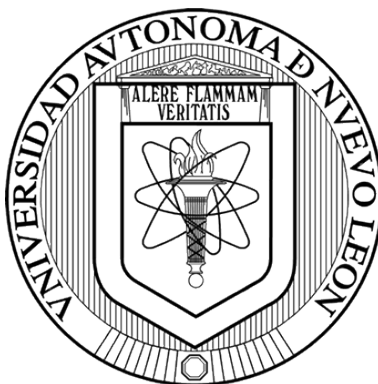


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DESARROLLO Y EVALUACIÓN INTEGRAL DE UNA TORTILLA DE MAÍZ CON
HARINA DE *Tenebrio molitor* Y CÁSCARA DE GRANADA.

POR

JANIS REGINA GUIDO MARTÍNEZ

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

2025

**DESARROLLO Y EVALUACIÓN INTEGRAL DE UNA
TORTILLA DE MAÍZ CON HARINA DE *Tenebrio*
molitor Y CÁSCARA DE GRANADA.**

Comité de Tesis

Dra. Sandra Loruhamá Castillo
Hernández Presidente

Dr. Juan Gabriel Báez González
Secretario

MC. Karla G. García Alanís
Vocal 1

Dr. Carlos Abel Amaya Guerra
Vocal 2

Dr. José Ezequiel Viveros Valdez
Vocal 3

Dra. Katiushka Arévalo Niño
Subdirectora de Posgrado



**SUBDIRECCIÓN
DE POSGRADO**

DESARROLLO Y EVALUACIÓN INTEGRAL DE UNA
TORTILLA DE MAÍZ CON HARINA DE *Tenebrio*
***molitor* Y CÁSCARA DE GRANADA.**

Dirección de tesis



Sandra Loruhamá Castillo Hernández

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

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SECIHTI) por el apoyo económico brindado para la realización de este trabajo de tesis. Su respaldo fue fundamental para llevar a cabo la investigación y alcanzar los objetivos propuestos.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento a la Facultad de Ciencias Biológicas, a sus docentes e investigadores, quienes me guiaron con generosidad y compromiso académico. En especial, agradezco a mi directora de tesis, la Dra. Sandra Castillo por su orientación, paciencia y confianza durante este proceso.

Reconozco también el apoyo de mis compañeros, amigos y familiares, cuyo aliento constante fue una fuente invaluable de motivación.

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi familia, por ser mi base, mi fuerza y mi mayor ejemplo de amor y constancia.

A mi novio por su apoyo incondicional que ha sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante.

A mis amigos, por cada palabra de aliento, por su compañía y estar siempre presentes.

A mis maestros, que dejaron huellas más allá del aula, y me enseñaron a pensar, a cuestionar y a no rendirme.

INDICE

RESUMEN 10

ABSTRACT 11

1. INTRODUCCION 12
2. ANTECEDENTES 14
 - 2.1 Sobre población y hambre mundial 14
 - 2.2 Insectos como fuente de proteína 15
 - 2.3 *Tenebrio molitor* 15
 - 2.4 Historia de la tortilla de maíz en México y su importancia en la alimentación 16
 - 2.5 Tortillas funcionales 17
 - 2.6 La microbiota intestinal 19
 - 2.7 Cáscara de granada 19
3. JUSTIFICACION 21
4. HIPOTESIS 22
5. OBJETIVO GENERAL 22
 - 5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 22
6. MATERIAL Y METODOS 23
 - 6.1 Lugar de trabajo 23
 - 6.2 Obtención de materia prima 23
 - 6.3 Diseño experimental 24
 - 6.4 Diagrama de procedimientos 24
 - 6.5 Determinación de proteína 25
 - 6.6 Desarrollo de la tortilla 25
 - 6.7 Análisis nutrimental 25
 - 6.7.1 Determinación de humedad 25
 - 6.7.2 Determinación de ceniza 26
 - 6.7.3 Determinación de proteína 26
 - 6.7.4 Determinación de extracto etéreo 27
 - 6.7.5 Determinación de fibra dietética total 27
 - 6.7.6 Determinación de carbohidratos disponibles 28

6.7.7	Determinación de azúcares totales	29
6.7.8	Determinación de sodio	29
6.8	Análisis sensorial	30
6.9	Análisis físicoquímico	30
6.9.1	Prueba de Rolabilidad	30
6.9.2	Determinación de pH	30
6.9.3	Determinación de Actividad de Agua	31
6.9.4	Prueba de color	31
6.10	Determinación de vida de anaquel	31
6.11	Elaboración de etiqueta nutrimental	31
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
7.1	Evaluación de proteína de las harinas	31
7.2	Desarrollo de la tortilla y análisis nutrimental	33
7.3	Resultados de análisis sensorial	36
7.4	Atributos físicoquímicos	39
7.4.1	Resultados de rolabilidad	44
7.5	Vida de anaquel	43
7.6	Etiqueta nutrimental	44
8.	CONCLUSIÓN	46
9.	PERSPECTIVAS	47
10.	BIBLIOGRAFÍA	49

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Contenido de proteína en diferentes leguminosas	17
Tabla 2.	Contenido de proteína en diferentes insectos comestibles	18
Tabla 3.	Representación del diseño experimental.	24
Tabla 4.	Porcentaje de proteína obtenido en las harinas a utilizar en la formulación de la tortilla experimental.	32
Tabla 5.	Formulación de la tortilla.	33
Tabla 6.	Análisis proximal de tortilla de maíz adicionadas con harina de insectos por diferentes autores.	33

Tabla 7. Resultados de análisis sensorial de las tortillas.	36
Tabla 8. Resultados de pH y Aw de las tortillas en el tiempo.	40
Tabla 9. Resultados de Color de las tortillas en el tiempo.	40
Tabla 10. Resultados de rolabilidad en el tiempo.	42
Tabla 11. Vida de anaquel de las tortillas reportadas en días.	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del procedimiento estratégico.	24
Figura 2. Representación de los pasos de elaboración de la tortilla experimental con harina de <i>T. molitor</i> y cáscara de granada.	33
Figura 3. Tortilla adicionada con harina de <i>T. molitor</i> y harina de cáscara de granada y tortilla de maíz control.	37
Figura 4. Prueba de rolabilidad en tortilla experimental, en el día 1 de elaboración.	43
Figura 5. Propuesta de etiqueta de la tortilla experimental adicionada con <i>T. molitor</i> y cáscara de granada.	45

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SECIHTI) por el apoyo económico brindado para la realización de este trabajo de tesis. Su respaldo fue fundamental para llevar a cabo la investigación y alcanzar los objetivos propuestos.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento a la Facultad de Ciencias Biológicas, a sus docentes e investigadores, quienes me guiaron con generosidad y compromiso académico. En especial, agradezco a mi directora de tesis, la Dra. Sandra Castillo por su orientación, paciencia y confianza durante este proceso.

Reconozco también el apoyo de mis compañeros, amigos y familiares, cuyo aliento constante fue una fuente invaluable de motivación.

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi familia, por ser mi base, mi fuerza y mi mayor ejemplo de amor y constancia.

A mi novio por su apoyo incondicional que ha sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante.

A mis amigos, por cada palabra de aliento, por su compañía y estar siempre presentes.

A mis maestros, que dejaron huellas más allá del aula, y me enseñaron a pensar, a cuestionar y a no rendirme.

RESUMEN

El aumento de la población mundial ha impulsado la búsqueda de fuentes sostenibles de proteína. El *Tenebrio molitor* es una alternativa viable por su alto contenido proteico y perfil de aminoácidos esenciales como el triptófano y la lisina, deficientes en la tortilla de maíz, alimento básico en México. La cáscara de granada, por su parte, es rica en fibra dietética y compuestos fenólicos con potencial prebiótico. En este trabajo se desarrolló una tortilla de maíz enriquecida con harina de *T. molitor* y cáscara de granada. La formulación se optimizó para mejorar el perfil nutricional y mantener características sensoriales aceptables. Se obtuvieron 41.03 % de proteína en harina de *T. molitor*, 7.73 % en maíz nixtamalizado y 4.13 % en cáscara de granada. La tortilla experimental presentó 9.13 % de proteína y 7.06 % de fibra. En la evaluación sensorial (60 jueces no entrenados), la aceptación general fue de 7.04 ± 1.52 . La tortilla se conservó sin moho por 3 días a 22 °C y 16 días a 4 °C. Se concluye que es posible desarrollar una tortilla con mayor valor nutricional y buena aceptación sensorial.

ABSTRACT

The global population increase has driven the search for sustainable protein sources. *Tenebrio molitor* is a viable alternative due to its high protein content and essential amino acids such as tryptophan and lysine, which are lacking in corn tortillas, a staple food in Mexico. Pomegranate peel, on the other hand, is rich in dietary fiber and phenolic compounds with prebiotic potential. This study developed a corn tortilla enriched with *T. molitor* flour and pomegranate peel. The formulation was optimized to enhance nutritional value while maintaining acceptable sensory characteristics. Protein content was 41.03% in *T. molitor* flour, 7.73% in nixtamalized corn, and 4.13% in pomegranate peel. The enriched tortilla showed 9.13% protein and 7.06% fiber. In a sensory evaluation with 60 untrained panelists, overall acceptance was 7.04 ± 1.52 . The tortilla remained mold-free for 3 days at 22 °C and 16 days at 4 °C. It is concluded that it is possible to develop a nutritionally enhanced tortilla with good consumer acceptance.

1. INTRODUCCIÓN

La tortilla de maíz es un alimento fundamental en la dieta de los mexicanos, con un consumo anual aproximado de 14 millones de toneladas. Diversas investigaciones han abordado el valor nutricional de este producto, destacando el beneficio de la nixtamalización, que aumenta la biodisponibilidad de los aminoácidos presentes (Castañeda *et al.*, 2018). Sin embargo, la tortilla de maíz presenta limitaciones en su calidad proteica, ya que su contenido de triptófano es sumamente pobre (0.051mg/g de proteína) y es deficiente en lisina (19.4mg/g de proteína). Además, durante su cocción o proceso de nixtamalización, pierde fibra dietética y vitaminas, como la niacina, tiamina y riboflavina. Esta problemática ha impulsado la búsqueda de alternativas para enriquecer la tortilla, incorporando ingredientes que suplanten estas deficiencias nutricionales (Paz, O. 2009, Castañeda *et al.*, 2018).

En este contexto, en las últimas décadas se ha explorado el uso de insectos como fuente de nutrientes, dado su alto contenido proteico y su producción sostenible. A nivel global, el comercio y consumo de insectos ha ganado relevancia, especialmente considerando que alrededor de 690 millones de personas sufren de hambre, y las proyecciones indican que este número podría superar los 840 millones para 2030 (Informe de los objetivos de desarrollo sostenible, 2023). El crecimiento poblacional y el aumento de la demanda de alimentos de origen animal han generado una mayor presión sobre los recursos naturales, el medio ambiente y la biodiversidad, lo que hace urgente la adopción de estrategias alimentarias que requieran menos recursos para su producción.

Garantizar la seguridad alimentaria con opciones de bajo impacto ambiental se ha convertido en una prioridad. En este sentido, desarrollar alimentos nutritivos y funcionales es una alternativa estratégica. Esta investigación propone el desarrollo de una tortilla enriquecida con harina de *Tenebrio molitor* y cáscara de granada, un proyecto alineado con dos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU: Hambre Cero (Objetivo 1) y Producción y Consumo Responsables (Objetivo 12).

El uso de insectos como fuente de proteína contribuye al Objetivo 12 al ofrecer una producción más sostenible, que reduce el consumo de agua y las emisiones de gases de efecto invernadero, y permite una producción estable en volumen y precio. Además, estos insectos pueden ser alimentados con desechos orgánicos, tienen un ciclo de vida corto y su

composición química puede modificarse mediante la dieta (Lazo, 2021). El *Tenebrio molitor*, en su fase larval, es especialmente rico en proteínas, con bajo contenido de grasas saturadas y un alto porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido oleico y linoleico (Aguilar *et al.*, 2002). También es fuente de minerales como zinc, magnesio y fósforo, y cubre los requerimientos de aminoácidos esenciales como triptófano y lisina, que son deficientes en la tortilla de maíz. Por tanto, la tortilla se presenta como el vehículo ideal para incorporar harina de *T. molitor*, mejorando su perfil nutricional y favoreciendo su aceptación entre los consumidores al ser un producto familiar.

Además, la cáscara de granada, un subproducto de la industria del jugo que actualmente no se aprovecha, podría ser un ingrediente clave en la creación de esta tortilla funcional. Esta parte de la granada destaca por su alto contenido de fibra dietética y compuestos fenólicos, los cuales tienen propiedades prebióticas. Estos componentes pueden promover el crecimiento y la actividad metabólica de bacterias beneficiosas para la salud intestinal, como *Lactobacillus* spp y *Bifidobacterium* spp (Akhtar *et al.*, 2015).

Con la incorporación de harina de *T. molitor* y cáscara de granada, se pretende desarrollar una tortilla funcional que no solo aporte beneficios nutricionales, sino que también apoye el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente en términos de hambre cero, producción y consumo responsables, y salud y bienestar.

2. ANTECEDENTES

2.1 Sobrepoblación y hambre mundial

En 2019, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) informó que la población mundial era de 7.715 millones de personas, y se estimó que para el año 2050 alcanzaría aproximadamente los 9.700 millones. De estos, se prevé que 766 millones estarán en riesgo de padecer hambre, con 118 millones de ellos representados por niños (Santamaría, 2019).

En México, para el 2023 se estimó que un tercio de la población sufre de inseguridad alimentaria, ya sea moderada o severa, lo que equivale a alrededor de 35 millones de personas (Global Alliance of Food Security, 2023). Este panorama refleja un problema global creciente que afecta directamente a la seguridad alimentaria y la salud de las poblaciones más vulnerables.

El rápido crecimiento de la población ha generado una demanda acelerada de alimentos, especialmente proteínas de origen animal, lo que ha impulsado una intensificación de la producción ganadera. Sin embargo, este aumento en la producción ganadera conlleva graves consecuencias para el medio ambiente: entre un 15% y un 26% de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen de la ganadería, y también se ha incrementado la explotación de los recursos hídricos y la biodiversidad. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se proyecta que, para satisfacer las necesidades alimentarias de la población mundial en crecimiento, será necesario incrementar en un 90% la producción agrícola y expandir la superficie de tierra cultivada en 70 millones de hectáreas (Santamaría, 2019).

Sin embargo, este crecimiento no será suficiente para cubrir la demanda alimentaria global. Ante este reto, se ha comenzado a explorar alternativas que permitan complementar las fuentes tradicionales de proteína de manera sostenible y con un menor impacto ambiental. La búsqueda de nuevas fuentes de proteína es crucial para asegurar la nutrición adecuada de la población mundial, respetando los límites de los recursos naturales y promoviendo prácticas de producción responsables.

2.2 Insectos como fuente de proteína

La tendencia actual para el desarrollo de alimentos se ha enfocado en el uso de insectos cultivados como alternativa de proteína animal para consumo humano; estos se consumen de forma habitual en 102 países del mundo de los 5 continentes (Ramos & Viejo, 2007). Se pueden consumir de forma entera, triturada o como harina para enriquecer diversos alimentos. La proteína de insecto presenta numerosas ventajas, empezando porque producen menos gases de efecto invernadero que el ganado, tienen una alta eficiencia de producción, pueden alimentarse de residuos biológicos y agropecuarios para transformarlos en nutrientes de alta calidad, requieren menos recursos hídricos que el ganado, la cría de insectos requiere de inversiones de baja tecnología y capital, se pueden criar en espacios pequeños y controlados a diferencia de las proteínas vegetales que requieren hectáreas de cultivos y tienen un menor riesgo de transmisión de enfermedades zoonóticas que los alimentos de origen animal. Sin embargo, entre sus desventajas se encuentra que las regulaciones son escasas para los productos enriquecidos con insectos, las personas alérgicas a los crustáceos pueden ser susceptibles a ser alérgicas a insectos y que la mayoría de la población rechaza su consumo (Ramos & Viejo, 2007).

Entre los insectos más estudiados como sustituto de proteína animal para consumo humano, se encuentran las larvas de moscas soldado negro (*Hermetia illucens*), el grillo doméstico (*Acheta domestica*) y los gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*) ya que sus principales componentes están basados en proteínas y grasas, seguidas de fibra, nitrógeno no proteico y cenizas. Se ha descrito que la digestibilidad de las proteínas se encuentra entre 78-98%, son altamente solubles, pueden formar emulsiones y tienen la capacidad de absorber agua (Avendaño, *et al.* 2020).

2.3 *Tenebrio molitor*

El *Tenebrio molitor* es un insecto perteneciente a la orden Coleóptera, que destaca por su alto contenido de proteína de fácil digestión, así como la presencia de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente oleico y linoleico, minerales y vitaminas, e incluso se ha reportado la producción de péptidos bioactivos (Medrano, 2019).

De acuerdo con la investigación de Lazo (2021) esta larva es una buena opción para fortificar alimentos debido a que fácilmente puede ser producido a gran escala, ya que puede ser alimentado con desechos orgánicos, su ciclo de vida es corto, y su composición química se puede manipular a través de la dieta.

Con el objetivo de determinar el valor nutricional del *T. molitor*, Costa *et al.* (2020), hicieron una evaluación en la que sus resultados mostraron que los principales ácidos grasos son oleico (37.8%) y linoleico (33.2%), y además encontraron que cumple con los requerimientos diarios de aminoácidos esenciales y es una fuente de minerales como zinc, magnesio y fósforo.

Una de las marcas que comercializa la harina de *T. molitor* es Insect Nutrition, la cual declara que contiene todos los aminoácidos esenciales y reporta en su información nutrimental un 53% de proteína y solo 10% carbohidratos, así mismo, contiene 33% grasas de las cuales 22% son grasas insaturadas. Además, declara que contiene Omega 3 y minerales tales como el sodio, magnesio, hierro, zinc, calcio y potasio.

2.4 Historia de la tortilla en México y su importancia en la alimentación

La tortilla de maíz es un elemento fundamental de la cultura mexicana que se produce desde hace 9,000 años aproximadamente, gracias a la domesticación del maíz en el sureste de México. Es el componente principal de la dieta de muchos mexicanos y se estima que el 94% de la población la consume (Figueroa & Martínez, 2012).

Actualmente la industria de la tortilla maneja una quinta parte del mercado global mexicano, con ventas anuales por 14,000 millones de dólares. Es el alimento étnico de mayor crecimiento en nuestro país, con un consumo anual de 14 millones de toneladas aproximadamente (Figueroa, 2010).

En zonas urbanas, se ha estimado que el consumo diario de tortillas es de 6 piezas (155 g aprox.) proveyendo 38.8% de las proteínas, 45.2% de las calorías y 49.1% del calcio de la dieta diaria y en sus zonas rurales donde comúnmente no se tiene una dieta apropiada debido a la limitación de recursos económicos, su consumo es mayor, siendo este de 8 tortillas diarias (218 g aprox.) y proveyendo aproximadamente el 70% del total de calorías y el 50% de las proteínas ingeridas diariamente (Figueroa, 2010) (Espejel, *et al.* 2016).

Dependiendo la formulación, la tortilla de maíz tiene el siguiente valor nutricional por 100 gramos: 220 Kcal, proteína: 4.8 g, grasas totales: 1.7 g, carbohidratos 46.5 g, azúcares 0.56 g. y sodio: 19.55 mg. El proceso de nixtamalización de la tortilla aumenta la disponibilidad de los aminoácidos que posee, sin embargo, el maíz es deficiente de lisina y triptófano (aminoácidos esenciales) (Castañeda, *et al.* 2018).

2.5 Tortillas como alimento funcional

Dado que muchas enfermedades crónicas se relacionan estrechamente con la dieta, la tendencia mundial de alimentación se inclina hacia el consumo de alimentos funcionales, que además de su valor nutricional, benefician a las funciones fisiológicas del organismo humano. Entre estos destacan los alimentos fortificados con vitaminas o minerales, pero pueden ser alimentos funcionales cualquier alimento natural o procesado que contenga componentes adicionales que favorezcan la salud de las personas (Alvídrez & González, 2002).

En diversas investigaciones se ha evaluado el enriquecimiento de tortillas de maíz con leguminosas tales como el frijol, garbanzo y soja, cereales como la avena y quinoa o incluso vegetales como la zanahoria o el nopal buscando que la tortilla tenga un mayor valor proteico o un mayor contenido de fibra. Actualmente, también se ha incursionado en el uso de insectos para enriquecer productos por su alto valor nutricional y su producción de bajo impacto ambiental.

En la tabla 2 se compara el porcentaje de proteína de algunos insectos estudiados y se establece que contienen más proteína que algunas de las leguminosas más consumidas (tabla 1).

Tabla 1. Contenido de proteína en diferentes leguminosas

Fuente	% Proteína
Garbanzo	19.4%
Frijol negro	22.7%
Lentejas	23.8%
Soja	35.9%

(Enjamio *et al.*)

Tabla 2. Contenido de proteína de diferentes insectos comestibles

Fuente	% Proteína
<i>Tenebrio molitor</i>	53%
Saltamontes	31.9%
<i>Zophobas morio</i>	20.7%
<i>Alphitobius diaperinus</i>	20.6%
<i>Achata domesticus</i>	21.5%

(Aguilar, *et al.* 2002; Yi, *et al.* 2013)

En diversas investigaciones se ha reportado el desarrollo de tortillas adicionadas con insectos para mejorar su valor nutricional, entre estas, Barrios (2017) desarrolló una tortilla de maíz con harina de grillo (*Archeta domesticus*) en la que determinó un porcentaje óptimo de sustitución de 20%. Sus resultados indicaron que el porcentaje de harina de grillo era la variable de mayor influencia en cuanto a fuerza de corte, elongación, luminosidad, y contenido de proteína, del cual obtuvo un contenido de 20.86%, demostrando que es viable enriquecer la tortilla con harina de grillo y que aumenta su valor proteico.

Por otro lado, Coronado, (2023) desarrolló una tortilla de maíz azul adicionada con harina de *Tenebrio molitor*, betabel y grano de maíz azul, en la que adicionó el *T. molitor* en un 1.93% y determinó que no obtuvo diferencias significativas en el contenido nutrimental con respecto a la tortilla de maíz, por lo que determinó que el porcentaje de sustitución usado no fue el adecuado y propuso que es necesario trabajar en nuevas formulaciones.

Así mismo, Aguilar, *et al.* (2002) realizó una caracterización de una harina de *Tenebrio molitor*, en la que las larvas fueron hervidas y secadas a 60°C para después ser molidas y formar la harina. Determinó un 58.4% de proteína mediante un análisis proximal, usando un factor de 6.25. Así mismo, estableció que esta harina tenía los requerimientos de aminoácidos esenciales según lo establecido por la FAO, destacando un alto contenido de fenilalanina + tirosina (7,7 g/100 g de proteína) y triptófano (1,8 g/100 g de proteína). Con esta harina desarrolló tortillas de maíz en la que para su preparación utilizó una proporción de 14 g de harina de maíz nixtamalizado y 1 g de harina de *Tenebrio molitor*, y concluyó que el producto final tuvo buena textura, sabor, color y aceptación general, con un incremento de proteína de un 2% y un 1% de grasa.

2.6 La microbiota intestinal

El ser humano posee una relación mutualista con innumerables microorganismos que se albergan en el tubo digestivo, los cuales conforman la microbiota intestinal. Esta se encarga de modular múltiples aspectos de la fisiología humana, siendo particularmente vinculada con el epitelio intestinal (función de barrera) y el sistema inmune del huésped, por lo que cambios en la composición y diversidad de la microbiota repercuten en el buen funcionamiento del sistema. La dieta es el principal regulador de la microbiota, ya que el principal sustrato energético para estas bacterias es la fibra dietética soluble, que incluye el almidón resistente, polisacáridos-no almidón, oligosacáridos y azúcares alcohol (Gasaly, *et al.* 2020).

De acuerdo con Gasaly, *et al.* (2020) los polifenoles tienen el potencial de ser prebióticos, ya que el metabolismo completo de estos fitoquímicos requiere de las actividades enzimáticas que expresa la microbiota, se estima que hasta el 95% de los polifenoles dietarios que alcanzan el colon son metabolizados por la microbiota intestinal.

Los fitoquímicos corresponden a metabolitos secundarios sintetizados por plantas, que incluyen terpenos, ácidos fenólicos y tiólicos, lignanos y flavonoides. Estos son los responsables de proteger a las plantas frente a distintos tipos de estrés y además le dan color y sabor a frutas y verduras. Así mismo, las actividades biológicas de los polifenoles están asociadas a la prevención de enfermedades crónicas, ya que se les han atribuido propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, vasodilatadoras, entre otros (Bautista & Kenneth, 2015).

2.7 Cáscara de granada

La cáscara de granada es un subproducto generado en la industria de la elaboración de jugo. De cada tonelada de fruta procesada, se obtiene aproximadamente 521 kg de cáscara y 148 kg de semillas, lo que implica que más del 60% de la fruta se desperdicia (Torres et al., 2019).

En México, la producción nacional de granada alcanza las 8,500 toneladas anuales, distribuidas en 17 estados, entre los que destacan Chiapas, Oaxaca, Hidalgo, Guanajuato y Morelos. De esta producción, alrededor de 5,100 toneladas corresponden a cáscara, que generalmente es desechada, contribuyendo al desperdicio de recursos.

Según Akhtar *et al.* (2015) los residuos como la cáscara y semilla de granada contienen componentes bioactivos y nutricionalmente valiosos incluso en mayores cantidades que la parte comestible de la fruta. La cáscara se caracteriza por la presencia de componentes fenólicos de alto peso molecular, elagitaninos, proantocianidinas, polisacáridos complejos y flavonoides que, en conjunto, presentan fuertes propiedades anti mutagénicas, antioxidantes, antimicrobianas y apoptóticas.

Además, está reportado que contiene entre 33 a 62% de fibra dietética de la cuál, aproximadamente 24% sería fibra dietética soluble. Esto es de importancia debido a que tanto la fibra dietética como los polifenoles tienen el potencial de ser usados como prebióticos, promoviendo el crecimiento, supervivencia y actividades metabólicas de bacterias beneficiosas para la flora intestinal humana tales como *Lactobacillus* spp. y *Bifidobacterium* spp. (Akhtar *et al.* 2015).

Cabe destacar que el uso de la cáscara de granada como ingrediente funcional tiene como limitante su amargor y astringencia, por lo que para ser aprovechado por sus múltiples beneficios es importante considerar las características sensoriales al momento de crear un nuevo producto. En el estudio de Torres, *et al.* (2019) utilizaron la fracción insoluble de una harina de cáscara de granada para formular galletas saladas y muffins, en las que se usó la harina en un 8 y 13% respectivamente. Se realizó una evaluación sensorial en un panel de 100 personas en las que se presentaron los productos etiquetados como “saludables” y con su respectiva tabla nutrimental, debido a que, aunque la aceptabilidad de los productos se basa en las características sensoriales, estos detalles influyen en la aceptación. Concluyeron que el adicionar la harina de cáscara de granada en los porcentajes mencionados es viable ya que los productos tuvieron buena aceptación en la evaluación sensorial.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la humanidad enfrenta retos cruciales en cuanto a la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Dos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) más apremiantes son "Hambre Cero" y "Producción y Consumo Responsables". Este proyecto, que propone la elaboración de una tortilla enriquecida con harina de *T. molitor* y cáscara de granada, tiene como propósito contribuir a ambos objetivos. La iniciativa busca ofrecer una alternativa nutritiva y sostenible en la dieta de la población mexicana, aprovechando la tortilla, un alimento básico y culturalmente arraigado, como vehículo para mejorar su perfil nutricional y facilitar su aceptación.

En México, la tortilla de maíz es consumida por el 94% de la población, independientemente de su nivel socioeconómico, lo que la convierte en un alimento ideal para introducir mejoras nutricionales. El objetivo de desarrollar una tortilla con *T. molitor* y cáscara de granada es ofrecer una opción con mayor valor nutricional, enriquecida con proteínas de alta calidad y un mayor contenido de fibra dietética en comparación con la tortilla de maíz tradicional. Además, la inclusión de *T. molitor* no solo eleva el contenido y el valor proteico, sino que también representa una alternativa sostenible, ya que los insectos como fuente de proteína tienen un bajo impacto ambiental, reduciendo el consumo de agua y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción ganadera.

Asimismo, el uso de un subproducto industrial como la cáscara de granada agrega un valor significativo, no solo por sus propiedades bioactivas y su alto contenido de fibra, sino también porque contribuye a la reducción del desperdicio, transformando un residuo en un recurso valioso para la nutrición humana.

Con la incorporación de *T. molitor* y cáscara de granada en la tortilla, se obtiene un alimento funcional que no solo mejora la calidad nutricional, sino que también tiene un impacto directo en dos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la ONU: el ODS No. 2 "Hambre Cero" y el ODS No. 12 "Producción y Consumo Responsables". Esta propuesta busca no solo alimentar a la población de manera más saludable, sino también promover una producción alimentaria más sostenible y responsable con el medio ambiente.

4. HIPÓTESIS

La adición de harina de *Tenebrio molitor* y cáscara de granada mejora el valor nutricional y las propiedades fisicoquímicas de las tortillas de maíz, conservando su aceptabilidad sensorial.

5. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y evaluar los atributos de una tortilla de maíz enriquecida con harina de *Tenebrio molitor* y cáscara de granada.

5.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar el contenido de proteína de las harinas: *T. molitor*, cáscara de granada y harina de maíz nixtamalizado.
- Formular y desarrollar la tortilla de *T. molitor* y cáscara de granada que contenga mayor cantidad de proteína que la elaborada a base de harina de maíz nixtamalizado.
- Determinar el contenido nutricional de la tortilla mediante un análisis proximal.
- Evaluar las características sensoriales de la tortilla y su aceptación por parte del consumidor.
- Determinar las características fisicoquímicas de la tortilla: Rolabilidad, Aw, pH, color.
- Evaluar la vida útil de la tortilla experimental comparada con la tortilla tradicional de maíz.
- Diseñar un prototipo de la etiqueta del producto terminado.

6. MATERIAL Y METODOS

6.1 Lugar de trabajo

El proyecto se llevó a cabo en el Departamento de Alimentos de la Facultad de Ciencias Biológicas Unidad B, ubicada en el municipio de San Nicolás de los Garza en el estado de Nuevo León.

Se trabajó específicamente en los laboratorios de:

- Laboratorio de Alimentos funcionales
- Laboratorio de Bromatología

6.2 Obtención de materias primas

La harina de *Tenebrio molitor* se adquirió de la empresa Insect Nutrition y se mantuvo en un lugar fresco y seco para su posterior uso. La harina de maíz nixtamalizada se compró en mercados de la localidad de la marca “Maseca”, ésta se guardó en un lugar fresco y seco para su posterior uso.

La granada se adquirió de mercados de la localidad. Para la elaboración de la harina de cáscara de granada (HCG) se realizó siguiendo el método de Berteja *et al.* (2019) en donde el fruto se lavó con agua y jabón, posteriormente se sanitizó con mycrodyn® de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Posteriormente se cortó en 4 partes y se retiraron las cáscaras manualmente con todas las precauciones de higiene (buenas prácticas de manufactura). Las cáscaras, se cortaron en trozos pequeños y se secaron a 45°C por 48 h, una vez transcurrido el tiempo se pulverizaron los trozos secos en un procesador.

6.3 Diseño experimental

Tabla 3. Representación del diseño experimental

Variable independiente		Variable dependiente	Análisis
Fórmula de la tortilla (Experimental vs. Control)	Análisis nutrimental	Humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra dietética, carbohidratos, azúcares totales, sodio	Prueba t de student
	Análisis sensorial	Olor, color, sabor, textura, aceptación global	ANOVA de dos vías (F1: Formulación de la tortilla, F2: día de evaluación)
	Análisis fisicoquímico	pH, Aw, color	ANOVA de dos vías (F1: Formulación de la tortilla, F2: día de evaluación)

6.4 Diagrama de procedimientos

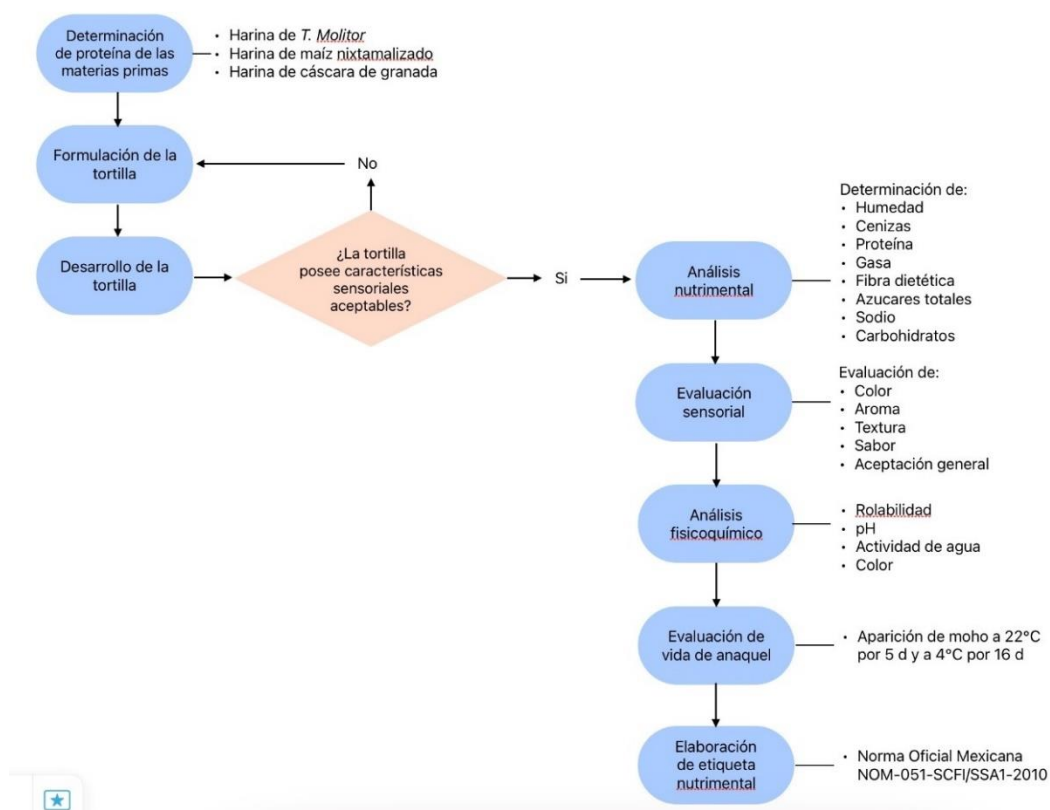


Figura 1. Diagrama del procedimiento estratégico

6.5 Determinación de proteína de las harinas

Se realizó la determinación de proteína de las 3 harinas con las que se desarrolló la tortilla (harina de maíz nixtamalizado, harina de *T. molitor*, y harina de cáscara de granada) siguiendo el método Kjeldahl estandarizado por la AOAC (930.29), usando como factor de conversión de nitrógeno 4.76 para la harina de *T. molitor* y 6.25 para la harina de maíz nixtamalizado y la harina de cáscara de granada.

Con estos resultados se desarrolló una fórmula que teóricamente obtuvo un mayor valor proteico que la tortilla de maíz y se evaluó si posee características sensoriales aceptables. Una vez que se obtuvo la fórmula ideal se realizaron los análisis bromatológicos, la evaluación sensorial, el análisis fisicoquímico y la determinación de actividad prebiótica.

6.6 Desarrollo de la tortilla

Siguiendo la metodología de Castañeda, *et al.* (2018), primero se pesaron todos los ingredientes, después se mezclaron los ingredientes secos (harina de maíz, harina de *T. molitor* y harina de cáscara de granada), luego se incorporó el agua y se mezcló. Después se amasó y se dejó reposar 10 minutos. Luego se dividió y pesó cada porción de tortilla (30g) para proceder al moldeado de esta en una prensa hasta lograr un diámetro de 13 cm, luego se cocinó en un comal a una temperatura entre 180 - 200°C durante 50 s de una cara de la tortilla, luego 50 s por la otra cara y finalmente se volteó a la primera cara nuevamente durante 30 segundos. Por último, se dejó enfriar a temperatura ambiente.

6.7 Análisis nutrimental

Las pruebas bromatológicas se realizaron según las metodologías estandarizadas por la AOAC, donde se determinó: humedad (AOAC 14.006), ceniza (AOAC 925.15), proteína (AOAC 930.29), extracto etéreo (AOAC 920.36C), fibra dietética total (AOAC 991.3), carbohidratos totales (AOAC 923.03), azúcares totales (AOAC 923.09) y sodio (AOAC 984.27).

6.7.1 Determinación de humedad (AOAC 14.006)

Para la determinación de humedad se colocaron cápsulas de aluminio en una estufa de aire a 70°C durante toda la noche para mantenerlas a peso constante. Transcurrido el tiempo-se

dejaron enfriar en un desecador y se pesaron en una balanza para anotar su peso. Después se agregó 1 a 2 g de muestra molida y se anotó el peso exacto, el cual se identificó como peso de la muestra húmeda. Luego se introdujo las cápsulas con muestra dentro de la estufa, nuevamente a 70°C durante toda la noche. Transcurrido el tiempo se sacaron las cápsulas de la estufa y se dejaron enfriar en un desecador. Después se tomó el peso total de la cápsula con la muestra seca. El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = ((\text{g de muestra húmeda} - \text{g muestra seca}) / \text{g de muestra húmeda}) \times 100$$

6.7.2 *Determinación de ceniza* (AOAC 925.15)

Para esta determinación se colocaron crisoles de porcelana en la estufa de aire a 100-110°C por 1 a 5 horas o a 70°C durante toda la noche. Transcurrido el tiempo se sacaron los crisoles, se dejaron enfriar en un desecador y se después se pesaron. Después se agregaron 1 o 2 g de muestra molida y se anotó el peso de la muestra húmeda. La muestra se pre-calcinó en un mechero hasta que se formó una ceniza. Para verificar que se incineró toda la materia orgánica se introdujo el crisol con la muestra en la mufla durante 10 s, la muestra al no expedir humo estuvo lista para dejar los crisoles toda la noche. Transcurrido el tiempo, se sacaron los crisoles de la mufla con pinzas y se dejaron enfriar en desecador, después se pesaron los crisoles con la muestra y se anotaron los resultados con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso en gramos de ceniza} = \text{peso de crisol con ceniza} - \text{peso del crisol tarado}$$

$$\% \text{ Ceniza} = (\text{Peso en gramos de ceniza} / \text{peso en gramos de muestra}) \times 100$$

6.7.3 *Determinación de proteína* (AOAC 930.29)

Primeramente, se pesó 1g de la muestra seca y se envolvió en un pedazo de papel encerado, después se colocó en un matraz Kjeldhal el cual previamente contenía una mezcla de catalizadores (1g de sulfato de cobre y 10g de sulfato de potasio), luego se agregaron 25 ml de H₂SO₄ concentrado, y seis perlas de vidrio para después proceder con la digestión de la muestra en un aparato Kjeldhal durante 1h. Posterior al proceso de digestión se agregaron al matraz kjeldahl 250 ml de agua, 100mL de NaOH 40% y 4 lentejas de Zinc, además se agregaron 100mL de ácido bórico y 6 gotas de indicador mixto a un matraz Erlenmeyer de

500mL, ambos se colocaron en un destilador- condensador, luego se destiló y recuperó 150 mL del destilado. Por último, se tituló la muestra obtenida en el matraz Erlenmeyer con HCl 0.1N hasta un cambio de coloración rosa y se usaron las siguientes fórmulas para determinar la cantidad de proteína.

% Nitrógeno = (mL de HCl) (Factor de HCl) / gramos de la muestra

% Proteína = (%Nitrógeno) (Factor de conversión específico = 6.25)

6.7.4 Determinación de grasa cruda o extracto etéreo (AOAC 920.36C)

Para extraer en su mayoría los componentes lipídicos de la muestra -triglicéridos, ácidos grasos libres, compuestos como esteroides, pigmentos: carotenoides y fitoesteroides-, se realizó el método de grasa cruda mediante el equipo Goldfish. Primeramente, se colocó de 1-3 gramos de la muestra envuelta en papel en un dedal de celulosa y este a su vez en un porta dedal de vidrio, ambos se colocan en el apartado de Goldfish, después se agregaron 40 mL de éter etílico a un vaso de precipitado (a peso constante) que fueron conectados al aparato ya mencionado durante 4 horas. Después de 4 horas de reflujo continuo se colocaron en una estufa a 70°C durante toda la noche para determinar su peso final y por último determinar su % de grasa cruda mediante la siguiente formula:

% Grasa= (g de muestra) $\frac{(VEE-VT)}{(VEB-VT)}$ x100

Donde:

VEE= peso del vaso más extracto etéreo de la muestra.

VEB= peso del vaso más extracto etéreo del blanco.

VT= peso del vaso de precipitado tarado.

La muestra sobrante se consideró como “desgrasada” y se almacenó para su uso posterior en el análisis de la fibra dietética total.

6.7.5 Determinación de fibra dietética total (AOAC 991.3)

1. Degradación enzimática

Primeramente, se pesó 1 g de muestra seca y molida en un vaso de precipitado de 400 ml con una exactitud de 0,1 mg, a estos se les adicionó 40 mL de solución tampón MES/TRIS, así mismo se prepararon dos valores en blanco (sin muestra). En caso de que fuera necesario se

ajustó el pH a 8.3 con NaOH 5% o HCl 5%. Después se agregó 50 uL de solución alfa-amilasa y se incubaron los vasos en baño de agua durante 30 minutos a 95-100 °C en constante movimiento. Transcurrido el tiempo se dejaron enfriar hasta una temperatura de 60°C. Luego, se adicionó 50 uL de solución de proteasa y se incubó en baño de agua a 60°C durante 30 minutos en constante movimiento. Transcurrido el tiempo se adicionó 5 mL de ácido clorhídrico (0,56 mol/L) y se ajustó el pH a un valor entre 4,0-4,7 a 60°C con NaOH 5% o HCl 5%. Después se adicionó 150 uL de solución de amiloglucosidasa y se incubó en baño de agua a 60°C durante 30 minutos.

2. Determinación de fibras alimentarias totales

Tras la degradación enzimática, se adicionaron 220 mL de etanol al 95% calentado a 60°C. El precipitado formado se dejó reposar 24 h a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo, los residuos del vaso de precipitado se pasaron al crisol previamente preparado y pesado. Los residuos se lavaron 3 veces con 15 mL de etanol al 78%, después 2 veces con 10 mL de etanol al 95%, y 3 veces con 10 mL de acetona y se dejaron secar durante la noche a 105°C. Transcurrido el tiempo, se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron, después un crisol de la muestra y otro blanco se utilizaron para la determinación de proteínas, y el resto para la determinación de sustancias minerales.

6.7.6 *Determinación carbohidratos disponibles* (AOAC 923.03)

El contenido de carbohidratos disponibles se determinó por diferencia, empleando la siguiente formula:

$$\% \text{ Extracto libre de nitrógeno} = 100 - (A+B+C+D+E)$$

Donde:

A: Contenido de humedad (%)

B: Contenido de proteína cruda (%)

C: Contenido de lípidos crudos (%)

D: Contenido de fibra dietética (%)

E: Contenido de cenizas (%)

6.7.7 *Determinación de azúcares totales* (AOAC 923.09)

En un vaso de precipitado de 250 mL, se agregó 6 g de muestra seca y molida de la tortilla, después se añadieron 80 mL de agua destilada y 5 mL de HCl concentrado y se calentó a baño maría a 65-70°C por 15 min (hidrólisis), luego se dejó enfriar y se neutralizó con NaOH 40 N a pH 7. Posteriormente, se agregaron 0.5 mL de solución saturada de acetato de plomo, se mezcló y se dejó reposar, luego se añadió 1 g de carbonato de sodio anhidrido, se agitó y se dejó sedimentar. Con ayuda de una pipeta se obtuvo el sobrenadante y se filtró esa solución con papel Whatman#2 hacia un matraz de aforación de 100 mL, después se hicieron 3 lavados con porciones de 10 mL de agua destilada y se aforó. Luego, se transfirió la solución a una bureta y se tituló con ella, en un matraz de 250 mL, se agregaron 5 mL de la solución Fehling Soxhlet No. 1, 5 mL de la solución Fehling Soxhlet No. 2 y 50 mL de agua destilada, se colocó en la plancha, se calentó y cuando empezó a hervir se contó 1 min, después se añadieron 2 gotas de azul de metileno 1% y se tituló inmediatamente. Por último, se anotaron la cantidad de mL gastados para hacer los cálculos correspondientes:

$$\% \text{ Azúcares totales} = (100*) (T)(100) / (V)(P)$$

Donde:

100 * = Volumen final al que es llevado el filtrado

T = Cálculo obtenido de la titulación del estándar

V = mL gastados en la titulación de la muestra

P = g de la muestra

6.7.8 *Determinación de sodio* (AOAC 984.27)

Se pesó 1 g de muestra, se agregaron 10 mL de HNO₃ concentrado y se llevó a cabo una digestión a reflujo por 1.5 h, se dejó reposar toda la noche y se pasó por un filtro Whatman 4 de 55 mm y se aforó a 25 mL con agua bidestilada.

Se determinó la concentración de sodio utilizando una curva estándar de concentración de 50 ppm mediante emisión, en un espectrofotómetro de Absorción Atómica AA-6200 Marca Shimadzu con las siguientes condiciones de operación:

- Longitud de onda: 589.0 nm
- Rendija: 0.2 nm

- Llama: Aire 1.8 L/min – Acetileno 8L/min

6.8 Análisis sensorial

Se realizó un análisis hedónico para obtener más información de las propiedades sensoriales de la tortilla que de acuerdo con el método descrito por Watts, *et al.*, (2000), la evaluación se conformó por un panel exploratorio de aceptación constituido por 60 personas no entrenadas en donde evaluaron los atributos como color, aroma, textura, sabor y aceptación general. Estos tratamientos fueron evaluados en una recta de 10 cm con las escalas: “me disgusta mucho, me disgusta, aceptable, me gusta y me gusta mucho”. Para analizar los resultados de la escala lineal, las marcas de los panelistas se convierten en puntajes numéricos midiendo la distancia en cm entre el extremo izquierdo o punto de menor intensidad en la escala y las marcas de los panelistas, convirtiéndolas a unidades de puntaje. Los puntajes numéricos de cada muestra se tabulan y analizan mediante el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre las muestras.

6.9 Análisis de fisicoquímico

6.9.1 Rolabilidad

La prueba de Rolabilidad es una prueba subjetiva comúnmente empleada en tortillas, que se basa en medir la capacidad de la tortilla para enrollarse sin agrietarse. Esta prueba se realizó de acuerdo con el método reportado por Villa *et al.* (2004); este parámetro se determinó a los 30 min después de haber sido elaborada la tortilla, tomando medición (cm) de la pieza completa y posteriormente se enrolló alrededor de una varilla de 2 cm de diámetro. Con esta prueba se midió el grado de rompimiento de una forma subjetiva utilizando una escala del 1 al 5; donde 1 corresponde a un rompimiento de 0%, 2 de un rompimiento de 1 a 25%, 3 de un rompimiento de 26 a 50%, 4 de 51 a 75% y 5 de 76 a 100% de rompimiento de la longitud de la tortilla. Se realizaron 3 repeticiones de la prueba a los 30 min, en el día 2, 3 4 y 5.

6.9.2 pH

El pH se determinó preparando una suspensión de 10 g de muestra triturada en 100 mL de agua destilada mediante el uso de un potenciómetro, en donde se sumergió el electrodo y se tomó la lectura de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Se realizaron 3 repeticiones en el día 1 de elaboración, día 3 y día 5.

6.9.3 Actividad de agua (Aw)

Se determinó utilizando el medidor de Aw AquaLab, a partir de 5 g de muestra y siguiendo las instrucciones del fabricante. Se realizaron 3 repeticiones en el día 1 de elaboración, día 3 y día 5.

6.9.4 Color

Los análisis de color se realizaron a través del tiempo para los días 1, 3 y 5. Se utilizó el colorímetro Hunter Lab Colorimeter, a partir de 5 g de muestra y se llevó a cabo 3 lecturas en base a los resultados de L, a, b.

Se obtuvieron los valores de luminosidad L con escala de 0 (negro) a 100 (blanco), “a” en la escala de rojo cuando es positivo y verde cuando es negativo, “b” en la escala de amarillo cuando es positivo y azul cuando es negativo. Se realizaron 3 repeticiones en el día 1 de elaboración, día 3 y día 5.

6.10 Determinación de vida de anaquel

La determinación de vida de anaquel se llevó a cabo siguiendo la metodología reportada por Martínez y colaboradores (2004), donde después de elaborar las tortillas se dejaron enfriar a temperatura ambiente hasta alcanzar los 30 °C, y se empacaron de forma individual en bolsas de polietileno. Se almacenaron a temperatura ambiente (22 ± 1 °C) durante 6 d y a 4 °C durante 16 d. La vida útil de las tortillas se determinó de acuerdo con el número de días que las tortillas se mantienen sin mostrar rastros aparentes de moho.

6.11 Etiqueta nutrimental

Se siguieron las especificaciones de la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria, publicada el 5 de abril de 201

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Evaluación proteica de las harinas.

Con el propósito de conocer el contenido proteico de las materias primas utilizadas en la formulación de la tortilla experimental, se determinó un 41.03% de proteína en la harina de

Tenebrio molitor. Este valor fue menor al reportado por Aguilar *et al.* (2002), quienes informaron un contenido de proteína del 58.4%. Esta discrepancia se atribuye al uso de un factor de conversión de nitrógeno general de 6.25, el cual puede sobreestimar el contenido proteico debido a la presencia de aminoácidos no disponibles, especialmente aquellos presentes en la quitina. En la tabla 1 se reportan los resultados del análisis.

Tabla 4. Porcentaje de proteína obtenido en las harinas a utilizar en la formulación de la tortilla experimental

<i>Materia prima</i>	<i>Proteína (%)</i>
Harina de maíz nixtamalizado (Maseca)	7.73*±0.26
Harina de <i>T. molitor</i> (Insect nutrition)	41.03±0.26
Harina de cáscara de granada	4.13±0.12

Resultados de proteína en base húmeda. *Los valores presentados son los promedios ±desviaciones estándar.

Janssen *et al.* (2017) propusieron factores de conversión de nitrógeno más precisos para insectos: 4.76 para larvas y 5.60 para insectos adultos. Dado que *T. molitor* se encuentra en estado larval, el valor más adecuado es 4.76. Utilizando este factor, el contenido de proteína determinado en esta investigación resulta más acorde con lo reportado por Ravzanaadii *et al.* (2012), quienes encontraron un 46.44% de proteína aplicando el mismo criterio. Además, es importante considerar que la composición nutricional de las larvas puede variar dependiendo de sus condiciones de alimentación, como señalan Vives (2020) y otros autores.

En cuanto a la harina de maíz nixtamalizada de la marca Maseca, se obtuvo un contenido de proteína de 7.73%, valor que coincide estrechamente con el 8% reportado en su información nutrimental. Por último, la harina de cáscara de granada presentó un contenido proteico de 4.13%, cifra superior a la reportada por Torres *et al.* (2019) con 2.33% y por Berdeja *et al.* (2019) con 3.34%. Esta diferencia puede deberse a variaciones en el origen del fruto, el método de secado o procesamiento previo de la cáscara.

Tabla 5. Formulación de la tortilla.

Se reportan los porcentajes de cada ingrediente para la formulación experimental y el control

<i>Ingredientes</i>	<i>Tortilla experimental</i>	<i>Tortilla de maíz (control)</i>
Harina de maíz nixtamalizada (Maseca)	32.00%	44.00%
Harina de <i>T. molitor</i> (Insect Nutrition)	8.00%	0.00%
Harina de cáscara de granada	4.00%	0.00%
Agua	56.00%	56.00%

Para la formulación de la tortilla experimental se estableció usar un 8% de harina de *T. molitor* y 4% harina de cáscara de granada como sustitución parcial de harina de maíz nixtamalizado ya que en esta proporción de ingredientes se encontraron características sensoriales favorables en cuanto a textura y sabor.

7.2 Desarrollo de la tortilla y análisis nutrimental



Figura 2. Representación de los pasos de elaboración de la tortilla experimental con harina de *T. molitor* y cáscara de granada

Tabla 6. Análisis nutrimental de la tortilla experimental

Parámetros	Tortilla experimental	Tortilla control
<i>Humedad (%)</i>	44.29*±0.32 ^A	46.88*±0.18 ^B
<i>Cenizas (%)</i>	0.61±0.05 ^A	0.93±0.09 ^B
<i>Proteína (%)</i>	9.13±0.03 ^A	4.66±0.10 ^B
<i>Grasa (%)</i>	3.93±0.09 ^A	0.60±0.06 ^B

<i>Carbohidratos disponibles (%)</i>	34.98	42.42
<i>Azúcares totales (%)</i>	2.05±0.02 ^A	0.83±0.02 ^B
<i>Fibra dietética (%)</i>	7.06±0.04 ^A	4.51±0.02 ^B
<i>Sodio (mg/100)</i>	40.77±0.13 ^A	34.28±0.36 ^B

*Los valores presentados son los promedios ±desviaciones estándar. A, B Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba T de student ($P<0.05$) para el tratamiento y el control.

Al comparar la tortilla experimental de harina de *Tenebrio molitor* y cáscara de granada frente a la tortilla de maíz tradicional, se encontraron diferencias significativas en todos los parámetros evaluados: humedad, cenizas, proteína, grasas, carbohidratos, azúcares, fibra dietética y sodio. En cuanto al contenido proteico, la tortilla experimental presentó un 9.13% de proteína, lo que representa un incremento del 4.47% respecto a la tortilla de maíz. Este aumento se atribuye a la inclusión de harina de *T. molitor*, cuyo contenido proteico fue previamente determinado en 41.03%. Considerando el criterio del Reglamento (CE) n° 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 2006, relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos, para poder declarar que un alimento sea ‘fuente de proteínas’, estas deben suponer por lo menos un 12% de su valor energético. Con lo anterior la tortilla control no cumple con este criterio, ya que necesitaría contener 6.35% de proteína, mientras que la tortilla experimental, con su 9.13% cumple ampliamente con la concentración requerida de 6.35% de proteína para considerarse fuente de proteína.

Respecto al contenido de humedad, la tortilla de maíz registró un valor de 46.88%, superior al 44.29% de la tortilla experimental, pese a que ambas se cocinaron bajo las mismas condiciones de tiempo y temperatura. Esta diferencia podría explicarse por la distinta capacidad de retención de agua de las harinas utilizadas en la formulación experimental.

En el contenido de cenizas también se observó una diferencia significativa: la tortilla de maíz presentó un 0.93%, frente al 0.61% de la tortilla experimental. Aunque tanto la harina de *T. molitor* (2.36–4.74%) como la cáscara de granada (3.5–6.0%) contienen proporciones importantes de minerales (Costa *et al.*, 2020; Berdeja *et al.*, 2019), los porcentajes empleados en la formulación experimental fueron relativamente bajos. Además, la nixtamalización del maíz incrementa la biodisponibilidad de minerales como calcio, hierro, fósforo y magnesio

(Salinas *et al.*, 2017), y la harina Maseca está fortificada con hierro y zinc, lo cual podría explicar el mayor contenido de cenizas en la tortilla tradicional.

En cuanto al contenido de grasa, la tortilla experimental mostró un incremento de 3.33% respecto a la de maíz. Esto se relaciona con la composición de la harina de *T. molitor*, que contiene aproximadamente un 33% de grasa total, distribuida entre 9.5% de grasas saturadas y 22% de grasas mono y poliinsaturadas, destacando la presencia de ácidos oleico y linoleico (Ravzanaadii *et al.*, 2012). Estos lípidos se asocian con efectos benéficos para la salud, como la reducción de la presión arterial, efectos antiarrítmicos, disminución del colesterol LDL (colesterol “malo”) y promoción de la regeneración celular (Sanhueza *et al.*, 2015).

En términos de fibra dietética, la tortilla experimental alcanzó un 7.06%, superando el 4.51% de la tortilla de maíz. Este resultado era esperable, ya que la cáscara de granada contiene aproximadamente 70% de fibra dietética total (Berdeja *et al.*, 2019). Según la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994, un alimento puede declararse “fuente de fibra” si contiene al menos 2.5 g de fibra por porción de 50 g, criterio que la tortilla experimental también cumple.

En cuanto a los carbohidratos totales, la tortilla de maíz presentó un contenido de 42.42%, superior al 34.98% de la tortilla experimental. Esta diferencia se debe al desplazamiento de almidones por otros macronutrientes (proteína, grasa y fibra) en la formulación experimental. En consecuencia, es posible que la tortilla experimental tenga un menor impacto glucémico, aunque este aspecto requeriría estudios adicionales para su confirmación.

Respecto al contenido de azúcares totales, la tortilla experimental presentó un valor de 2.05%, frente al 0.83% de la tortilla tradicional. Este aumento puede estar relacionado con las harinas añadidas, aunque es importante señalar que ni *T. molitor* ni la cáscara de granada son ricos en azúcares simples. Por tanto, el incremento no representa un riesgo nutricional significativo.

Finalmente, en cuanto al contenido de sodio, la tortilla experimental mostró un 15.89% menos sodio que la tortilla de maíz. Sin embargo, ambos productos se encuentran dentro de los límites establecidos por la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, que establece un máximo de 350 mg de sodio por 100 g de producto. Además, ambos están muy por debajo del valor diario

recomendado por la FDA para adultos ($\leq 2,300$ mg). La menor cantidad de sodio en la tortilla experimental podría estar relacionada con la menor capacidad de las harinas añadidas para retener este mineral o con su baja concentración de sodio intrínseco.

7.3 Análisis sensorial

En el análisis sensorial realizado, se evaluaron varios aspectos: color, olor, sabor, textura y apreciación global. Estos aspectos se evaluaron al día 1 de preparación y al día 5 (manteniéndose en refrigeración). Los resultados se reportan en la tabla 5.

Tabla 7. Resultados del Análisis sensorial de las tortillas

Día	Parámetro	Tortilla experimental	Tortilla control
1	Color	6.21* $\pm$ 1.85 ^{Aa}	7.85* $\pm$ 1.55 ^{Ba}
5		5.17 $\pm$ 1.85 ^{Ab}	7.09 $\pm$ 1.95 ^{Ba}
1	Olor	7.10 $\pm$ 1.65 ^{Aa}	7.31 $\pm$ 1.79 ^{Aa}
5		6.84 $\pm$ 1.77 ^{Aa}	7.13 $\pm$ 1.97 ^{Aa}
1	Sabor	6.60 $\pm$ 2.28 ^{Aa}	6.79 $\pm$ 2.16 ^{Aa}
5		6.34 $\pm$ 2.46 ^{Aa}	5.95 $\pm$ 1.68 ^{Aa}
1	Textura	7.05 $\pm$ 1.90 ^{Aa}	6.96 $\pm$ 1.91 ^{Aa}
5		6.04 $\pm$ 2.43 ^{Aa}	5.93 $\pm$ 1.99 ^{Ab}
1	Apreciación global	7.04 $\pm$ 1.52 ^{Aa}	7.09 $\pm$ 1.53 ^{Aa}
5		6.11 $\pm$ 2.00 ^{Ab}	6.42 $\pm$ 1.75 ^{Aa}

*Los valores presentados son los promedios $\pm$ desviaciones estándar. A, B Letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre formulación de tortilla (columnas). ab, letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa ($P < 0.05$) entre días de evaluación (filas).

De acuerdo con los resultados obtenidos, en el día 1 de la evaluación sensorial se encontró una diferencia significativa únicamente en el atributo de color entre la tortilla experimental y la tortilla de maíz tradicional. Como se muestra en la Figura 2, la tortilla experimental presenta una tonalidad amarillo-café, distinta a la del control, lo que fue perceptible para los evaluadores. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en los atributos de olor, sabor, textura y aceptación global. Entre los comentarios más frecuentes asociados a la

tortilla experimental destacan: “color mejorable”, “buena textura” y “sabor diferente pero agradable”, mientras que para la tortilla de maíz se señalaron percepciones como “agradable” y “convencional”.

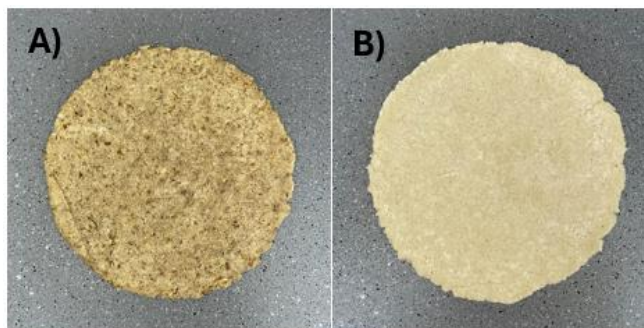


Figura 3. A) Tortilla enriquecida con harina de *T. molitor* y harina de cáscara de granada.
B) Tortilla de maíz control.

Nuestros resultados difieren un poco con los reportados por Contreras *et al.* (2020) quienes realizaron una evaluación sensorial ($n = 40$) en tortillas con sustitución de 2%, 6% y 10% de harina de *Sphenarium purpurascens* (chapulín). Ellos encontraron que las tortillas con mayor porcentaje de sustitución fueron las menos aceptadas, siendo la más aceptada la que contenía solo un 2%. Los comentarios comunes incluyeron expresiones como “sabor ligeramente amargo”, “retrogusto perceptible” y “diferente al sabor tradicional, pero no desagradable”. Es importante señalar que, en ese estudio, los participantes no fueron informados del contenido específico de las tortillas y no se incluyó una muestra control con tortilla tradicional, lo cual limita la comparación directa. En el caso de nuestro estudio, en el que se utilizó un 8% de harina de *T. molitor* y un 4% de cáscara de granada, se infiere que las propiedades sensoriales del *S. purpurascens* podrían ser menos favorables que las del *T. molitor*, ya que a un 10% de sustitución no fue bien aceptado, mientras que en nuestra formulación con 8% de *T. molitor*, sí se logró una buena aceptación. Además, la cáscara de granada pudo haber contribuido positivamente a las características sensoriales. Según Torres *et al.* (2019), su incorporación adecuada puede mejorar el color, la textura y, potencialmente, el perfil aromático del producto, siempre y cuando se controle su concentración para evitar notas amargas o astringentes.

Existen pocos estudios sobre análisis sensoriales de tortillas enriquecidas con harina de insecto o subproductos vegetales, ya que la mayoría de las investigaciones se han centrado en productos como galletas o panadería. Por ejemplo, Biró *et al.* (2020), en Hungría, evaluaron galletas de avena enriquecidas con harina de *Acheta domesticus* (n = 100), encontrando que las formulaciones con 10% y 15% de sustitución fueron menos apreciadas que las de 5% o el control. De manera similar, Djouadi *et al.* (2022) realizaron un análisis sensorial en Portugal (n = 56) con galletas que incluían un 6% y un 15% de harina de *T. molitor*, donde se prefirió el control. Sin embargo, para atributos como color, apariencia y aroma, la muestra con 6% obtuvo las puntuaciones más altas (3.27, 2.66 y 3.30 respectivamente, en una escala donde 3 indica “agradable”).

En ambos estudios, los participantes fueron informados previamente sobre el contenido de insectos en los productos. Según Ros Baró *et al.* (2022), este conocimiento puede generar sesgos negativos, especialmente en países occidentales sin tradición entomofágica. Por esta razón, en nuestra evaluación sensorial, los participantes no fueron informados sobre la inclusión de harina de insectos, lo cual permitió obtener una valoración más objetiva. Los resultados muestran que la adición de harina de insectos puede ser viable para enriquecer alimentos sin comprometer su aceptación sensorial, siempre que se controle el porcentaje de incorporación.

En la República Checa, donde tampoco existe una tradición entomofágica consolidada, Adámek *et al.* (2020) realizaron una evaluación sensorial de barras de hojaldre con larvas completas de *T. molitor* espolvoreadas y otras con harina de *Acheta domesticus*. Aunque algunos evaluadores dudaron al probar las barras con insectos visibles, no se encontraron diferencias significativas en la aceptación entre ambas formulaciones, lo que refuerza la idea de que la percepción del consumidor juega un papel clave. En este contexto, es fundamental comunicar adecuadamente los beneficios nutricionales y ambientales del consumo de insectos para normalizar su incorporación en la alimentación.

Por otra parte, Torres *et al.* (2019) destacan que la cáscara de granada es un subproducto con potencial para enriquecer alimentos gracias a su alto contenido de compuestos fenólicos y fibra dietética. Sin embargo, también señalan que su principal limitante es el sabor amargo que puede conferir. En su estudio, emplearon fracción insoluble de cáscara de granada en

galletas saladas y muffins con porcentajes de sustitución de 8.41% y 13.7%, respectivamente, y obtuvieron buena aceptación sensorial (7.0 y 6.3 en escala de 9 puntos, con $n = 100$ consumidores). En nuestro caso, se utilizó un 4% de harina de cáscara de granada, proporción en la que se logró un balance entre mejorar el contenido de fibra dietética y mantener propiedades sensoriales agradables.

Al comparar los resultados sensoriales entre el día 1 y el día 5 de la tortilla experimental, se observaron diferencias significativas en los atributos de color y aceptación global. Ambos atributos recibieron puntuaciones más bajas al día 5. Esta reducción podría estar relacionada con la tonalidad no convencional de la tortilla experimental, lo que puede generar un rechazo visual con el tiempo. A pesar de ello, la aceptación global disminuyó solo de 7.04 a 6.11, y de acuerdo con Muñoz et al. (1992), un producto puede considerarse aceptable y viable para su comercialización si obtiene una calificación igual o superior a 6, lo cual sigue cumpliéndose incluso al quinto día de almacenamiento.

En cuanto a la tortilla de maíz tradicional, se detectó una diferencia significativa en el atributo de textura entre el día 1 y el día 5, con una disminución en su valoración. Esta pérdida de calidad puede atribuirse a la ausencia de aditivos, como mejoradores de textura o conservadores. Según Sánchez y Vázquez (2018), la aplicación adecuada de estos aditivos puede mejorar tanto la calidad sensorial como la microbiológica del producto, extendiendo su vida útil en anaquel.

7.4 Atributos Fisicoquímicos.

Los atributos fisicoquímicos medidos en este estudio fueron el pH, el A_w y color en el tiempo. Además de atributos físicos como rolabilidad. Los resultados de la medición de pH y A_w se muestran en la tabla 6. De acuerdo con los resultados se observó que la tortilla de maíz presentó un pH más alto (7.03) en el día 1 en comparación con la tortilla experimental (5.97), y que no hubo diferencias significativas en el pH entre ambas tortillas en los días 3 y 5. Además, se encontró que en la tortilla de maíz hubo una disminución significativa del pH entre el día 1 y los días 3 y 5, mientras que en la tortilla experimental no se observaron cambios significativos en el pH durante los 3 días de evaluación.

Tabla 8. Resultados de pH y Aw de las tortillas en el tiempo

Día	Parámetro	Tortilla experimental	Tortilla control
1	pH	5.97*±0.11 ^{Aa}	7.03*±0.15 ^{Ba}
3		5.90±0.10 ^{Aa}	6.16±0.37 ^{Ab}
5		5.86±0.05 ^{Aa}	5.76±0.15 ^{Ab}
1	Aw	1.00±0.00 ^A	1.01±0.00 ^A
3		0.99±0.00 ^A	1.00±0.00 ^A
5		0.99±0.00 ^A	0.99±0.00 ^A

*Los valores presentados son los promedios ±desviaciones estándar. A, B Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) para el tratamiento y el control.

Se observó que tanto la tortilla de maíz como la experimental presentaron una actividad de agua (Aw) alta, entre 0.99 y 1.01, sin diferencias significativas entre ellas en los 3 días de evaluación.

Tabla 9. Resultados de Color de las tortillas en el tiempo

Día	Parámetro	Tortilla experimental	Tortilla control
1	L*	52.89*±0.02 ^{Aa}	66.99*±0.01 ^{Ba}
3		50.61±0.00 ^{Ab}	66.77±0.02 ^{Bb}
5		47.1±0.00 ^{Ac}	66.39±0.00 ^{Bc}
1	a*	3.32±0.00 ^{Aa}	0.69±0.01 ^{Ba}
3		3.65±0.00 ^{Ab}	0.58±0.00 ^{Bb}
5		3.98±0.00 ^{Ac}	0.46±0.00 ^{Bc}
1	b*	27.27±0.02 ^{Aa}	18.72±0.03 ^{Ba}
3		26.66±0.01 ^{Ab}	18.34±0.00 ^{Bb}
5		24.59±0.01 ^{Ac}	17.61±0.00 ^{Bc}

*Los valores presentados son los promedios ±desviaciones estándar. A, B Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) para el tratamiento y el control.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observaron diferencias significativas en los valores de las escalas L*, a* y b* entre la tortilla de maíz tradicional y la tortilla experimental en todos los días de evaluación. La tortilla experimental presentó un menor valor en la escala

L* (luminosidad), lo que indica una apariencia más oscura; además, mostró valores más altos en las escalas a* y b*, lo que refleja un matiz más rojizo y amarillento, respectivamente, en comparación con la tortilla control. Estas diferencias sugieren que la tortilla experimental se percibe visualmente como menos brillante y con una tonalidad que combina matices más cálidos, predominando los tonos rojo-amarillos.

La diferencia de color total (ΔE) calculada entre la tortilla experimental y la tortilla de maíz tradicional fue de $\Delta E = 16.70$, lo cual representa una diferencia cromática notable y claramente perceptible a simple vista, dado que valores de $\Delta E \geq 3$ son visibles para la mayoría de los observadores.

En estudios previos, Álvarez (2022) desarrolló una tortilla enriquecida con un 10% de harina de *Acheta domesticus*, en la cual obtuvo valores de 46.06 para L*, 3.54 para a* y 24.75 para b*. Comparando con nuestra tortilla experimental en el día 1, esta formulación resultó aún más oscura, con una tonalidad ligeramente más rojiza pero menos amarilla. La diferencia de color global en su estudio fue de $\Delta E = 13.60$, menor a la diferencia observada en nuestro caso ($\Delta E = 16.70$). No obstante, ambas formulaciones presentan diferencias visuales evidentes respecto a la tortilla tradicional, lo cual puede considerarse favorable, ya que diversos estudios (Kowalczewski et al., 2021) han demostrado que los consumidores asocian colores más oscuros en productos de cereales con una percepción de mayor valor nutricional o contenido de fibra.

Además, se encontraron diferencias significativas entre los días de evaluación para cada tipo de tortilla, lo que indica que el color de las tortillas cambia de manera apreciable con el tiempo. En el caso de la tortilla experimental, se observó una disminución progresiva en la escala L*, indicando un oscurecimiento del producto hacia el día 5. Este fenómeno puede deberse a procesos de oxidación o reacciones de Maillard durante el almacenamiento, así como a una posible pérdida de humedad. En la escala a*, se detectó un aumento, reflejando una tonalidad ligeramente más rojiza en el día 5. Por el contrario, el valor b* disminuyó, lo que sugiere una atenuación en la intensidad del color amarillo.

La diferencia de color total entre el día 1 y el día 5 en la tortilla experimental fue de $\Delta E = 6.42$, lo que representa una variación claramente perceptible a simple vista ($\Delta E \geq 3$). Estos

resultados confirman que el color del producto cambia de manera notable en el transcurso de los cinco días de almacenamiento.

En contraste, la tortilla de maíz mostró una mayor estabilidad en su color durante el mismo periodo. Aunque presentó una ligera disminución en la escala L^* , indicando un oscurecimiento muy sutil, los cambios en las escalas a^* y b^* fueron menores y en dirección opuesta: se observó una leve atenuación del tono rojizo (a^*) y una mínima reducción en la intensidad del amarillo (b^*). La diferencia de color total entre el día 1 y el día 5 fue de $\Delta E = 1.28$, valor que se considera apenas perceptible incluso para observadores entrenados, ya que se encuentra en el rango $1 < \Delta E < 3$. Por tanto, en condiciones habituales, estos cambios no serían apreciables por el consumidor promedio.

7.4.1 Resultados de Rolabilidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos de rolabilidad, la tortilla permaneció sin agrietarse hasta el día 3, donde obtuvo una calificación de 1.33 dando a entender que presentó pequeñas grietas dentro del rango de 1-25% de la tortilla, para el día 4 de evaluación la tortilla presentó un 100% de rompimiento, lo cual no sería conveniente para el consumidor.

Tabla 10. Resultados de rolabilidad en el tiempo

Día	Tortilla experimental	Tortilla control
1	1±0.00	1±0.00
2	1±0.00	1±0.00
3	1.33±0.57	1±0.00
4	5±0.00	3±0.00
5	5±0.00	5±0.00

Por otro lado, la tortilla de maíz permaneció sin agrietarse hasta el día 4 donde obtuvo una calificación de 3, dando a entender que presentó grietas dentro del rango 26-50% de la tortilla y finalmente en el día 5 presentó un 100% de rompimiento. La tortilla de maíz obtuvo mejor rolabilidad ya que dura sin agrietarse 5 días en comparación con la tortilla experimental que dura 4, esto puede deberse a que la harina de maíz nixtamalizado es rica en almidón, lo que

le da a esta harina la capacidad de retener grandes cantidades de agua y gelatinizar en presencia de calor, dando como resultado un producto flexible, en comparación con la harina de *T. molitor* que carece de almidón y es rica en proteínas y lípidos (Álvarez, 2022).



Figura 4. Prueba de rolabilidad en tortilla experimental, en el día 1 de elaboración.

En la investigación de Álvarez (2022) donde desarrolló una tortilla de maíz con 10% de *Acheta domesticus* evaluó su rolabilidad en el día 1, 3, 5 y 7, y la tortilla permaneció sin grietas hasta el día 5 donde obtuvo una calificación de 1.3, seguido de un 2.7 en el día 7 de evaluación, por lo que su tortilla presentó mejor rolabilidad que la desarrollada en esta investigación dado que en 7 días de evaluación nunca presentó un 100% de rompimiento. Esto podría estar asociado a la proporción de agua utilizada en la formulación o las diferentes capacidades de retención de agua entre el *T. molitor* y el *Acheta domesticus*.

7.5 Vida de anaquel.

En el presente estudio se evaluó la vida de anaquel de la tortilla experimental adicionada con harina de *Tenebrio molitor* y cáscara de granada, en comparación con una tortilla de maíz tradicional. Los resultados se basaron en la aparición de moho visible en el producto. Los resultados mostraron que ambas tortillas tuvieron una vida útil de 3 días a temperatura ambiente, tras los cuales se observó la aparición visible de moho. Sin embargo, bajo condiciones de refrigeración (4 °C), ambas tortillas se mantuvieron libres de crecimiento microbiano visible durante los 16 días de evaluación, lo cual indica que el almacenamiento en frío es una estrategia efectiva para extender la vida útil del producto sin necesidad de aditivos conservadores. Los resultados se reportan en la tabla 9.

Tabla 11. Vida de anaquel de las tortillas reportada en días

Formulación	Vida útil (días)	
	22±1 °C	4±1 °C
Tortilla experimental	3 días	16 días
Tortilla de maíz (control)	3 días	16 días

Estos resultados son comparables con lo reportado por Meléndez *et al.* (2021), quienes evaluaron la vida útil de tortillas adicionadas con aceite esencial de tomillo y propionato de sodio. En su estudio, las tortillas sin conservador presentaron una vida útil de aproximadamente 3 días a temperatura ambiente, mientras que las tratadas con aditivos naturales y químicos lograron extender su vida útil a más de 4 días. Esto indica que el comportamiento de la tortilla experimental, pese a no contener conservadores artificiales, es similar al de tortillas tradicionales en condiciones ambientales.

Cabe destacar que la inclusión de harina de insecto y cáscara de granada no comprometió negativamente la vida útil del producto, lo cual es relevante, ya que algunos ingredientes funcionales pueden modificar el contenido de humedad o el pH del alimento, acelerando su deterioro. En este caso, la formulación permitió mantener una vida útil comparable a la tortilla convencional.

7.6 Etiqueta nutrimental

Se elaboró la etiqueta nutrimental de la tortilla experimental, la cual no solo comunica los valores nutrimentales del alimento, sino que también cumple con lo estipulado por la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, que regula el etiquetado general para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados. La NOM-051 tiene como propósito principal proteger la salud del consumidor, promover prácticas comerciales justas y evitar la publicidad engañosa. Establece lineamientos para declarar ingredientes, advertencias sobre alérgenos, conservación y datos de contacto del responsable del producto. En este caso, se advierte que el producto contiene insectos, lo que es fundamental para prevenir reacciones alérgicas en personas sensibles. Adicionalmente, dado a la naturaleza de los ingredientes

usados en la formulación y sus proporciones, es libre de sellos de excesos de calorías, azúcares, grasas saturadas, grasas trans y sodio.

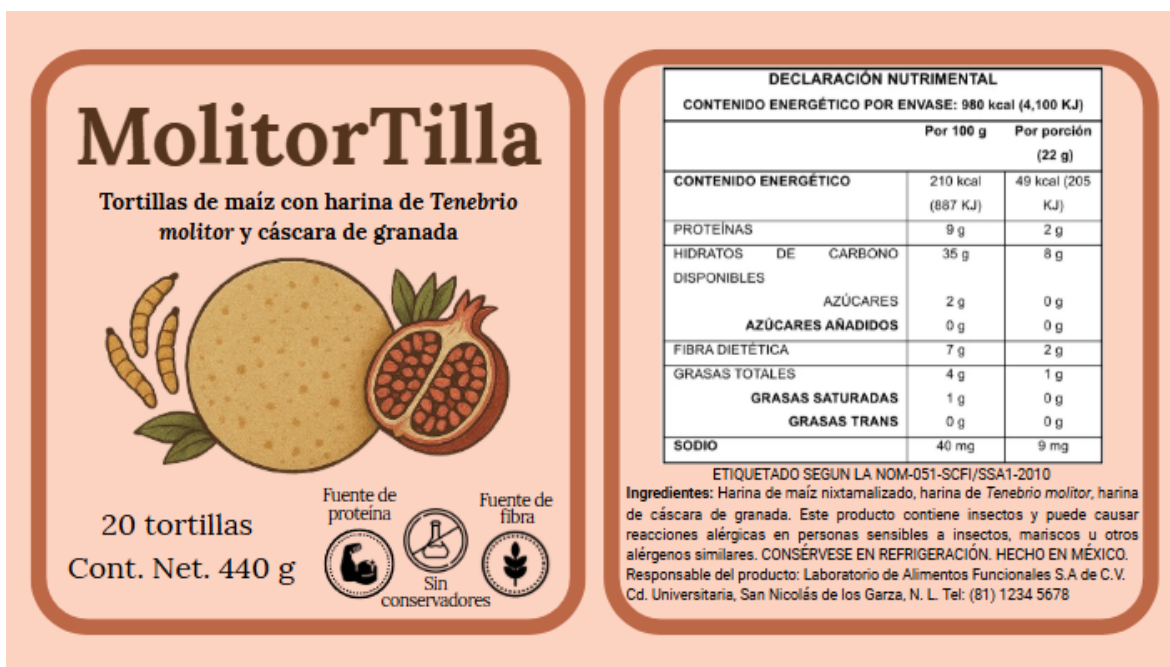


Figura 5. Propuesta de etiqueta de la tortilla experimental adicionada con *T. molitor* y cáscara de granada.

A través de este etiquetado, se garantiza que el consumidor tenga acceso claro y verificado a información sobre el contenido energético, macronutrientes, fibra, grasas, sodio y azúcares del producto por porción y por 100 gramos, lo que permite tomar decisiones de compra informadas y responsables. En conjunto, esta tortilla no solo cumple con los requisitos regulatorios, sino que también representa una propuesta sustentable, nutritiva y alineada con las tendencias actuales de consumo responsable.

8. CONCLUSIÓN

La presente tesis demostró que la incorporación de harina de *Tenebrio molitor* y cáscara de granada en la formulación de tortillas de maíz es una estrategia viable para enriquecer el perfil nutricional de este alimento tradicional, alineándose con la tendencia hacia la innovación y la sostenibilidad en la industria alimentaria. En términos nutricionales, la tortilla experimental presentó niveles significativamente más altos de proteína, grasas, fibra dietética y azúcares totales, lo que sugiere que la adición de harina de *Tenebrio molitor* y cáscara de granada puede contribuir a una alimentación más completa y balanceada. El análisis fisicoquímico reveló diferencias notables: la tortilla experimental tuvo un pH más bajo y un color amarillento, mientras que la tortilla de maíz convencional destacó por una mejor rolabilidad por lo que es necesario implementar estrategias para mejorar este parámetro en la tortilla experimental. En la evaluación sensorial, a pesar de que la apreciación del color en la tortilla experimental fue inferior, la aceptación global del producto fue comparable a la de la tortilla de maíz tradicional. Esto resalta la factibilidad de introducir ingredientes innovadores en productos tradicionales sin perder la aceptación del consumidor, abriendo la puerta a nuevas oportunidades de mercado que respondan a las demandas de productos más saludables y sostenibles. Adicionalmente, se desarrolló una etiqueta conforme a la NOM- 051, lo que permitió asegurar el cumplimiento de los requisitos legales en cuanto a información nutricional y comercialización. En síntesis, este estudio aporta evidencia sólida sobre el potencial de los subproductos agroindustriales y las fuentes proteicas alternativas para desarrollar alimentos con valor agregado, promoviendo tanto la innovación en el sector alimentario como la diversificación nutricional en la dieta del consumidor. Las implicaciones de estos hallazgos invitan a futuras investigaciones orientadas a ampliar la aplicabilidad de estos ingredientes en otros productos alimenticios.

9. PERSPECTIVAS

El presente trabajo de tesis, sienta las bases para diversas líneas de acción futuras tanto en el ámbito científico como en el tecnológico, industrial y social. A partir de los resultados obtenidos mediante los análisis nutrimentales, fisicoquímicos, sensoriales y de vida útil, se pueden plantear las siguientes perspectivas:

1. Profundización en propiedades funcionales:
La inclusión de cáscara de granada, rica en compuestos fenólicos, y de harina de *Tenebrio molitor*, fuente de proteína de alta calidad, abre la puerta a evaluar más detalladamente las propiedades funcionales de la tortilla desarrollada. En investigaciones futuras se sugiere estudiar la capacidad antioxidante del producto mediante métodos como DPPH, ABTS o FRAP, así como explorar su potencial efecto prebiótico, considerando la presencia de fibra dietética y compuestos bioactivos que puedan favorecer el crecimiento de bacterias benéficas en el intestino.
2. Análisis de biodisponibilidad de nutrientes:
Si bien se determinó el contenido nutrimental del producto, resulta pertinente realizar estudios de biodisponibilidad y digestibilidad de proteínas, minerales y compuestos antioxidantes presentes en la formulación, utilizando modelos *in vitro* o *in vivo*. Esto permitirá confirmar la eficacia nutricional del producto y su verdadero aprovechamiento por parte del organismo humano.
3. Optimización del proceso y formulación:
Se recomienda una optimización del proceso de elaboración, enfocada en mejorar la textura, el sabor y la conservación del producto, posiblemente mediante ajustes en la proporción de ingredientes, técnicas de pretratamiento del *Tenebrio molitor* y la cáscara de granada, o incorporación de agentes naturales conservadores.
4. Escalabilidad e impacto económico:
Desde el punto de vista industrial, el desarrollo de esta tortilla funcional representa una oportunidad para diversificar la oferta de productos en el mercado alimentario, con potencial de posicionarse como una alternativa económica, sustentable y nutritiva. Se sugiere realizar estudios de viabilidad económica y análisis de costos de

producción a escala piloto o industrial, considerando tanto los insumos como la logística de comercialización. Esto permitirá valorar el impacto económico positivo que puede tener para pequeñas y medianas empresas, así como para comunidades productoras de maíz o criadores de insectos comestibles.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, E., López. M., Escamilla, C., Barba de la Rosa, A. (2002) Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. *J Agric Food Chem*;50(1):192-195. Disponible:10.1021/jf010691y
- Akhtar, S., Ismail, T., Fraternal, D., Sestili, P. (2015) Pomegranate peel and peel extracts: chemistry and food features. *Food Chem.* May 1;174:417-25. Disponible: 10.1016/j.foodchem.2014.11.035. Epub 2014 Nov 15. PMID: 25529700.
- Álvarez, A. (2022) Evaluation of the partial substitution with cricket flour (*Acheta domesticus*) on the physicochemical, protein and starch digestibility characteristics of corn tortillas. Disponible en: <https://repositorio.tec.mx/server/api/core/bitstreams/0cced185-c922-45f2-beaf-108125e1f849/content>
- Alvidrez, A., & González, B. (2002). Tendencias en la producción de alimentos: Alimentos funcionales. *Revista de Salud Pública y Nutrición*. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revsalpubnut/spn-2002/spn023g.pdf>
- Avedaño, C., Sánchez, M., Valenzuela, C. (2020) Insectos: Son realmente una alternativa para alimentación de animales y humanos. Review article. Disponible: <https://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v47n6/0717-7518-rchnut-47-06-1029.pdf>
- Barrios, K. (2017) Desarrollo de un prototipo de tortilla funcional de maíz y harina de grillo, como fuente de proteína para la dieta humana. Disponible: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/3bcd684f-f5b9-4cc6-be72-80fbc6b6b4f1/content>
- Berdeja, K., Alquicira, E., Schettino, B. (2018) Cáscara de granada (*Punica granatum* L.) Potencial uso como fuente de ingredientes funcionales en productos cárnicos emulsionados cocidos. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7006667>
- Castañeda, D., Hernández, M., Olvera, D., Ramírez, A., Cerón., M. (2018) Formulación y caracterización fisicoquímica, bromatológica y microbiológica de tortillas elaboradas con maíz y cacahuate. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Disponible: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/9/92.pdf>

- Codex Alimentarius CAC/GL 23-1997. Directrices para el uso de declaraciones nutricionales y saludables. <https://www.fao.org/ag/humannutrition/33313-033ebb12db9b719ac1c14f821f5ac8e36.pdf>
- Contreras, B., Oseguera, M., García, M., Martínez, R., González, C., Curiel, F., Rodríguez, M. (2020) Physicochemical study of nixtamalized corn masa and tortillas fortified with “chapulin” (grasshopper, *Sphenarium purpurascens*) flour, Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7554593>
- Coronado, W. (2023) Elaboración una tortilla de maíz azul (*Zea mays*) fortificada con harina de *Tenebrio*. Universidad Autónoma de Nuevo León
- molitor adicionada con betabel (*Beta vulgaris*) y grano de maíz azul (*Zea mays*)
- Costa, S., Pedro, S., Lourenço, H., Batista, I., Teixeira, B., Bandarra, N. M., Murta, D., Nunes, R., & Pires, C. (2020). Evaluation of *Tenebrio molitor* larvae as an alternative food source. *NFS Journal*, 21, 57–64. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.10.001>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352364620300225?via%3Dihub>
- Delgado, M. (2015) Perspectiva actual de los polifenoles en México. Artículo de revisión. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9149728>
- Espejel, M., Mora, J., García, J., Pérez, S., García, R. (2016) Caracterización del consumidor de tortilla en el estado de México. Disponible: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722016000300371#:~:text=La%20muestra%20de%20consumidores%20de,quien es%20estudiaron%20bachillerato%20y%20licenciatura.
- Figueroa, J. (2010) Maíz y tortilla: alimento, cultura y tradición de México. Aportaciones queretanas a su modernización. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Unidad Querétaro. Disponible: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/30870793/CDTI-libre.pdf?1393221142=&response-content-disposition=inline>
- Figueroa, L., & Martínez, G. (2012). Caracterización de tortillas elaboradas con mezclas de sorgo y maíz. Verano de investigación científica. Disponible: <http://www.academicos.ugto.mx/memoria/PDF/s206-27.PDF>

- Gasaly, N., Riveros, K. & Gotteland, M. (2020) Fitoquímicos: una nueva clase de prebióticos. Artículo de revisión. Disponible: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182020000200317
- Kowalczewski, P. Gumienna, M., Rybicka, I., Górna, B., Sarbak, P., Dziedzic, K., Kmiecik, D. & Barba, F. (2021) molecules Nutritional Value and Biological Activity of Gluten-Free Bread Enriched with Cricket Powder. <https://doi.org/10.3390/molecules26041184>
- Lazo, D. (2021) Producción y valoración nutricional de harina de larva de *Tenebrio molitor* como fuente proteica no tradicional para su uso en la alimentación animal. Repositorio de Tesis UCSM. Disponible: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/10560/68.0898.VZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mall, U. & Patel, V. (2023) Evaluation of pomegranate (*Punica granatum*) peel for bioaccessibility of polyphenols and prebiotic potential using in vitro model. Food chemistry advances. Sardar Patel University. Food Chemistry Advances. Elsevier. Disponible: <https://pdf.sciencedirectassets.com/780605/1-s2.0-S2772753X22X00038/1-s2.0-S2772753X23001429/main.pdf?X-Amz-Security>
- Martínez H., Gaytán, M., Figueroa, J., Martínez, F., Reyes, M., & Rodríguez, A. (2004). Effect of some preservatives on shelf-life of corn tortillas obtained from extruded masa . *Agrociencia*, 38(3),285-292. ISSN: 1405-3195. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30238303>
- Medrano, L. (2019). Larvas de gusano de harina (*Tenebrio molitor*) como alternativa proteica en la alimentación animal. Repositorio institucional UNAD. Unad.edu.co. Disponible: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/28001>
- Meléndez Pastrana, I. Y., Rodríguez Morachis, M. A., Rodríguez Medina, M. A., & Zorrilla Briones, F. (2021). Determinación de la vida útil de la tortilla de maíz adicionada con aceite esencial de tomillo a través de pruebas de vida acelerada. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo*, 12(23). <https://doi.org/10.23913/ride.v12i23.1017>.
- Muñoz, A., Civille, G., y Carr, B., eds, 1992. Introduction to sensory evaluation in

quality control. New York: Springer. pp.1-22.

- Paz, O. (2009). Adición de vitaminas y minerales a harinas de maíz y de trigo en México. Disponible: https://www.academia.edu/24667760/Adici%C3%B3n_de_vitaminas_y_minerales_a_harinas_de_ma%C3%ADz_y_de_trigo_en_M%C3%A9xico
- Ramos, J. & Viejo, J. (2007) Los insectos como alimento humano: Breve ensayo sobre la entomofagia, con especial referencia a México. Disponible: <https://www.culinaryartschool.edu.mx/cocinasdemexico/wp-content/uploads/2015/06/2.pdf>
- Rincolini, A., Milanovic, V., Cardinali, F., Osimani, A., Garofalo, C., Sabbati, R., Clementi, F., Pasquini, M., Mozzon, M., Folgini, R. & Raffaelli, N. (2019) Protein fortification with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) powder: Effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread. Disponible: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0211747&type=printable>
- Sánchez, D. & Vazquez, L. (2018) Vida de Anaquel de tortillas de Maíz Nixtamalizado. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Iztapalapa, México
- Santamaria, W. (2019) Determinación de la digestibilidad proteica in vitro de harina de grillo *Gryllus assimilis*. Repositorio UPEU. Disponible: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2946>
- Salinas, Y., Hernández, V., Trejo, L., Ramírez, J. & Iñiguez, O. (2017) Composición nutricional y de compuestos bioactivos en tortillas de poblaciones nativas de maíz con grano azul/morado. Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/2631/263153520002/html/>
- Secretaria de Salud (SSA) (1996). NOM-086-SSA1-1994, Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.
- Secretaria de Salud (SSA) (2012). NOM-051-SCFI/SSA1-2010. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados- Información comercial y sanitaria.

- Torres, A., Melina, L., Arcia, P., Curutchet, A., & Cozzano, S. (2019) De residuo industrial a ingrediente funcional: el potencial de la cáscara de granada. Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/6061/606164358011/>
- Villa, G., Albores, A., Hernández, J., Arias, E., & Martínez, E. (2004) Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz (*Zea mays* L.). ALAN v. 54 n.2 Caracas, Venezuela. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 54(2), 216-222. Disponible: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200012&lng=es&tlng=es.
- Villegas R. (2008) Estudio del análisis del perfil de textura (apt), extensibilidad y adhesividad en masas y tortillas elaboradas con diferentes marcas comerciales de harina de trigo. UAEH Biblioteca digital. Disponible: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/1730>
- Watts, B., Ylimaki, G., Jeffery, L., Elías, L. (2000) Basic Sensory Methods for Food Evaluation. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Ottawa, Canadá.
- Yi, L., Lakemond, M., Sagis, L., Eisner, V., Van Huis, A., Van Boekel, M, (2013) Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. Food chemistry. Elsevier. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814613007218>
- Zielińska, E. & Pankiewicz, U. (2020) Nutritional, Physiochemical, and Antioxidative Characteristics of Shortcake Biscuits Enriched with *Tenebrio molitor* Flour. Disponible: <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/23/5629>

CONSTANCIAS Y DIPLOMAS

IICNC24-TLP- 43

La Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Agronomía

70 ANIVERSARIO
1954 FACULTAD DE AGRONOMÍA 2024
UANL

otorga la presente

CONSTANCIA A:

Janis Regina Guido Martínez, García Alanís, K.G., Bautista Villarreal, M., Amaya Guerra, A., Castillo, S.L.

Por la presentación del trabajo titulado:

“Evaluación sensorial de tortillas de maíz con harina de *Tenebrio molitor* L. y cáscara de granada: Innovación de la tortilla tradicional mexicana”

En la modalidad: Póster

En el II Congreso Nacional de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y Sustentabilidad

Realizado del 29 al 31 de octubre de 2024


M.C. Carlos Alberto Hernández Martínez
Director de la Facultad de Agronomía


Dra. Sughey R. Sinagawa García
Coordinadora del Congreso



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO



UANL

CONGRESO DE ALIMENTOS 2024

XXV CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

X CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INNOVACIÓN
Y TENDENCIAS EN PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS

La Universidad de Guanajuato (División de Ciencias de la Vida) y La
Universidad Autónoma de Nuevo León (Facultad de Ciencias Biológicas)
otorgan el presente

DIPLOMA

a

J. R. Guido- Martínez, K.G. García- Alanís, C. Gallardo-Rivera, J.A.
Cortés-Trigueros, M. Bautista-Villarreal, S. Castillo-Hernández

Diploma No. CA2024DTL012

Por haber obtenido el **2do Lugar** en el certamen de trabajos libres de
investigación con el trabajo titulado **"DNP024 - Análisis del contenido proteico
de tres tipos de harinas para formular una tortilla con características
nutricionales y funcionales"** en la categoría de **Licenciatura** y modalidad
Cartel, presentado en el XXV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de
Alimentos y el X Congreso Internacional Sobre Innovación y Tendencias en
Procesamiento de Alimentos, evento llevado a cabo los días 15, 16 y 17 de mayo
en el Auditorio General del Edificio Central de la Universidad de Guanajuato.

Guanajuato, Gto., México a 17 de mayo del 2024

Dr. César Ozueta López

Director del Departamento de Alimentos
División de Ciencias de la Vida – CIS
Universidad de Guanajuato

Dr. Juan Gabriel Báez González

Jefe del Departamento de Alimentos
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Nuevo León

