	85.38
% Proteína cruda	10.08
% Extracto etéreo	2.01

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((85.38 \cdot 4) + (10.08 \cdot 4) + (2.01 \cdot 9)) = 399.93$$

Datos F1R1:

% E.L.N	84.67
---------	-------

% Proteína cruda	11.35
% Extracto etéreo	1.0

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \times 4) + (\text{P.C.} \times 4) + (\text{E.E.} \times 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((84.67 \times 4) + (11.35 \times 4) + (1.0 \times 9)) = 393.08$$

Datos F1R2:

% E.L.N	84.25
% Proteína cruda	10.34
% Extracto etéreo	2.0

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \times 4) + (\text{P.C.} \times 4) + (\text{E.E.} \times 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((84.25 \times 4) + (10.34 \times 4) + (2.0 \times 9)) = 396.36$$

Datos F1R3:

% E.L.N	82.94
% Proteína cruda	11.46
% Extracto etéreo	1.99

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \times 4) + (\text{P.C.} \times 4) + (\text{E.E.} \times 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((82.94 \times 4) + (11.46 \times 4) + (1.99 \times 9)) = 395.51$$

Datos F2R1:

% E.L.N	82.12
% Proteína cruda	12.03
% Extracto etéreo	1.73

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((82.12 \cdot 4) + (12.03 \cdot 4) + (1.73 \cdot 9)) = 392.17$$

Datos F2R2:

% E.L.N	83.07
% Proteína cruda	11.13
% Extracto etéreo	2.0

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((83.07 \cdot 4) + (11.13 \cdot 4) + (2.0 \cdot 9)) = 394.8$$

Datos F2R3:

% E.L.N	81.69
% Proteína cruda	12.12
% Extracto etéreo	2.01

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((81.69 \cdot 4) + (12.12 \cdot 4) + (2.01 \cdot 9)) = 393.33$$

Datos F3R1:

% E.L.N	81.67
% Proteína cruda	11.66
% Extracto etéreo	2.02

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((81.67 \cdot 4) + (11.66 \cdot 4) + (2.02 \cdot 9)) = 391.5$$

Datos F3R2:

% E.L.N	80.52
% Proteína cruda	12.19

% Extracto etéreo	2.5
-------------------	-----

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((80.52 \cdot 4) + (12.19 \cdot 4) + (2.5 \cdot 9)) = 388.84$$

Datos F3R3:

% E.L.N	79.44
% Proteína cruda	12.97
% Extracto etéreo	2.5

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((79.44 \cdot 4) + (12.97 \cdot 4) + (2.5 \cdot 9)) = 392.14$$

Datos F4R1:

% E.L.N	78.96
% Proteína cruda	13.54
% Extracto etéreo	1.99

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((78.96 \cdot 4) + (13.54 \cdot 4) + (1.99 \cdot 9)) = 387.91$$

Datos F4R2:

% E.L.N	78.3
% Proteína cruda	12.49
% Extracto etéreo	2.52

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((78.3 \cdot 4) + (12.49 \cdot 4) + (2.52 \cdot 9)) = 385.84$$

Datos F4R3:

% E.L.N	78.19
% Proteína cruda	13.19
% Extracto etéreo	2.51

Cálculos:

$$\% \text{ kcal} = ((\text{ELN} \cdot 4) + (\text{P.C.} \cdot 4) + (\text{E.E.} \cdot 9))$$

$$\% \text{ kcal} = ((78.19 \cdot 4) + (13.19 \cdot 4) + (2.51 \cdot 9)) = 388.11$$

IV. 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 StaTPlus: mac Pro (2018).

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), % kcal.

4.1 % MATERIA SECA TOTAL

En la Figura 3: podemos observar que las formulaciones 3, 5 y 10 son iguales estadísticamente, a excepción del testigo y la formulación 7. De acuerdo con Cortés Soriano et al., (2016) evaluaron la calidad de tortilla de maíz adicionada con harina de avena nixtamalizada. Los cuales manejaron una formulación al 10 % de harina de avena y 90% de masa de maíz nixtamalizado. De acuerdo con los resultados existe una gran diferencia de 60% pudiendo deberse a las diferencias en la composición de las materias primas utilizadas. C. Colín-Chávez et al., (2020) evaluó la composición química de diferentes tortillas de maíz, los resultados que obtuvo fueron de 54.1, 52.2 y 51.9, % respectivamente, valores muy menores a los nuestros, pudiendo deberse al tipo de maíz y al contenido de cada formulación.

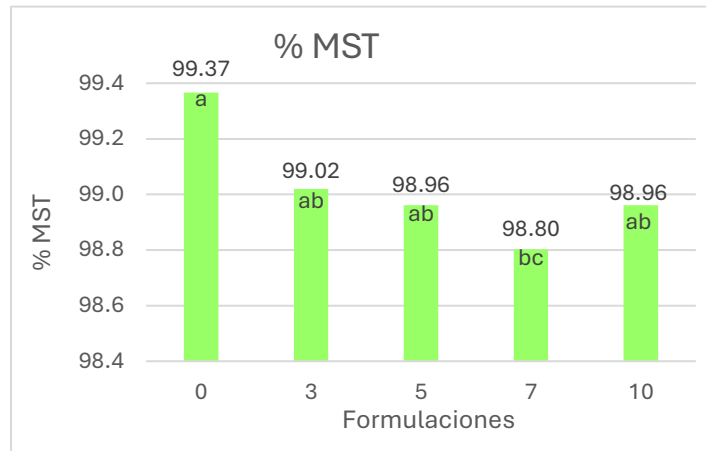


Figura 3. Valores de MST

4.2. % DE HUMEDAD

En la Figura 4: observamos que las formulaciones 3, 5 y 10 son iguales estadísticamente, y existe diferencia significativa entre el testigo y la formulación 7. El contenido de humedad es un factor crítico en la estabilidad de los alimentos, ya que en niveles elevados favorecen el crecimiento de mohos durante el almacenamiento (Jay et al., 2005; Damodaran et al., 2017). Los resultados obtenidos indican que el contenido de humedad en las muestras presentó variaciones que son atribuibles por la incorporación de la harina de ejote.

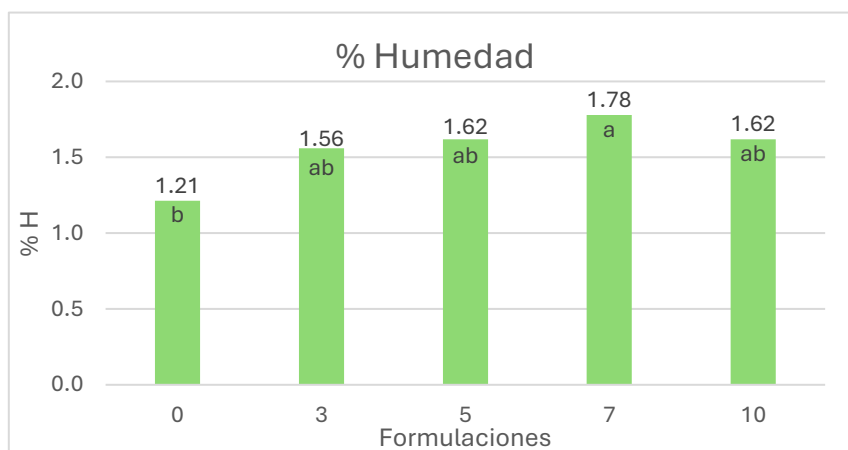


Figura 4. Porcentaje de Humedad

4.3 % CENIZA

En la Figura 5: se muestra que las formulaciones 3 y 5 no presentan diferencias significativas ($p \leq 5$) son iguales estadísticamente mientras que las formulaciones 0, 7 y 10 si presentaron diferencias entre sí. Sánchez-Magaña et al., (2025) realizaron una fortificación de harina de lenteja en tortillas de maíz azul donde reportan % de ceniza de 1.8, los valores que obtuvieron pudieron deberse por el tipo de maíz, el proceso, la cocción de la tortilla. Cortés Soriano et al., (2016) obtuvieron el 2 % de ceniza adicionando avena nixtamalizada en la tortilla de maíz. Reportando similitud con mis formulaciones, observando que en los valores de mi investigación que a mayor cantidad de harina de ejote hubo un mayor incremento en el % de ceniza, sugiere que el nivel de sustitución de harina de ejote en estos tratamientos no fue lo suficientemente distinto como para modificar de manera detectable el contenido mineral total. Esto es consistente con lo reportado, donde pequeños incrementos en ingredientes vegetales no siempre generan cambios estadísticos debido a la variabilidad analítica y a la matriz del maíz nixtamalizado (Serna Saldivar, 2010; Gómez Aldapa et al., 2013)

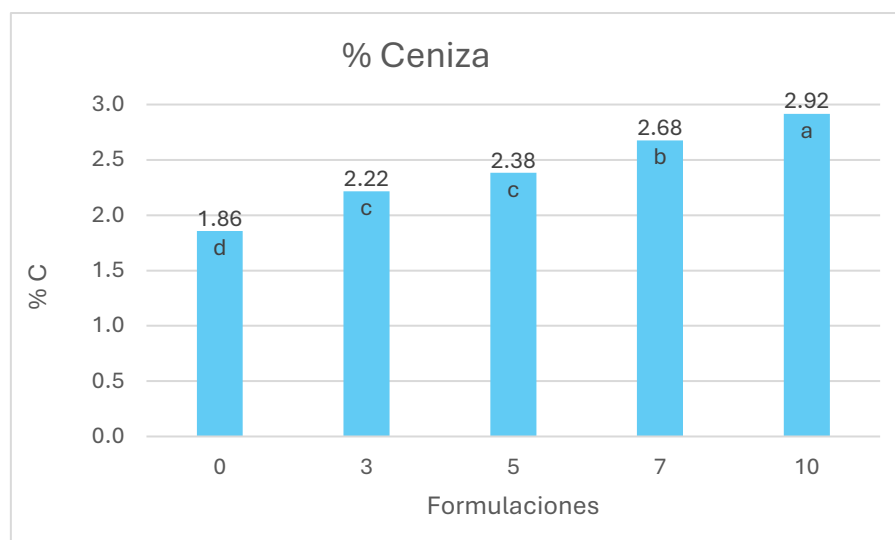


Figura 5. Porcentaje de ceniza

4.4 % EXTRACTO ETÉREO O GRASA

En la Figura 6: observamos que no hay diferencia significativa entre las diferentes formulaciones. Rosas Rivera et al., (2025) evaluó el efecto de la adición de harina de alga a la masa de maíz nixtamalizado. Sus datos obtenidos fueron de 3.58 y el testigo de 2.36 %, esto puede variar debido a que se utilizó una diferente marca de masa de maíz nixtamalizado, también por el contenido nutricional de cada materia prima utilizada, ya que son diferentes el alga con el ejote. C. Colín-Chávez et al., (2020) obtuvo resultados de % EE de 1.78 y 1.87 que se encuentran dentro del rango de nuestros valores.

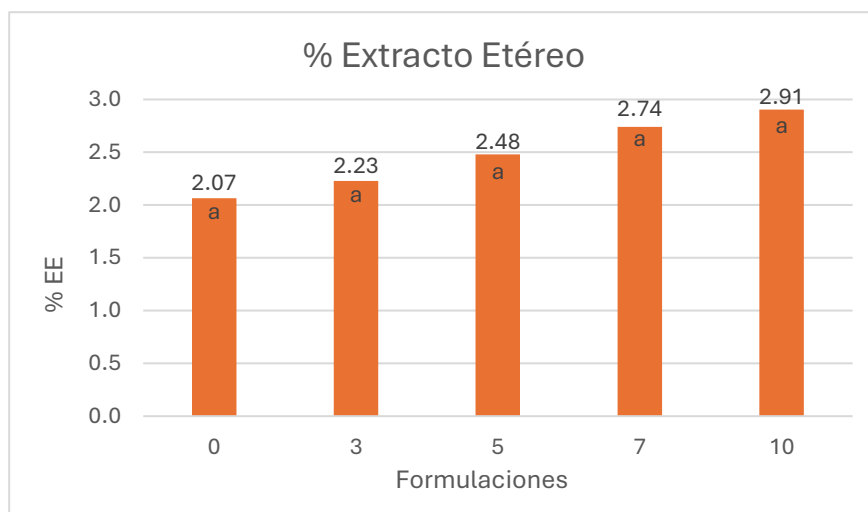


Figura 6: Porcentaje de EE

4.5 % PROTEÍNA CRUDA

En la figura 7: observamos que la formulación 0, 3 y 5 tienen similitud estadística, al igual que la 5 con la 7, las únicas que tienen diferencias significativas es la formulación 10 y el testigo. Cortés Soriano et al., (2016) evaluaron la calidad de tortilla de maíz adicionada con harina de avena nixtamalizada, en los resultados de proteína obtuvieron de 8.6%, lo que quiere decir que sus resultados son menores a los de nuestra tortilla evaluada. Estas diferencias pudieron deberse a la composición de cada materia prima que se utilizó o por el contenido de cada formulación. C. Colín-Chávez et al., (2020) sus valores en Proteína Cruda fueron menores a los de nuestras formulaciones, él obtuvo resultados como 8.66, 9.63 y 9.45 %.

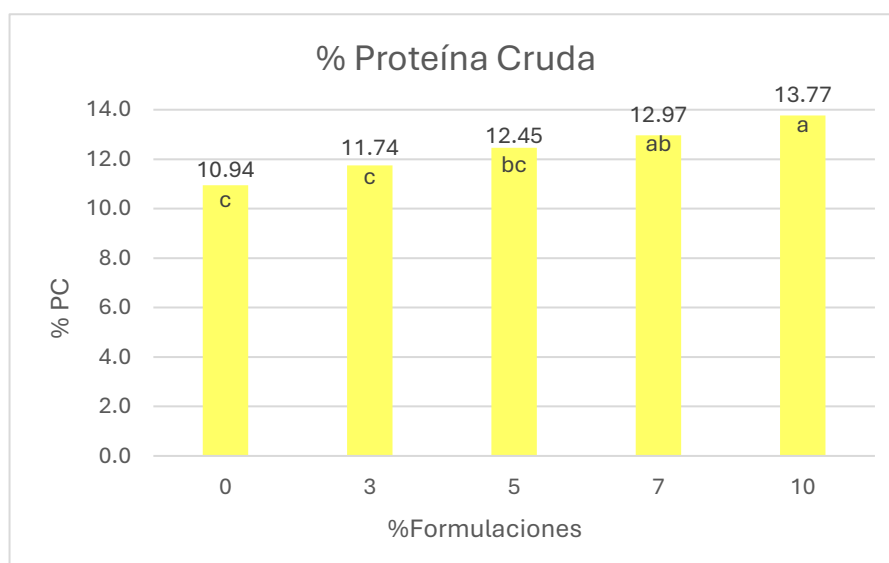


Figura 7. Porcentaje de Proteína Cruda

4.6 % FIBRA CRUDA

En la figura 8: podemos observar que las formulaciones 0, 3, y 5 son similares estadísticamente, al igual que la 5 vs 7, son diferentes estadísticamente las formulaciones 0, 7 y 10. En la investigación que hizo Rosas Rivera et al., (2025) sus resultados fueron menores a los de esta evaluación, en esto puede influir que el alga es rica en fibra, pero en fibra soluble, mientras que el ejote es rico en celulosa y fibra insoluble, lo que hace que el resultado sea mayor. También comparando los resultados con los de Cortés Soriano et al., (2016), observamos que sus resultados también son menores, debido a la alta cantidad de fibra insoluble del ejote.

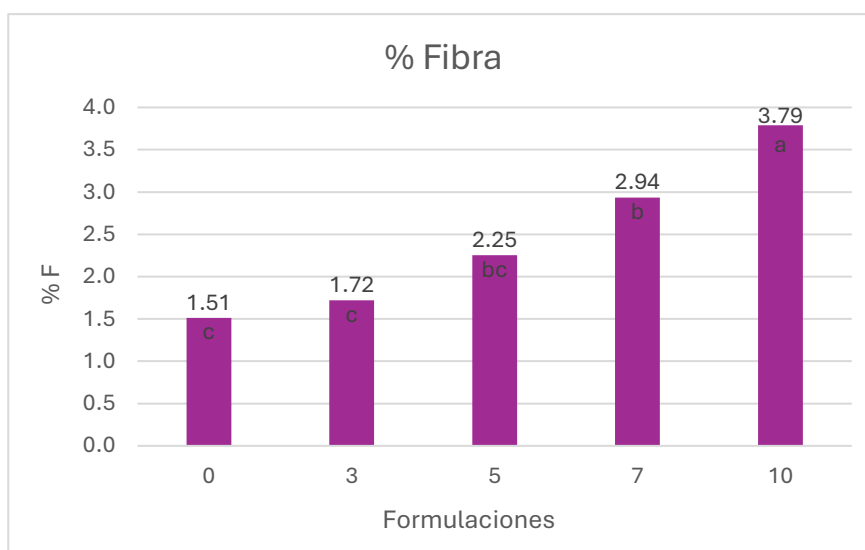


Figura 8. Porcentaje de Fibra Cruda

4.7 % CARBOHIDRATOS

En la figura 9: Todas las formulaciones tuvieron diferencia significativa a excepción de la formulación 3, son estadísticamente diferentes. Los resultados que obtuvo Rosas Rivera et al., (2025) fueron de 75.44 %, este resultado es menor al de la tortilla de maíz con harina de ejote, en esta diferencia puede influir la composición de cada materia prima, es decir el ejote es más rico en CHO en comparación con el alga. Sánchez-Magaña et al., (2025) en sus resultados obtuvo un porcentaje de 76.2 %, fueron menores a los de este trabajo, pudiendo deberse a las diferentes materias primas utilizadas.

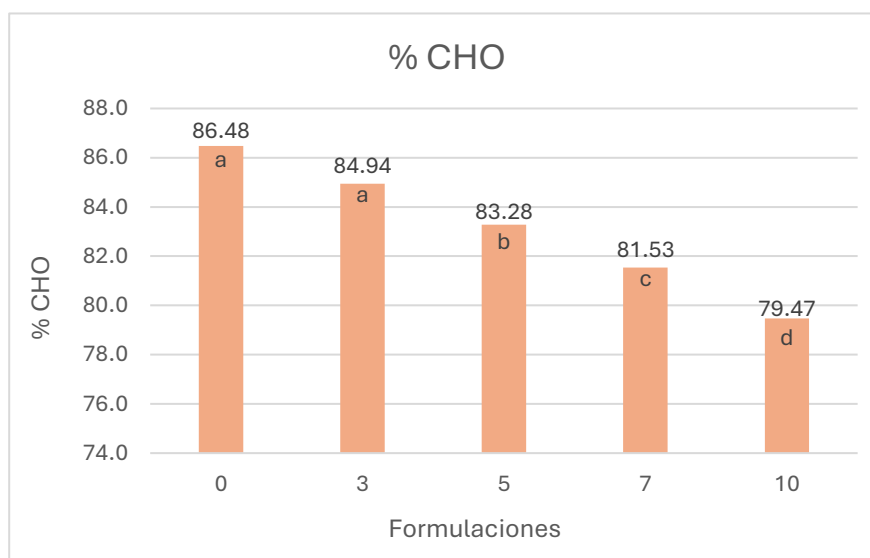


Figura 9. Porcentaje de CHO.

4.8 % KILOCALORÍAS

En la figura 10: podemos observar que las formulaciones 0, 3, 5 y 7 tienen similitud, mientras que la formulación 10 solo tiene similitud estadísticamente con la formulación 7. Rosas Rivera et al., (2025) obtuvo un valor de 404.70, lo que es más alto a los resultados de nuestra investigación, esto puede variar porque el ejote es más bajo en kcal que el alga, y el alga junto con la masa de maíz pueden concentrar más energía.

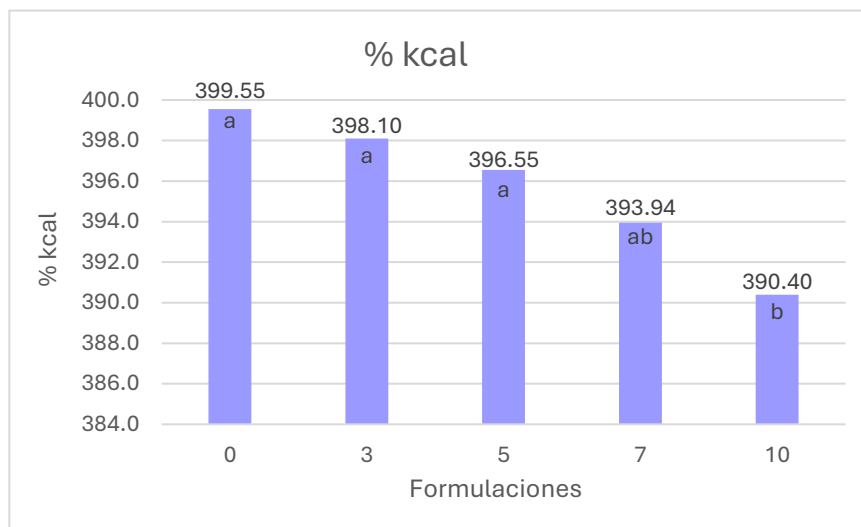


Figura 10. Porcentaje de kcal

V. CONCLUSIONES

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

- Se desarrolló exitosamente una tortilla de maíz nixtamalizado con harina de ejote y se evaluaron sus propiedades. Las concentraciones utilizadas de harina de ejote fueron de 0, 3, 5, 7, y 10 % en peso.
- Se realizó la caracterización química de las diferentes formulaciones de tortilla, teniendo como resultado que la formulación 10 % fue la que presentó las mejores cualidades nutricionales a comparación de la formulación 0%. Teniendo una diferencia de 1.06 % en minerales, 2.82 % en PC, 2.27 % en FC, 7.01 % menos en carbohidratos y 9.15 menos en kcal.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Abu-Reidah, I. M., Arráez-Román, D., Lozano-Sánchez, J., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2013). Comprehensive characterization of phenolic and other compounds in legumes by advanced analytical techniques. *Food Chemistry*, 141(3), 2013–2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.079>

Badui Dergal, S., & Cejudo Gómez, E. (2006). *Química de los alimentos* (4.ª ed.). Pearson Educación.

Baz, H., et al. (2016). Nutritional composition and health benefits of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.01.005>

Chander, S., et al. (1987). Seed storage proteins in legumes and their biological role. *Plant Physiology*. <https://academic.oup.com/plphys>

Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A., & Astier, M. (2020). Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. *Current Research in Food Science*, 3, 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.05.004>

Consejo Empresarial de la Industria del Maíz y sus Derivados. (2001). *La industria del maíz y sus derivados en México*. <https://www.cemaiz.org.mx>

Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2017). *Fennema's food chemistry* (5th ed.). CRC Press.

Excélsior. (2024). Especialistas destacan beneficios de la tortilla de maíz en nuestra dieta. <https://www.excelsior.com.mx/nacional/especialistas-destacan-beneficios-tortilla-maiz-nuestra-dieta/1635712>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). Año internacional de las legumbres 2016. <https://www.fao.org/pulses-2016/es/>

García, O. L., Cepero, S. M., & Yamaguchi, M. (2000). Composición de ácidos grasos en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 50(1), 91–96.

Gómez-Aldapa, C. A., Rangel-Vargas, E., & Castro-Rosas, J. (2013). Behavior of microbial populations in maize tortillas. Journal of Food Science, 78(7), M1020–M1025. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12169>

Gómez, M., et al. (1987). Características de calidad de la harina de maíz nixtamalizado y su impacto en la elaboración de tortillas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. <https://www.alanrevista.org>

Guerrero, M., et al. (2003). Protein fractions and nutritional quality of legumes. Food Chemistry. <https://www.sciencedirect.com/journal/food-chemistry>

Halder, J., Rai, A. B., & Kodandaram, M. H. (2006). Effects of common insect pests on the biochemical constituents of French bean (*Phaseolus vulgaris*). Indian Journal of Agricultural Sciences, 76(8), 512–514.

Infobae. (2022). Ejote: cuáles son los beneficios de esta leguminosa. <https://www.infobae.com/america/mexico/2022/07/02/ejote-cuales-son-los-beneficios-de-esta-leguminosa/>

Jay, J. M. (2005). Modern food microbiology (7th ed.). Springer.

McKee, T., & McKee, J. R. (2013). Bioquímica: las bases moleculares de la vida (5.^a ed.). McGraw-Hill Education.

Milpa Viva. (s.f.). ¿En qué consiste el proceso de nixtamalización y por qué es importante? <https://milpaviva.com.mx/blogs/todo-sobre-tortillas/en-que-consiste-el-proceso-de-nixtamalizacion-y-por-que-es-importante>

Na'a, J. (2024). Tortilla de maíz y beneficios para la salud. <https://miguel-khoury.com/2024/02/16/tortilla-de-maiz-y-los-beneficios-en-la-dieta/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). Año internacional de las legumbres. <https://www.fao.org/pulses-2016/es/>

Ranhotra, G. S., Gelroth, J. A., Leinen, S. D., & Lorenz, K. J. (1998). Nutritional profile of some commonly consumed vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 11(2), 147–154. <https://doi.org/10.1006/jfca.1998.0563>

Salinas Ramírez, N. (2008). Manejo agronómico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <https://www.inifap.gob.mx>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030: Frijol mexicano. Gobierno de México.

Secretaría de Cultura. (s.f.). La tortilla en la cultura mexicana. <https://mexicana.cultura.gob.mx/es/repositorio/x2acnp2f9p-5>

Serna-Saldívar, S. O. (2010). Cereal grains: Properties, processing, and nutritional attributes. CRC Press.

Stolle-Smits, T., Beekhuizen, J. G., van Dijk, C., Voragen, A. G., & Recourt, K. (1999). Cell wall polysaccharides of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by maturity and heating. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(5), 2108–2116. <https://doi.org/10.1021/jf9808933>

Torres, A., et al. (1996). La industria de la tortilla y la harina de maíz nixtamalizado en México. Universidad Autónoma Chapingo.

United States Department of Agriculture. (2022). FoodData Central: Green beans (*Phaseolus vulgaris*). <https://fdc.nal.usda.gov>

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (s.f.). Repositorio institucional. <https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/50470>

Universidad Autónoma de Nayarit. (s.f.). Biociencias. <https://ojs3.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/1701/1868>

Universidad Autónoma de Nuevo León. (s.f.). Revista de la Facultad de Ciencias Biológicas. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume7/7/1/4.pdf>

Universidad Nacional Autónoma de México. (2024). Taxcal, chuj: la tortilla y su poder sagrado.

https://www.revista.unam.mx/2024v25n4/taxcal_chuj_la_tortilla_y_su_poder_sagrado/

Universidad Veracruzana. (s.f.). Nixtamalización del maíz y su importancia.

<http://calgital.uv.mx/server/api/core/bitstreams/052caeb5-17bd-438c-8a88-00b028882422/content>

Vázquez Carrillo, M. G. (2011). Evaluación de atributos sensoriales en tortillas de maíz recién elaboradas y empacadas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

<https://www.scielo.org.mx>

Virgilio-Gonzales, G. (2003). Caracterización física y química de ejote de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo].

FitoterapiaCampos, (2019). El ejote tiene grandes beneficios que nos ayudarán.

<https://www.facebook.com/NaturistaAlfonso/posts/elejotetienegrandesbeneficiosquenosayudar%C3%A1nalimentosquecurankatherineequ/2548178335274258/>

TIA, (2025). El proceso de la tortilla: de nixtamalización a producción industrial.

<https://www.tiasaalimentos.com.mx/proceso-de-la-tortilla-2/>