

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

**PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS**



**INCORPORACIÓN DE HARINA DE HEMP (*Cannabis sativa* L.) Y SU EFECTO EN
LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL DE TORTILLAS DE
MAÍZ NIXTAMALIZADO**

TESIS

Que presenta

ANA PAOLA MORENO LARA

Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO 2026

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

**PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERIA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS**

TESIS

Incorporación de harina de hemp (*Cannabis sativa* L.) y su efecto en la caracterización química y valor nutricional de tortillas de maíz nixtamalizado

Presentada por:

ANA PAOLA MORENO LARA

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

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

M.E Laura Olivia Fuentes Lara

Asesor principal

Departamento de Nutrición Animal

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Coasesor

Departamento de Horticultura

Dr. Mario Cruz Hernández

Coasesor

Departamento de Alimentos

Saltillo, Coahuila, México, Junio 2026

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

**PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERIA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS**

TESIS

Incorporación de harina de hemp (*Cannabis sativa* L.) y su efecto en la caracterización química y valor nutricional de tortillas de maíz nixtamalizado

Presentada por:

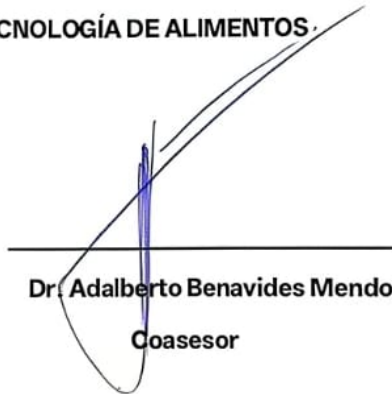
ANA PAOLA MORENO LARA

Que se somete a consideración del comité asesor como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS.



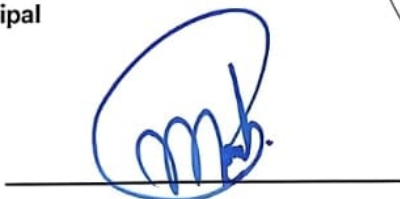
M.E Laura Olivia Fuentes Lara

Asesor principal



Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Coasesor



Dr. Mario Cruz Hernández

Coasesor



M. C Pedro Carrillo López

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila, México, Junio 2026

Declaración de Autenticidad y no plagio

Por medio de la presente, yo Ana Paola Moreno Lara, estudiante egresado de la carrera Ingeniero en Ciencia y tecnología de Alimentos, declaro que la presente tesis titulada "Incorporación de harina de hemp (*Cannabis Sativa L.*) y su efecto en la caracterización química y valor nutricional de totillas de maíz nixtamalizado" es el resultado de mi trabajo original y que todas las fuentes utilizadas están debidamente referenciadas y citadas. Confirmando que este trabajo no ha sido previamente presentado para la obtención de ningún otro título académico.

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



Ana Paola Moreno Lara

Agradecimientos

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de formarme académica y profesionalmente. Gracias por cada enseñanza, experiencia y aprendizaje adquirido a lo largo de esta etapa, por permitirme crecer tanto en el ámbito profesional como personal.

A mi **familia** en general, por su cariño, apoyo y confianza en todo momento. Gracias por acompañarme a lo largo de este camino, por sus consejos y palabras de ánimo que fueron fundamentales para seguir adelante y alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mis amigas, **Yenifer Cervantes, Jaqueline Miroslava, Zarina Gutiérrez, Alondra Gayosso, Vanessa Adame, Jacibe Jarquin**, por compartir conmigo momentos de alegría, estrés, desvelos y aprendizajes durante esta etapa universitaria. Gracias por su amistad, apoyo, y compañía en los momentos difíciles y felices, hicieron que este camino fuera muy especial e inolvidable para mí.

A mi asesora principal, **M.E. Laura Olivia Fuentes Lara**, por su guía, dedicación y apoyo durante el desarrollo de esta investigación. Gracias por compartir sus conocimientos, orientarme en cada etapa del proyecto y motivarme a dar lo mejor de mí para concluir este trabajo satisfactoriamente.

A la **M.C Mayra Alejandra Sosa Flores**, por su apoyo durante la etapa experimental de esta tesis. Gracias por su disposición, paciencia, y ayuda en el trabajo de laboratorio, por compartir sus conocimientos y contribuir al desarrollo de esta investigación.

Dedicatoria

A Dios

Por darme vida, salud y fortaleza para llegar hasta este momento tan importante. Gracias por acompañarme cuando el camino parecía más complicado, por iluminar mi mente y mi corazón en los momentos de duda, cansancio y dificultad, y por brindarme la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida. Sin su guía, nada de esto habría sido posible.

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece.” Filipenses 4:13

A mis padres

Laura Maricela Lara López y Eleazar Moreno Rodríguez, quienes han sido el pilar más importante de mi vida. Gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio realizado para brindarme una educación y un mejor futuro, por sus consejos, paciencia y apoyo constante en cada etapa de mi formación académica y personal. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia. Gracias por impulsarme a seguir adelante en los momentos más difíciles.

A mi hermano

Jonathan Eleazar Moreno Lara, por su apoyo, cariño y compartir conmigo tantos momentos importantes a lo largo de mi vida. Gracias por siempre estar presente, por hacerme reír en los días difíciles y por impulsarme a seguir creciendo. Tenerte a mi lado ha sido una bendición y una motivación para seguir adelante.

A mi pareja

Abraham Oliver González Carrizales, por acompañarme durante este proceso lleno de retos y aprendizajes. Gracias por tu paciencia, comprensión y apoyo incondicional, por motivarme en los momentos de dificultad y por estar presente en cada momento importante en esta etapa. Tus palabras de aliento y tu compañía fueron una parte fundamental para no rendirme y continuar luchando por este sueño.

Índice

Agradecimientos	v
Dedicatoria	vi
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 General.....	2
1.2.2 Específicos.....	2
1.3 Hipótesis	3
II REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Tortilla de maíz nixtamalizado como matriz alimentaria	4
2.2 Proceso de nixtamalización.....	5
2.2.1. Impacto del proceso sobre las características fisicoquímicas	5
2.3 Alimentos funcionales y enriquecimiento nutricional	6
2.4 Generalidades del hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.)	7
2.5 Variedades de hemp utilizadas en alimentación	8
2.6 Composición nutricional del hemp.....	9
2.7 Uso del hemp en alimentos	12
2.8 Efecto del hemp en productos alimenticios.....	13
2.8.1 Efecto en la composición química.....	14
2.8.2 Efecto en propiedades tecnológicas.....	15
2.8.3 Efecto en propiedades sensoriales	17
2.9 Evaluación del aporte proteico en relación con requerimientos nutricionales y efecto de la incorporación de hemp.....	18
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1 Área de estudio	21
3.2 Formulaciones.....	21
3.3 Preparación de tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con harina de hemp.....	21
3.4 Determinación de la composición de las tortillas con hemp.....	21
3.4.1 % Materia Seca Parcial (MSP)	21
3.4.2 % Materia Seca Total (MST)	22

3.4.3 % Cenizas	22
3.4.4 % Extracto Etéreo (Grasa) método Soxhlet.....	22
3.4.5 % Fibra Cruda.....	22
3.4.6 % Proteína Cruda por método Kjeldahl	23
3.5 Materiales.....	23
3.6 Equipos	24
3.7 Reactivos	24
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1 % Materia seca total y humedad.....	25
4.2 % Cenizas	27
4.3 % Proteína cruda	29
4.3.1 Estimación del aporte proteico en relación con el requerimiento diario	31
4.4 % Extracto etéreo	33
4.5 % Fibra cruda.....	34
4.6 % Extracto libre de nitrógeno (ELN).....	36
4.7 Contenido energético (kcal/ 100 g)	38
V CONCLUSIONES	41
LITERATURA CITADA.....	43

Índice de cuadros

Cuadro 2.1.- Composición nutricional aproximada de la semilla de hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.) (adaptado de Farinon <i>et al.</i> , 2020 y House <i>et al.</i> , 2018).....	7
Cuadro 2.2.- Perfil de aminoácidos esenciales en proteína de hemp (adaptado de House <i>et al.</i> , 2018 y Callaway, 2016).....	11
Cuadro 2.3.- Efecto de la incorporación de hemp en la composición química de productos alimenticios. Adaptado de Farinon <i>et al.</i> (2020); Boukid <i>et al.</i> (2021); Apostol <i>et al.</i> (2021).....	15
Cuadro 2.4.- Efecto de la incorporación de hemp en las propiedades tecnológicas de alimentos. Adaptado de Boukid <i>et al.</i> (2021); Farinon <i>et al.</i> (2020); Apostol <i>et al.</i> (2021).....	16
Cuadro 2.5.- Efecto de la incorporación de hemp en las propiedades sensoriales de alimentos. Adaptado de Boukid <i>et al.</i> (2021); Farinon <i>et al.</i> (2020); Apostol <i>et al.</i> (2021).....	18
Cuadro 4.1. Composición química proximal de tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.).....	25

Índice de figuras

Figura 2.1.- Morfología y diferencias básicas entre variedades de <i>Cannabis sativa</i> (Small 2015).....	7
Figura 4.1. Medias del contenido de materia seca total (MST) en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.).....	26
Figura 4.2. Medias del contenido de humedad en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.).....	26
Figura 4.3. Medias del contenido de cenizas en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.).	28
Figura 4.4. Medias del contenido de proteína cruda en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.).	30
Figura 4.5. Medias del contenido de extracto etéreo en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.).	33
Figura 4.6. Medias del contenido de fibra cruda en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.).	35
Figura 4.7. Medias del contenido de extracto libre de nitrógeno (ELN) en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.).....	37
Figura 4.8. Medias del contenido energético en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.).....	39

Resumen

La presente investigación evaluó el efecto de la incorporación de harina de hemp (*Cannabis sativa L.*) en tortillas de maíz nixtamalizado, con el propósito de analizar los cambios en la composición química proximal y estimar el potencial como ingrediente para el mejoramiento nutricional de un alimento tradicional.

Se elaboraron tortillas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp y se determinaron variables de materia seca total (%), humedad (%), cenizas (%), proteína cruda (%), extracto etéreo (%), fibra cruda (%), extracto libre de nitrógeno (ELN) (%) y contenido energético (kcal/ 100 g). Las variables mencionadas fueron sometidas a un análisis estadístico, por medio de análisis de varianza y la prueba de medias de Dunnett, utilizando el software mac Pro (2018) para identificar diferencias significativas entre tratamientos.

Los resultados mostraron que la incorporación de harina de hemp generó incrementos significativos ($P < 0.05$) en proteína cruda, cenizas, extracto etéreo y fibra cruda, mientras que el extracto libre de nitrógeno disminuyó en función del nivel de inclusión. Por otro lado, la materia seca total y la humedad no presentaron diferencias significativas, lo que indica que la adición del ingrediente no afectó de manera importante estos parámetros de estabilidad del producto.

Desde el punto de vista nutricional, el aumento en proteína representa el hallazgo más relevante, ya que sugiere una mejora en el aporte proteico de la tortilla de maíz nixtamalizado, alimento base en la dieta de la población mexicana. Asimismo, el incremento en fibra y contenido mineral refuerza su potencial como un producto con mayor valor nutrimental.

En conjunto, los resultados evidencian que la harina de hemp tiene un efecto positivo sobre la composición química de las tortillas, sin alterar significativamente sus características básicas, lo que la posiciona como una alternativa viable y que puede seguir siendo explorada en el desarrollo de alimentos tradicionales con mejor perfil nutricional.

Palabras clave: harina de hemp, tortilla, nixtamalización, mejoramiento nutricional
Correo E. morenolaraanapaola@gmail.com

I INTRODUCCIÓN

La tortilla de maíz nixtamalizado es uno de los alimentos base en la dieta de la población mexicana, no solo por su valor cultural, sino también por su aporte energético y nutricional. El proceso de nixtamalización mejora la biodisponibilidad de nutrientes como el calcio y aumenta la digestibilidad del grano, consolidando a la tortilla como un componente esencial en la alimentación diaria (Serna-Saldívar, 2016). Sin embargo, a pesar de sus ventajas, su contenido proteico es limitado en cuanto a calidad y balance de aminoácidos esenciales, lo que ha motivado la búsqueda de estrategias para mejorar su valor nutricional mediante la incorporación de ingredientes funcionales.

En este contexto, el uso de ingredientes de origen vegetal con alto valor nutricional ha cobrado relevancia en la industria de alimentos. Entre ellos, el hemp derivado de *Cannabis sativa* L. ha sido reconocido por su perfil nutricional destacado, particularmente por su contenido de proteína vegetal de buena calidad, ácidos grasos esenciales como omega-3 y omega-6, así como fibra dietética. Cabe resaltar que el hemp corresponde a variedades de esta especie con bajo contenido de compuestos psicoactivos, por lo que no produce efectos de este tipo en el organismo, lo que permite su uso seguro en aplicaciones alimentarias (Farinon *et al.*, 2020). Diversos estudios han señalado que la proteína de hemp contiene todos los aminoácidos esenciales y presenta una digestibilidad adecuada, lo que lo posiciona como un ingrediente prometedor en el desarrollo de alimentos funcionales (Callaway, 2016; House *et al.*, 2018).

1.1 Justificación

A pesar del potencial del hemp, su aplicación en productos tradicionales como la tortilla de maíz aún es limitada, especialmente en contextos locales donde predomina la producción convencional. Esto representa una oportunidad para innovar en alimentos básicos sin alterar significativamente sus características culturales, pero incrementando su valor nutricional. No obstante, la incorporación de nuevos

ingredientes puede modificar propiedades clave del producto final, como su composición química, lo que hace necesario evaluar de manera sistemática estos cambios para garantizar su viabilidad como alimento mejorado (Apostol *et al.*, 2021).

En este sentido, la caracterización química de productos alimentarios enriquecidos permite determinar con precisión los cambios en su composición proximal, incluyendo contenido de proteína, grasa, fibra y cenizas, parámetros fundamentales para establecer su aporte nutricional. Asimismo, este tipo de evaluaciones contribuye a validar el uso de nuevos ingredientes dentro de matrices alimentarias tradicionales, favoreciendo el desarrollo de alternativas más nutritivas y sostenibles (Ribotta *et al.*, 2019).

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Evaluar el efecto de la incorporación de harina de hemp en la caracterización química y el valor nutricional de tortillas de maíz nixtamalizado.

1.2.2 Específicos

- Formular tortillas de maíz nixtamalizado con diferentes niveles de incorporación de harina de hemp.
- Determinar la composición química proximal (materia seca, cenizas, grasa, fibra y proteína) de las tortillas elaboradas.
- Comparar la composición química de las tortillas enriquecidas con respecto a una tortilla de maíz tradicional.
- Estimar el aporte nutricional de las tortillas enriquecidas en función de su contenido de proteína.

1.3 Hipótesis

La incorporación de niveles controlados de harina de hemp en tortillas de maíz nixtamalizado permite mejorar su valor nutricional sin comprometer sus propiedades tecnológicas ni su calidad como alimento tradicional.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Tortilla de maíz nixtamalizado como matriz alimentaria

La tortilla de maíz nixtamalizado constituye uno de los alimentos fundamentales en la dieta de la población mexicana, no solo por su relevancia cultural, sino también por su contribución significativa al consumo energético diario. Su elaboración a partir del proceso de nixtamalización confiere características nutricionales particulares, ya que mejora la biodisponibilidad de minerales como el calcio y favorece la digestibilidad del grano de maíz, lo que la convierte en un alimento de alta importancia en términos nutricionales (Serna-Saldívar, 2016).

Desde el punto de vista nutricional, la tortilla aporta principalmente carbohidratos como fuente de energía, así como cantidades moderadas de proteína vegetal. Sin embargo, esta proteína presenta limitaciones en su perfil de aminoácidos esenciales, particularmente en lisina y triptófano, lo que reduce su calidad biológica en comparación con otras fuentes proteicas. Esta característica ha sido ampliamente documentada como una de las principales áreas de oportunidad para mejorar el valor nutricional de este alimento básico (Rosado *et al.*, 2019).

En este sentido, la tortilla de maíz representa una matriz alimentaria estratégica para la incorporación de ingredientes que permitan incrementar su calidad nutricional sin modificar de manera significativa sus características tradicionales. Diversos estudios han señalado que el enriquecimiento de productos a base de cereales con fuentes alternativas de proteína vegetal constituye una estrategia viable para mejorar su aporte nutrimental, especialmente en poblaciones donde estos alimentos forman parte esencial de la dieta diaria (Astudillo-Sánchez *et al.*, 2018).

Por lo tanto, el desarrollo de tortillas de maíz nixtamalizado enriquecidas con ingredientes de alto valor nutricional se presenta como una alternativa pertinente para contribuir a una alimentación más equilibrada, manteniendo al mismo tiempo la aceptación y accesibilidad de este alimento en el contexto mexicano (Serna-Saldívar, 2016).

2.2 Proceso de nixtamalización

El proceso de nixtamalización es una técnica tradicional utilizada en la elaboración de productos derivados del maíz, particularmente en la producción de tortillas. Este proceso consiste en la cocción del grano en una solución alcalina, generalmente hidróxido de calcio (cal hidratada), seguida de un periodo de reposo y posterior lavado, lo que permite la obtención de masa nixtamalizada con características fisicoquímicas y nutricionales mejoradas (Serna-Saldívar, 2016).

2.2.1. Impacto del proceso sobre las características fisicoquímicas

Desde el punto de vista estructural, la nixtamalización provoca la ruptura parcial de la matriz del grano de maíz, facilitando la eliminación del pericarpio y modificando la estructura del almidón. Estos cambios contribuyen a mejorar las propiedades de manejo de la masa, así como la textura y calidad del producto final. Asimismo, se favorece la gelatinización parcial del almidón, lo que influye en la digestibilidad del alimento (Paredes-López y Saharópulos, 2017).

En términos nutricionales, uno de los principales beneficios de la nixtamalización es el incremento en la disponibilidad de calcio, derivado del uso de compuestos alcalinos durante el proceso. Además, se ha documentado una reducción de factores anti nutricionales y una mejora en la biodisponibilidad de ciertos nutrientes. Sin embargo, a pesar de estas ventajas, la calidad proteica del maíz nixtamalizado continúa siendo limitada debido a su bajo contenido de aminoácidos esenciales como lisina y triptófano, lo que restringe su valor biológico como fuente de proteína (Rosado *et al.*, 2019).

Por otro lado, el proceso puede generar pérdidas de algunos compuestos solubles durante el lavado del grano, lo que puede impactar parcialmente su contenido nutricional. Aun así, la nixtamalización sigue siendo un proceso fundamental que permite obtener un alimento seguro, culturalmente aceptado y de alta relevancia en la dieta (Serna-Saldívar, 2016).

En este contexto, aunque la nixtamalización mejora diversas propiedades del maíz, no resuelve completamente las limitaciones relacionadas con su calidad proteica, lo que refuerza la necesidad de explorar estrategias de enriquecimiento nutricional mediante la incorporación de ingredientes alternativos que complementen su perfil nutrimental.

2.3 Alimentos funcionales y enriquecimiento nutricional

En los últimos años, el desarrollo de alimentos funcionales ha cobrado gran relevancia dentro de la ciencia y tecnología de alimentos, debido a la creciente demanda de productos que, además de cubrir requerimientos básicos de nutrición, aporten beneficios adicionales a la salud. Los alimentos funcionales se definen como aquellos que, por la presencia de componentes biológicamente activos, pueden contribuir a mejorar una o más funciones del organismo, promoviendo el bienestar general o reduciendo el riesgo de enfermedades (Granato *et al.*, 2020).

Una de las estrategias más utilizadas para el desarrollo de este tipo de alimentos es el enriquecimiento nutricional, el cual consiste en la incorporación de ingredientes con alto valor nutrimental a productos de consumo habitual. Esta práctica permite mejorar la calidad nutricional de alimentos ampliamente aceptados sin modificar significativamente sus características sensoriales, lo que favorece su adopción por parte de la población (Martínez-Villaluenga *et al.*, 2020).

En este sentido, los productos elaborados a partir de cereales, como la tortilla de maíz, representan una matriz alimentaria ideal para la aplicación de estrategias de enriquecimiento, debido a su alto consumo y accesibilidad. Diversos estudios han demostrado que la adición de fuentes alternativas de proteína vegetal, fibra y compuestos bioactivos en productos a base de cereales puede mejorar significativamente su perfil nutricional, incrementando su contenido de macronutrientes esenciales y aportando valor funcional (Boukid *et al.*, 2021).

Asimismo, el uso de ingredientes de origen vegetal ha tomado relevancia debido a su disponibilidad, sostenibilidad y perfil nutricional favorable. Estos ingredientes no solo

permiten diversificar las fuentes de nutrientes, sino que también responden a tendencias actuales de consumo orientadas hacia alimentos más saludables y de origen natural (Farinon *et al.*, 2020)

2.4 Generalidades del hemp (*Cannabis sativa* L.)

El hemp, también conocido como cáñamo industrial (figura 1), es una variedad de la especie *Cannabis sativa* L. que se caracteriza por su bajo contenido de compuestos psicoactivos, particularmente tetrahidrocannabinol (THC), generalmente inferior al 0.3 %. Esta característica permite su uso en aplicaciones industriales y alimentarias sin generar efectos psicoactivos en el organismo, diferenciándolo de otras variedades de la misma especie utilizadas con fines recreativos o medicinales (Farinon *et al.*, 2020).

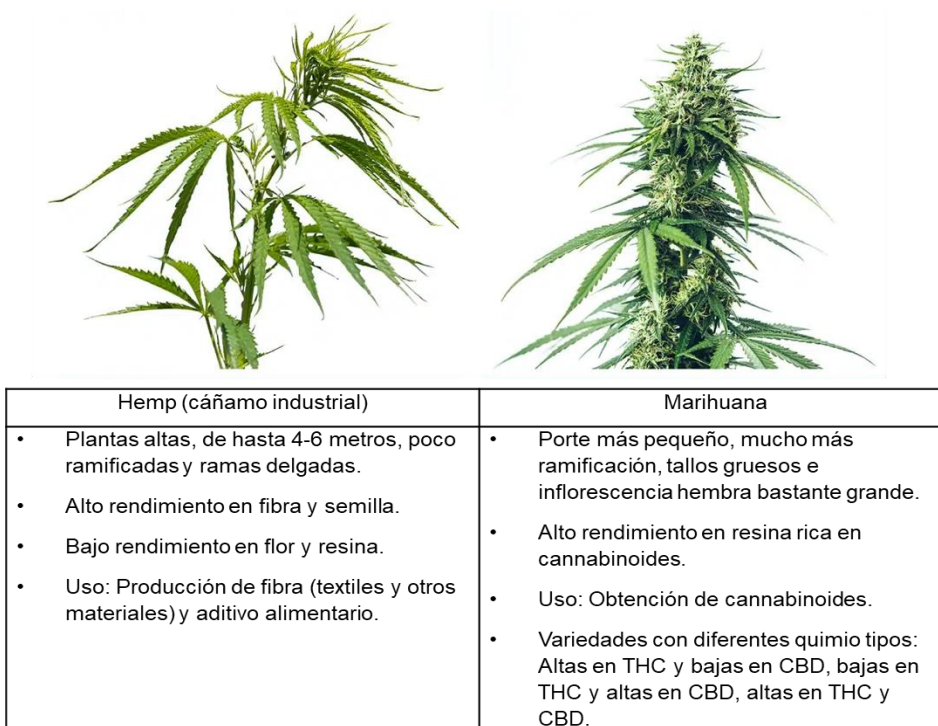


Figura 2.1.- Morfología y diferencias básicas entre variedades de *Cannabis sativa* (Small 2015).

Históricamente, el hemp ha sido cultivado por sus múltiples aplicaciones, incluyendo la obtención de fibras textiles, aceites y productos alimenticios. En la actualidad, su uso en la industria alimentaria ha cobrado relevancia debido a su perfil nutricional y a su potencial como ingrediente funcional. Las semillas de hemp, así como

sus derivados, como la harina o proteína, se emplean en la formulación de diversos productos, incluyendo bebidas, productos de panificación y suplementos alimenticios (Callaway, 2016).

Desde el punto de vista agronómico, el hemp es una planta adaptable a diversas condiciones climáticas, con un crecimiento relativamente rápido y requerimientos moderados de insumos, lo que lo convierte en una alternativa sostenible dentro de los sistemas de producción agrícola. Además, su cultivo contribuye a la diversificación de materias primas utilizadas en la industria alimentaria, promoviendo el aprovechamiento de fuentes vegetales no convencionales (House *et al.*, 2018).

En el ámbito alimentario, el interés por el hemp se centra principalmente en el uso de sus semillas y subproductos, los cuales presentan características favorables para su incorporación en matrices alimentarias. Estos ingredientes pueden integrarse en productos tradicionales con el objetivo de mejorar su composición nutricional, particularmente en términos de proteína, lípidos y fibra, sin alterar significativamente su aceptación por parte del consumidor (Farinon *et al.*, 2020).

Por lo tanto, el hemp representa una alternativa viable como ingrediente en el desarrollo de alimentos con valor agregado, especialmente en el contexto de productos enriquecidos que buscan mejorar su perfil nutrimental a partir de fuentes vegetales.

Por lo tanto, el enriquecimiento nutricional de alimentos tradicionales mediante la incorporación de ingredientes funcionales representa una estrategia viable y pertinente dentro del contexto actual de la alimentación. Este enfoque permite mejorar la calidad de productos básicos sin comprometer su aceptación cultural, lo que lo convierte en una alternativa de interés para el desarrollo de alimentos con mayor valor nutrimental.

2.5 Variedades de hemp utilizadas en alimentación

Dentro de las variedades de *Cannabis sativa* L. destinadas a uso industrial y alimentario, existen cultivares específicos que han sido seleccionados por sus características agronómicas y su composición nutricional. Entre las más utilizadas a

nivel internacional destacan Finola, Futura 75, USO 31 y Kompolti, las cuales presentan un bajo contenido de compuestos psicoactivos y un perfil adecuado para su aplicación en la industria alimentaria (Fike, 2016).

Estas variedades han sido ampliamente empleadas debido a su alto contenido de proteína en la semilla, así como por su perfil equilibrado de aminoácidos esenciales y su contenido de ácidos grasos poliinsaturados. Por ejemplo, cultivares como Finola y Futura 75 han mostrado buen rendimiento en la producción de semilla, lo que las hace particularmente atractivas para la obtención de harina y aceite de hemp destinados al consumo humano (Small, 2015; Farinon *et al.*, 2020).

Asimismo, variedades como Kompolti y USO 31 han sido utilizadas en diferentes regiones por su adaptabilidad a diversas condiciones climáticas y su estabilidad en la composición nutricional. Estas características favorecen su uso en el desarrollo de productos alimenticios, ya que permiten obtener materias primas con calidad relativamente constante (Callaway, 2008).

La selección de estas variedades responde no solo a criterios agronómicos, sino también a su potencial nutricional, lo que las posiciona como opciones viables para su incorporación en alimentos enriquecidos. En este sentido, el uso de cultivares con alto contenido proteico resulta especialmente relevante en estudios orientados a mejorar el valor nutricional de productos tradicionales, como la tortilla de maíz nixtamalizado.

2.6 Composición nutricional del hemp

El interés en el uso del hemp en la industria alimentaria se debe principalmente a su destacada composición nutricional, la cual lo posiciona como una fuente relevante de nutrientes esenciales (cuadro 2.1). Las semillas de hemp y sus derivados, como la harina o proteína, contienen cantidades significativas de macronutrientes y compuestos bioactivos que contribuyen a su valor como ingrediente funcional (Farinon *et al.*, 2020).

Cuadro 2.1.- Composición nutricional aproximada de la semilla de hemp (*Cannabis sativa* L.) (adaptado de Farinon *et al.*, 2020 y House *et al.*, 2018).

Componente	Contenido (%)
Proteína	20 – 30
Grasa	25 – 35
Fibra	20 – 30
Carbohidratos	10 – 15
Cenizas	4 – 6

(adaptado de Farinon *et al.*, 2020 y House *et al.*, 2018).

Uno de los componentes más relevantes del hemp es su contenido de proteína, el cual puede variar entre el 20 % y 30 % dependiendo del tipo de procesamiento. La proteína de hemp se caracteriza por presentar un perfil balanceado de aminoácidos esenciales, incluyendo lisina, metionina y arginina (cuadro 2.2), lo que la convierte en una proteína de buena calidad en comparación con otras fuentes vegetales. Además, presenta una digestibilidad relativamente alta, atribuida a la presencia de fracciones proteicas como la edestina y la albúmina, que son fácilmente asimilables por el organismo (House *et al.*, 2018).

Cuadro 2.2.- Perfil de aminoácidos esenciales en proteína de hemp

Aminoácido	Contenido aproximado (g/100 g proteína)
Lisina	3.5 – 4.5
Metionina	1.5 – 2.0
Treonina	3.0 – 3.5
Valina	4.0 – 5.0
Isoleucina	3.5 – 4.5
Leucina	6.0 – 7.0
Fenilalanina	4.0 – 5.0
Triptófano	0.8 – 1.2

(adaptado de House *et al.*, 2018 y Callaway, 2016).

En cuanto a su contenido lipídico, el hemp destaca por su aporte de ácidos grasos poliinsaturados, particularmente ácido linoleico (omega-6) y ácido alfa-linolénico (omega-3), en una proporción considerada favorable para la salud humana. Este balance de ácidos grasos ha sido asociado con efectos positivos en la regulación de procesos metabólicos y en la prevención de enfermedades cardiovasculares, lo que incrementa el valor funcional del ingrediente (Callaway, 2016).

Asimismo, el hemp es una fuente importante de fibra dietética, especialmente en sus formas parcialmente desgrasadas como la harina. La fibra presente contribuye a mejorar la digestión y puede influir en la respuesta glucémica de los alimentos en los que se incorpora, además de aportar volumen y características tecnológicas a los productos alimenticios (Farinon *et al.*, 2020).

Por otro lado, las semillas de hemp contienen minerales como calcio, hierro, fósforo y magnesio, que complementan su perfil nutrimental. Estos micronutrientes, junto con los macronutrientes previamente descritos, hacen del hemp un ingrediente atractivo para el desarrollo de alimentos enriquecidos, particularmente en productos que tradicionalmente presentan limitaciones en su composición nutricional.

En conjunto, la composición nutricional del hemp respalda su uso como ingrediente funcional en la formulación de alimentos, ya que permite mejorar el contenido de proteína, lípidos y fibra en productos alimentarios, contribuyendo a elevar su valor nutrimental sin comprometer su viabilidad tecnológica. En conjunto, la composición nutricional del hemp lo posiciona como un ingrediente de alto valor dentro de la formulación de alimentos enriquecidos, particularmente en matrices como productos a base de cereales. Su contenido de proteína, perfil de aminoácidos y aporte de ácidos grasos esenciales respaldan su potencial para mejorar la calidad nutricional de alimentos tradicionales, lo que justifica su incorporación en productos como la tortilla de maíz nixtamalizado.

2.7 Uso del hemp en alimentos

En los últimos años, el hemp ha ganado interés en la industria alimentaria debido a su valor nutricional y a su versatilidad como ingrediente en diferentes matrices alimentarias. Sus derivados, como semillas, harina y proteína, han sido utilizados en la formulación de diversos productos con el objetivo de mejorar su perfil nutrimental y funcional, respondiendo a la creciente demanda de alimentos de origen vegetal y con valor agregado (Farinon *et al.*, 2020).

Uno de los principales campos de aplicación del hemp es la industria de productos de panificación. Diversos estudios han evaluado la incorporación de harina de hemp en productos como pan, galletas y pasteles, reportando incrementos significativos en el contenido de proteína, fibra y lípidos. Sin embargo, también se ha observado que niveles elevados de inclusión pueden afectar propiedades tecnológicas como el volumen, la estructura de la miga y la textura, debido a la dilución del gluten y a cambios en la interacción de los componentes de la masa. Esto resalta la importancia de establecer niveles óptimos de incorporación que permitan mejorar el valor nutricional sin comprometer la calidad del producto final (Boukid *et al.*, 2021).

En el caso de bebidas vegetales, el hemp ha sido utilizado en la elaboración de productos tipo “leche”, destacando por su perfil lipídico y contenido de ácidos grasos esenciales. Estas bebidas presentan ventajas como la ausencia de lactosa y su adecuación a dietas basadas en plantas, lo que ha favorecido su aceptación en mercados orientados hacia alternativas saludables. Además, su perfil nutricional las posiciona como una opción viable frente a otras bebidas vegetales, como las de soya o almendra (Callaway, 2016).

Asimismo, el hemp ha sido incorporado en productos tipo snack, barras energéticas y suplementos alimenticios, donde su función principal es incrementar el contenido proteico y de fibra. En estos productos, la inclusión de hemp contribuye a mejorar el valor energético y nutrimental, además de aportar compuestos bioactivos. No obstante, se ha señalado que su sabor característico puede influir en la aceptación del consumidor, por lo que su uso debe ser cuidadosamente formulado (Farinon *et al.*, 2020).

En productos elaborados a partir de cereales, el uso de hemp representa una estrategia particularmente relevante. Estudios han demostrado que su incorporación en matrices como harinas compuestas, pastas y productos derivados del maíz permite incrementar el contenido de proteína y modificar la composición química del producto final. Estos cambios son consistentes con los objetivos de desarrollo de alimentos enriquecidos, especialmente en productos de consumo habitual donde pequeñas mejoras pueden tener un impacto significativo en la dieta (Apostol *et al.*, 2021).

Adicionalmente, se ha observado que la incorporación de hemp puede influir en propiedades físicas y sensoriales de los alimentos, como el color, sabor y textura. En general, niveles moderados de inclusión permiten mantener una buena aceptación del producto, mientras que concentraciones más altas pueden generar cambios perceptibles que afectan la preferencia del consumidor. Por ello, la determinación del nivel óptimo de incorporación constituye un aspecto clave en el desarrollo de productos alimentarios que integran este ingrediente (Boukid *et al.*, 2021).

En conjunto, la evidencia científica respalda el uso del hemp como un ingrediente funcional en la industria alimentaria, destacando su capacidad para mejorar el perfil nutricional de diversos productos. Su aplicación en matrices tradicionales, como los productos a base de maíz, representa una alternativa viable para el desarrollo de alimentos con mayor valor nutrimental, lo que justifica su evaluación en estudios orientados al enriquecimiento de alimentos básicos como la tortilla de maíz nixtamalizado.

2.8 Efecto del hemp en productos alimenticios

La incorporación de hemp en productos alimenticios ha sido estudiada debido a su impacto en la calidad nutricional y en las propiedades físicas de los alimentos. Su uso en diferentes matrices ha permitido identificar cambios relevantes tanto en la composición química como en el comportamiento tecnológico del producto final. Estos efectos dependen principalmente del nivel de inclusión del ingrediente, así como del tipo de producto en el que se incorpora, lo que hace necesario evaluarlos de manera específica para cada aplicación (Boukid *et al.*, 2021).

2.8.1 Efecto en la composición química

Uno de los principales efectos de la incorporación de hemp en productos alimenticios es la modificación de su composición química, particularmente en términos de proteína, lípidos y fibra. Diversos estudios han demostrado que la adición de harina o proteína de hemp en matrices a base de cereales genera un incremento significativo en el contenido de proteína, el cual se encuentra directamente relacionado con el nivel de inclusión del ingrediente. Este comportamiento ha sido observado en productos como pan, galletas y pastas, donde el enriquecimiento proteico representa uno de los principales beneficios de su incorporación (Apostol *et al.*, 2021).

Asimismo, la inclusión de hemp contribuye a aumentar el contenido de lípidos en los alimentos, especialmente ácidos grasos poliinsaturados como omega-3 y omega-6. Este cambio modifica el perfil lipídico del producto final, lo que puede considerarse favorable desde el punto de vista nutricional. Sin embargo, también puede influir en la estabilidad del alimento, ya que estos ácidos grasos son susceptibles a procesos de oxidación, lo que podría afectar su vida útil (Callaway, 2016).

En cuanto a la fibra dietética, la incorporación de hemp, particularmente en forma de harina parcialmente desgrasada, permite incrementar su contenido de manera considerable. Este aumento no solo mejora el valor nutricional del producto, sino que también puede influir en su comportamiento digestivo y en la respuesta fisiológica del consumidor. Además, la fibra puede modificar propiedades tecnológicas del alimento, como la retención de agua y la textura, lo que evidencia la interacción entre composición química y funcionalidad (Farinon *et al.*, 2020).

Los efectos de la incorporación de hemp en la composición química de los alimentos se resumen en el cuadro 2.3.

Cuadro 2.3.- Efecto de la incorporación de hemp en la composición química de productos alimenticios.

Componente	Efecto de la incorporación de hemp	Observaciones
Proteína	Incremento proporcional al nivel de inclusión	Mejora el valor nutricional; depende de la cantidad adicionada
Lípidos	Aumento en el contenido de grasas totales	Incremento de ácidos grasos poliinsaturados (omega-3 y omega-6); posible susceptibilidad a oxidación
Fibra	Incremento significativo	Mejora el contenido de fibra dietética; puede influir en digestibilidad
Cenizas	Ligero incremento	Asociado al contenido mineral del hemp
Carbohidratos	Disminución relativa	Efecto de dilución por aumento de otros componentes

Adaptado de Farinon *et al.* (2020); Boukid *et al.* (2021); Apostol *et al.* (2021).

De manera general, los cambios en la composición química derivados de la incorporación de hemp dependen directamente del nivel de inclusión utilizado. Niveles bajos a moderados permiten mejorar el perfil nutricional del alimento sin generar alteraciones significativas, mientras que niveles elevados pueden provocar modificaciones más marcadas que deben ser evaluadas en conjunto con otros atributos del producto.

2.8.2 Efecto en propiedades tecnológicas

La incorporación de hemp en productos alimenticios no solo modifica su composición química, sino que también influye en sus propiedades tecnológicas (cuadro 2.4), las cuales son fundamentales para la calidad del producto final. Estas propiedades incluyen aspectos como la textura, la capacidad de retención de agua, la estructura y el comportamiento durante el procesamiento, los cuales pueden verse afectados dependiendo del nivel de inclusión del ingrediente y del tipo de matriz alimentaria (Boukid *et al.*, 2021).

Cuadro 2.4.- Efecto de la incorporación de hemp en las propiedades tecnológicas de alimentos.

Propiedad	Efecto observado	Implicación tecnológica
Textura	Aumento en firmeza o densidad	Puede afectar la suavidad y elasticidad del producto
Retención de agua	Incremento por contenido de fibra	Mejora hidratación, pero puede generar masas más pesadas
Estructura	Modificación de la matriz interna	Cambios en cohesión y uniformidad
Manejo de masa	Alteración en plasticidad	Puede dificultar el procesamiento
Estabilidad	Posible reducción por oxidación lipídica	Puede afectar vida útil del producto

Adaptado de Boukid *et al.* (2021); Farinon *et al.* (2020); Apostol *et al.* (2021).

Uno de los efectos más relevantes es la modificación de la textura del producto. En sistemas como la panificación, la adición de hemp puede generar estructuras más densas debido a la dilución de proteínas estructurales como el gluten, lo que afecta la elasticidad y la capacidad de retención de gases. En productos a base de maíz, como la tortilla, estos cambios pueden manifestarse en variaciones en la firmeza y en la manejabilidad de la masa (Apostol *et al.*, 2021).

Asimismo, el contenido de fibra presente en el hemp influye en la capacidad de absorción y retención de agua, lo que puede modificar la hidratación de la masa y afectar propiedades como la suavidad y la vida útil del producto. En algunos casos, un mayor contenido de fibra puede incrementar la retención de humedad, aunque también puede generar texturas más compactas si no se controla adecuadamente la formulación (Farinon *et al.*, 2020).

Otro aspecto importante es la modificación en la estructura del producto final. La incorporación de hemp puede alterar la matriz interna de alimentos elaborados, afectando características como la cohesión y la uniformidad. Estos cambios dependen en gran medida de la proporción de ingrediente añadido y de la interacción entre sus componentes y los del sistema alimentario base.

En general, los efectos tecnológicos derivados de la incorporación de hemp deben ser considerados cuidadosamente, ya que influyen directamente en la calidad del producto y en su aceptación. Por ello, la optimización del nivel de inclusión es un factor clave para lograr un equilibrio entre mejora nutricional y funcionalidad tecnológica.

2.8.3 Efecto en propiedades sensoriales

Además de los cambios en la composición química y en las propiedades tecnológicas, la incorporación de hemp en productos alimenticios puede influir de manera importante en sus características sensoriales, las cuales son determinantes para la aceptación del consumidor. Entre los atributos más afectados se encuentran el color, el sabor, el aroma y la textura percibida, los cuales pueden variar en función del nivel de inclusión del ingrediente (Boukid *et al.*, 2021).

Uno de los cambios más evidentes es la modificación del color del producto. La harina de hemp presenta tonalidades verdes o marrones que pueden oscurecer el alimento final, lo que resulta más perceptible en productos de color claro. Este cambio puede ser aceptable en niveles bajos de incorporación, pero en concentraciones más altas puede influir negativamente en la percepción del consumidor (Farinon *et al.*, 2020).

En cuanto al sabor y aroma, el hemp aporta notas características que suelen describirse como terrosas o a nuez. Si bien estas características pueden ser agradables en ciertos productos, su intensidad aumenta con el nivel de inclusión, lo que puede limitar su aceptación cuando no se controla adecuadamente la formulación (Apostol *et al.*, 2021).

La textura también puede verse afectada desde el punto de vista sensorial, ya que los cambios en las propiedades tecnológicas se reflejan en la percepción del consumidor. Por ejemplo, incrementos en la firmeza o en la densidad del producto pueden influir en la sensación en boca, lo que puede ser percibido como menos

agradable si se aleja de las características tradicionales del alimento. Los cambios generales en las propiedades organolépticas se presentan en el cuadro 2.5.

Cuadro 2.5.- Efecto de la incorporación de hemp en las propiedades sensoriales de alimentos.

Atributo sensorial	Efecto observado	Implicación en aceptación
Color	Oscurecimiento del producto	Puede reducir aceptación en productos tradicionales
Sabor	Notas terrosas o a nuez	Agradable en niveles bajos, intenso en niveles altos
Aroma	Característico del hemp	Puede influir en preferencia del consumidor
Textura (sensación)	Mayor firmeza o densidad	Puede afectar la palatabilidad
Aceptación general	Disminuye a altos niveles de inclusión	Importancia de determinar nivel óptimo

Adaptado de Boukid *et al.* (2021); Farinon *et al.* (2020); Apostol *et al.* (2021).

En general, los estudios coinciden en que niveles bajos a moderados de incorporación de hemp permiten mantener una adecuada aceptación sensorial, mientras que niveles elevados pueden generar cambios perceptibles que afectan la preferencia del consumidor. Por ello, la evaluación sensorial y la determinación del nivel óptimo de inclusión son aspectos clave en el desarrollo de productos enriquecidos con este ingrediente.

2.9 Evaluación del aporte proteico en relación con requerimientos nutricionales y efecto de la incorporación de hemp

La evaluación del aporte nutrimental de los alimentos no se limita únicamente a la determinación de su composición química, sino que también implica el análisis de su contribución a los requerimientos diarios de nutrientes en la dieta humana. En el caso de la proteína, este enfoque permite estimar el impacto real que un alimento tiene

en la cobertura de las necesidades nutricionales de la población, particularmente cuando se trata de alimentos de consumo habitual (FAO/WHO, 2013; Wolfe *et al.*, 2017).

Los requerimientos diarios de proteína varían en función de factores como la edad, el sexo y el nivel de actividad física; sin embargo, organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) establecen una ingesta recomendada aproximada de 0.8 g de proteína por kilogramo de peso corporal en adultos sanos (FAO/WHO, 2013). Asimismo, se ha señalado que la calidad de la proteína, determinada por su perfil de aminoácidos y su digestibilidad, es un factor clave para evaluar su aprovechamiento biológico (Schaafsma, 2012).

En el caso de la tortilla de maíz nixtamalizado, su aporte proteico es limitado tanto en cantidad como en calidad, debido a la presencia de aminoácidos esenciales en proporciones insuficientes, particularmente lisina y triptófano. Esta condición puede afectar la adecuación proteica de la dieta, especialmente en poblaciones donde este alimento constituye una fuente importante de energía diaria (Serna-Saldívar, 2016; Paredes-López & Saharópulos, 2017).

En este contexto, la incorporación de ingredientes con mayor contenido y calidad proteica, como el hemp (*Cannabis sativa L.*), representa una alternativa viable para mejorar el valor nutrimental de productos tradicionales. El hemp ha sido reconocido por su contenido de proteína vegetal de buena calidad, con un perfil de aminoácidos relativamente completo y una adecuada digestibilidad, lo que favorece su utilización en alimentos destinados al enriquecimiento nutricional (Callaway, 2016; House *et al.*, 2018; Farinon *et al.*, 2020).

La adición de harina de hemp en la formulación de tortillas puede incrementar el contenido total de proteína y mejorar el perfil de aminoácidos del producto final, lo que se traduce en una mayor contribución al cumplimiento de los requerimientos diarios. Sin embargo, el impacto real de esta mejora depende del nivel de inclusión del ingrediente, así como de la cantidad de producto consumido, lo que hace necesario evaluar estos cambios desde una perspectiva cuantitativa (Apostol *et al.*, 2021).

La estimación del aporte proteico se realiza comúnmente considerando la cantidad de proteína presente en una porción del alimento y su relación con los valores de ingesta diaria recomendada. Este tipo de análisis permite expresar los resultados en términos porcentuales, facilitando la interpretación del impacto nutricional del producto y la comparación entre diferentes formulaciones (Wolfe *et al.*, 2017; Nielsen, 2017).

En conjunto, la incorporación de hemp en tortillas de maíz nixtamalizado no solo puede modificar su composición química, sino también incrementar su contribución al requerimiento proteico diario. Este enfoque permite evaluar de manera integral el impacto del ingrediente, vinculando los resultados analíticos con su relevancia práctica en la alimentación humana y fortaleciendo el desarrollo de alimentos con mayor valor nutricional.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio, perteneciente al Departamento de Nutrición animal, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

3.2 Formulaciones

En la elaboración de la tortilla, se emplearon masa de maíz nixtamalizado y harina de hemp, en donde se realizaron las siguientes formulaciones: F0 (100 % masa de maíz y 0 % harina de hemp), F1 (99 % masa de maíz y 1 % harina de hemp), F2 (98 % masa de maíz y 2 % harina de hemp), F3 (96 % masa de maíz y 4 % harina de hemp), F4 (92 % masa de maíz y 8 % harina de hemp) y F5 (90 % masa de maíz y 10 % harina de hemp).

3.3 Preparación de tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con harina de hemp

Se pesaron las cantidades correspondientes de masa de maíz nixtamalizado y harina de hemp de acuerdo a las formulaciones previamente establecidas, utilizando una balanza granataria digital. Posteriormente las mezclas se homogenizaron y las tortillas se formaron mediante el uso de una prensa manual. Finalmente, las tortillas se sometieron a cocción en un comal a una temperatura de 180 °C hasta obtener su cocción uniforme. Realizándose por triplicado.

3.4 Determinación de la composición de las tortillas con hemp

3.4.1 % Materia Seca Parcial (MSP)

Se pesó la charola con la muestra húmeda, utilizando una balanza granataria digital. Posteriormente, las tortillas correspondientes a cada una de las formulaciones se cortaron en pequeños trozos y se colocaron en charolas de aluminio, se introdujeron en la estufa de secado a una temperatura de 50 °C durante 24 horas.

Transcurrido del tiempo de secado, se realizó el pesaje de la charola con la muestra seca. Posteriormente, las muestras de cada tratamiento fueron molidas en una licuadora hasta obtener un tamaño de partícula homogéneo. Finalmente, las muestras molidas se colocaron en frascos individuales debidamente etiquetados para su posterior análisis.

3.4.2 % Materia Seca Total (MST)

Se pesó inicialmente el crisol de porcelana vacío utilizando una balanza analítica. Posteriormente, se colocaron 2 g de muestra de cada tratamiento en los respectivos crisoles de porcelana y se registró el peso inicial.

Los crisoles con las muestras se introdujeron en una estufa de secado a una temperatura de 80 – 110 °C durante 24 horas. Finalizado el tiempo de secado, los crisoles fueron retirados de la estufa utilizando pinzas para crisol y colocados en un desecador durante 25 minutos hasta su enfriamiento. Finalmente, los crisoles fueron pesados nuevamente y los datos obtenidos se registraron para el cálculo de materia seca total.

3.4.3 % Cenizas

Se utilizaron los mismos crisoles obtenidos del análisis de materia seca total. Las muestras fueron pre incineradas directamente sobre una parrilla hasta la eliminación completa del humo generado.

Posteriormente, los crisoles se colocaron en una mufla a una temperatura de 550 – 600 °C durante un periodo de 3 horas. Finalizado el proceso de incineración, los crisoles de porcelana fueron retirados utilizando pinzas para crisol y colocados en un desecador durante 25 minutos para permitir su enfriamiento. Finalmente, se realizó el pesaje de los crisoles de porcelana y se registraron los pesos obtenidos.

3.4.4 % Extracto Etéreo (Grasa) método Soxhlet

Se pesó el matraz bola fondo plano utilizando una balanza analítica. Posteriormente, se pesaron 4 g de muestra molida sobre el papel filtro y la muestra se colocó en un dedal de asbesto.

El dedal con la muestra fue introducido en el extractor Soxhlet. Después, se agregaron 250 ml de hexano 95% al matraz bola de fondo plano y se ensambló el equipo Soxhlet, colocando el matraz sobre una parrilla nido.

El equipo se mantuvo en funcionamiento hasta completar 5 ciclos de extracción del solvente. Finalizado el proceso, el matraz se retiró y posteriormente se realizó el pesaje del matraz con grasa extraída, registrando los pesos obtenidos.

3.4.5 % Fibra Cruda

Se pesaron 2 g de muestra desengrasada obtenida del análisis previo de extracción de grasa. La muestra se colocó en un vaso Berzelius de 600 ml y posteriormente se adicionaron 100 ml de H₂SO₄ al 0.255 N.

Los vasos se colocaron sobre una parrilla de calentamiento durante 30 minutos a partir del inicio de la ebullición. Finalizado este tiempo, las muestras fueron filtradas

utilizando embudos con papel filtro de tela y posteriormente se lavaron con 200 ml de agua destilada caliente.

Con ayuda de una espátula, el residuo retenido en el papel filtro se recuperó y se transfirió nuevamente al vaso Berzelius. Posteriormente, se agregaron 100 ml de NaOH al 0.303 N y el procedimiento de calentamiento, filtrado y lavado se repitió bajo las mismas condiciones descritas anteriormente.

El residuo obtenido se transfirió con ayuda de una espátula a crisoles de porcelana, los cuales fueron colocados en una estufa de secado a una temperatura de 110 °C. Después del secado, los crisoles de porcelana se enfriaron en un desecador durante 25 minutos y posteriormente se registró el peso del crisol con la muestra seca.

Finalmente, las muestras fueron pre incineradas en parrilla hasta la desaparición del humo y posteriormente incineradas en mufla a una temperatura de 550 – 600 °C durante 3 horas. Los crisoles se dejaron enfriar y se registró el peso final correspondiente al contenido de cenizas.

3.4.6 % Proteína Cruda por método Kjeldahl

Se pesó 1 g de muestra sobre papel filtro, el cual se introdujo en un matraz Kjeldahl. Posteriormente, se agregaron cinco perlas de vidrio, una cucharada de selenio como catalizador y 30 ml de ácido sulfúrico concentrando.

El matraz se colocó en el digestor Kjeldahl hasta obtener una coloración verde característica, indicando la finalización de la digestión. Después del enfriamiento, se adicionaron 30 ml de agua destilada, 100 ml de hidróxido de sodio y 6 granallas de zinc al contenido del matraz.

En un matraz Erlenmeyer se colocaron 50 ml de ácido bórico junto con 6 gotas de indicador mixto. Posteriormente, el matraz Kjeldahl se conectó al destilador Kjeldahl y el matraz Erlenmeyer se situó en la salida del condensador para recolectar 300 ml del destilado obtenido.

Finalmente, la muestra recolectada fue titulada hasta alcanzar una coloración rosa pálido y se registró el volumen de titulante consumido.

3.5 Materiales

Masa de maíz nixtamalizada	Harina de hemp
Espátula	Sartén metálico
Recipiente de plástico	Bandeja de aluminio
Licuada	Frasco con cierre hermético
Prensa manual	Desecador
Pinzas metálicas para crisol	Crisol de porcelana
Dedal de asbesto	Papel filtro
Matraz bola fondo plano	Perlas de vidrio
Sifón Soxhlet	Probeta

Vidrio de reloj	Vaso de precipitado Berzelius
Tela filtrante	Matraz Kjeldahl
Matraz Erlenmeyer	Pinza para matraz bola fondo plano

3.6 Equipos

Equipo	Marca
Estufa de secado	Blue M
Balanza granataria digital	Scout Pro
Estufa de gas	
Balanza analítica	AND
Mufla	Thermolyne
Digestor y destilador Kjeldahl	Labconco
Aparato de Soxleth	Eseicon
Parrilla de agitación	Fisher
Bureta digital	Brand

3.7 Reactivos

n – Hexano 95 % ACS	Ácido sulfúrico 0.225 N
Ácido sulfúrico concentrado 98%	Hidróxido de Sodio 0.313 N
Selenio	Indicador Mixto
Ácido Bórico 4%	Granallas de Zinc

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos de la caracterización química de las tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de incorporación de harina de hemp (*Cannabis sativa L.*). Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico, utilizando el método prueba de Dunnett con el propósito de determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas. Los resultados se presentan en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Composición química proximal de tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (*Cannabis sativa L.*).

Variable respuesta	Nivel de inclusión de harina de hemp (%)					
	0	1	2	4	8	10
MST (%)	97.30	97.40	97.57	97.80	97.26	98.26
Humedad (%)	2.70	2.60	2.43	2.24	2.73	1.73
Cenizas (%)*	1.63 b	1.95 b	2.14 a	2.31 a	2.86 a	3.48a
Proteína cruda (%)*	8.26 b	8.62 b	9.46 b	11.61a	13.61 a	15.86
Extracto Etéreo (%)*	2.86 b	3.22 b	3.44 a	3.94 a	4.55 a	4.90 a
Fibra cruda (%)*	0.45 b	0.55 b	0.50 b	0.85 a	1.37 a	1.87 a
ELN (%)*	86.77 a	85.63 a	84.43 b	82.26 b	77.60 b	74. 00 b
Kcal /100 g*	405.93 a	406.09 a	406.57 a	407.00 a	405.83 a	402.77 b

- Literales diferentes muestran diferencia significativa entre tratamientos ($P<0.05$)

El análisis estadístico mostró que la incorporación de harina de hemp generó diferencias significativas ($P<0.05$) en variables como cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno (ELN) y contenido energético. Por otro lado, el % de materia seca total (MST) no presentó diferencias significativas entre tratamientos, en consecuencia, la humedad tampoco mostró diferencias estadísticas importantes entre los niveles de inclusión evaluados.

4.1 % Materia seca total y humedad

Los resultados obtenidos para materia seca total (MST) y humedad no mostraron diferencias significativas ($P>0.05$) entre los tratamientos evaluados, lo que

indica que la incorporación de harina de hemp no modificó de manera importante estos parámetros en las tortillas de maíz nixtamalizado. En las figuras 4.1 y 4.2 se presenta el comportamiento de los niveles % de materia seca total (MST) y de humedad de las tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp.

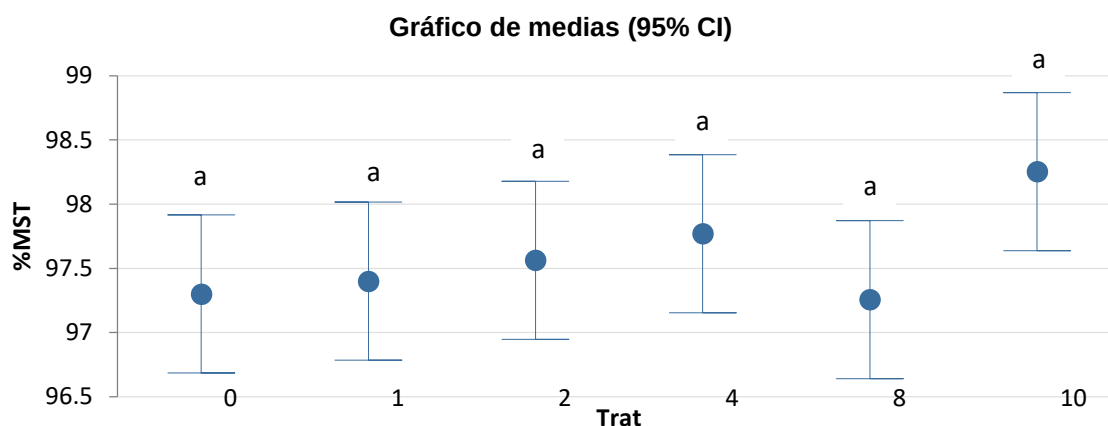


Figura 4.1. Medias del contenido de % materia seca total (MST) en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (*Cannabis sativa L.*).

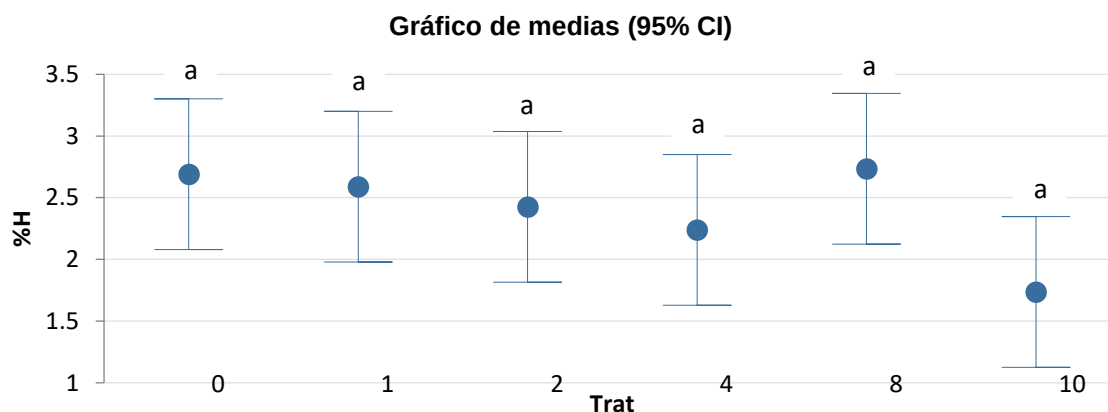


Figura 4.2. Medias del contenido de % humedad en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (*Cannabis sativa L.*).

Este comportamiento era esperado, debido a que ambas variables mantienen una relación inversa directa; es decir, al no presentarse cambios importantes en el contenido de humedad, la materia seca total permaneció relativamente estable entre tratamientos.

La estabilidad observada en estos parámetros puede estar relacionada con las características del proceso de elaboración de la tortilla, particularmente con las condiciones de cocción y manejo de humedad durante la preparación de la masa. Aunque la harina de hemp presenta diferencias composicionales respecto a la harina de maíz, los niveles de inclusión utilizados aparentemente no fueron suficientes para generar modificaciones importantes en la retención o pérdida de agua del producto final.

Resultados similares han sido reportados en estudios donde se incorporan ingredientes ricos en proteína y fibra en productos derivados de cereales, observándose que los cambios en humedad suelen ser poco significativos cuando los niveles de sustitución son moderados (Boukid *et al.*, 2021). Asimismo, Farinon *et al.* (2020) señalan que la incorporación de hemp en matrices alimentarias puede modificar ciertas propiedades nutricionales sin afectar considerablemente parámetros básicos como el contenido de humedad.

Desde el punto de vista tecnológico, la ausencia de diferencias significativas en humedad representa una ventaja, ya que este parámetro influye directamente en características como textura, vida útil y aceptabilidad del producto. En este sentido, los resultados sugieren que la incorporación de harina de hemp puede realizarse sin alterar de manera importante la estabilidad básica de la tortilla de maíz nixtamalizado.

4.2 % Cenizas

En la Figura 4.3 se presentan las medias correspondientes al contenido de cenizas de las tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp. Puede observarse una tendencia al incremento en el

contenido de cenizas conforme aumentó el nivel de incorporación de hemp, lo que sugiere una mayor aportación de minerales al producto final.

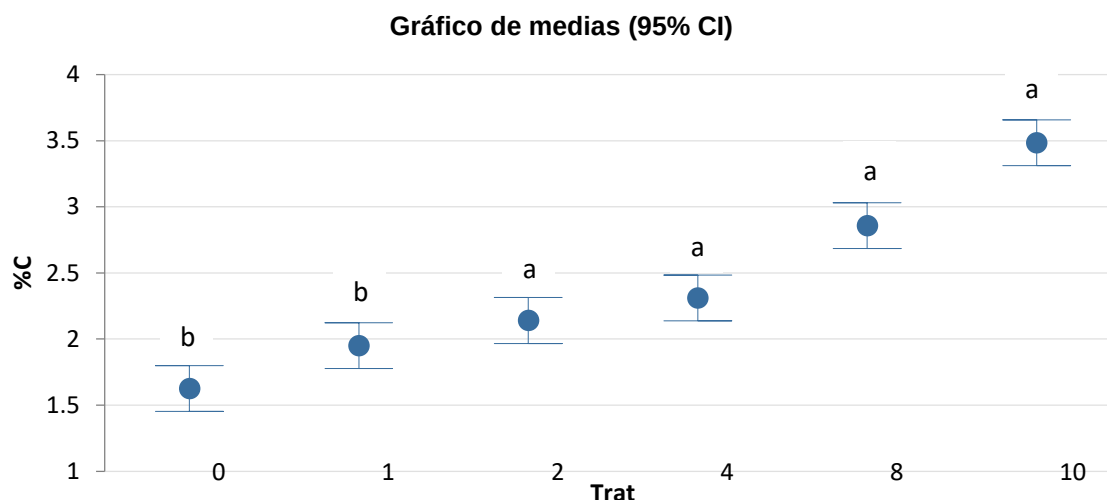


Figura 4.3. Medias del contenido de % cenizas en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (*Cannabis sativa L.*).

El contenido de % cenizas presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos evaluados, observándose una tendencia al incremento conforme aumentó el nivel de incorporación de harina de hemp en las tortillas de maíz nixtamalizado. Este comportamiento puede atribuirse al mayor contenido mineral presente en la semilla de hemp en comparación con la harina de maíz tradicional.

Las cenizas representan la fracción mineral total del alimento, por lo que su incremento sugiere una mayor aportación de minerales al producto final. Diversos estudios han reportado que el hemp contiene cantidades importantes de minerales como calcio, fósforo, magnesio, potasio y hierro, los cuales contribuyen al aumento de este parámetro cuando el ingrediente es incorporado en productos alimenticios (Farinon *et al.*, 2020; House *et al.*, 2018).

El incremento observado en cenizas coincide con lo reportado por Apostol *et al.* (2021), quienes encontraron aumentos significativos en el contenido mineral de

productos enriquecidos con harina de hemp. De manera similar, Boukid *et al.* (2021) señalan que la incorporación de hemp en matrices alimentarias puede mejorar el perfil nutricional debido a su aporte de compuestos minerales y otros componentes funcionales.

Desde el punto de vista nutricional, el aumento en el contenido de cenizas puede considerarse favorable, ya que sugiere una mejora potencial en el aporte mineral de las tortillas enriquecidas. Sin embargo, el análisis de cenizas únicamente permite estimar el contenido mineral total, por lo que sería necesario realizar determinaciones específicas para identificar los minerales presentes y cuantificar su contribución individual.

En términos generales, los resultados indican que la incorporación de harina de hemp contribuye al incremento del contenido mineral de las tortillas de maíz nixtamalizado, fortaleciendo su valor nutricional como alimento de consumo habitual.

4.3 % Proteína cruda

El contenido de % proteína cruda presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos evaluados, observándose un incremento progresivo conforme aumentó el nivel de incorporación de harina de hemp en las tortillas de maíz nixtamalizado. Este comportamiento indica que la adición de hemp tuvo un efecto directo sobre el enriquecimiento proteico del producto final. En la Figura 4.4 se presentan las medias correspondientes al contenido de proteína cruda de las tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp.

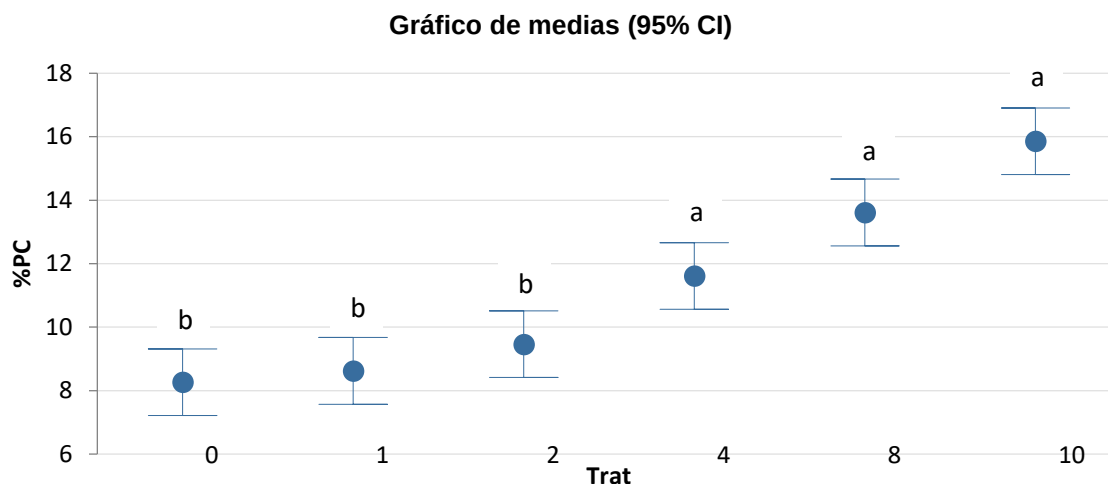


Figura 4.4. Medias del contenido de % proteína cruda en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (*Cannabis sativa* L.).

El análisis estadístico para esta variable mostró un valor de significancia altamente bajo, lo que confirma que las diferencias observadas no fueron producto del azar, sino consecuencia de la incorporación del ingrediente. Asimismo, el tamaño del efecto obtenido evidenció que una alta proporción de la variabilidad en el contenido de proteína estuvo asociada al nivel de inclusión de harina de hemp, lo que demuestra la fuerte influencia de este ingrediente sobre dicha variable.

El incremento en proteína puede explicarse por la composición nutricional característica del hemp, cuya semilla presenta un contenido elevado de proteína vegetal en comparación con el maíz. Además de su cantidad, la proteína de hemp ha sido reconocida por presentar un perfil adecuado de aminoácidos esenciales y buena digestibilidad, lo que favorece su utilización en el desarrollo de alimentos con mayor valor nutricional (Callaway, 2016; House *et al.*, 2018).

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Farinon *et al.* (2020) y Apostol *et al.* (2021), quienes señalaron que la incorporación de hemp en productos alimenticios produce incrementos significativos en el contenido de proteína. De manera similar, Boukid *et al.* (2021) mencionan que la harina de hemp representa una

alternativa viable para el enriquecimiento proteico de productos derivados de cereales debido a su composición nutricional y funcional.

Desde el punto de vista nutricional, el incremento en proteína observado en las tortillas enriquecidas resulta relevante, considerando que la tortilla de maíz constituye uno de los principales alimentos de consumo diario en la población mexicana. Tradicionalmente, este alimento presenta limitaciones en cuanto a cantidad y calidad proteica, particularmente por la baja proporción de algunos aminoácidos esenciales. En este sentido, la incorporación de harina de hemp puede contribuir a mejorar el aporte proteico del producto y potencialmente favorecer una mejor adecuación nutricional.

Además del incremento cuantitativo, es importante considerar que la mejora en el contenido proteico podría reflejarse en una mayor contribución al requerimiento diario de proteína, especialmente en dietas donde la tortilla representa una fuente importante de energía y nutrientes. Esto fortalece el potencial del hemp como ingrediente funcional para el desarrollo de alimentos tradicionales con valor nutricional mejorado.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que la incorporación de harina de hemp representa una estrategia efectiva para incrementar el contenido de proteína en tortillas de maíz nixtamalizado, sin comprometer variables básicas como humedad y materia seca total.

4.3.1 Estimación del aporte proteico en relación con el requerimiento diario

Con base en los resultados obtenidos para proteína cruda, se realizó una estimación del aporte potencial de proteína de las tortillas elaboradas con harina de hemp en relación con el requerimiento diario recomendado para adultos. Este análisis permite interpretar de manera práctica el impacto nutricional de la incorporación de hemp en un alimento de consumo habitual como la tortilla de maíz nixtamalizado.

La incorporación de harina de hemp produjo un incremento significativo en el contenido de proteína de las tortillas, lo que sugiere una mayor contribución al aporte proteico de la dieta. Considerando que organismos internacionales como la FAO y la OMS recomiendan una ingesta aproximada de 0.8 g de proteína por kilogramo de peso corporal en adultos sanos (FAO/WHO, 2013), el aumento observado en los tratamientos enriquecidos representa una mejora potencial en la calidad nutricional del producto.

Además del incremento cuantitativo de proteína, es importante considerar que el hemp aporta proteínas de origen vegetal con un perfil favorable de aminoácidos esenciales y adecuada digestibilidad, características que fortalecen su valor como ingrediente alimentario (House *et al.*, 2018; Callaway, 2016). En este sentido, la incorporación de hemp no solo incrementa la cantidad de proteína presente en la tortilla, sino que también podría contribuir a mejorar la calidad del aporte proteico del alimento.

La relevancia de estos resultados cobra mayor importancia debido a que la tortilla constituye uno de los principales alimentos de consumo diario en la población mexicana. Por ello, pequeñas mejoras en su composición nutricional pueden representar un impacto significativo en el aporte total de nutrimentos de la dieta, especialmente en sectores donde este alimento es consumido de manera frecuente.

Los resultados obtenidos sugieren que las tortillas enriquecidas con harina de hemp podrían contribuir en mayor proporción al cumplimiento de los requerimientos diarios de proteína en comparación con la tortilla convencional. Esto posiciona al hemp como un ingrediente con potencial para el desarrollo de alimentos tradicionales con valor nutricional mejorado y funcionalidad alimentaria.

En conjunto, la incorporación de harina de hemp permitió incrementar el aporte potencial de proteína de las tortillas de maíz nixtamalizado, fortaleciendo su perfil nutricional y evidenciando la viabilidad de este ingrediente en estrategias de enriquecimiento alimentario.

4.4 % Extracto etéreo

El contenido de extracto etéreo presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos evaluados, observándose un incremento conforme aumentó el nivel de incorporación de harina de hemp en las tortillas de maíz nixtamalizado. En la figura 4.5 se presentan las medias correspondientes al contenido de extracto etéreo de las tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp.

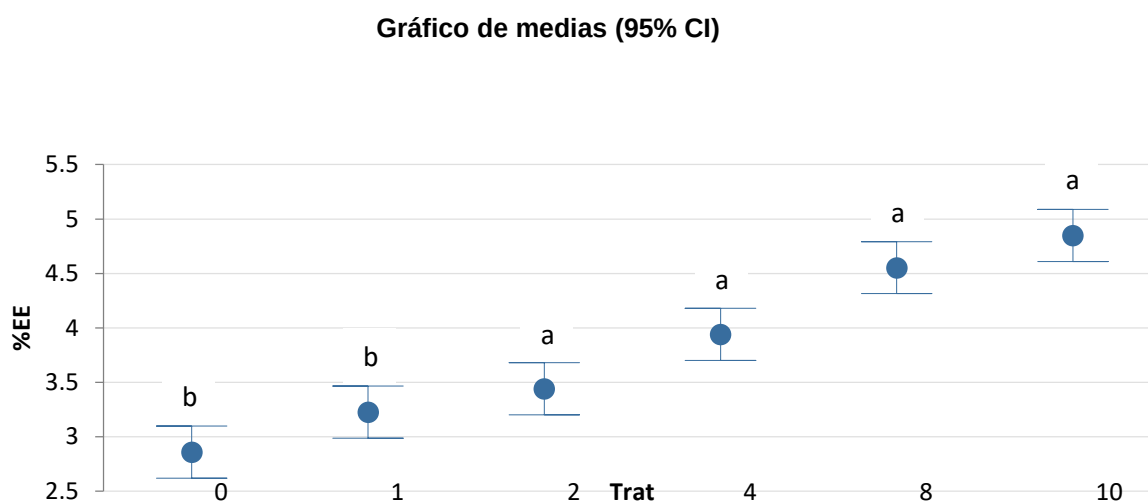


Figura 4.5. Medias del contenido de extracto etéreo en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (*Cannabis sativa L.*).

El comportamiento observado en esta variable se relaciona directamente con el contenido lipídico característico de la semilla de hemp, la cual posee una proporción considerablemente mayor de grasa en comparación con el maíz.

El hemp es reconocido por su contenido de ácidos grasos poliinsaturados, principalmente omega-3 y omega-6, los cuales representan una fracción importante de su composición lipídica (Farinon *et al.*, 2020). Debido a ello, la incorporación de harina de hemp en productos alimenticios suele generar incrementos en el contenido de extracto etéreo, especialmente cuando se utilizan niveles moderados o altos de inclusión.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Apostol *et al.* (2021), quienes observaron aumentos significativos en el contenido de grasa en productos enriquecidos con harina de hemp. De manera similar, Boukid *et al.* (2021) señalan que el uso de hemp en matrices alimentarias puede modificar el perfil lipídico del producto final debido a su elevado contenido de grasas insaturadas.

Desde el punto de vista nutricional, el incremento en extracto etéreo puede considerarse favorable, ya que no solo implica un aumento en el contenido de grasa total, sino también una posible mejora en la calidad lipídica del alimento. Los ácidos grasos esenciales presentes en el hemp han sido asociados con diversos beneficios para la salud, particularmente en relación con funciones metabólicas y cardiovasculares (Callaway, 2016).

Sin embargo, el aumento en el contenido de grasa también puede influir en ciertas propiedades tecnológicas y de estabilidad del producto, debido a la susceptibilidad de los ácidos grasos insaturados a procesos de oxidación. Por ello, resulta importante considerar aspectos como almacenamiento y vida útil en productos enriquecidos con este ingrediente.

En términos generales, los resultados indican que la incorporación de harina de hemp incrementa significativamente el contenido de extracto etéreo de las tortillas de maíz nixtamalizado, contribuyendo potencialmente a mejorar su perfil nutricional y funcional.

4.5 % Fibra cruda

El contenido de fibra cruda presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos evaluados, observándose un incremento conforme aumentó el nivel de incorporación de harina de hemp en las tortillas de maíz nixtamalizado. Los valores medios para esta variable se presentan en la figura 4.6.

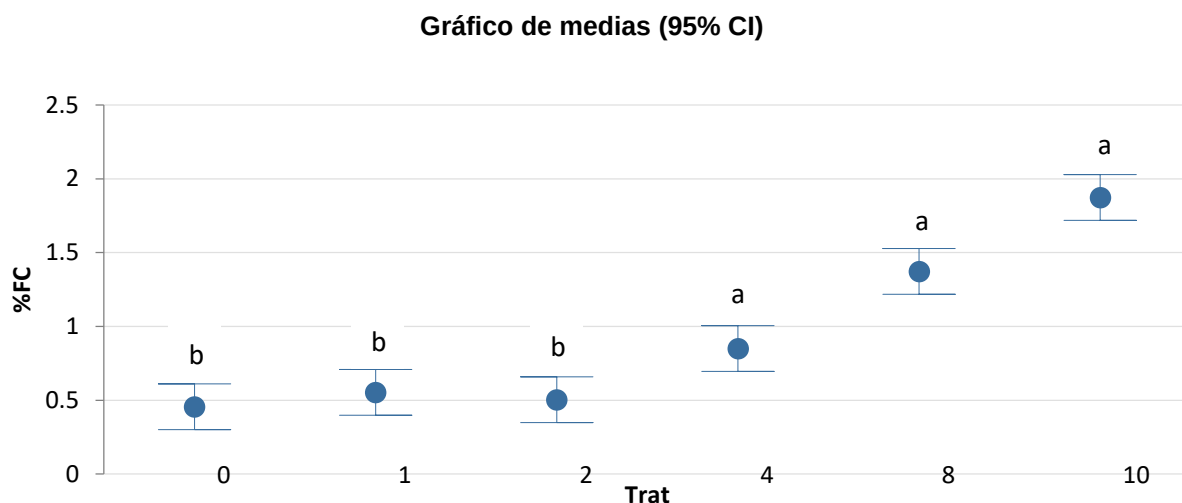


Figura 4.6. Medias del contenido de fibra cruda en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (*Cannabis sativa L.*).

Este comportamiento puede atribuirse al contenido de fibra dietética presente en la semilla de hemp, la cual contiene proporciones superiores a las encontradas en la harina de maíz convencional.

La fibra es uno de los componentes nutricionales más relevantes del hemp, ya que gran parte de su estructura está constituida por fracciones fibrosas insolubles y, en menor proporción, fibra soluble. Debido a ello, la incorporación de harina de hemp en productos alimenticios suele generar aumentos importantes en el contenido total de fibra (Farinon *et al.*, 2020).

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Boukid *et al.* (2021) y Apostol *et al.* (2021), quienes observaron incrementos significativos en el contenido de fibra en alimentos enriquecidos con hemp. Estos autores señalan que la adición de este ingrediente no solo mejora el valor nutricional del producto, sino que también puede contribuir al desarrollo de alimentos funcionales debido a sus efectos potenciales sobre la salud digestiva.

Desde el punto de vista nutricional, el incremento en fibra cruda representa una característica favorable, ya que la fibra dietética se asocia con beneficios relacionados con el funcionamiento gastrointestinal, la regulación del tránsito intestinal y el control de ciertos parámetros metabólicos. Además, el aumento en el contenido de fibra puede contribuir a generar mayor sensación de saciedad en el consumidor.

No obstante, el incremento de fibra también puede influir en algunas propiedades tecnológicas y sensoriales del producto, particularmente en textura y firmeza, debido a la capacidad de la fibra para modificar la retención de agua y la estructura de la masa. Estos efectos han sido reportados en diferentes estudios sobre incorporación de ingredientes ricos en fibra en productos derivados de cereales (Boukid *et al.*, 2021).

En conjunto, los resultados indican que la incorporación de harina de hemp constituye una estrategia efectiva para incrementar el contenido de fibra en tortillas de maíz nixtamalizado, fortaleciendo su potencial como alimento con valor nutricional mejorado.

4.6 % Extracto libre de nitrógeno (ELN)

El contenido de extracto libre de nitrógeno (ELN) presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos evaluados, observándose una tendencia a disminuir conforme aumentó el nivel de incorporación de harina de hemp en las tortillas de maíz nixtamalizado. Los valores medios obtenidos para esta variable se presentan en la figura 4.7

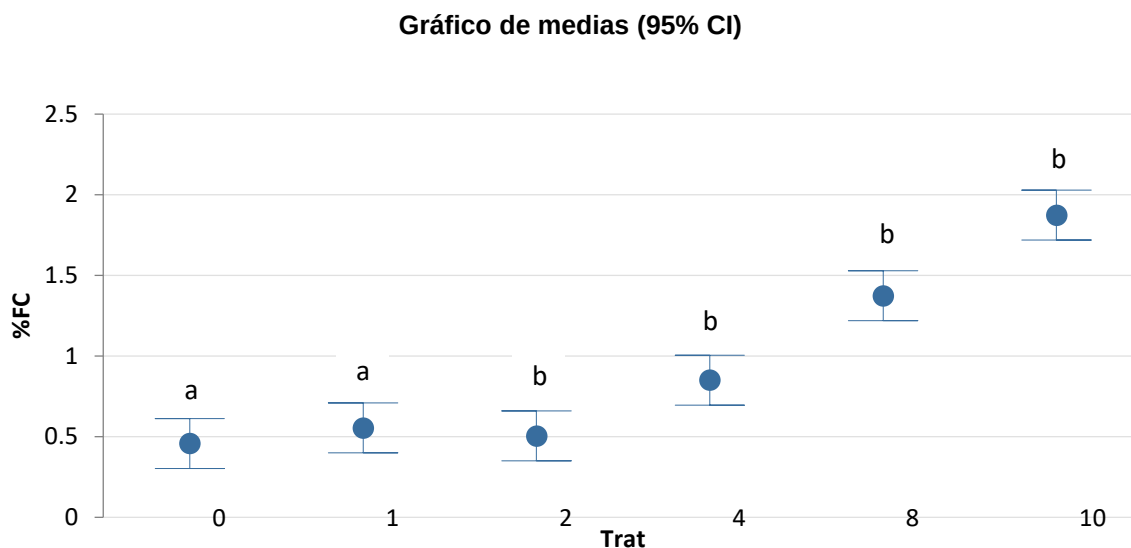


Figura 4.7. Medias del contenido de extracto libre de nitrógeno (ELN) en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (*Cannabis sativa* L.).

Este comportamiento puede explicarse por el efecto de sustitución generado al incorporar un ingrediente con mayor contenido de proteína, grasa y fibra en comparación con la harina de maíz.

El ELN representa principalmente la fracción de carbohidratos disponibles del alimento, calculada por diferencia a partir de los demás componentes del análisis proximal. En este sentido, al incrementarse variables como proteína cruda, extracto etéreo, fibra y cenizas debido a la adición de hemp, la proporción relativa de carbohidratos tiende a disminuir.

Resultados similares han sido reportados por Apostol *et al.* (2021) y Boukid *et al.* (2021), quienes observaron reducciones en el contenido de carbohidratos en productos enriquecidos con hemp, asociadas al incremento de otros componentes nutricionales presentes en este ingrediente. De manera similar, Farinon *et al.* (2020) señalan que la composición del hemp favorece un desplazamiento parcial de la fracción de carbohidratos cuando es incorporado en matrices alimentarias derivadas de cereales.

Desde el punto de vista nutricional, la disminución del ELN puede interpretarse como una modificación en la distribución de macronutrientes del producto, donde parte del contenido energético derivado de carbohidratos es sustituido por proteína, grasa y fibra. Esto podría contribuir a mejorar el perfil nutricional de la tortilla, particularmente en términos de balance de nutrimentos.

Asimismo, la reducción relativa de carbohidratos podría influir en ciertas propiedades tecnológicas y sensoriales del producto, debido a que los carbohidratos

participan en aspectos relacionados con textura y estructura de alimentos elaborados a base de cereales. Sin embargo, los resultados obtenidos sugieren que estas modificaciones ocurrieron sin afectar de manera importante variables básicas como humedad y materia seca total.

En conjunto, los resultados indican que la incorporación de harina de hemp modifica significativamente la composición proximal de las tortillas de maíz nixtamalizado, disminuyendo la proporción relativa de extracto libre de nitrógeno como consecuencia del incremento de otros componentes nutricionales.

4.7 Contenido energético (kcal/ 100 g)

El contenido energético presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos evaluados, observándose variaciones asociadas al nivel de incorporación de harina de hemp en las tortillas de maíz nixtamalizado. Los valores medios observados en esta variable se presentan en la figura 4.8.

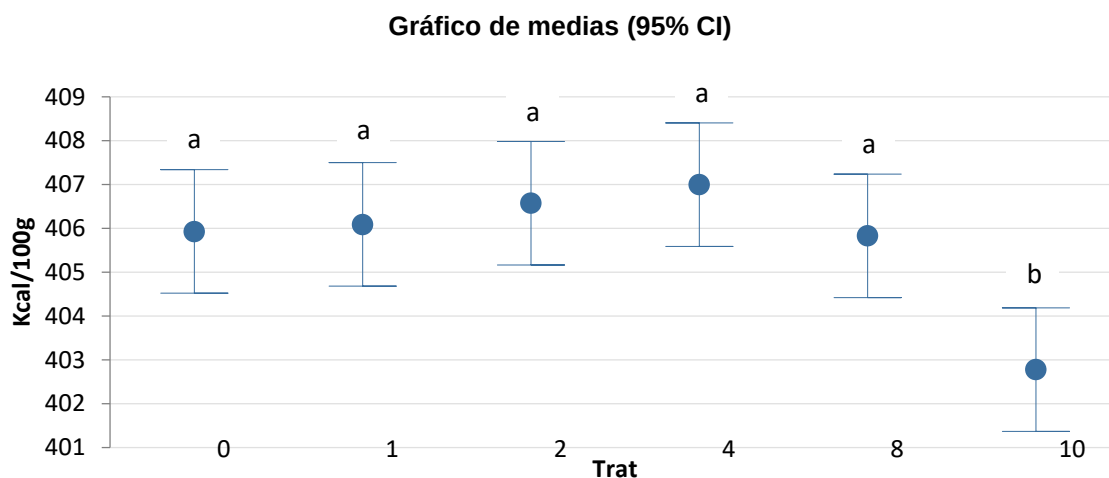


Figura 4.8. Medias del contenido energético en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con diferentes niveles de inclusión de harina de hemp (*Cannabis sativa* L.).

Estos cambios pueden atribuirse a las modificaciones en la composición proximal del producto, particularmente al incremento en componentes como proteína y extracto etéreo.

El valor energético de un alimento depende principalmente de la proporción de macronutrientes presentes, especialmente carbohidratos, grasas y proteínas. En el presente estudio, la incorporación de harina de hemp produjo incrementos en proteína y grasa, componentes que contribuyen directamente al aporte calórico del producto final. Particularmente, el aumento en extracto etéreo pudo tener una influencia importante sobre el contenido energético, debido a la alta densidad calórica de los lípidos en comparación con otros nutrimentos.

Resultados similares han sido reportados por Farinon *et al.* (2020) y Apostol *et al.* (2021), quienes señalan que la incorporación de hemp en productos alimenticios puede modificar el valor energético debido a su composición rica en proteína y grasas insaturadas. Asimismo, Boukid *et al.* (2021) mencionan que el hemp representa un ingrediente con potencial para mejorar el perfil nutricional y funcional de alimentos derivados de cereales.

Desde el punto de vista nutricional, las variaciones observadas en el contenido energético pueden considerarse relevantes, ya que la tortilla constituye una fuente importante de energía en la dieta diaria de la población mexicana. En este sentido, la incorporación de hemp no solo contribuye a incrementar ciertos nutrimentos, sino también a modificar la distribución energética del producto.

No obstante, aunque el contenido energético aumentó en algunos tratamientos, este comportamiento debe interpretarse en conjunto con la mejora en la calidad nutricional observada, particularmente por el incremento en proteína, fibra y ácidos grasos insaturados. Por ello, el uso de harina de hemp puede representar una alternativa viable para el desarrollo de productos con mayor valor nutrimental sin alterar de manera importante las características básicas de la tortilla tradicional.

En conjunto, los resultados indican que la incorporación de harina de hemp influye significativamente en el contenido energético de las tortillas de maíz

nixtamalizado, como consecuencia de los cambios generados en su composición química proximal.

V CONCLUSIONES

La incorporación de harina de hemp (*Cannabis sativa L.*) en tortillas de maíz nixtamalizado produjo modificaciones significativas en la composición química del producto, evidenciando el potencial de este ingrediente como alternativa para el enriquecimiento nutricional de alimentos tradicionales.

Los resultados obtenidos demostraron que el incremento en los niveles de inclusión de harina de hemp (1-10 %) generó aumentos significativos en el contenido de proteína cruda (de 8.26 % a 15.86 %), extracto etéreo (de 2.86 % a 4.90 %), fibra cruda (de 0.45 % a 1.87 %) y cenizas (1.63 % a 3.48 %) ($P < 0.05$). Por otro lado, el extracto libre de nitrógeno presentó una disminución (de 86.77 % a 74.00 %) asociada al efecto de sustitución entre componentes nutricionales ($P < 0.05$). En contraste, variables como materia seca total y humedad no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, indicando que la adición de hemp no modificó de manera importante las características básicas de estabilidad del producto.

El aumento en proteína cruda representó uno de los hallazgos más relevantes de la investigación, ya que confirma la capacidad del hemp para mejorar el aporte proteico de la tortilla de maíz nixtamalizado, incrementando su contenido de 8.26 % en la tortilla control hasta 15.86 % en las formulaciones con mayor inclusión. Además, considerando el perfil nutricional reportado para este ingrediente, su incorporación podría contribuir no solo al incremento cuantitativo de proteína, sino también a mejorar la calidad nutricional del alimento. Asimismo, el incremento observado en fibra y contenido mineral fortalece el valor nutrimental de las tortillas enriquecidas, lo que sugiere que la harina de hemp puede ser utilizada como ingrediente funcional en productos derivados de cereales.

Desde el punto de vista nutricional y funcional, los niveles intermedios de incorporación de harina de hemp mostraron un balance favorable entre el mejoramiento de la composición química y la conservación de las características generales de la tortilla de maíz nixtamalizado. Aunque los tratamientos con mayores niveles de inclusión presentaron incrementos más marcados en proteína, fibra y extracto etéreo, niveles moderados podrían representar una alternativa más adecuada

para el desarrollo de productos con valor nutricional mejorado sin generar modificaciones excesivas en las propiedades tradicionales del alimento. En este sentido, la harina de hemp presenta potencial para su utilización en el desarrollo de tortillas con enfoque funcional y nutricional.

En términos generales, la incorporación de harina de hemp, mejoró el perfil nutricional de las tortillas de maíz nixtamalizado y no afectó significativamente las variables, como: humedad y materia seca total.

LITERATURA CITADA

- Apostol, L., Popa, M. E., Mustatea, G. (2021). Hemp seed flour as a valuable ingredient for the development of functional foods. *Food Chemistry*, 352, 129345.
- Astudillo-Sánchez, P. D., Calderón-Domínguez, G., y Arámbula-Villa, G. (2018). Nutritional and functional properties of maize tortillas enriched with plant-based ingredients. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3456–3464.
- Boukid, F., Folloni, S., Sforza, S., Vittadini, E., y Prandi, B. (2021). Hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds as a functional ingredient in food: A review. *Trends in Food Science y Technology*, 112, 246–257.
- Callaway, J. C. (2016). Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, 140(1–2), 65–72.
- Farinon, B., Molinari, R., Costantini, L., y Merendino, N. (2020). The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition. *Nutrients*, 12(7), 1935.
- Fike, J. (2016). Industrial hemp: Renewed opportunities for an ancient crop. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 35(5-6), 406–424. doi.org
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), y World Health Organization (WHO). (2013). *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation*. FAO.
- Granato, D., Barba, F. J., Kovačević, D. B., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., y Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93–118.
- House, J. D., Neufeld, J., & Leson, G. (2018). Evaluating the quality of protein from hemp seed (*Cannabis sativa* L.) products through the protein digestibility-corrected amino acid score method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(22), 11801–11807.

- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., y Frias, J. (2020). Bioactive peptides in fermented foods: Production and evidence for health effects. *Food y Function*, 11, 119–133.
- Nielsen, S. S. (2017). *Food analysis* (5th ed.). Springer.
- Paredes-López, O., y Saharópulos, R. (2017). Maize: Chemistry and technology. Woodhead Publishing.
- Ribotta, P. D., Pérez, G. T., León, A. E., y Añón, M. C. (2019). Effect of added fiber on dough properties and bread quality. *Food Science and Technology International*, 25(5), 392–402.
- Rosado, J. L., Solomons, N. W., y Bourges, H. (2019). Nutritional value of maize and its role in human diets. *Food and Nutrition Bulletin*, 40(3), 341–350.
- Schaafsma, G. (2012). Advantages and limitations of the protein digestibility-corrected amino acid score (PDCAAS) as a method for evaluating protein quality in human diets. *British Journal of Nutrition*, 108(S2), S333–S336.
- Serna-Saldívar, S. O. (2016). *Cereal grains: Properties, processing, and nutritional attributes*. CRC Press.
- Small, E. (2015). *Cannabis: A complete guide*. CRC Press.
- Wolfe, R. R., Cifelli, A. M., Kostas, G., y Kim, I.-Y. (2017). Optimizing protein intake in adults: Interpretation and application of the recommended dietary allowance compared with the acceptable macronutrient distribution range. *Advances in Nutrition*, 8(2), 266–275.