UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

# DESARROLLO DE UNA BARRA FUNCIONAL A BASE DE HARINA DE HUITLACOCHE (Ustilago maydis) Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS, NUTRIMENTALES, FUNCIONALES Y SENSORIALES

Por:

**MAYRA CECILIA VILLAGRAN ARENAS**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Octubre 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

# DESARROLLO DE UNA BARRA FUNCIONAL A BASE DE HARINA DE HUITLACOCHE (Ustilago maydis) Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS, NUTRIMENTALES, FUNCIONALES Y SENSORIALES

Por:

**MAYRA CECILIA VILLAGRAN ARENAS**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Aprobada por el Comité Asesor:

DRA. XOCHITL RUELAS CHACON
Asesor Principal

M.C. OSCAR NOE REBOLLOSO PADILLA
Coasesor

DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO
Coasesor

M.C. PEDRO CARRILLO LOPEZ
Coordinador de la División de Ciencia Animal

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" COORDINACIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Octubre 2026

# DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citar; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



**Mayra Cecilia Villagran Arenas**

# AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la sabiduría, paciencia y sobre todo salud. También por ayudarme a superar etapas de la carrera donde crecía no poder superar. Ha sido muy bondadoso y yo muy afortunada de poder contar con el apoyo de mi familia, los cuales me impulsaban día con día a salir adelante y cumplir mi sueño.

A la ***Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro***, por tener la dicha de pertenecer a una escuela tan llena de oportunidades, y con una alta calidad en sus profesores y las enseñanzas de estos, Gracias a la Narro conocí a grandes personas que ahora puedo llamar amigos.

A ***mi familia*** por apoyarme en todo momento, gracias a ellos pude llegar hasta este punto y para mí son lo más importante en esta vida, no me alcanzan las palabras para agradecer lo mucho que me han dado no solo económicamente sino también el cariño, la paciencia y el amor que me ha hecho una mujer muy feliz y plena.

A la ***Dra. Xochitl Ruelas Chacón*** por su pasión a dar una enseñanza de calidad a sus alumnos, apoyo y comprensión. Por ayudarme en todo momento e incluso en sus peores días, siempre estar presente tanto como maestra, así como asesora, es un ejemplo para seguir en toda la extensión de la palabra tanto como maestra y una excelente persona.

Al ***M.C. Oscar Noe Rebolloso Padilla*** por el alentarme a sobresalir, y la ayuda brindada en la realización de esta tesis y demostrar que su profesión no se limita únicamente al salón de clases, si no a tener calidad de persona en todo momento como lo es el.

Al ***Dr. Neymar Camposeco Montejo*** *y* ***Dr. José Daniel Corona Flores***, por su apoyo y colaboración en este proyecto, así como la revisión de redacción de esta tesis, por su tiempo y su apoyo incondicional.

A mi mejor amigo **Jesús Martin Franco García** por ser siempre esa persona que me apoyaba desde la distancia y quien estoy segura que siempre estará a mi lado,

a mis amigas ***Verónica Medrano de la Cruz, Ana Cristina Velazco Lepe, Karla Mariela Martínez Cabrera, Karla Rendón Barranco, Martha Casiano Ramírez, Flor Cecilia Mendoza, Estela Silva Silva***, por todas aquellas risas, apoyo en materias y por hacer la vida más feliz y fácil en esta Ciudad que para todas las anteriores era nueva, y juntas supimos sobrellevar las dificultades apoyándonos como amigas y compañeras que somos las amo y de verdad siempre las llevare en mi corazoncito.

# DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico con todo mi cariño y amor a mi hermano menor ***Julio Gabriel Villagrán Arenas***, quien representa una de las personas más importantes y valiosas en mi vida. Durante cada etapa de este proceso académico, él fue mi mayor inspiración, mi fortaleza y la razón principal que me impulsó a continuar aun en los momentos más difíciles. Cada día, al despertar, pensaba en su sonrisa, en su futuro y en el deseo inmenso de convertirme en un ejemplo digno para él, alguien en quien pueda confiar, admirar y encontrar apoyo incondicional.

El amor que siento por mi hermano va más allá de las palabras, porque él se ha convertido en el motor que impulsa cada uno de mis esfuerzos, sacrificios y metas. Pensar en brindarle un futuro lleno de oportunidades, bienestar y felicidad me motivó constantemente a no rendirme y a luchar con determinación por alcanzar este logro académico. Su existencia le da sentido a mis sueños y fortalece mi deseo de crecer personal y profesionalmente cada día.

A lo largo de este camino, comprendí que cada sacrificio vale la pena cuando se realiza por las personas que más amamos. Por ello, este trabajo también simboliza la promesa de seguir esforzándome para construir un mejor futuro, no solo para mí, sino también para él. Gabi es y será siempre una de las mayores bendiciones de mi vida, mi adoración, mi orgullo y la razón que me inspira a ser una mejor persona día con día.

A mi madre ***Senorina Arenas Ariza*** por todo el amor, cariño y comprensión que me dio durante toda la carrera y principalmente el apoyo y los consejos para llevar mi vida de foránea más cómoda y fácil. Gracias a ella soy la mujer de un día, y agradezco tanto sus regaños y así también halagos, es uno de los pilares más importantes en mi vida y por acompañarme durante cada etapa de mi formación, desde pequeña hasta ahorita que concluyo mi formación u8niversitaria, la amo profundamente y una de mis mayores inspiraciones para seguir adelante y convertirme cada día en una mejor mujer. Gran parte de lo que soy y de lo que aspiro a ser se lo debo a su ejemplo a tus enseñanzas y a la fortaleza con la que siempre ha enfrentado la vida. Este logro también es de ella porque detrás de cada

paso que di estuvo su amor sus palabras y su amor incondicional, espero algún día ser una mujer tan buena, fuerte y valiosa como mi mami.

A mi hermana ***Dulce Aidé Villagrán Arenas*** por todo su apoyo y ayuda en todo momento, es una persona muy especial, porque siempre me escuchaba en momentos buenos y también malos siempre estuvo conmigo.

A mi hermana ***Karina Lizbeth Villagrán Arenas*** por las llamadas que me hacían pasar de un día pesado a uno muy feliz, olvidando la tristeza o el estrés que a veces causaban las materias difíciles. Así como el apoyo que me brindo y por creer siempre en mí.

A mi hermana ***Sonia Guadalupe Villagrán*** Arenas, por su cariño y ayuda que siempre estuvo a mi disposición y a su hijo ***Jonathan Daniel Martínez Villagrán*** por su cariño y sus risas que me alegraban el corazón.

A mi hermano ***Luis Antonio Villagrán Arenas*** es un pilar importante en mi formación profesional, gracia a usted, estoy donde estoy; sin su apoyo no habría logrado tanto. Y a su hijo ***Sebastián Alejandro Villagrán Rosales,*** por sus momentos felices que siempre me sacaban una sonrisa.

A memoria de mi padre ***José Luis Villagrán Mendoza*** el cual todo el tiempo creyó en mí, y me dio palabras de aliento y motivación. El hizo que creyera en mí, incluso desde antes de ingresar a la UAAAN e hizo que mi vida fuera tan bonita y alegre con su adorable sonrisa. Lo admiro profundamente por la persona que fue, por su fortaleza, sus valores y por la manera tan bonita de motivarme para estudiar, y dejar una huella tan importante en mi vida. Por siempre animarme a seguir adelante, y que era la mejor si así me lo proponía. Desde el fondo de mi corazón espero que desde donde se encuentra, este tan orgulloso de mí como yo lo estuve siempre de él.

# RESUMEN

El huitlacoche (*Ustilago maydis*) es un alimento tradicional de la gastronomía mexicana con alto valor nutrimental y funcional. En este trabajo se desarrollaron barras funcionales a base de harina de huitlacoche y se evaluaron sus propiedades físicas, bromatológicas, funcionales y sensoriales. Se formularon tres tratamientos: una barra control elaborada con harina de avena, una formulación con 50% harina de avena y 50% harina de huitlacoche, y una formulación con 100% harina de huitlacoche. Los resultados físicos mostraron diferencias entre tratamientos en color y firmeza; la luminosidad disminuyó de 40.92 en la muestra control a 28.85 en la formulación intermedia y a 20.9 en la muestra con 100% harina de huitlacoche, mientras que la firmeza varió de 16.05 en el control a 9.55 en la formulación 50/50 y 6.35 en la formulación con 100% harina de huitlacoche. El grosor se mantuvo constante en las tres muestras (1.63 cm).

En el análisis bromatológico, la materia seca total fue mayor en el control (91.8) y menor en la muestra con 100% harina de huitlacoche (89.5), mientras que la humedad se mantuvo por debajo de 15% en todos los tratamientos (10.95, 9.1 y 8.2), por lo que cumplieron con la especificación de referencia. El contenido de cenizas fue mayor en la formulación 50/50 (1.7), seguido del tratamiento con 100% harina de huitlacoche (1.4) y del control (1.1). La fibra fue superior en las barras con harina de huitlacoche (1.15 y 1.05) respecto al control (0.28). Asimismo, el contenido de grasa fue más alto en los tratamientos con huitlacoche (35.98 y 36.78) que en el control (20.9), y la proteína presentó su valor máximo en la formulación 50/50 (1.94), seguida de la muestra con 100% harina de huitlacoche (1.68) y el control (1.46).

Desde el punto de vista funcional, la formulación con 100% harina de huitlacoche presentó los valores más altos de vitamina C (3.06 mg), acidez titulable (3.1093), polifenoles (237.33) y flavonoides (115), mientras que la formulación 50/50 mostró la mayor capacidad antioxidante (56.77). En la evaluación sensorial, las barras con

harina de huitlacoche obtuvieron buena aceptación. La formulación 50/50 destacó en apariencia global (4.92), mientras que la formulación con 100% harina de huitlacoche obtuvo las calificaciones más altas en color (4.93) y sabor (4.93). En conjunto, los resultados indican que la harina de huitlacoche es un ingrediente viable para el desarrollo de barras funcionales con propiedades nutricionales, funcionales y sensoriales favorables.

**Palabras clave**: Huitlacoche *(Ustilago maydis)*, barra funcional, fibra, proteína, lípidos, vitaminas

Correos electrónicos: Mayra Cecilia Villagrán Arenas (tesista: mayrinvillagran@gmail.com) Dra. Xochitl Ruelas Chacón (asesora principal: xruelaschacon@gmail.com, xochitl_ruelas@uaaan.edu.mx )

# ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO ..... 3
AGRADECIMIENTOS ..... 4
DEDICATORIA ..... 6
RESUMEN ..... 8
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN ..... 15
1.1. Antecedentes del huitlacoche ..... 15
1.2 Hipótesis ..... 18
1.3 Objetivos ..... 18
1.4 Justificación ..... 19
CAPITULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA. ..... 20
2.1. Hongos comestibles ..... 20
2.1.1 Historia de los hongos ..... 21
2.1.2 Propiedades de los hongos ..... 22
2.1.3 El huitlacoche el diamante negro ..... 23
2.1.4 Consumo del huitlacoche en México ..... 25
2.1.5 Producción del hongo en México ..... 26
2.1.6 Gastronomía Mexicana ..... 28
2.1.7 Información nutricional ..... 29
2.2. Barras nutricionales ..... 30
2.2.1. Definición ..... 30
2.2.2. Tipos de barras ..... 32
2.2.3. Aporte nutricional ..... 32
2.3. Un snack saludable ..... 33
2.3.1. Ingredientes principales ..... 34
2.3.1.1. Avena ..... 34
2.3.1.3. Nuez ..... 36
2.3.1.4. Miel de agave ..... 36
2.3.1.5. Chía ..... 37
2.3.1.6. Arándanos deshidratados ..... 38
2.3.1.7. Otros ingredientes ..... 39
CAPITULO III. METODOLOGIA. ..... 40

3.1 Materiales utilizados ..... 40
3.1.1 Equipos ..... 40
3.1.2 Ingredientes para preparación de las barras ..... 41
3.1.3 Material de laboratorio ..... 41
3.1.4 Reactivos ..... 41
3.2. ETAPA 1-. SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA ..... 41
3.2.1. Caracterización de la harina de huitlacoche ..... 41
3.3. ETAPA 2-. PREPARACION DE MUESTRAS ..... 42
3.4. ETAPA 3.- ANALISIS QUIMICO DE LAS MUESTRAS ..... 43
3.4.1 Determinación de °Brix ..... 43
3.4.2 Análisis de parámetros de color ..... 44
3.4.3 Medición de grosor ..... 44
3.4.4 Determinación de firmeza ..... 44
3.5. ETAPA 4.- ANALISIS BROMATOLÓGICO ..... 45
3.5.1 Análisis de la materia seca total ..... 45
3.5.2 Determinación de humedad ..... 46
3.5.3 Cuantificación de cenizas ..... 46
3.5.4 Determinación de fibra ..... 47
3.5.5 Análisis de grasa ..... 48
3.5.6 Cuantificación de proteína ..... 49
3.5.7 Determinación del contenido energético ..... 50
3.6. ANALISIS FUNCIONAL ..... 50
3.6.1 Determinación de vitamina C ..... 50
3.6.2. Análisis de polifenoles ..... 51
3.6.3. Cuantificación de flavonoides ..... 51
3.6.4. Capacidad antioxidante ..... 51
3.7. EVALUACIÓN SENSORIAL ..... 52
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 53
4.1 PARAMETROS FISICOS EVALUADOS ..... 53
4.1.1 Determinación de °Brix ..... 53
4.1.2 Análisis de parámetros de color ..... 54
4.1.3 Medición de grosor ..... 55
4.1.4 Determinación de firmeza ..... 56

4.2. ANALISIS BROMATOLOGICO.....57
4.2.1 Análisis de materia seca total.....57
4.2.2 Cuantificación de cenizas.....58
4.2.3 Determinación de humedad.....58
4.2.4 Determinación de fibra.....59
4.2.5 Análisis de grasas.....60
4.2.6 Cuantificación de proteína.....61
4.2.7 Determinación del contenido energético.....62
4.3. ANALISIS FUNCIONAL.....62
4.3.1 Determinación de vitamina C.....63
4.3.2 Cuantificación de acidez titulable.....64
4.3.3 Análisis de polifenoles.....65
4.3.4 Cuantificación de flavonoides.....66
4.3.5 Análisis de la capacidad antioxidante.....67
5.1 EVALUACION SENSORIAL.....68
5.1.1 Atributo de apariencia global.....69
5.1.2 Descriptor de color.....70
5.1.3 Atributo de olor.....71
5.1.4 Descriptor de sabor.....72
5.1.5 Atributo de textura.....73
5.1.6 Descriptor de aceptación global.....74
5.1.7. Preferencia de las barras elaboradas.....75
5.1.8. Análisis de Componentes Principales (ACP).....76
CAPITULO V. CONCLUSIONES.....84
CAPITULO VI. FUTURAS INVESTIGACIONES.....85
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....87
CAPÍTULO VIII. ANEXOS.....94

# Índice de Figuras

Figura 1 Mazorca con el hongo ( U. maydis)/ mazorca libre de hongo ..... 24
Figura 2 Agallas del hongo ..... 26
Figura 3 Inyección del hongo al tallo de la planta ..... 28
Figura 4 Tacos de huitlacoche ..... 29
Figura 5 Avena comestible ..... 35
Figura 6 Nuez pecana ..... 36
Figura 7 Agave azul ..... 37
Figura 8 Semilla de chia ..... 38
Figura 9 Arandanos ..... 38
Figura 10 Estufa ..... 42
Figura 11 Harina de huitlacoche ..... 42
Figura 12 Barras de huitlacoche ..... 43
Figura 13 Refractometro ..... 44
Figura 14 Calibrador Vernier ..... 44
Figura 15 Materia seca obtenida ..... 45
Figura 16 Peso diferenciado de las muestras para analisis de humedad ..... 46
Figura 17 Calcinacion de la muestra ..... 47
Figura 18 Obtencion de fibra ..... 48
Figura 19 Obtencion de grasa ..... 49
Figura 20 Etapa de destilacion de proteina ..... 50
Figura 21 Cuantificacion de vitamina C ..... 51
Figura 22 Evaluacion sensorial. ..... 52
Figura 23 Comportamiento de L ..... 54
Figura 24 Comportamineto de a ..... 55
Figura 25 Comportamiento de b ..... 55
Figura 26 Analisis de grosor ..... 56
Figura 27 Comportamiento de firmeza ..... 56
Figura 28 Comportamiento de MST ..... 58
Figura 29 Comportamiento de cenizas ..... 58
Figura 30 Comportamiento de humedad ..... 59
Figura 31 Comportamiento de fibra ..... 60
Figura 32 Comportamiento de grasa ..... 61
Figura 33 Comportamiento de proteina ..... 62
Figura 34 Cantidad de kilocalorias en cada muestra ..... 62
Figura 35 Comportamiento de Vitamina C ..... 64
Figura 36 Comportamiento de acidez titulable ..... 65
Figura 37 Cantidad de polifenoles en cada una de las muestras ..... 66
Figura 38 Cantidad de flavonoides en cada una de las muestras ..... 67
Figura 39 Capacidad antioxidante en cada muestra ..... 68

Figura 40 Comportamiento del parametro apariencia global ..... 69
Figura 41 Comportamiento del parametro color ..... 71
Figura 42 Comportamiento del parámetro de olor ..... 71
Figura 43 Comportamiento del paraemtro sabor ..... 72
Figura 44 Comportamiento del parametro textura ..... 73
Figura 45 Comportamiento del parametro de aceptacion global ..... 74
Figura 46 Nivel de preferencia ..... 76
Figura 47 Grafico de sedimentacion: (Scree Plat) de los componentes principales 77
Figura 48 Grafico de valores atipicos (Outlier Plat) mediante distancia de Mahalanobis. ..... 78
Figura 49 Biplot de los valores sensoriales y observaciones del panel ..... 79
Figura 50 Grafico de cargas (Loading Plat) de las variables sensoriales ..... 80
Figura 51 Grafico de puntuaciones (Score Plot) de los tratamientos evaluados. . 81
Figura 52 Grafico de puntuaciones (Score Plot) por panelista individual ..... 82

# Índice de Cuadros

Cuadro 1..... **¡Error! Marcador no definido.**

# CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes del huitlacoche

El Huitlacoche es conocido como el diamante negro de México y a su vez el manjar prehispánico de nuestro país, ya que su consumo es endémico y se considera uno de los tantos tesoros culinarios de México. Es un hongo considerado como una delicadeza en la gastronomía del país (SADER, 2023).

Las diversas culturas establecidas en el altiplano mexicano han valorado y consumido el hongo como alimento tradicional durante siglos. El huitlacoche es un hongo que se desarrolla en las mazorcas de maíz, dando lugar a una masa negra y comestible con un sabor único (Lopez- Martinez, 2022).

En la época de la Colonia y hasta el siglo XIX, el huitlacoche fue alimento de subsistencia para los indígenas y campesinos, y hasta el siglo XX empieza a adquirir "autonomía cultural", pero no por ello deja de ser considerado un manjar (SADER, 2016).

El huitlacoche es causado por la infección del hongo *Ustilago maydis* en los jilotes de maíz, su nombre proviene de "cuitla" (suciedad o basura) y "cochtli" (dormir) (SADER, 2023). El huitlacoche (*Ustilago maydis*) es un hongo (basidiomiceto) que infecta al maíz (principalmente a la planta joven, la cual desarrolla malformaciones), inicialmente de color gris pálido, pero a medida que madura obtiene el color negro que lo caracteriza (Lopez- Martinez, 2022).

Los hongos funcionales son ampliamente consumidos en regiones locales de México, y el huitlacoche (*Ustilago maydis*) es un hongo que se consume tradicionalmente en productos nixtamalizados como tortillas, totopos, huaraches y tlacoyos (Amador, Perez, Guevara, & Martinez, 2019).

En un sistema agroecológico de cultivo el hombre aprovechó todo cuanto en él crecía en vez de dedicar su esfuerzo al cuidado de una sola especie, el maíz, eje principal de este agroecosistema. Un organismo beneficiado por este espacio

biocultural fue el hongo (*Ustilago maydis*), conocido en el mundo como carbón común del maíz y en México como cuitlacoche o huitlacoche. Al desarrollarse en la mazorca este microorganismo provoca respuestas humanas opuestas, mientras que en México se aprovecha como alimento (Salazar, Mendez, Alvarez, & Sanchez, 2021).

Se han demostrado propiedades funcionales del huitlacoche como: antioxidante, hipocolesterolemia, inmunomoduladora, anticancerígena, antiinflamatoria, antimicrobiana, antidiabética y antihipertensiva (Lopez- Martinez, 2022).

El huitlacoche es una delicia comestible en la gastronomía mexicana, consumido fresco, hervido o en infusiones (SADER, 2023).

Este hongo comestible presenta un atractivo perfil nutrimental; los contenidos de proteína (10-16%) y fibra son elevados (25-55%) y posee buenos niveles de ácidos grasos esenciales (oleico y linoleico que son fuentes de Omega 3 y Omega 6, respectivamente) y de azúcares de fácil digestión; también es rico en minerales, principalmente calcio y fósforo (Salazar, Mendez, Alvarez, & Sanchez, 2021).

Aporta de seis a diez veces más aminoácidos, ácidos grasos y carbohidratos esenciales en comparación con el maíz, lo que lo hace beneficioso para la salud. Fibra dietética, que ayuda en la digestión y promover la sensación de saciedad, lo que es beneficioso para el control del peso. También sirve de gran aporte de vitaminas del complejo B, como el niacina (vitamina B3), que es esencial para el metabolismo de los nutrientes y la salud de la piel (SADER, 2023).

Contiene ácidos grasos esenciales (Omega 3 y Omega 6), es rico en aminoácidos, es bajo en grasas, contiene fósforo y vitamina C (SADER, 2016).

Uno de los aspectos más explotados es su utilización como alimento humano, por su fácil y masiva propagación en sustratos naturales y sus características organolépticas, nutricionales y medicinales (Perez, 2013).

Durante los últimos años ha surgido la necesidad de elaborar, estudiar o redescubrir los alimentos que, además de proporcionarnos los beneficios nutricionales que los caracterizan, puedan cumplir una función específica, como mejorar la salud o reducir el riesgo de contraer enfermedades (Juarez, Rubiola de Leon, & Villa, 2021).

La obesidad en México es un problema de salud considerada una de las más graves e importantes del siglo XXI, esta ataca a personas de todas las edades, principalmente a infantes se produce como consecuencia de la combinación de una serie de factores dietéticos tales como hábitos alimenticios inadecuados y sedentarismo, alteraciones sociológicas, metabólicas y neuroendocrinas junto con la complejidad genética individual y factores psicológicos, provocando en ocasiones déficit nutricional (Mercado, 2023).

En esta era de hábitos dietéticos interculturales, este ingrediente fúngico ha alcanzado una popularidad sin precedentes. Los gourmets anhelan su característico sabor a hongos umami, mientras que los escépticos critican su estado nutricional y de seguridad. En comparación con su potencial alimentario funcional (Patel, 2016).

En 2018 el consumo de barras de cereales o nutricionales aumentaron, debido a su nombramiento de alimento saludable; por el contrario, el consumo de comida chatarra disminuyo en alimentos como dulces, pasteles y tartas (Jensen & B, 2021).

Las barritas de cereales destacan entre las comidas rápidas por su contenido nutricional equilibrado y su comodidad. Una barra de cereal se considera una opción práctica para una comida rápida debido a su alto valor nutricional, las barras de cereales pueden considerarse una buena fuente de carbohidratos y pueden favorecer la recuperación de energía después del ejercicio cuando se utilizan como complemento alimenticio (Silva, Viviane dos, & Marney, 2015).

El desarrollo de productos saludables es una prioridad para la industria alimentaria (Rabeta & Tee, 2015), Las barritas de frutas son productos muy aceptables que se habían desarrollado previamente a partir de muchos tipos de frutas, pero no de hongos como lo es el huitlacoche, por lo que es un ingrediente innovador

demostrando cumplir funciones antioxidantes, inmunoreguladoras, anticancerígenas y también prebióticas (Bolivar & Parco, 2019).

Con los antecedentes anteriores se pudieron plantear las siguientes **hipótesis**:

## 1.2 Hipótesis

**Ho:** Al menos una de las barras a base de harina de huitlacoche aporta mayor contenido nutricional y funcional que barras comerciales elaboradas a base de otras fuentes como trigo, avena o granola.

**Ha:** Ninguna de las barras a base de harina de huitlacoche aportó mayor contenido nutricional y funcional que barras comerciales elaboradas a base de otras fuentes como trigo, avena o granola.

Para poder comprobar la hipótesis que se aceptará o en su caso rechazará se establecieron los siguientes **objetivos**:

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Evaluación de las características de calidad nutrimental, funcional y sensorial de las barras funcionales.

### 1.3.2 Objetivos específicos

1. Definir formulaciones de las barras funcionales (harina de huitlacoche, avena, arándano, chía, nuez, y miel de agave).
2. Determinar un análisis proximal (fibra dietética, proteína, grasa, humedad, carbohidratos, contenido calórico, actividad de agua, color, textura (firmeza)).
3. Analizarlos componentes funcionales: polifenoles, flavonoides y capacidad antioxidante.

4. Evaluar la calidad sensorial de las barras funcionales.

## 1.4 Justificación

En la actualidad el consumo de alimentos chatarra forma parte de nuestra dieta diaria, debido a las costumbres y nuevos hábitos que la población ha ido adquiriendo durante los últimos años, dependiendo también del lugar geográfico donde nos encontremos, ya que, estudios recientes afirman que en ciudades grandes de nuestro país es donde se concentra la mayor adquisición de estos alimentos, en comparación de pueblos más rurales donde aún no es tan común el consumo de estos alimentos. Que con el paso del tiempo y su alto consumo son responsables de muchas de las enfermedades crónicas o degenerativas.

La creación de alimentos funcionales es de suma importancia para dar a los consumidores una alternativa de un snack saludable que les brinda nutrientes al cuerpo. Con esto se conseguirá que las personas remplacen alimentos chatarra por una barra funcional, la cual contiene propiedades beneficiosas a la salud, principalmente antioxidantes que ayudan a la regeneración de células del cuerpo humano.

# CAPITULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

## 2.1. Hongos comestibles

México es el segundo país en diversidad de especies vegetales, así como los hongos y han sido históricamente parte de las dietas de comunidades indígenas y rurales, principalmente en el centro y sur del país (Venegas, Valverde, Paredes, & Pataky, 2014).

Los hongos constituyen el segundo grupo más grande de organismos vivos en la Tierra, y algunos de ellos son comestibles y han sido consumidos como alimento por los humanos desde tiempos ancestrales (Villagran, Martinez, Gomez, & Rios, 2023).

A escala global, se ha incrementado el número de estudios que enfatizan la importancia del consumo de alimentos silvestres, señalando sus beneficios nutricionales su contribución a la seguridad alimentaria como respuesta a la escasez de alimentos en la conservación de la biodiversidad y la cultura en relación con los conocimientos, prácticas tradicionales y en su contribución a las economías locales (Valverde & Paredes, 2013).

Actualmente, se han reportado 2189 especies de hongos comestibles en todo el mundo; después de China, México ocupa el segundo lugar en cuanto al patrimonio biocultural de hongos comestibles, donde se consumen 450 especies de hongos como alimento, incluyendo un amplio consumo y comercialización de *Ustilago maydis* (Villagran, Martinez, Gomez, & Rios, 2023).

Los hongos comestibles (hongos cultivados y silvestres) son ampliamente consumidos en muchos países y la cantidad consumida ha aumentado considerablemente debido a su buen sabor, facilidad de compra y atractivo como alimentos funcionales, ya que son bajos en calorías, sodio, grasas y colesterol a la

vez que altos en proteínas, carbohidratos, fibra, vitaminas y el importante contenido de aminoácidos esenciales (Suphaphil, 2016).

El incremento el uso de este hongo en consumidores y chefs de diferentes países incluyen ingredientes silvestres como parte de las nuevas experiencias gastronómicas, señalando aspectos sensoriales, culturales, sociales e históricos. Dada su riqueza en diversidad de hongos, México ha sido pionero en los estudios sobre los recursos micológicos, destacando trabajos sobre los conocimientos etnomicológicos de las comunidades indígenas y el uso de especies de hongos comestibles. Las cocinas son espacios que han permitido la preservación de la cultura y las prácticas culinarias, y la cocina mexicana es un claro ejemplo (Molina, Espinoza, & Thomé, 2023).

En la gastronomía tradicional mexicana están muy presentes los alimentos provenientes de la recolección, que pueden provenir de la milpa tradicional como quelites (verduras comestibles no cultivadas que crecen espontáneamente en milpas o de áreas silvestres o de bosques como es el caso de las setas silvestres comestibles., países como Estados Unidos han denominado al huitlacoche como la trufa mexicana, hongo azteca o caviar azteca, el cual hace referencia a su lugar de origen y popularidad que es México (Venegas, Valverde, Paredes, & Pataky, 2014).

### 2.1.1 Historia de los hongos

Los hongos silvestres comestibles han sido los macro hongos, hongos superiores u hongos son un grupo de organismos del reino de los hongos generalmente agrupados en familias: Ascomycota y Basidiomycota, que en condiciones especiales desarrollan un cuerpo fructífero de tamaño suficiente para ser visto a simple vista o al tacto, que crecen bajo el suelo se denominan hipogeos o sobre el suelo llamados epigeos (Martinez, Chavez, & Kumar, 2021).

En diferentes regiones del mundo, la demanda y el consumo de hongos se relacionan en su mayoría con diferentes características como: sabor atractivo, producto muy accesible y comercializable, bajo contenido calórico, sódico, lipídico y

colesterol y mayor contenido proteico, complementado con un adecuado contenido de aminoácidos, fibra y vitaminas (Rutles, Smiderle, & Marcello, 2016).

Los hongos como los champiñones, las ostras y los champiñones de paja de arroz, etc., son una fuente importante de nutrientes y compuestos sabrosos, especialmente en lo que respecta a su alto contenido en proteínas, su contribución a aminoácidos esenciales y su presencia de carbohidratos, fibras, vitaminas y minerales importantes (Rutles, Smiderle, & Marcello, 2016).

Por su parte los hongos han sido un componente alimenticio en diferentes culturas dietéticas desde la antigüedad en todo el mundo (Martinez, Chavez, & Kumar, 2021).

Así como los cultivos de cereales son particularmente susceptibles a grandes pérdidas por tizón, incluyendo trigo, cebada, avena, centeno, sorgo, mijo, arroz y el maíz. En el caso de este último alimento también es infectado por *Ustilago maydis* el cual produce deformaciones en los granos de la mazorca del maíz, para después convertirse en una guarnición o un condimento interesante el cual combinado con otros alimentos resulta en un manjar (Valverde & Paredes, 2013).

### 2.1.2 Propiedades de los hongos

La nueva tendencia de los consumidores preocupados por la salud ha llevado al uso de alimentos funcionales y medicina complementaria o alternativa (Rutles, Smiderle, & Marcello, 2016).

Los hidratos de carbono de los hongos son aldehídos o cetonas polihidroxilados y sus derivados que, dependiendo de sus grados de polimerización, se pueden dividir en mono, di, oligo o polisacáridos (Salazar, Mendez, Alvarez, & Sanchez, 2021).

La composición química de los hongos difiere de una especie a otra. Esta composición química está influenciada por diferentes factores incluyendo la estructura del medio, la relación carbono/nitrógeno, la temperatura, el pH, la composición del aire, etc. Dichas influencias han sido revisadas y categorizadas

como intrínsecas y externas, lo que beneficia a todos aquellos manipuladores, practicantes, profesionales, investigadores, científicos, académicos y pueblos industriales que están interesados en el cultivo de hongos y las industrias agroalimentarias basadas en hongos (Martinez, Chavez, & Kumar, 2021).

El potencial alimenticio del huitlacoche se describe aquí en términos de su composición química, que incluye carbohidratos, proteínas, grasas. Por ejemplo la glucosa, la fructosa, la maltosa, la ramnosa, la arabinosa, la sacarosa, el manitol, la tremalosa y la xilosa se han reportado como los principales carbohidratos de los hongos (Paredes, Pataky, Guevara, & Valverde, 2019).

Los hongos como los champiñones, las ostras y los champiñones de paja de arroz, etc., son una fuente importante de nutrientes y compuestos sabrosos, especialmente en lo que respecta a su alto contenido en proteínas, su contribución a aminoácidos esenciales y su presencia de carbohidratos, fibras, vitaminas y minerales importantes (Amador, Perez, Guevara, & Martinez, 2019).

Durante el desarrollo normal de los hongos, diferentes enzimas actúan como proteínas ribosómicas inactivadoras cuya funcionalidad está ligada irreversiblemente a las estructuras ribosómicas, promoviendo la eliminación de adenina en el ARN y, por lo tanto, evitando la síntesis de proteínas (Mendez & Sanchez, 2025).

### 2.1.3 El huitlacoche el diamante negro

Huitlacoche o cuitlacoche proviene de la palabra náhuatl (la lengua de los mexicas o aztecas) "cuitlacochin" o "cuitlacuchtli" que significa "mazorca de maíz degenerada" (Golukcu, 2017).

En una mazorca sana los granos de maíz se observan de color similar y uniforme normalmente (fig. 1). El organismo causal de la enfermedad del carbón del maíz, que provoca daños severos en las plantas de maíz y es un parásito exclusivo de este cultivo y de su antecesor, es el teosinte. Los signos más evidentes que produce la enfermedad del carbón del maíz son tumores con teliosporas diploides oscuras,

principalmente en las mazorcas de maíz (fig. 1), pero también puede infectar todas las partes de la planta de maíz, incluidos tallos, hojas y borlas; la planta de maíz puede ser infectada por este hongo en todas las fases fenológicas debido a la capacidad de *U. maydis* para cambiar de la forma similar a la levadura, (no patógena) a la forma celular filamentosa (Villagran, Martinez, Gomez, & Rios, 2023).



*Figura 1 Mazorca con el hongo ( U. maydis)/ mazorca libre de hongo*

El huitlacoche se procesa y se vende fresco en los mercados de México. El interés ha aumentado recientemente en la producción

de *U. maydis* como un hongo especial en los Estados Unidos (Pataky & Chandler, 2017).

Los productores tradicionales de maíz recolectan y comercializan el huitlacoche después de una infección natural. Alrededor de 400 a 500 toneladas de huitlacoche se venden anualmente durante julio y agosto en los mercados de la Ciudad de México (Stnetselaar & Pataky, 2009).

Una gran ventaja en la producción del hongo es que el ciclo de crecimiento del maíz es de nueve meses en Valles Altos, pero el huitlacoche solo necesita cuatro meses y medio. En cuanto a su cultivo, se encuentra naturalmente en la temporada de lluvias de julio, agosto y septiembre, lo que significa que es un hongo dismórfico que requiere temperaturas de 20-30°C y humedad relativa del 77-80% (SADER, 2023).

Las zonas centrales de México (Puebla, México, Morelos e Hidalgo) son ideales para el cultivo del huitlacoche, se estima la comercialización un aproximado de 3,500 kg de este hongo en el centro del país (Mendez & Sanchez, 2025).

### 2.1.4 Consumo del huitlacoche en México

México, es el primer país en el mundo en darle un uso gastronómico. Por su riqueza histórica, social, gastronómica y económica, muestra de un regalo de la lluvia y la naturaleza además de ser un país biológicamente diverso, caracterizado por su cultura y conocimientos tradicionales de gastronomía y medicina (Suastegui, y otros, 2024).

En México, *U. maydis* es considerado un manjar que es consumido por 21 grupos étnicos, y es conocido por una variedad de nombres en lenguas tradicionales, lo que denota su uso ancestral. Debido a que este hongo solo se consume tradicionalmente en México, y en ningún otro país, es considerado un ícono de la cocina nacional y un cultivo alternativo con importancia agroalimentaria por su valor nutritivo. Además, en México se utiliza para curar 55 enfermedades diferentes, siendo la especie fúngica con mayor importancia en la medicina tradicional mexicana (Villagran, Martinez, Gomez, & Rios, 2023).

El beneficio para los productores se potencializa con el Huitlacoche, mostrando oportunidades para resguardar semillas nativas y proponer nuevas estrategias de negocio que directamente les generen más ingresos de sus actividades (Perez Jimenez, 2023).

### 2.1.5 Producción del hongo en México

El cultivo de maíz en México ocupa el 57% de las superficies reservadas para el cultivo de granos básicos y oleaginosas, donde más de 2.5 millones de agricultores se dedican al cultivo de maíz (Garcilazo, Tello, Mata, & Parraguirre, 2020).

El huitlacoche es un hongo fitopatógeno biotrófico y ubicuo que pertenece a la familia *Ustilaginaceae* que se presenta, en la región meristemática de la mazorca inmadura del maíz (Villagran, Martinez, Gomez, & Rios, 2023).

Esta enfermedad puede obstaculizar el crecimiento de las plantas y reducir el rendimiento, lo que conlleva graves pérdidas económicas. El proceso de interacción entre *U. maydis* y maíz tiene efectos a nivel celular y molecular, lo que conduce a trastornos metabólicos y fisiológicos de la célula huésped, que se manifiestan como tumores característicos formados por diferentes órganos (Yu, Qi, Han, Pengchao, & Liu, 2023).

La infección lleva a formar agallas (fig. 2) con altos niveles de proteínas, aminoácidos y minerales, proporcionando importantes beneficios a la nutrición, y también está cobrando relevancia por su alto valor comercial, convirtiéndose en un cultivo potencial para México, Centroamérica y Estados Unidos (Golukcu, 2017).



*Figura 2 Agallas del hongo*

El cloroplasto de dicho cultivo contribuye a la defensa mediante la producción de precursores para el fortalecimiento de la pared celular, por ejemplo, a través de la producción de lignina, el almacenamiento de carbono y la generación de especies reactivas de oxígeno provocando más tumores o agallas (Croll, Kretschmer, & Kronstad, 2018)

Este alimento de consumo muy común en lugares como México, así como en países con una población mexicana significativa, como Estados Unidos. Esto llevó a una gran demanda en los mercados nacionales e internacionales (Tello, Hernandez, Montiel, Nava, & Martinez, 2024).

El huitlacoche lo podemos encontrar de forma natural por las condiciones de lluvia desde los meses de julio, agosto y septiembre. De ahí surge la importancia de buscar tecnologías que lleguen a los productores y, aumentar la producción en fresco de este hongo durante los meses que la producción se torna escasa (Perez Jimenez, 2023).

Además de su valor culinario, el huitlacoche es una fuente de ingresos para las y los agricultores. Ya que, comparando el precio de venta del kilogramo de huitlacoche al maíz en fresco o seco, es hasta dos veces superior el valor del hongo (SADER, 2023)

Esto llevó a una gran demanda en los mercados nacionales e internacionales. Hoy en día, cepas específicas de dicho hongo, se seleccionan en pruebas de laboratorio y de campo para favorecer mayores rendimientos de huitlacoche y se utilizan para producir híbridos genéticamente compatibles capaces de infectar mazorcas de maíz y formar agallas (Hernandez, Montiel, Tello, & Martinez, 2024).

Actualmente tenemos este producto disponible, todo el año gracias a un proceso que induce su producción por inyección de esporas (fig. 3), las cuales favorecen el crecimiento del hongo, bajo condiciones climáticas no controladas (Mendez & Sanchez, 2025).



*Figura 3 Inyección del hongo al tallo de la planta*

### 2.1.6 Gastronomía Mexicana

La popularidad de este hongo del maíz es tal que se han orientado numerosos estudios para que sea producido durante todo el año, también, "el huitlacoche es el conejillo de indias por excelencia para el estudio de la genética en hongos, que podría ayudar a controlar otro tipo de plagas (Basse & Steinberg, 2014).

Por lo regular este hongo, crece en épocas de lluvia, temporada en la que fácilmente se encuentra en tianguis y mercados locales y la mejor manera de degustarlo es en quesadillas, sopas, relleno para tamal, salsas, cremas y guisado con cebolla (Mendez & Sanchez, 2025).

Es un hongo comestible de uso común en la gastronomía mexicana; que se consume en fresco, hervido o en infusiones, sus usos han sido variados desde frito con cebolla, ajo y epazote para consumo en taco o quesadillas (fig. 4), en atoles o en harina para tortillas (Perez Jimenez, 2023).




*Figura 4 Tacos de huitlacoche*

La cocina mexicana se distingue por incluir alimentos silvestres como los hongos comestibles con base en sus conocimientos y prácticas tradicionales, particularmente el huitlacoche, consumido predominantemente en la población rural (Villagran, Martinez, Gomez, & Rios, 2023).

Mientras que en algunos países esta infección causa pérdidas significativas en los cultivos de maíz, en México, *U. maydis*, conocido como "huitlacoche", es celebrado como un manjar culinario con un importante valor nutricional. Además, sirve como un modelo interesante para el estudio de la infección por hongos fitopatógenos dimórficos (Espinoza, y otros).

### 2.1.7 Información nutricional

El maíz *(Zea mays)* es un cultivo básico que sustenta a la población humana, ya sea directamente como fuente de almidón y lípidos, o indirectamente como alimento para el ganado. Además, el maíz es una fuente importante de productos industriales, como el almidón y el jarabe de maíz con alto contenido de fructosa (Kronstad, 2017)

El hongo en cuestión posee en su composición algunas proteínas, fibra soluble e insoluble, β-glucanos, y muchos minerales favoreciendo la salud y nutrición de la persona, sin embargo, la composición nutricional del huitlacoche puede estar

influenciada por el tipo de maíz utilizado y la etapa de desarrollo en la que se cosecha (Suphaphil, 2016).

Por su composición el huitlacoche aporta hasta diez veces más un contenido nutricional basado en aminoácidos, ácidos grasos y carbohidratos de diversas cadenas, que son significativamente importantes dieta diaria, a su vez también ayuda con diversos tipos de enfermedades (Perez Jimenez, 2023).

Este hongo es rico en antioxidantes que son sumamente importantes para el ataque de los radicales libres, pues se ha demostrado científicamente que gracias a estos compuestos el cuerpo se desintoxica y evitan enfermedades que puede causar el estrés oxidativo (Salazar, Mendez, Alvarez, & Sanchez, 2021)

## 2.2. Barras nutricionales

### 2.2.1. Definición

Las barritas nutritivas son compuestos compactos, ricos en calorías y nutrientes, diseñadas especialmente como sustitutos de comidas o suplementos. Son prácticas y listas para consumir, brindando a su vez un aporte calórico y energía necesaria para un momento dado, Se clasifican según su composición nutricional en energéticas, alimenticias, proteicas o deportivas (Comaposada, y otros, 2023).

Las barritas basadas en frutas aportan nutrientes esenciales mediante azucares naturales como la fructuosa añadida de vitaminas, minerales y bionutrientes, ayudando a cubrir necesidades nutricionales (Alolyan, y otros, 2024).

Durante los últimos años los consumidores han demostrado mayor interés por su salud y la del plantea, actualmente gracias a la tecnología cuentan con mayor información sobre lo que eligen a la hora de alimentarse y como esta misma puede prevenir problemas de salud (Klerks, Roman, Ruud, & Sanchez, 2022).

Debido a la vida acelerada de muchas personas a propiciado el alto consumo de productos que no son precisamente sanos, pero si sabrosos y fáciles de consumir

lo que ha ayudado a las crecientes enfermedades nutricionales (Momanyi, Owino, & Makokha, 2020).

En el mercado existen barras energéticas bajas en calorías y grasas, pero ricas en fibra, proteínas y minerales. Para satisfacer las preferencias del consumidor, se les añaden algunas frutas deshidratadas o algunos otros alimentos sustitutos (Vera, 2023).

Una ventaja es que actualmente los consumidores prefieren alimentos de "etiqueta limpia" es decir sin aditivos ni conservadores y elaborados de forma respetuosa con el medio ambiente (Salazar, Mendez, Alvarez, & Sanchez, 2021).

Dentro de los alimentos de alto valor nutricional, los snacks están ganando popularidad en el mercado, ya que contribuyen a prevenir problemas de salud a futuro (Zoubeida, Nesrine, Imed, & Mouhamed, 2022).

Estos snacks han ganado gran popularidad por su forma práctica de consumir nutrientes durante el día, como resultado el mercado ha evolucionado desde barras convencionales hacia productos funcionales e innovadores que responden mejor a las nuevas demandas del consumidor (Comaposada, y otros, 2023).

A consecuencia de dicha tendencia hacia bocadillos más saludables, ha crecido el interés por los productos orgánicos, motivado por la preocupación sobre el uso de harinas convencionales en repostería y alimentos funcionales (Bolivar & Parco, 2019).

En muchas ocasiones las barritas energéticas son suplementos dietéticos recomendados para deportistas o personas con alta actividad física, están elaboradas con carbohidratos complejos, glucosa o fructosa, lo que permite reponer rápidamente el glucógeno (Reyna, y otros, 2022).

El mercado de chichas barritas crecerá en los próximos años debido a la mayor conciencia sobre la salud y la demanda creciente de apetitos y bebidas energéticas,

su alto valor nutricional, practicidad, disponibilidad constante y bajo costo han aumentado su popularidad como suplementos nutricionales (Alolyan, y otros, 2024).

### 2.2.2. Tipos de barras

El tipo de barras que encontramos en el mercado son aquellas que brindan azucares en mayor proporción, así como altas cantidades de calorías (Pacheco, 2014).

Las barritas de cereales existentes en el mercado fundamentalmente están elaboradas en base a maní, arroz y avena en sus diferentes presentaciones que pueden ser inflados, crocantes o arrollada como es el caso de la avena (Cappella, 2016).

Las barritas nutricionales incluyen barritas energéticas, barritas sustitutivas de comidas y barritas bajas en carbohidratos. Además, existen barritas de cereales, nutracéuticas, dietéticas y de aperitivo, junto con barritas destinadas a las necesidades nutricionales de diabéticos, mujeres y niños (Castañeda & Prieto, 2019)

Los ingredientes que son más comúnmente usados para la elaboración de barras como snacks son la harina de trigo y harina de avena. Estas barritas nutricionales suelen estar elaboradas a base de cereales, como arroz o avena, o proteínas, como soja o suero de leche. El trigo es el más popular y su consumo va en aumento progresivo.

### 2.2.3. Aporte nutricional

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en 2017 se produjeron en el mundo unos 10,2 millones de toneladas de setas (y trufas). Los principales ingredientes botánicos en la preparación de barras son los cereales tales como avena, trigo y en ocasiones especiales el arroz (Roma, 2023).

Una barra de cereal es un producto alimenticio en forma de barra, elaborado por prensar cereales y generalmente frutas o bayas secas, que en la mayoría de los

casos se mantienen unidos por la glucosa jarabe (Escobar A., Esterez A., Tepper L., & Aguayo R., 1998).

En un inicio este producto surgió como un producto destinado principalmente a deportistas, por su alto aporte de carbohidratos y proteínas, nutrientes que contribuyen a mejorar el rendimiento físico, aumentando la energía (Bustos & Ferreyra, 2017).

Es el producto alimenticio de algunos países, las barras de cereales entran en la misma categoría que snacks, dulces, cereales para el desayuno, entre otros (Klerks, Roman, Ruud, & Sanchez, 2022).

Como resultado, y para dibujar más consumidores, las barras de cereales se estaban volviendo cada vez más diferentes, disponibles con una gran diversidad de ingredientes. Por el momento no existe un solo sistema de clasificación internacional de cereales bares: no pertenecen a ningún grupo particular de productos alimenticios (Svetlana, Inese, & Rinkule, 2017).

## 2.3. Un snack saludable

El estilo de vida ha provocado cambios en los hábitos alimenticios de las personas, han propiciado la búsqueda de alimentos sustitutos de comidas (Szydlowska, Zielinska, Lepecka, & Trzaskowska, 2020)

En nuestro país, las barras de cereales o barritas de cereal se conocieron aproximadamente en el año 2000. En un principio, orientadas a deportistas y luego como alternativa para resolver alguna de las comidas del día (Cappella, 2016).

Con la modernización y el aumento de la concientización nutricional, la población en general se ha interesado por agentes beneficiosos para la salud como lo son los alimentos funcionales (Shaista, Ahmad, Ahmed, & Mansurud, 2021)

Los compuestos fenólicos, presentes en una amplia gama de frutas y verduras, han atraído una atención sustancial por sus posibles ventajas para la salud y su contribución a la estabilidad oxidativa (Michalaki & C.Karantonis, 2024).

La importancia de los "snack" de buen valor nutricional, radica en que los niños y adolescentes presentan gran preferencia por este tipo de productos los que podrán cumplir una función destacada en su desarrollo físico y mental.

Las barritas de cereales existentes en el mercado fundamentalmente están elaboradas en base a maní, arroz y avena en sus diferentes presentaciones que pueden ser inflados, crocantes o arrollada como es el caso de la avena (Marquez & Pretell, 2018).

Las barritas de frutas satisfacen las necesidades nutricionales con azúcares naturales, vitaminas, minerales y el mercado ha visto una creciente demanda de opciones de alimentos saludables y convenientes, como barras de frutas y cereales, impulsada por cambios en los hábitos alimenticios. Estos cambios se atribuyen principalmente a las limitaciones de tiempo en la preparación de las comidas y a la necesidad de alimentos listos para comer (Aviles, Valdez, Campos, Heredia, & Muy, 2024).

## 2.3.1. Ingredientes principales

### 2.3.1.1. Avena

La avena *(Avena Sativa),* nombre derivado del epíteto latín que significa "cultivada", es denominada comúnmente como avena blanco, común, cultivado o doméstico. La avena de forma integral no es apta para el consumo humano por lo que es procesada y como producto final se obtiene harina, (fig. 5) u hojuelas de avena (Rodriguez, Diaz, & Rodriguez, 2015).



*Figura 5 Avena comestible*

La innovación de productos saludables ha estado en auge desde hace unos años, siendo la avena uno de los ingredientes más usados que tras un proceso de moldeado se obtiene como resultado hojuelas de cereales que se comercializan para ser consumido (Servin, 2023).

A nivel mundial el consumo de este grano se asocia a un efecto nutracéutico, ya que reduce las lipoproteínas de baja densidad, como lo es el colesterol asociado a enfermedades principalmente del corazón, esto se debe a la cantidad de fibra soluble que este grano proporciona, así como también el contenido de proteína es mayor en comparación con otros granos como lo son el maíz, y el trigo (Cortes, Buendia, Palacios Rojas, & Santa, 2016).

#### 2.3.1.2. Propiedades nutricionales

La avena (*Avena sativa*) es uno de los cereales más populares de consumo humano y ha recibido un mayor interés debido a sus excelentes propiedades relacionadas con la salud, como el alto contenido de fibra dietética, especialmente beta – glucano, así como minerales y antioxidantes (Quispe, 2022).

Dentro de la estructura de la avena se encuentra en gran cantidad la fibra dietética la cual el Codex Alimentarius la define como los polímeros de carbohidratos con un grado de polimerización no inferior a 3 que no son digeridos ni absorbidos en el

intestino delgado; estos carbohidratos son procedentes de la pared celular de las plantas principalmente la celulosa, hemicelulosa y pectina (Avalos, 2021).

#### 2.3.1.3. Nuez

La nuez pecan (*Carya illinoinensis*) se comercializa entera con cáscara o pelada (fig. 6), en forma de mariposa, es muy popular por su alto contenido de ácidos grasos insaturados y tocoferoles formas de la vitamina E, las propiedades benéficas de las nueces se atribuyeron sobre todo a la porción lipídica de estos alimentos; sin embargo, los frutos secos también son ricos en antioxidantes y micronutrientes, por lo que es muy probable que el mecanismo de protección sea dependiente de los efectos sinérgicos entre los numerosos componentes bioactivos de estos alimentos (Alvarez, 2020).

Las nueces con sus altos contenidos de ácidos grasos poliinsaturados y con sus cantidades significativas de otros compuestos bioactivos representan alimentos con efectos realmente favorables sobre la salud (Guidi, Gomez, & Lopez, 2019).



*Figura 6 Nuez pecana*

#### 2.3.1.4. Miel de agave

El agave (*Agave amercano*) o maguey es una planta que forma parte de la familia de las agaváceas y comparándola con otras plantas del reino vegetal es una de las plantas con una enorme diversidad de usos, entre los más comunes se pueden nombrar los siguientes: preparación de mezcal, tequila, pulque, aunque también se producen concentrados de aguamiel, jarabe, mieles, shampoo, jabones, vinagre, forraje, fibra para artesanías, extractos medicinales, etc. (Otavalo, 2023).

El *Agave americano* es una planta que tiene una forma extraña y un perfil espinoso (fig. 7), es originaria de México, pero en la actualidad la podemos encontrar en todo lo que son los valles Interandino, por lo general es reconocida por ser la fuente principal para la fabricación del tequila (Amaya & Lasluisa, 2018).



*Figura 7 Agave azul*

El aguamiel o también llamado Chaguarmishqui, el cual es la savia de esta planta es un alimento el cual lo toman como tal o también se realiza su concentrado para poder realizar una miel la cual puede ser utilizada para endulzar diferentes tipos de bebidas como estimulantes o también bebidas fermentadas (Leon, 2021).

#### 2.3.1.5. Chía

La (*Salvia hispánica L.*) conocida comúnmente con el nombre de chía, es una semilla de la familia *Lamiaceae* originaria de la zona sur de México y sur de Guatemala, que fue altamente explorada y utilizada por los aztecas, dentro de los usos que se le atribuyen, están los de origen alimenticio, medicinal y recreativo, éste último para mejorar la calidad de la pintura (Carrillo, Gutierrez, Muro, & Torres, 2017).

La versatilidad en la industria alimenticia de esta semilla ha logrado captar la atención de la población ya que se puede consumir la semilla entera, el aceite extraído o las diferentes harinas que se obtienen a partir de ella, por lo que se pueden realizar diversas preparaciones a partir de ella como galletas, pan, jugo, y ensaladas (Cisternas, Farias, Muñoz, & Gladys, 2022).

Además, esta semilla (fig. 8) es rica en nutrientes como las proteínas, ácidos grasos omega 3, especialmente en ácido linolénico, minerales, fibras y antioxidantes; considerada un alimento funcional que se atribuyen algunas propiedades benéficas en enfermedades cardiovasculares, reducción glucemia postprandial, sobrepeso y obesidad (Peralta, Luna, & Sanchez, 2018).



*Figura 8 Semilla de chia*

#### 2.3.1.6. Arándanos deshidratados

Las frutas finas dentro de ellas, los arándanos poseen un alto contenido de antocianinas y polifenoles debido a su color púrpura (fig. 9) que contribuyen a su elevada actividad antioxidante para el desarrollo de alimentos funcionales por su contenido de fitoquímicos. Por otro lado, la deshidratación se presenta como una alternativa interesante para procesar fruta que no se vende fresca (Campostrini & Sosa, 2018).



*Figura 9 Arándanos*

En los últimos años la creciente demanda por berries y el crecimiento del mercado de Estados Unidos han dado un gran espacio a los arándanos, tanto frescos como congelados. Podemos compararlo con el consumo per cápita de arándanos en

Estados Unidos que se estima aproximadamente un kilo por persona y según numerosas investigaciones como las realizadas por el Consejo Consultivo de la Investigación de la Salud en Estados Unidos, ayuda a prevenir enfermedades como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares (Velasquez, 2023).

#### 2.3.1.7. Otros ingredientes

Tales como vainilla, mantequilla y sal, son algunos de los aditivos o condimentos que se utilizan para dar un mejor sabor a algunos de los snacks del mercado como lo son las galletas o las barras, además de agregar un sabor más dulce. En algunas barras encontradas en el mercado se utilizan también ingredientes como soya, leche o cacahuate, e incluso algunos saborizantes artificiales, con el fin de mejorar su sabor, textura o apariencia (Bolivar et al., 2019).

# CAPITULO III. METODOLOGIA.

El cultivo del huitlacoche utilizado en el análisis fue sembrado en instalaciones de la UAAAN.

La parte experimental del presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio del departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Posteriormente se sometió a desecación a 60° C durante 48 horas para después aplicar el *proceso de molienda*

*Se elaboraron tres muestras de barra diferentes utilizando harina de huitlacoche y harina de arroz. A todas las muestras se les realizaron análisis.*

El análisis bromatológico para el análisis de materia seca total, cenizas, proteínas, y carbohidrato se llevó a cabo en el Departamento de Nutrición Animal.

También se realizó el análisis sensorial, así como sus atributos evaluados como lo son color, olor, apariencia global, aceptación global, sabor y textura.

## 3.1 Materiales utilizados

### 3.1.1 Equipos

- Mufla
- Balanza
- Estufa Mabe
- Balanzas
- Refractómetro Pocket Atago
- Colorímetro marca Konica Minolta
- Potenciómetro digital marca Hanna Inn Instruments
- Espectrofotómetro Vis/UV
- Nutribullet

### 3.1.2 Ingredientes para preparación de las barras

- Harina de huitlacoche
- Harina de arroz
- Miel de agave
- Nuez
- Arándano
- Chía
- Mantequilla
- Extracto de vainilla

### 3.1.3 Material de laboratorio

- Crisoles
- Pinzas
- Espátula
- Matraz Erlenmeyer 500 mL
- Matraz bola de 250 mL
- Desecador
- Charolas de aluminio
- Cucharas
- Refractarios rectangulares

### 3.1.4 Reactivos

- Se mencionan en cada uno de los procedimientos de análisis.

El presente análisis se dividió en tres etapas debido al tiempo en el que se fueron realizando las actividades mencionadas durante cada una de estas.

## 3.2. ETAPA 1-. SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

### 3.2.1. Caracterización de la harina de huitlacoche

Se comenzó escogiendo el huitlacoche en buen estado, para posteriormente meterlo en una estufa (fig. 10) para su desecación, por último, se procede a molerlo para

obtener harina fina de 212 microns (fig. 11), que facilite su adherencia junto a los demás ingredientes.



*Figura 10 Estufa*



*Figura 11 Harina de huitlacoche*

## 3.3. ETAPA 2-. PREPARACION DE MUESTRAS

Se desarrollaron 3 tipos de barras las cuales se caracterizaron por la cantidad de harina utilizada, como lo son: harina de arroz (HA) y harina de Huitlacoche (HH).

En el siguiente cuadro se muestran las concentraciones de harina.

Cuadro 1. Concentraciones de harinas (Huitlacoche y avena) en los tratamientos elaborados.

| TRATAMIENTO | CONCENTRACION (%) | INGREDIENTE |
|---|---|---|
| Control: | 100 | Harina de avena |
| | 0 | Harina de huitlacoche |
| Tratamiento 1: HA- HH | 50 | Harina de avena |
| | 50 | Harina de huitlacoche |
| Tratamiento 2: HH | 0 | Harina de avena |

| | | |
|---|---|---|
| | 100 | Harina de huitlacoche |

Para la elaboración de los tres tratamientos experimentales, se mantuvieron constantes las proporciones de los ingredientes utilizados con el fin de garantizar la homogeneidad en la formulación de los productos. Los ingredientes seleccionados fueron: harina de huitlacoche, avena, miel de agave, nuez, chía y arándano. Todos ellos fueron pesados individualmente utilizando una balanza digital de precisión, asegurando una medición exacta en cada repetición del proceso, el resultado de la última combinación se observa en la siguiente figura (fig. 12).



*Figura 12 Barras de huitlacoche*

## 3.4. ETAPA 3.- ANALISIS QUIMICO DE LAS MUESTRAS

### 3.4.1 Determinación de °Brix

La muestra fue molida en un mortero, al que se le agregaron dos gotas de agua destilada para obtener una mezcla homogénea, posteriormente se puso una gota de agua destilada con el fin de limpiar el refractómetro, seguido de esto se agregó la primer la muestra a un instrumento llamado Refractómetro (fig. 13) y se registró la lectura, este último paso de repitió por tres veces, hasta tener el mismo resultado, con el fin de conocer la cantidad de azúcar de los tratamientos.




*Figura 13 Refractometro*

### 3.4.2 Análisis de parámetros de color

Se molió la muestra de barra con el fin de obtener un polvo fino, después se agregó una gota de agua destilada. El color de las muestras de barras se determinó con un colorímetro en el cual se evalúan parámetros L, a* y b*. Durante este procedimiento la muestra se colocó en el instrumento y se realizó por triplicado dicha medición, con el fin de obtener el mismo resultado para cada uno de los tratamientos.

### 3.4.3 Medición de grosor

Se utilizó un calibrador escala Vernier manual (fig. 14), con el cual se realizaron tres mediciones por tratamiento (cm).



*Figura 14 Calibrador Vernier*

### 3.4.4 Determinación de firmeza

La fuerza de deformación normalizada de la firmeza de las barras, expresada en N, se calculó como la relación entre la fuerza de deformación requerida para fracturar

la estructura de cada barra con una puntilla de 0.11 mm. Las determinaciones se realizaron por triplicado (Karagiannis et al., 2021).

## 3.5. ETAPA 4.- ANALISIS BROMATOLÓGICO

El análisis bromatológico de las barras nutricionales en sus diferentes tratamientos, se realizó de manera adecuada, siguiendo los métodos establecidos para cada determinación.

### 3.5.1 Análisis de la materia seca total

La muestra fue molida para después agregarla en crisoles anteriormente identificados, dejándolos en la estufa por un periodo de 24 horas, con el fin de tenerlos en un peso constante, después se agregaron 2 gramos de cada muestra en los tres crisoles anteriormente mencionados, para después volverlos a meter en la estufa por 12 horas, por último, se pesó la muestra final del crisol (fig. 15) y se obtuvieron los resultados deseados. Los cálculos correspondientes se hicieron con la siguiente formula.

$$Materia\ seca\ total = \frac{(\text{peso del crisol con muestra seca}) - (\text{peso del crisol})}{peso\ de\ la\ muestra\ humeda} = * 100$$



*Figura 15 Materia seca obtenida*

### 3.5.2 Determinación de humedad

Se tomaron 10 gramos de la muestra en una estufa desecadora por 24 horas, para después pesarla en una balanza analítica (fig. 16) y de esta manera lograr obtener el resultado deseado.

La determinación de humedad se obtuvo mediante diferencia de peso, se restó la materia seca total del 100%. Por último, el cálculo se hizo con la siguiente formula.

$$\%\ de\ humedad = 100 - materia\ seca\ total$$



*Figura 16 Peso diferenciado de las muestras para analisis de humedad*

### 3.5.3 Cuantificación de cenizas

Se pesaron 5 gramos de cada una de las muestras en un crisol de porcelana, previamente pesado e identificado, posteriormente se añadieron unas gotas de alcohol para acelerar la reacción de evaporación, después se quemó la muestra en una parrilla de calentamiento (fig. 17) hasta que no hubiera humo y por último se metió en la mufla a 550 ºC por un periodo de 2 horas aproximadamente, pasado el

tiempo se sacó y se pesó para obtener resultados. Para obtener el valor de cenizas se utilizo la siguiente formula.

$$\%\ Cenizas\ totales = \frac{(\text{peso del crisol con ceniza}) - (\text{peso del crisol solo})}{gramos\ de\ la\ muestra} =* 100$$



*Figura 17 Calcinacion de la muestra*

### 3.5.4 Determinación de fibra

Se pesó 2 gramos de muestra molida y deshidratada, y ponerla en un vaso de Berzelius, agregar 100 mL de solución de ácido sulfúrico 0.225 N, posterior conectar al aparato de reflujo por un periodo de 30 minutos contados a partir de cuando empiece a hervir y bajar la temperatura, para que se mantenga en ebullición suave. Pasado ese tiempo sacar y filtrar a través de una tela de lino y lavar con 3 porciones de 100 mL de agua caliente y hacer prueba tornasol para verificar presencia de ácido. Pasar la fibra (residuo que quedo en la tela) al vaso Berzelius con 100 mL de solución de hidróxido de sodio 0.313 N y conectar al aparato de reflujo por 30 minutos (fig. 18), después del tiempo sacar, filtrar a través de lino y lavar con 3 porciones de agua destilada caliente, escurrir el exceso de agua presionando la tela de lino, sacar la tela de lino del embudo, extender y retirar la fibra con una espátula y depositarla en un crisol de porcelana. Poner a peso constante en la estufa a 100-103°C, por 12 horas. Transcurrido el tiempo sacar de la estufa, enfriar y pesar. Pre incinerar la muestra en parrillas y meter en la mufla a 600°C por tres horas, transcurrido el tiempo, sacar, enfriar y pesar.



*Figura 18 Obtencion de fibra*

### 3.5.5 Análisis de grasa

Se molió la muestra y se depositó en un vaso de Berzellius se le agrego 1 mL de alcohol isoamílico, se adiciono ácido sulfúrico concentrado, moviendo de forma circular y agitando posteriormente colocarlo en una parrilla durante 30 minutos, después se filtró la muestra con agua caliente, mientras que en otro vaso limpio se agregaron 100 mL de hidróxido de sodio al igual hirvió durante el mismo tiempo que el anterior, se filtró la muestra para depositarse en un crisol, que estuvo durante 12 horas en una estufa para obtener los resultados (fig.19).

La determinación final de grasa se hace bajo la siguiente formula:

$$\%\ de\ grasa = \frac{(\text{peso del matraz con grasa}) - (\text{peso del matraz solo})}{gramos\ de\ la\ muestra} =* 100$$



*Figura 19 Obtencion de grasa*

### 3.5.6 Cuantificación de proteína

En la primera fase de este método que es la digestión se pesó un gramo de muestra sobre un papel filtro, pasarlo en un matraz Kjendahl, de 800 mL, agregar 4 perlas de vidrio con el fin de tener una ebullición constante, poner 5 gramos de selenio usado como catalizador. Adicionar también $H_2SO_4$, posteriormente se tomó la solución que se obtuvo y se le agrego 300 mL de agua destilada, en otro matraz se agregó 50 mL de ácido bórico al 4% y con el seis gotas de indicador mixto como son rojo de metilo y verde bromocresol, posterior se agregó al matraz Kjendahl 100 mL de NaOH al 45% y seis granallas de zinc, conectar a la parte destiladora del aparto Kjendahl (fig. 20), el resultado de esta destilación fueron 250 mL los cuales se titularon con $H_2SO_4$ a 0.1 N para finalmente obtener los cálculos utilizando la siguiente formula:

$$\%\ de\ nitrogeno = \frac{(\text{mL de acido})(\text{N de acido}) - (\text{mL blanco})(N\ blanco)}{gramos\ de\ muestra} =* 100$$



*Figura 20 Etapa de destilacion de proteina*

### 3.5.7 Determinación del contenido energético

Para este cálculo se utilizaron los valores obtenidos en los tres tratamientos y un factor de conversión con el cual fueron multiplicados dichos datos para cada parámetro de porcentaje de proteína, porciento de lípidos, y porciento de carbohidratos. El factor para la proteína y los carbohidratos se multiplica por 4 kcal, y para los lípidos por 9 kcal.

## 3.6. ANALISIS FUNCIONAL

### 3.6.1 Determinación de vitamina C

Se pesó una muestra de 20 gramos, se cortó en pequeños pedazos para posteriormente facilitar la molienda en un mortero al que se le agregaran 10 mL de HCL al 2% y se masera la muestra por 15 minutos. Después se debe agregar a esa muestra homogénea 100 mL de agua destilada, los cuales se miden con un matraz de aforación de 100 mL y se mezcla bien. El contenido del mortero se filtra a través de un embudo con tela de lino, y se depositan 10 mL en un matraz Erlenmeyer,

posteriormente en una bureta se colocan 50 mL de reactivo Thielmann, finalmente se titula la muestra final usando este reactivo hasta que el matraz tome una coloración rosada (fig. 21).




*Figura 21 Cuantificacion de vitamina C*

### 3.6.2. Análisis de polifenoles

El contenido fenólico total presente en la barra de formulación se determinó utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu (Duh et al., 1997).

### 3.6.3. Cuantificación de flavonoides

El contenido de flavonoides se determinó utilizando el método de Hatano et al. (1998).

### 3.6.4. Capacidad antioxidante

Se utilizó DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo) y ABTS (ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)) para determinar la actividad de eliminación de radicales libres en la barra utilizando el método de Miliauskas (2004).

## 3.7. EVALUACIÓN SENSORIAL

Se realizó una evaluación hedónica de las barras formuladas (un control, y dos a base de harina de huitlacoche) en el laboratorio de Evaluación Sensorial del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (fig. 22 A, B, C). Se solicitó a los consumidores, incluyendo estudiantes y personal (n = 60), que cuantificaran los siguientes atributos de calidad: apariencia global, color, olor, sabor, textura, y aceptabilidad global. Se utilizó una escala hedónica de 5 puntos (1 = muy desagradable a 5 = muy agradable), según el estudio de Meilgaard et al., para clasificar la aceptabilidad de las muestras (1999). También se aplicó una prueba de preferencia a 104 consumidores considerando los tres tratamientos, incluyendo la barra control. Todos los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado para la evaluación sensorial. Las muestras se codificaron utilizando números aleatorios de tres dígitos en un orden de servicio aleatorio dentro de los cubículos del área de prueba de análisis.

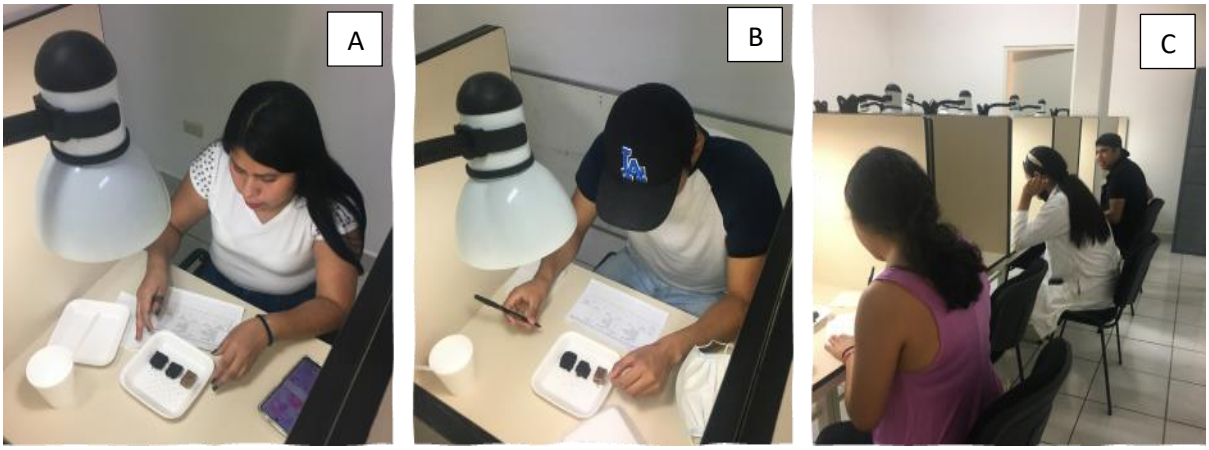



*Figura 22 Evaluacion sensorial*

*Valoración de las características sensoriales de barras funcionales en el laboratorio de evaluación sensorial, con la participación de 60 consumidores del panel semientrenados de la UAAAN. Derechos reservados Dra. Xóchitl Ruelas Chacón.*

# CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el propósito de evaluar el efecto de la incorporación de harina de huitlacoche en una barra funcional, se analizaron parámetros físicos, bromatológicos, funcionales y sensoriales en tres formulaciones: una barra control, una formulación con 50% harina de avena y 50% harina de huitlacoche, y una formulación con 100% harina de huitlacoche. Los resultados obtenidos permitieron identificar diferencias entre tratamientos en variables como color, firmeza, materia seca total, humedad, cenizas, fibra, grasa, proteína, vitamina C, polifenoles, flavonoides, capacidad antioxidante y atributos sensoriales.

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) mediante el programa Infostat, con el fin de determinar diferencias estadísticas entre tratamientos. En términos generales, la incorporación de harina de huitlacoche favoreció el contenido de fibra y diversos compuestos bioactivos, además de modificar características físicas y sensoriales del producto final. Estos hallazgos confirman el potencial del huitlacoche como ingrediente para el desarrollo de alimentos funcionales con valor agregado.

## 4.1 PARAMETROS FISICOS EVALUADOS

### 4.1.1 Determinación de °Brix

Para la evaluación de la etapa experimental se realizó un análisis estadístico, el cual consistió en analizar las variables físicas de las barras nutritivas: color (L*, a* y b*), firmeza, y grosor. También se analizaron las variables químicas (materia seca total, humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra, vitamina C), variables funcionales (polifenoles y flavonoides), y las variables sensoriales de los atributos de apariencia, consistencia, color, olor, sabor y aceptación global.

El diseño del experimento fue en bloques completamente al azar. Los resultados obtenidos se analizaron con el paquete estadístico Infostat versión 2018 aplicando un análisis de varianza (ANOVA) y en caso de existir diferencia significativa se realizó el estudio de comparación medias de Fisher (LSD) a una P>0.05.

### 4.1.2 Análisis de parámetros de color

El color de las barras es atribuido principalmente a la harina del huitlacoche, y a la combinación con otros ingredientes como lo son la nuez, la miel agave, etc.

El análisis realizado de colorimetría (L, a* y b*) nos mostró que hay diferencias significativas (p>0.05) entre las tres muestras. Esto se debe a que el color de la harina de huitlacoche es más oscuro que el de la harina de arroz. Los resultados del análisis nos definen que hubo diferencia significativa entre los tres tratamientos.

En la figura 23 se muestra el comportamiento del parámetro L*, en el que se determina que la muestra A, tiene mayor luminosidad, debido a que está hecha con harina de arroz, mientras que la C contiene harina de huitlacoche la cual es más oscura.

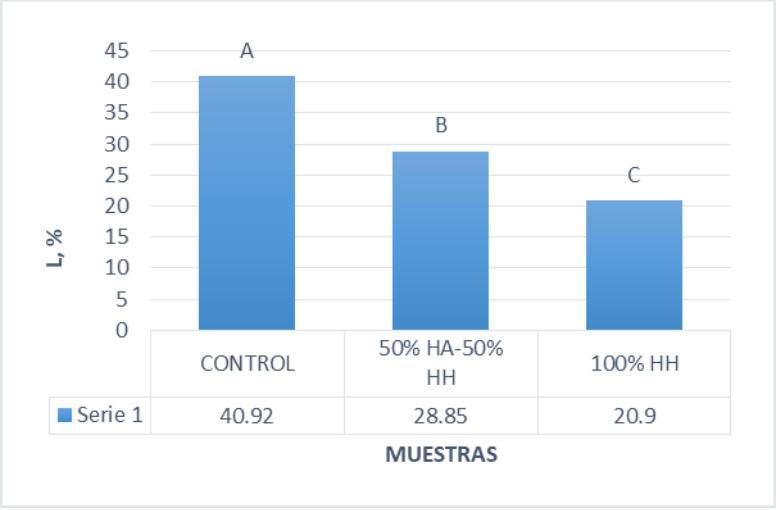



*Figura 23 Comportamiento de L*

Por su parte en la figura 24 podemos observar el parámetro a*, donde la muestra control muestra un valor mayor, esto posiblemente por la harina de arroz.

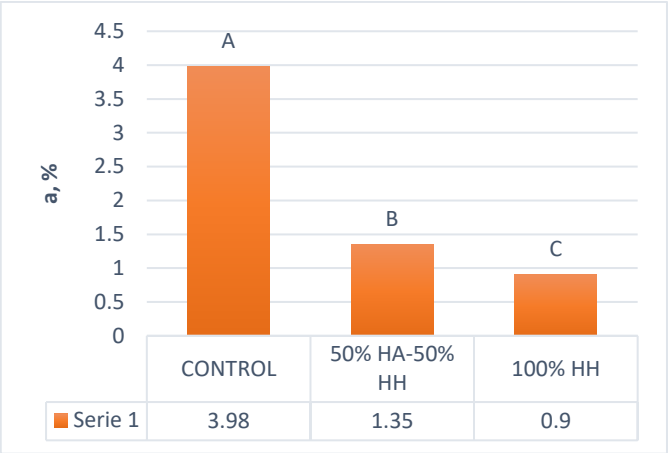



*Figura 24 Comportamineto de a*

Mientras tanto en la figura 25 donde se muestra él comporta miento del parámetro b*, se observa que son significativamente diferentes todas las muestras a una p>0.05.

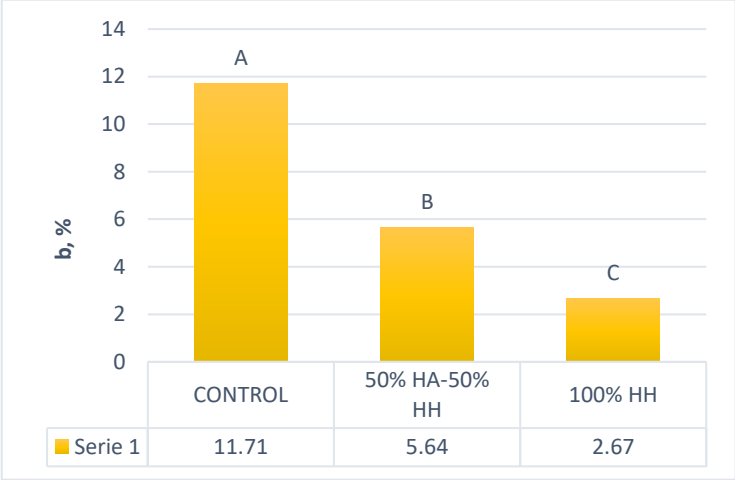



*Figura 25 Comportamiento de b*

### 4.1.3 Medición de grosor

El grosor en las tres formulaciones fue igual se hicieron tres muestras de diferentes cm (1.6, 1.8 y 1.5) (fig. 26). Para la determinación del grosor de las barritas, la masa fue extendida uniformemente sobre una charola previamente preparada. Una vez moldeadas, se procedió a medir los bordes y laterales del producto utilizando un calibrador digital, con el objetivo de evaluar la homogeneidad y variabilidad dimensional entre unidades. Esta medición permitió obtener datos precisos sobre la distribución del grosor, facilitando así el análisis de la consistencia en el proceso de

formado y la diversificación de las dimensiones como parte del control de calidad del producto.

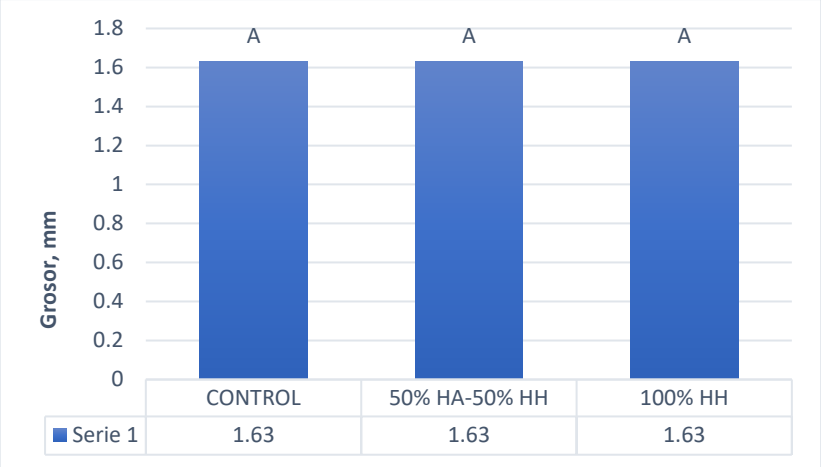



*Figura 26 Analisis de grosor*

### 4.1.4 Determinación de firmeza

En cuanto a la firmeza, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras analizadas. La formulación elaborada con 100% de harina de huitlacoche presentó la mayor firmeza en comparación con las demás (fig. 27). Este resultado se atribuye a las propiedades estructurales y la consistencia propia de la harina de huitlacoche, que contribuyen a una matriz más compacta y densa en la barra.

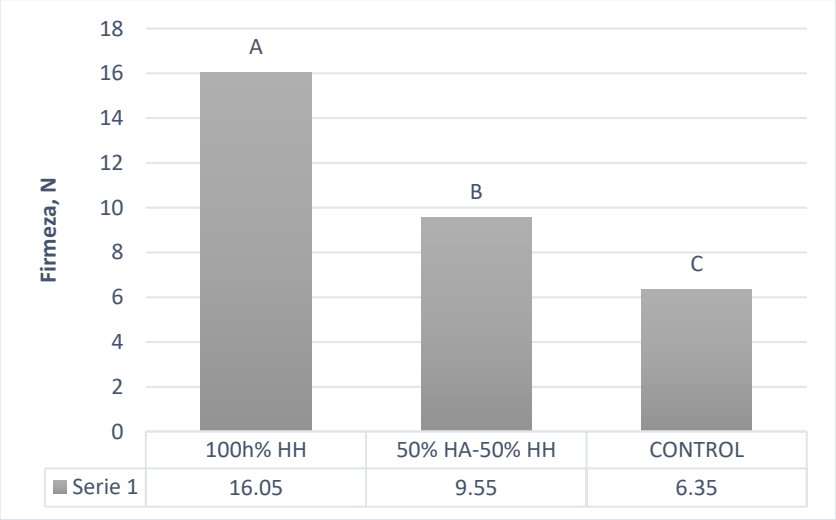



*Figura 27 Comportamiento de firmeza*

## 4.2. ANALISIS BROMATOLOGICO

Con ayuda del análisis de varianza se logró observar las diferencias que existen entre las tres muestras diferentes, considerando las siguientes variables, materia seca total, cenizas, proteínas, grasa, carbohidratos, fibra.

Dentro de todas estas variables las únicas que coincidieron en ser significativamente iguales fue la fibra. Debido a que en las otras se observaron cambios muy significativos.

### 4.2.1 Análisis de materia seca total

En este parámetro se observa que la concentración C es decir la de 100% harina de huitlacoche, presentó el menor contenido de materia seca y, por ende, una mayor humedad. No obstante, los valores obtenidos se mantienen dentro de rangos que no favorecen significativamente la proliferación de hongos. Estos resultados coinciden con lo reportado por (Sudha, Vetrimani, & Leelavathi, 2017) quienes señalaron que la incorporación de ingredientes ricos en fibra, como la avena, modifica las propiedades de retención de agua en los productos de panificación, influyendo directamente en los valores de humedad y materia seca. De manera similar, en el presente estudio se observó que la formulación con mayor proporción de harina de avena presentó un contenido de materia seca superior respecto a las demás muestras evaluadas.

En la siguiente figura se observa la diferencia significativa que existe entre las tres formulaciones donde la formula A es la más alta en MST, y la C siendo la menor en este parámetro (fig. 28).

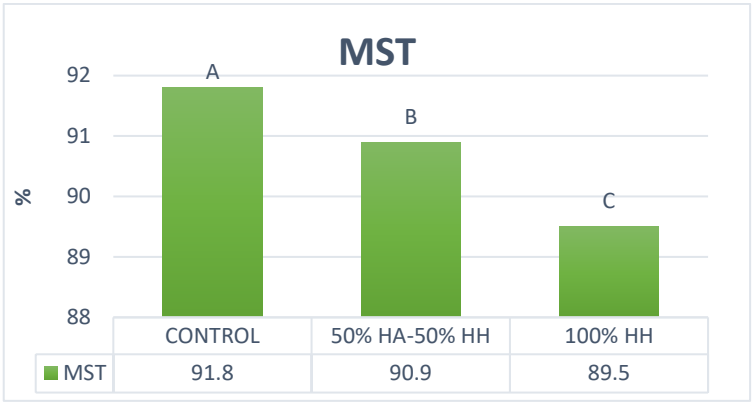



*Figura 28 Comportamiento de MST*

### 4.2.2 Cuantificación de cenizas

La siguiente figura presenta el comportamiento de las muestras, las cuales fueron significativamente diferentes entre sí (fig. 29). La formulación B presentó el valor más alto de cenizas (1.7), seguida de la formulación C (1.40) y, por último, de la formulación A.

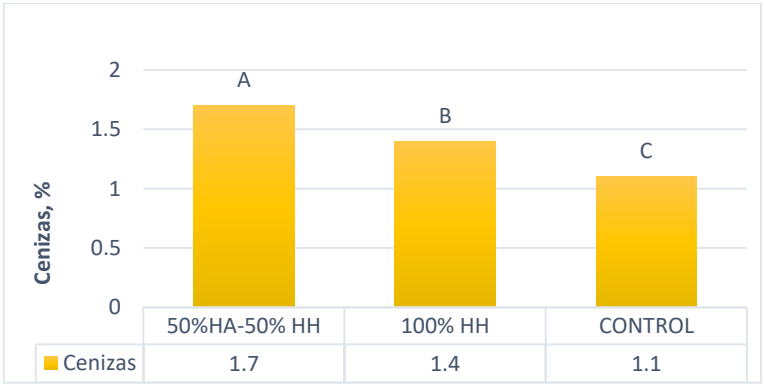



*Figura 29 Comportamiento de cenizas*

### 4.2.3 Determinación de humedad

De acuerdo con la NOM-247-SSA1-2008, el contenido de humedad debe ser menor a 15%; por ello, las tres muestras cumplen con esta especificación. Este resultado coincide con lo reportado por Huma y Anjum (2021), quienes señalan que la humedad en las barritas es un factor clave para su estabilidad durante el almacenamiento y para atributos de calidad como el sabor, la textura y la aceptación visual (fig. 30).

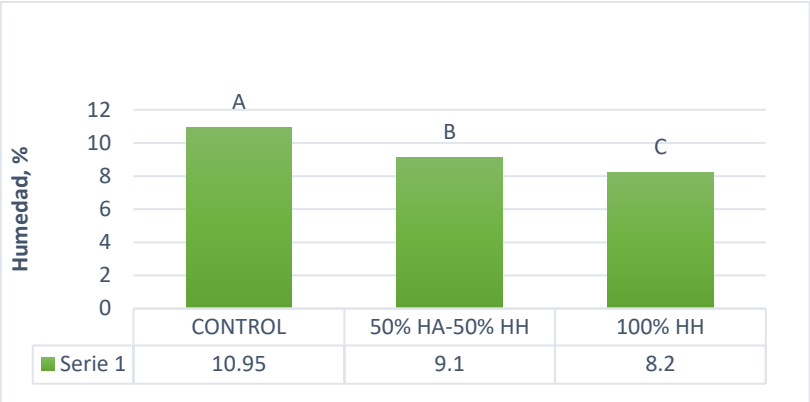



*Figura 30 Comportamiento de humedad*

### 4.2.4 Determinación de fibra

Por su parte, en la fig. 31 se observa que las muestras B y C no presentan diferencias significativas entre sí, sin embargo, ambas muestran valores superiores a la muestra A, elaborada con harina de avena. Este comportamiento puede atribuirse al aporte de fibra dietética proporcionado por la avena y el huitlacoche. Aunque la avena es ampliamente reconocida por su contenido de fibra soluble (Rabia, Sjid, & Kashif, 2009) , especialmente β-glucanos, los resultados sugieren que la combinación de avena y harina de huitlacoche favorece un mayor aporte de fibra dietética al producto, potenciando sus características funcionales y nutricionales. De acuerdo con la literatura (Ronda & Gomez, 2013), la incorporación de fibra en productos de panificación no solo contribuye a mejorar el perfil nutricional, sino que también puede favorecer atributos sensoriales como la textura, el sabor y la aceptabilidad general, influyendo positivamente en su calidad final.

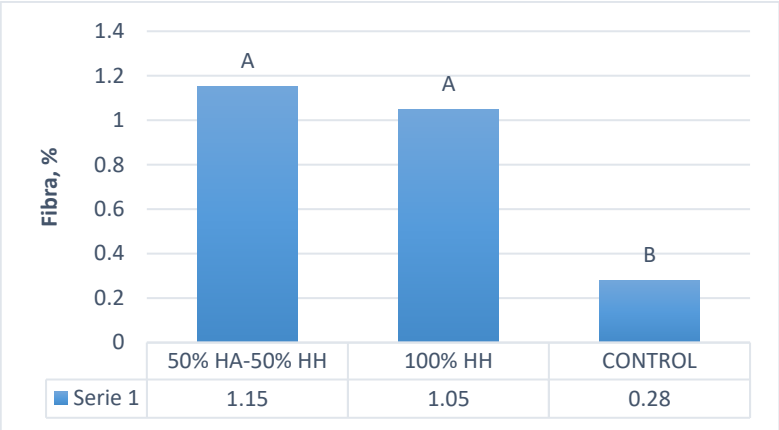



*Figura 31 Comportamiento de fibra*

### 4.2.5 Análisis de grasas

Por su parte en la figura 32 podemos observar que todas las muestras son significativamente diferentes y que las que se asemejaban a mayor contenido de grasa son las que su ingrediente en mediano y mayor proporción es el huitlacoche.

También a lo que respecta la formulación C puede ser debido a otros ingredientes como lo son la nuez y los cuales tienden a ser alimentos con esta variable.

Las semillas y los frutos secos pueden aportar estas macromoléculas. En general, son conocidos por contener grasas saludables debido a su origen vegetal y por su contenido de ácidos grasos omega-3, obteniendo diferentes valores en su contenido lo cual está directamente relacionado con los insumos utilizados. Como lo mencionan los autores (Alfheeaid, Barrakat, Althwab, Hamid, & Malkova, 2023), estos ácidos grasos son importantes por su función en el organismo, así como la importancia de su contenido en las barras energéticas, proteicas o nutricionales.

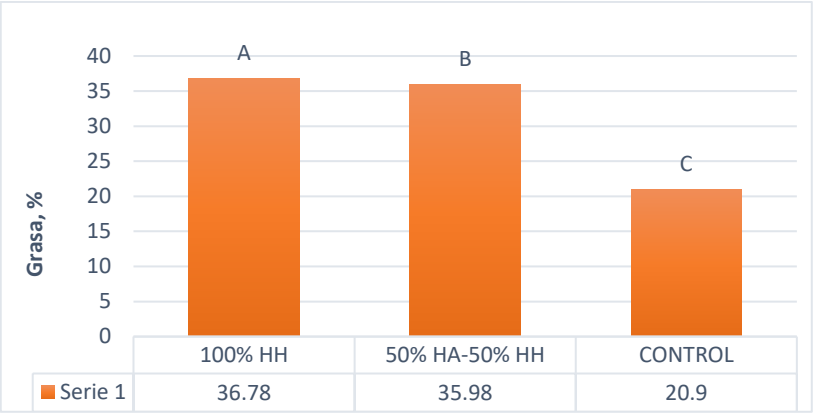



*Figura 32 Comportamiento de grasa*

### 4.2.6 Cuantificación de proteína

De acuerdo con el análisis estadístico aplicado se encontraron que son significativamente diferentes las tres muestras, demostrando que es mayor el contendido de proteína en la avena que en el huitlacoche.

Al ser productos elaborados a base de cereales y semillas, están presentes, y dependiendo de la formulación las barras de cereal pueden contribuir al consumo de nutrientes pero es importante precisar que no son alimentos que deban sustituir una comida o productos básicos de una dieta saludable ya que hay algunas que contienen una cantidad considerable de azúcares y/o grasas, nutrientes de los que la Organización Mundial de Salud (OMS) ha recomendado disminuir su consumo (Barras de cereal, 2019).

Los hallazgos obtenidos en el presente estudio (fig. 33) son coherentes con lo reportado en la literatura (Ajomiwe, y otros, 2024)., donde se destaca que la presencia de cantidades significativas de proteína representa un criterio determinante en la calidad nutricional y funcional de productos alimenticios, independientemente del origen de los insumos utilizados en su formulación Esta evidencia respalda la importancia de considerar la densidad proteica como un factor clave en el desarrollo de alimentos con valor agregado




*Figura 33 Comportamiento de proteina*

### 4.2.7 Determinación del contenido energético

Los resultados de este análisis (fig. 34) son de sorprenderse ya que en comparación con la barra control, y tomando en cuenta que contienen los mismos ingredientes excepto claro por la harina usada, es notable que la harina de huitlacoche es mucho más rica en nutrientes o biomoléculas en comparación con la harina de avena.

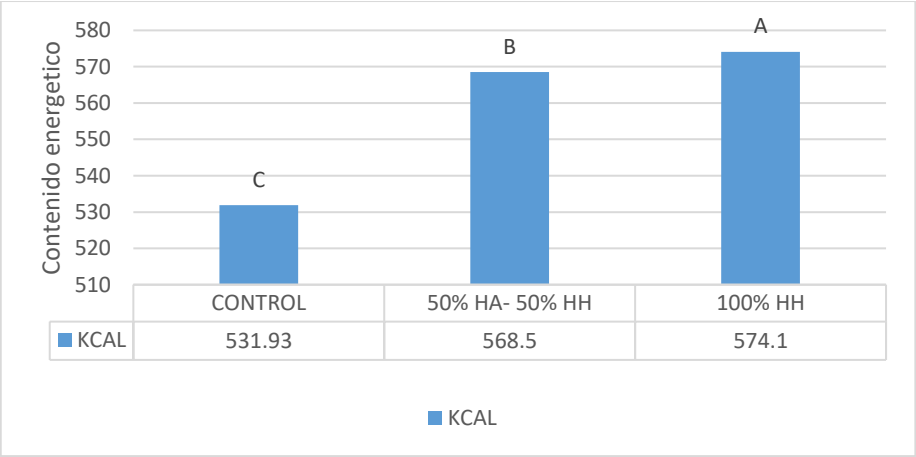



*Figura 34 Cantidad de kilocalorias en cada muestra*

.

## 4.3. ANALISIS FUNCIONAL

El análisis funcional evidenció concentraciones significativas de compuestos fenólicos en todas las muestras analizadas. Estos resultados coinciden con lo

reportado por (Dominguez, Fahey, & Valverde, 2010) quienes describen al huitlacoche, como una fuente importante de compuestos fenólicos y otros compuestos bioactivos asociados a una elevada capacidad antioxidante. Por lo tanto, la incorporación de harina de huitlacoche contribuye al valor funcional del producto.

Los resultados obtenidos respecto al perfil funcional de las barras elaboradas con harina de huitlacoche fueron consistentes con lo reportado por otros autores (Barakal & Alfneeaid, 2023), quienes destacan la relevancia de los fitonutrientes presentes en alimentos naturales como los dátiles reportados en dicho estudio, quienes tienen similitud con el huitlacoche por sus efectos antioxidantes y al contener compuestos bioactivos que han sido asociados con efectos benéficos para la salud, lo que respalda su incorporación en el desarrollo de alimentos funcionales.

### 4.3.1 Determinación de vitamina C

De acuerdo con la figura 35, se observó que el ácido ascórbico, desempeña un papel importante como agente mejorador en los procesos de panificación, ya que favorece la estabilidad de la masa y regula las características de la fermentación (Mendoza, 2024). Además de sus efectos tecnológicos, la presencia residual de compuestos derivados de la vitamina C en el producto final puede contribuir al valor nutricional del alimento, debido a su función como micronutriente esencial con actividad antioxidante.

También se puede observar una diferencia muy significativa que existe entre las muestras elaboradas.




*Figura 35 Comportamiento de Vitamina C*

### 4.3.2 Cuantificación de acidez titulable

Los resultados obtenidos en la determinación de acidez titulable evidenciaron valores comparables entre la muestra 1 y el control, sin diferencias significativas aparentes. En contraste, la muestra 3 presentó un incremento en la acidez titulable, indicando una mayor concentración de ácidos orgánicos presentes en la matriz analizada (fig. 36). Como menciona (Kader, 2010) la concentración de ácido cítrico influye significativamente en las características organolépticas de los alimentos, ya que niveles elevados de acidez generan una mayor percepción de sabor agrio, mientras que concentraciones bajas pueden asociarse con pérdida de frescura y menor aceptación sensorial.

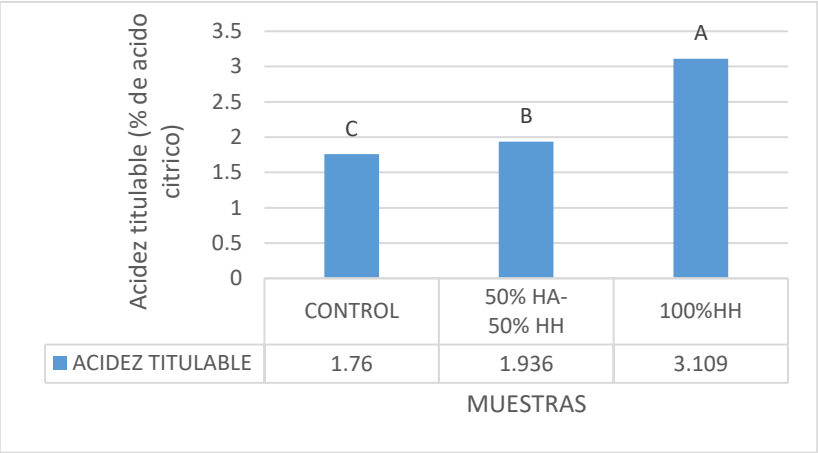



*Figura 36 Comportamiento de acidez titulable*

### 4.3.3 Análisis de polifenoles

El análisis reveló una concentración significativamente elevada de polifenoles en la barra funcional elaborada con 100% de harina de huitlacoche (fig. 37). Esta característica resulta relevante, dado que se ha documentado que los polifenoles participan en diversos procesos enzimáticos mediados por la microbiota intestinal. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por (Barakal & Alfneeaid, 2023), quienes destacan el potencial de los polifenoles como agentes bioactivos con aplicaciones terapéuticas, particularmente en el manejo de enfermedades metabólicas como la diabetes.

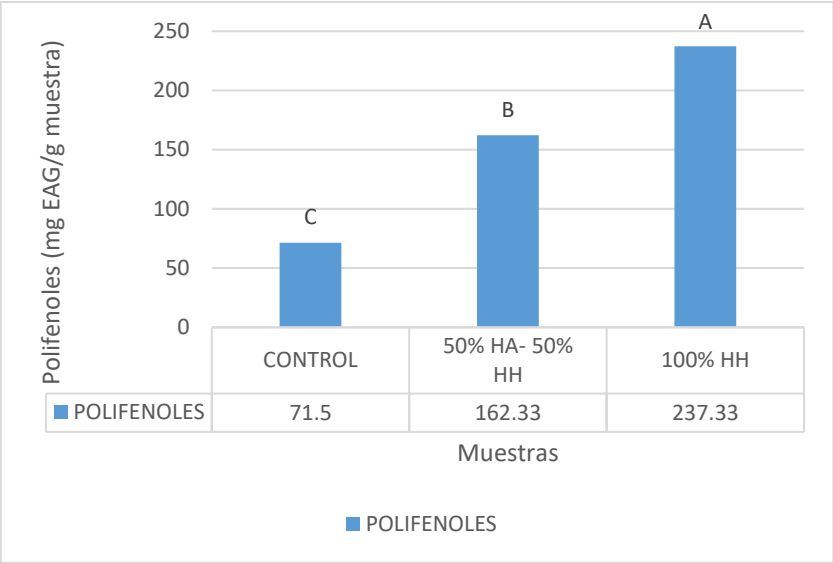



*Figura 37 Cantidad de polifenoles en cada una de las muestras*

### 4.3.4 Cuantificación de flavonoides

El contenido de flavonoides determinado en las tres muestras evidenció una elevada capacidad antioxidante (fig. 38). No obstante, la muestra con mejor desempeño correspondió a la formulación elaborada con 100 % de harina de huitlacoche, lo cual podría atribuirse a la presencia de compuestos fenólicos y metabolitos bioactivos característicos de esta materia prima. Estos resultados concuerdan con lo reportado en la literatura científica (Chen, y otros, 2016) donde se establece que alimentos con concentraciones superiores a 50 mg EQ/g presentan una alta capacidad antioxidante y un importante potencial funcional.

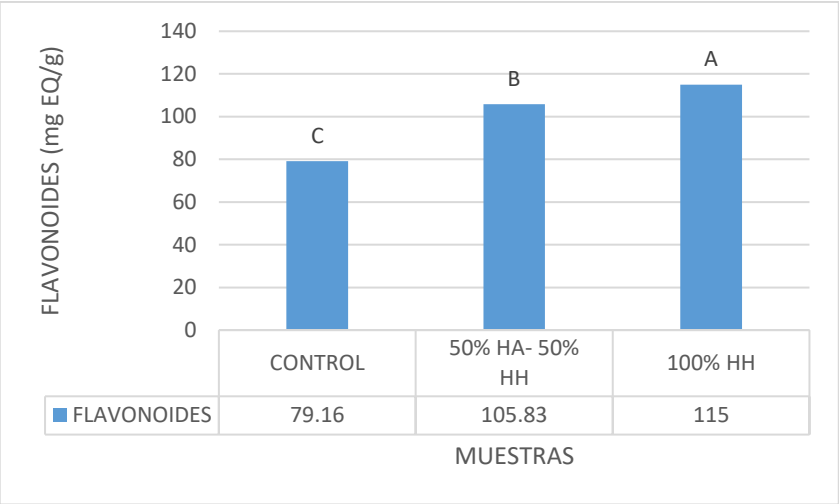



*Figura 38 Cantidad de flavonoides en cada una de las muestras*

### 4.3.5 Análisis de la capacidad antioxidante

Huma &Anjum (2021) hacen referencia en su investigación que las cantidades considerables de antioxidantes en alimentos contribuyen a ayudar al cuerpo humano. En cuanto a los resultados de la presente investigación se puede mencionar que el uso de ambas harinas en conjunto con los otros ingredientes utilizados afirma lo que los autores anteriores encontraron sobre el beneficio al ser (fig. 39). De manera similar a lo reportado por (Mildner, Zawirska, & Gorecka, 2013) para la harina de orujo de uva, la harina de huitlacoche presentó una elevada capacidad antioxidante, atribuible a su contenido de compuestos fenólicos y otros metabolitos bioactivos. En ambos casos, estas materias primas constituyen fuentes naturales de antioxidantes que contribuyen al incremento del potencial antioxidante del producto final.

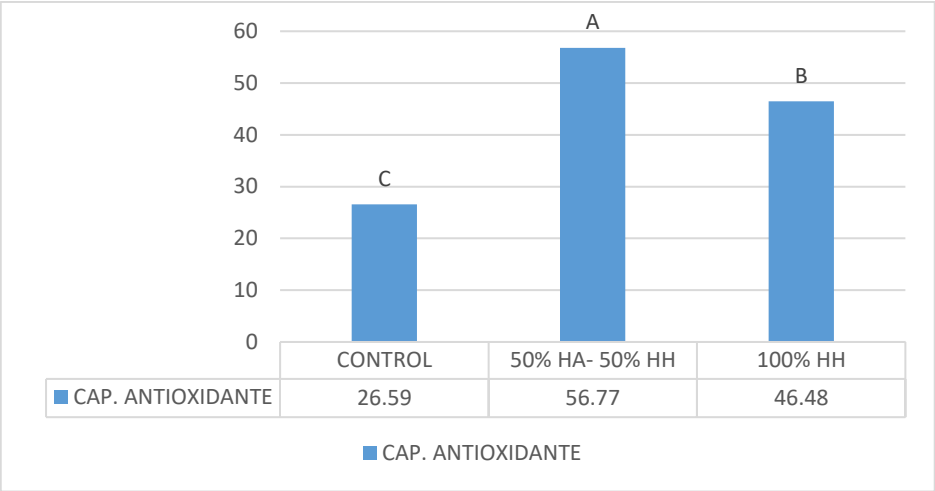



*Figura 39 Capacidad antioxidante en cada muestra*

## 5.1 EVALUACION SENSORIAL

Los resultados obtenidos indicaron una alta aceptabilidad sensorial en atributos clave como sabor, textura, aroma y apariencia, lo cual sugiere un potencial favorable de aceptación en el mercado. Esta aceptación refuerza la idea de que los catadores, en su papel de consumidores potenciales, avalan la creación de barras nutricionales más saludables y funcionales, en concordancia con lo planteado en un artículo científico (Bourekoua, y otros, 2023), donde se destaca la importancia de desarrollar productos innovadores dirigidos a diversos tipos de personas.

La evaluación sensorial realizada demuestra que las barras funcionales a base de huitlacoche no solo satisfacen los criterios sensoriales esperados por los consumidores, sino que también constituyen una propuesta innovadora al incorporar un ingrediente tradicionalmente mexicano con propiedades nutricionales relevantes. El huitlacoche, por su contenido en fibra, proteínas, compuestos fenólicos y otros metabolitos bioactivos, aporta valor funcional sin comprometer la calidad sensorial del producto final. Esto refuerza la viabilidad de las barras como una alternativa saludable frente a productos comerciales convencionales.

### 5.1.1 Atributo de apariencia global

Con base en los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza (ANOVA), se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$). No obstante, de acuerdo con la evaluación sensorial realizada por los panelistas, el segundo tratamiento formulado con la combinación de harina de avena y harina de huitlacoche presentó una mayor aceptación, reflejando una mejor percepción organoléptica en comparación con los demás tratamientos analizados.

La formulación mixta (50% HA - 50% HH) sobresalió con la calificación más alta en apariencia global (4.92), superando a la barra control (3.0) y a la formulación al 100% HH (4.0) (fig. 40). En el biplot del ACP, la apariencia global actuó como un conductor visual determinante de la preferencia. Este fenómeno de sinergia visual en concentraciones intermedias concuerda con lo reportado por Singh et al. (2022), quienes al formular barras energéticas adicionadas con subproductos vegetales (harina de cáscara de plátano) observaron que las sustituciones totales reducían la calidad visual debido a una superficie irregular, mientras que las mezclas balanceadas con avena retenían una cohesión macroscópica visualmente armónica y atractiva para el consumidor.

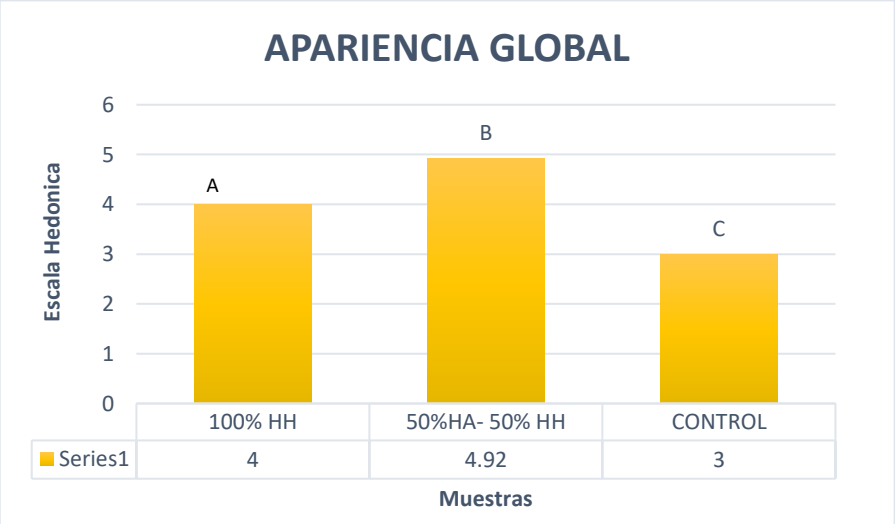



*Figura 40 Comportamiento del parametro apariencia global*

### 5.1.2 Descriptor de color

En relación con el atributo color, el análisis estadístico mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$). El tratamiento con 100% HH (fig. 41), obtuvo las puntuaciones más altas en la evaluación sensorial, evidenciando una mayor aceptación por parte de los panelistas. Este comportamiento podría estar asociado a la pigmentación característica del huitlacoche, la cual contribuyó significativamente a la diferenciación cromática y al mejoramiento de la percepción visual del producto.

El color fue el atributo donde la barra con 100% de harina de huitlacoche obtuvo el puntaje máximo (4.93), vinculándose directamente con su baja luminosidad ($L = 20.9$). Los panelistas calificaron positivamente la identidad cromática oscura y homogénea del hongo. Este comportamiento es análogo al descrito por de Barros et al. (2021) en matrices de panificación y snacks enriquecidos con sustratos fúngicos y subproductos ricos en melaninas y polifenoles; los autores demostraron que los consumidores modernos asocian los colores oscuros, marrones o grisáceos intensos en alimentos alternativos con propiedades saludables, rústicas y artesanales, lo que incrementa la aceptabilidad hedónica del color en lugar de rechazarlo.

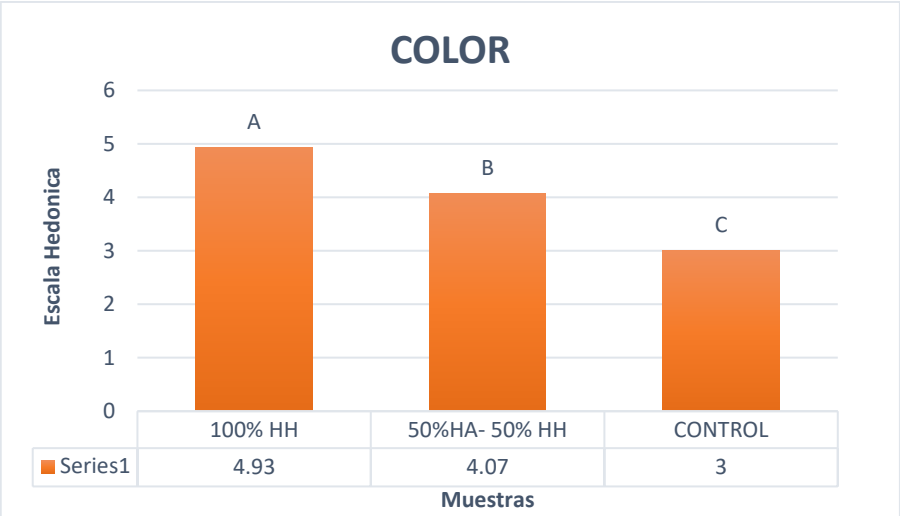



*Figura 41 Comportamiento del parametro color*

### 5.1.3 Atributo de olor

Con respecto al atributo olor, las diferencias entre dos de los tratamientos evaluados fueron mínimas, en comparación con la muestra formulada con la combinación de ingredientes (fig. 42). Estos resultados evidencian que el aroma característico del huitlacoche tuvo una influencia significativa en la percepción sensorial de las muestras, contribuyendo favorablemente a la intensidad y aceptación del olor por parte de los panelistas.

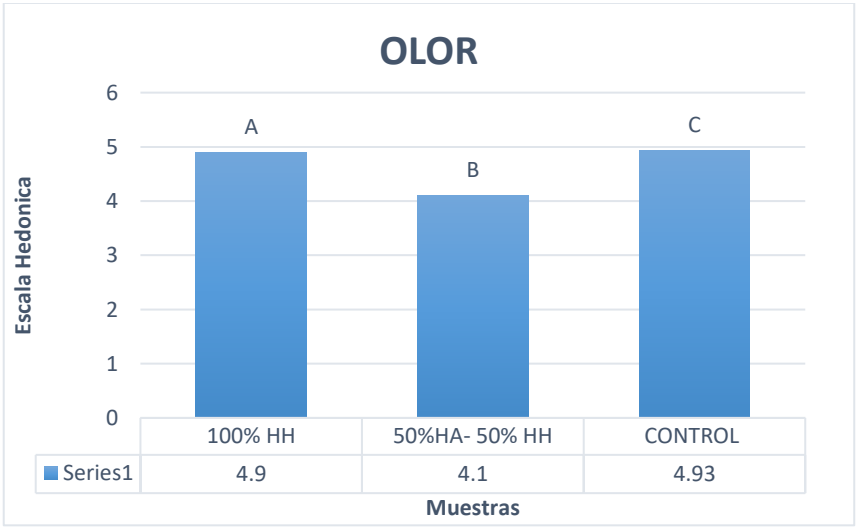



*Figura 42 Comportamiento del parámetro de olor*

### 5.1.4 Descriptor de sabor

En el atributo de sabor, el análisis de varianza evidencio diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, la formulación C presento las mayores puntuaciones de aceptabilidad sensorial.

Las barras enriquecidas al 100% con *U. maydis* destacaron con puntuaciones máximas de 4.93 en olor y sabor (fig. 43). El huitlacoche maduro posee un perfil metabólico complejo rico en carbohidratos solubles y aminoácidos libres (destacando el ácido glutámico), los cuales confieren notas umami pronunciadas y compuestos volátiles terrosos estables al horneado. Alfheeaid et al. (2023) corroboraron en barras nutricionales que la incorporación de ingredientes funcionales con perfiles aromáticos intensos (como derivados botánicos y fúngicos) desplaza los vectores del ACP hacia cuadrantes de alta intensidad sensorial aromática. La persistencia de volátiles no solo enmascara la neutralidad de los cereales base, sino que establece un estímulo retronasal diferenciado que impacta positivamente la palatabilidad.

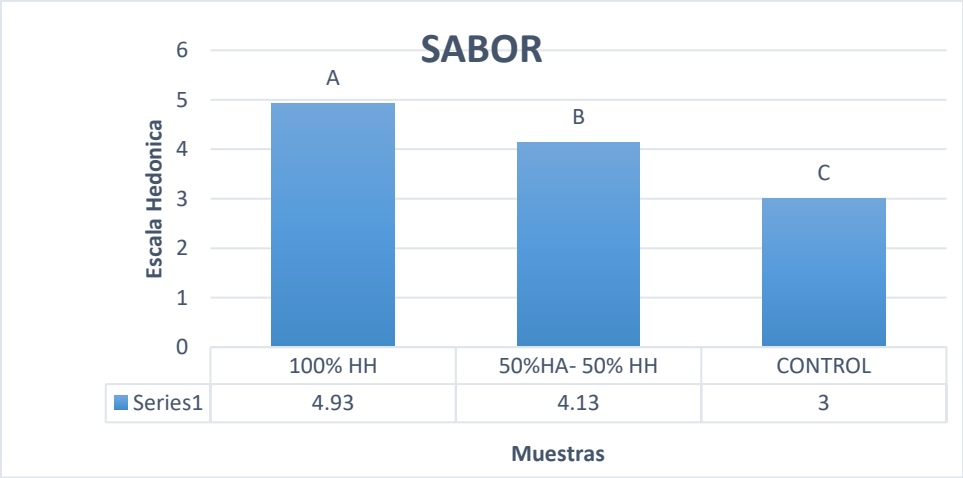



*Figura 43 Comportamiento del paraemtro sabor*

### 5.1.5 Atributo de textura

En el atributo textura, el análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$). La formulación con combinación de harinas presentó una mayor tendencia de aceptación sensorial por parte de los panelistas (fig. 44).

La textura fue el descriptor más crítico y discriminante del modelo multivariado. Mientras que el control obtuvo una textura de 5.0, la adición del 100% de harina de huitlacoche redujo la aceptación de la textura a 3.6, arrastrando consigo la aceptación global de este tratamiento (3.03). Reológicamente, la sustitución total con la matriz fúngica incrementó la dureza intrínseca y la pegajosidad, provocando una sensación pastosa y densa a la masticación.

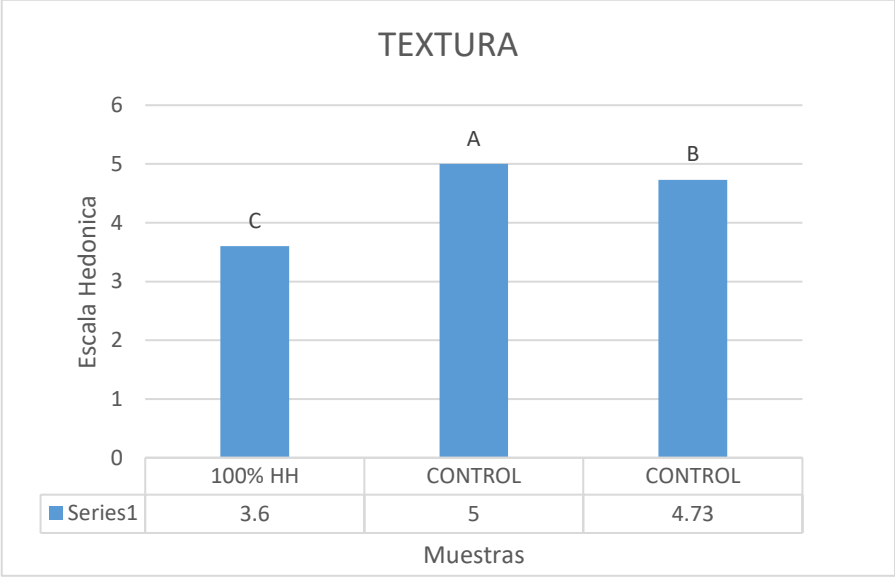



*Figura 44 Comportamiento del parametro textura*

Este comportamiento mecánico-sensorial coincide rigurosamente con los hallazgos de You et al. (2024), quienes evaluaron el impacto de micoproteínas y harinas fúngicas estructurales en barras proteicas; sus mapas de ACP demostraron que los niveles máximos de sustitución colapsan la elasticidad microestructural del snack,

generando una resistencia mecánica excesiva a la mordida. No obstante, al emplear la formulación mixta 50/50, los beta-glucanos y almidones gelatinizables de la avena actúan como agentes estructurantes que retienen humedad y suavizan la matriz. Esto explica por qué el tratamiento mixto (50% HA - 50% HH) logró posicionarse en el cuadrante de idoneidad de consumo del ACP, consolidándose como el equilibrio tecnológico idóneo para capitalizar las propiedades bioactivas del huitlacoche sin detrimento de la textura demandada por el consumidor final.

### 5.1.6 Descriptor de aceptación global

Finalmente, el atributo de aceptación global presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$), de acuerdo con las puntuaciones otorgadas por los panelistas durante el análisis sensorial (fig. 45). No obstante, el tratamiento control obtuvo la mayor aceptación, mientras que la formulación elaborada con 100 % de harina de huitlacoche registró las menores puntuaciones de aceptabilidad.

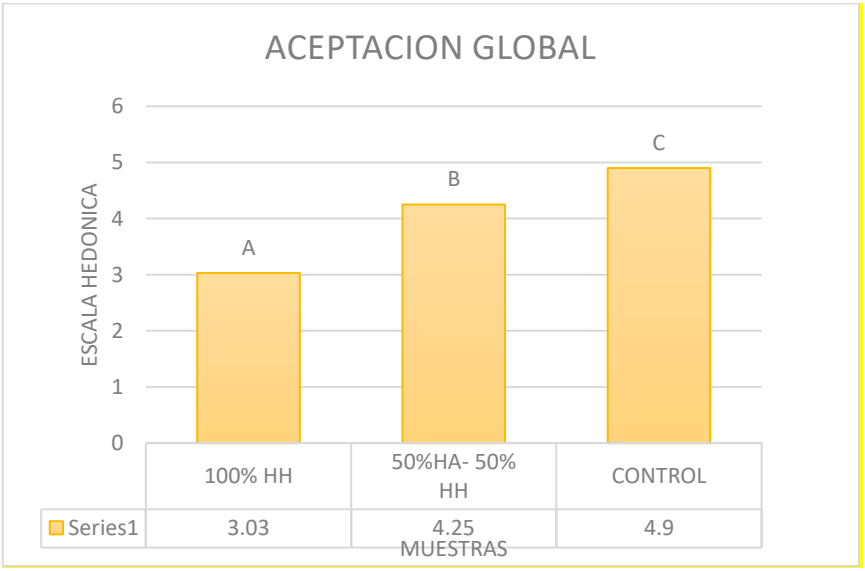



*Figura 45 Comportamiento del parametro de aceptacion global*

### 5.1.7. Preferencia de las barras elaboradas

En las últimas décadas, la industria alimentaria ha buscado desarrollar snacks saludables que no solo aporten energía, sino que también ofrezcan beneficios funcionales al organismo. A partir de los resultados de este estudio, se destaca la importancia de seguir innovando en productos de este tipo, con el objetivo de mejorar la salud del consumidor y proporcionar alternativas que incluyan macronutrientes esenciales dentro de una dieta equilibrada

Las barras funcionales fueron bien valoradas en atributos sensoriales, especialmente en sabor y textura. La formulación preferida por los consumidores fue la del Tratamiento 1, compuesta por 50% harina de avena y 50% harina de huitlacoche, destacada por su sabor equilibrado y textura suave. Los evaluadores mostraron alta aceptación por la combinación de ambas harinas.

Las muestras 50%HA-50%HH y 100%HH también recibieron comentarios positivos, mientras que la muestra CONTROL (100%HA) fue percibida con menor claridad en sabor y una textura más frágil (fig. 46). Se identificaron oportunidades de mejora en la apariencia visual de las muestras CONTROL (100%HA) y T1 (50%HA-50%HH) especialmente en el color. Se sugirió mejorar la compactación y añadir una capa de miel para hacerlas más atractivas.

En general, las barras presentan buena aceptación y potencial comercial, con la recomendación de considerar formulaciones libres de gluten.

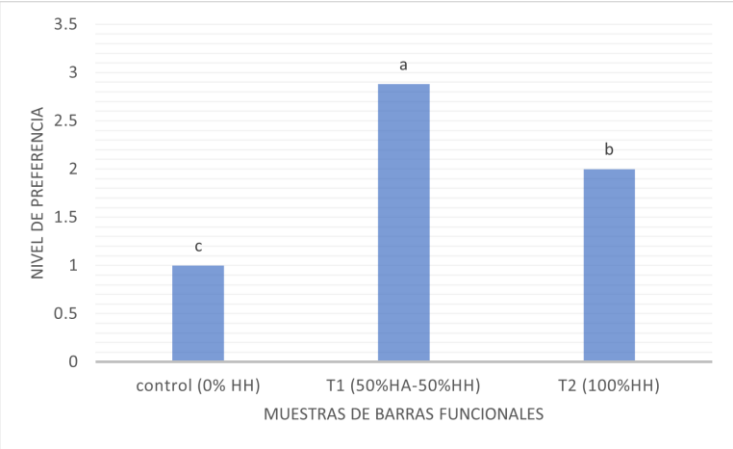



*Figura 46*

Nivel de preferencia (n=104) de consumidores potenciales a una p>0.05, de los tratamientos: control, T1: 50% HA-50% HH Y T2: 100% HH. Donde HH: harina de huitlacoche y HA: harina de avena

### 5.1.8. Análisis de Componentes Principales (ACP)

La figura 48 muestra el gráfico de sedimentación (*Scree Plot*), el cual representa el eigenvalor en función del número de componentes extraídos. Visualmente, se aprecia una pendiente pronunciada ("codo" o caída drástica) inmediatamente después del segundo componente principal. A partir del PC3 (eigenvalor de 0.2157, que solo explica el 3.1% de la varianza), la curva se aplana por completo hacia valores cercanos a cero. Este comportamiento gráfico justifica plenamente la decisión metodológica de truncar el análisis y retener únicamente los dos primeros componentes (PC1 y PC2), asegurando un modelo robusto y parsimonioso para la interpretación sensorial (fig. 47) (Singh et al., 2022).

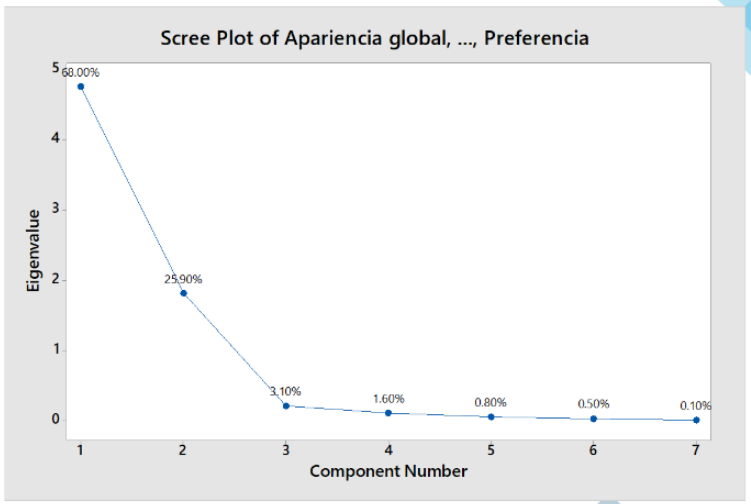



*Figura 47 Grafico de sedimentacion: (Scree Plat) de los componentes principales*

La figura 48 expone la distancia de Mahalanobis calculada para cada una de las observaciones (evaluaciones individuales de los jueces consumidores) respecto al centroide de la distribución multidimensional. El establecimiento de una línea de referencia crítica en un valor de 3.8 sirve como umbral estadístico para identificar observaciones atípicas (*outliers*). Los puntos situados por encima de esta línea límite representan evaluaciones sensoriales con respuestas inusualmente extremas o inconsistentes respecto al comportamiento promedio del panel. La identificación de estos puntos es crucial en el análisis sensorial para diagnosticar el ruido experimental o la variabilidad intrínseca de consumidores no entrenados antes de proceder con la interpretación definitiva del mapa sensorial (fig. 48) (Eduardo et al., 2024).

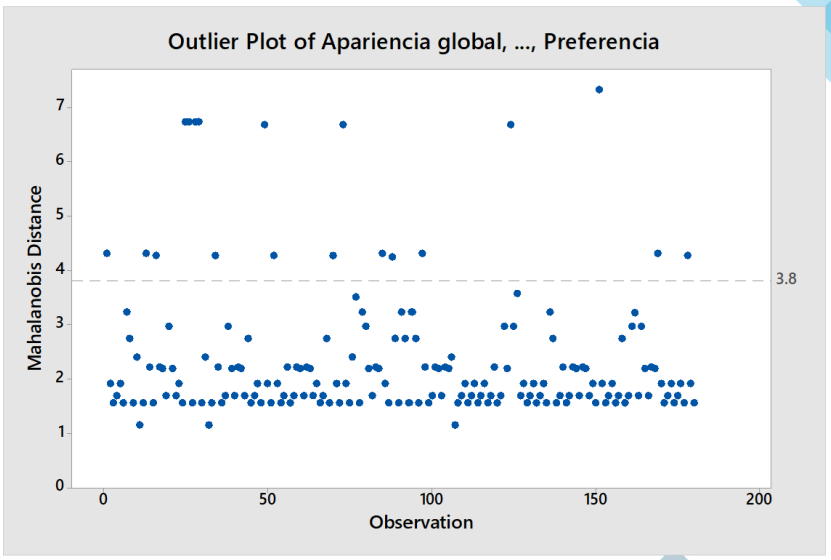



*Figura 48 Grafico de valores atipicos (Outlier Plat) mediante distancia de Mahalanobis.*

El gráfico de superposición bidimensional o *Biplot* (fig. 49) integra simultáneamente la proyección de los vectores que representan los atributos sensoriales y la distribución espacial de las respuestas. Los vectores correspondientes a *sabor*, *color* y *olor* son de longitud similar y se orientan estrechamente agrupados en el primer cuadrante (superior derecho), lo que evidencia una fuerte correlación positiva entre ellos. Asimismo, los vectores de *Aceptación global*, *Preferencia* y *Apariencia global* se proyectan agrupados en el cuarto cuadrante (inferior derecho).

En claro contraste, el vector de *Textura* se proyecta con una longitud sobresaliente hacia el tercer cuadrante (inferior izquierdo), posicionándose en sentido casi opuesto a las variables sensoriales (sabor y olor) y marcadamente alejado de los indicadores de aceptación y preferencia. Esta disposición espacial de los vectores demuestra estadísticamente que la textura es el atributo de mayor poder discriminante del estudio y el que ejerció un impacto disonante respecto a la preferencia de los consumidores (Singh et al., 2022; You et al., 2024).

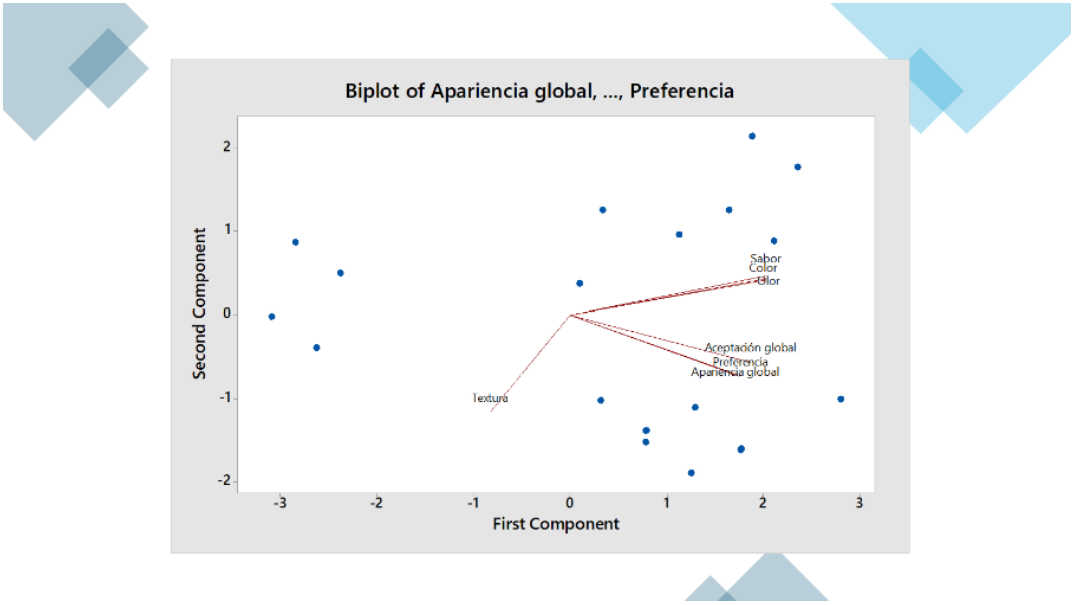



*Figura 49 Biplot de los valores sensoriales y observaciones del panel*

La figura 50 ilustra exclusivamente el espacio de las variables o gráfico de cargas (*Loading Plot*), confirmando la clusterización de los atributos en tres dimensiones sensoriales críticas:

1. **Dimensión de Impacto Químico/Aromático (sabor, color, olor):** Ubicados en la región superior derecha (PC1 positivo, PC2 positivo), lo que indica que los panelistas asociaron estrechamente la identidad cromática y aromática de la barra con la percepción de su sabor.
2. **Dimensión de Idoneidad de Consumo (aceptación global, preferencia, apariencia global):** Ubicados en la región inferior derecha (PC1 positivo, PC2 moderadamente negativo), reflejando que la apariencia global del producto fue un conductor visual determinante de la preferencia y la aceptación final.
3. **Dimensión Mecánica/Reológica (Textura):** Localizada de forma aislada en el extremo inferior izquierdo (PC1 negativo, PC2 fuertemente negativo, con un valor de carga de -0.637). Esto constata que la textura de las barras se rige por un fenómeno sensorial e instrumental completamente

independiente al de los compuestos volátiles del sabor y el aroma (fig. 50) (You et al., 2024).

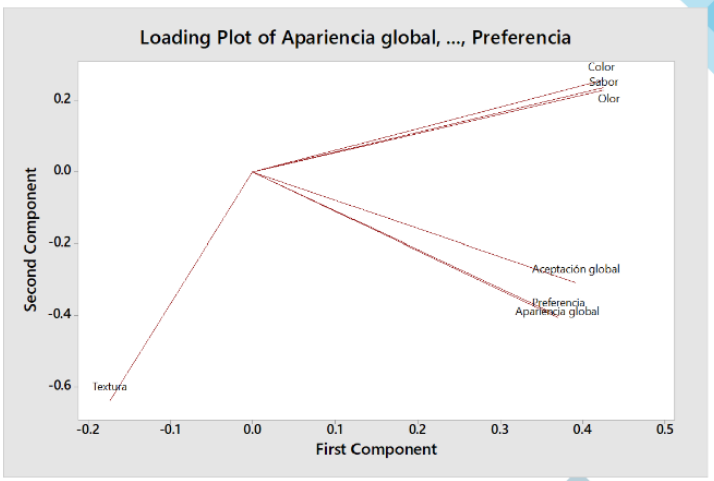



*Figura 50 Grafico de cargas (Loading Plat) de las variables sensoriales*

El gráfico de puntuaciones (*Score Plot*) por tratamiento (fig. 51) es una de las evidencias visuales más contundentes del estudio, al demostrar una segregación espacial perfecta y sin solapamiento de los tres tipos de barra evaluados:

- **Tratamiento Control (símbolos verdes):** Se posiciona en su totalidad en el extremo izquierdo del plano (PC1 marcadamente negativo, PC2 cercano a cero). Esto indica que la barra sin adición de huitlacoche se asocia a valoraciones sensoriales opuestas a los vectores de aceptabilidad, sabor y aroma.
- **Tratamiento 100% HH (símbolos azules - harina de Huitlacoche):** Se agrupa firmemente en el cuadrante superior derecho (PC1 positivo, PC2 positivo). Este posicionamiento revela que la sustitución total con harina de huitlacoche incrementó sustancialmente la intensidad de los atributos de color, olor y sabor, confiriéndole un perfil sensorial robusto y característico de la matriz fúngica.

- **Tratamiento Mixto 50%HA - 50%HH (símbolos rojos):** Se sitúa homogéneamente en el cuadrante inferior derecho (PC1 positivo, PC2 fuertemente negativo). Su ubicación sobre el eje PC1 demuestra que este tratamiento comparte una alta aceptabilidad hedónica, pero su desplazamiento hacia el PC2 negativo indica una asociación directa con los vectores de *Textura*, *Apariencia global*, *Preferencia* y *Aceptación global* (fig. 51).

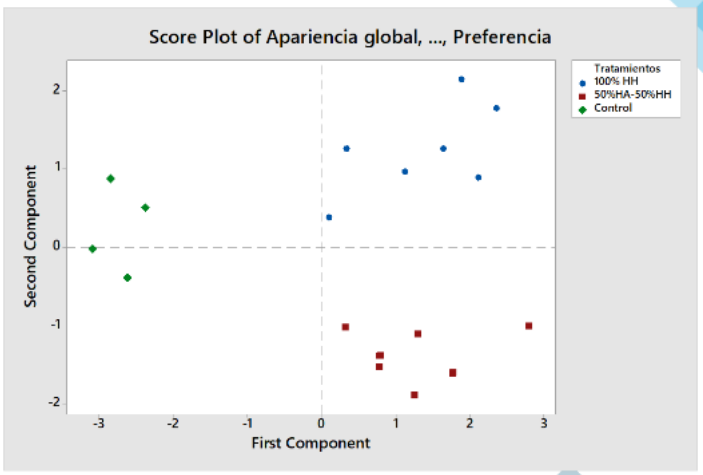



*Figura 51 Grafico de puntuaciones (Score Plot) de los tratamientos evaluados.*

La figura 52 presenta el *Score Plot* desagregado para cada uno de los panelistas (~56 jueces consumidores). La distribución de los puntos en el espacio bidimensional refleja la dispersión individual y permite evaluar la consistencia del panel. A pesar de la variabilidad biológica y de criterio inherente a un panel de consumidores no entrenados (Eduardo et al., 2024), se confirma que las respuestas individuales conservan la tendencia de agrupación por tratamiento observada en la figura 52, lo que valida la robustez metodológica de la prueba y la consistencia de las valoraciones sensoriales colectivas.

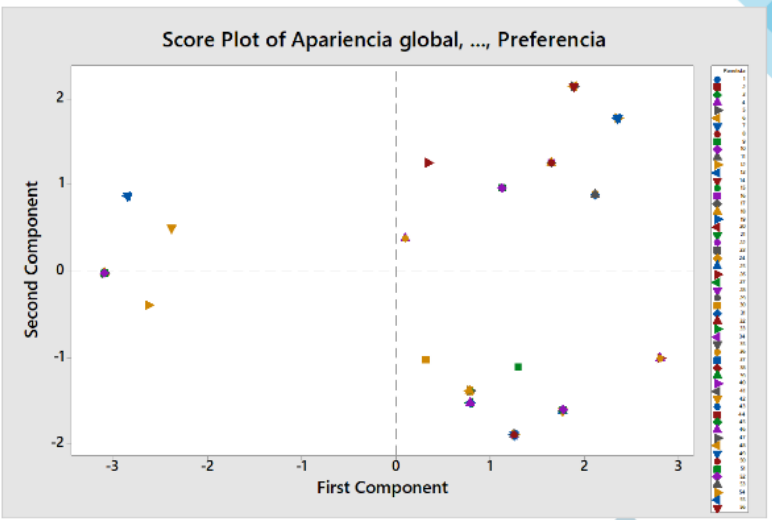



*Figura 52 Grafico de puntuaciones (Score Plot) por panelista individual*

El ACP muestra que la separación espacial de los tratamientos evidencia que la adición de harina de huitlacoche (*Ustilago maydis*) cambia drásticamente la estructura sensorial y la aceptabilidad de las barras funcionales. La separación entre las formulaciones enriquecidas (100%HH y 50%HA-50%HH) y la barra Control a lo largo del eje PC1 (que acumula el 68,0% de la varianza) evidencia que la incorporación de este ingrediente no tradicional confiere atributos sensoriales altamente valorados por el panel, alejando a los productos formulados de la neutralidad del control.

El tratamiento 100% HH (cuadrante superior derecho) está definido por puntuaciones elevadas en sabor, olor y color, posiblemente por las características propias del huitlacoche que este compuesto por una amplia variedad de sustancias químicas. El *Ustilago maydis* tiene altas concentraciones de compuestos volátiles generados durante su metabolismo y precursores de sabor (aminoácidos libres como ácido glutámico y carbohidratos solubles) que proveen notas umamis y características terrosas.

También, los panelistas detectaron un impacto cromático (color) que es responsabilidad de la riqueza en compuestos polifenólicos y pigmentos naturales (como melaninas fúngicas). Resultados similares fueron reportados por Alfheeaid et al. (2023) y de Barros et al. (2021), quienes señalan que el empleo de materias primas funcionales ricas en compuestos bioactivos y pigmentos (cáscara de cacao o pulpas de frutas) desplaza en el ACP las

muestras a vectores de color y aroma debido a la presencia de compuestos aromáticos volátiles estables al horneado.

El hallazgo más crítico del ACP, sin embargo, es el comportamiento del tratamiento mixto 50%HA - 50%HH. Su ubicación en el cuadrante inferior derecho (estrechamente asociado a la aceptación global, preferencia y apariencia global) indica que la sustitución parcial al 50% con harina de avena/amaranto produce una sinergia sensorial óptima.

El vector de textura se proyecta en dirección opuesta a sabor y olor, cargado fuertemente en el PC2 negativo. Físicamente y reológicamente, la inclusión de harina de huitlacoche en su totalidad aumentó la dureza, la adhesividad y la firmeza de las barras, lo cual puede ser percibido de forma negativa por el consumidor como una textura muy densa, masticable o "pastosa" (You et al., 2024). Al mezclar la matriz fúngica con harina de avena en una proporción de 50/50, los almidones gelatinizables y las fibras solubles (como los beta-glucanos de la avena) presentes en la mezcla mejoran la cohesividad, la suavidad y la elasticidad de la barra (Singh et al., 2022). Esto reduce la resistencia mecánica del producto terminado a la mordida, ajustándolo al perfil reológico que el consumidor demanda por textura.

Esta interacción reológica-sensorial coincide con el estudio de Singh et al. (2022), quienes al formular barras con harina de cáscara de plátano inmaduro y avena observaron mediante ACP que los niveles máximos de sustitución de fibra fúngica o frutal deterioraban la textura, mientras que las mezclas intermedias lograban un equilibrio entre cohesividad y aceptabilidad global. Del mismo modo, You et al. (2024) demostraron por medio de un ACP sensorial que la incorporación de micoproteínas modificaba significativamente el perfil de dureza y masticabilidad de las barras proteicas, requiriendo de co-ingredientes estructurantes para reposicionar el producto en el cuadrante de preferencia del consumidor.

Destacamos que el mapa del ACP demuestra que la barra formulada con el tratamiento mixto 50%HA - 50%HH es el equilibrio tecnológico y sensorial idóneo. Esta formulación permite disminuir el efecto negativo de la textura densa que se obtiene cuando se utiliza exclusivamente harina de huitlacoche al 100%, manteniendo sus atributos bioactivos, el color característico y las notas de sabor y olor que hacen que este alimento funcional sea diferente al mercado convencional (Samakradhamrongthai et al., 2021; Alfheeaid et al., 2023).

# CAPITULO V. CONCLUSIONES

Se concluye que fue posible desarrollar barras funcionales a base de harina de huitlacoche (*Ustilago maydis*) con características físicas, bromatológicas, funcionales y sensoriales favorables. Las formulaciones elaboradas con harina de huitlacoche presentaron diferencias respecto al control, principalmente en color, firmeza, contenido de fibra y compuestos bioactivos. En los parámetros físicos, la incorporación de huitlacoche redujo la luminosidad y modificó la firmeza del producto, mientras que el grosor permaneció constante entre tratamientos. En el análisis bromatológico, las barras con harina de huitlacoche mostraron mayor contenido de fibra, cenizas y grasa que la barra control, además de niveles de humedad menores a 15%, lo cual indica que las formulaciones cumplen con la especificación de referencia para este tipo de productos.

Desde el punto de vista funcional, la formulación con 100% harina de huitlacoche destacó por sus mayores contenidos de vitamina C, acidez titulable, polifenoles y flavonoides, mientras que la formulación 50% harina de avena y 50% harina de huitlacoche presentó la mayor capacidad antioxidante. En la evaluación sensorial, ambas formulaciones con harina de huitlacoche obtuvieron buena aceptación; la mezcla 50/50 sobresalió en apariencia global, y la formulación con 100% harina de huitlacoche presentó los valores más altos en color y sabor. En conjunto, estos resultados demuestran que la harina de huitlacoche constituye una alternativa viable para la formulación de barras funcionales con valor nutrimental, potencial bioactivo y aceptación sensorial, manteniendo el significado académico de los hallazgos y respaldando su posible aprovechamiento en el desarrollo de productos alimentarios innovadores.

# CAPITULO VI. FUTURAS INVESTIGACIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se plantean las siguientes líneas de investigación encaminadas a fortalecer el desarrollo y comercialización de barras funcionales a base de harina de huitlacoche (*Ustilago maydis*):

• **Estudios de estabilidad y vida útil:** debido a que se presentó variaciones en la firmeza y humedad del producto dependiendo de la concentración de la harina de huitlacoche, se recomienda realizar pruebas aceleradas de vida útil para determinar la estabilidad física, microbiológica y nutricional del producto durante su almacenamiento.

• **Optimización de los atributos sensoriales (color y textura):** Como la formulación con 100 % de harina de huitlacoche fue la que demostró mayor firmeza y menor luminosidad (L=20.9), se sugiere probar el uso de coadyuvantes tecnológicos o métodos alternativos de molienda para mejorar la textura y hacer más atractivo el color, sin comprometer el aporte bioactivo.

• **Estudio de biodisponibilidad:** Si bien se cuantificó la actividad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, se requiere que futuras investigaciones evalúen la biodisponibilidad y digestibilidad in vitro de estos compuestos luego del proceso de horneado, para así verificar si el perfil funcional permanece intacto luego de la elaboración de la barra.

• **Economía e análisis de la escala industrial:** Por el alto nivel de aceptación de la formulación 50/50, se plantea realizar un estudio de viabilidad técnica y económica para el escalamiento industrial del proceso, mediante la evaluación del costo-beneficio de la producción de harina de huitlacoche a gran escala e integración de cadenas de suministro sostenibles con los productores locales.

• **Diversificar las maneras de expresar las funciones:** Se recomienda incorporar otros insumos regionales que ayuden a equilibrar de manera natural el perfil de macronutrientes (proteínas y grasas saludables), disminuyendo la dependencia de los azúcares añadidos y buscando opciones para elaborar una versión "sin gluten", atendiendo a las exigencias actuales de los consumidores más conscientes de su salud.

# CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Ajomiwe, N., Boland, M., Phongthai, S., Bagiyal, M., Singh, J., & Kaur, L. (2024). Nutricion proteica: Comprension; estructura, digestibilidad y biodesponibilidad para una salud optima. *foods*.

Alfheeaid, H. A., Barrakat, H., Althwab, S., Hamid, M. K., & Malkova, D. (2023). Características nutricionales y fisicoquímicas de las innovadoras barritas energéticas y proteicas a base de frutas y dátiles. *Alimentos*, 12-17.

Alolyan, M., Alfheeaid, H., Alhowail, A., Alamri, M., Alghasham, S., Alzunaidy, N., & Barakat, H. (2024). Respuesta antioxidante postprandial a la ingestion de barras nutricionales formuladas a base de datiles y frutas por parte de individuos sanos. *Nutrientes*, 21-25.

Alulima, C. L. (2019). Analisis de la comercializacion de barras nutricionales de amaranto en la ciudad de Guayaquil. *Revista Observatorio de la economia latinoamericana* .

Alvarez, P. R. (2020). Identificación de compuestos fenólicos en extractos de almendra (Prunus dulcis) y nuez pecana (Carya illinoinensis) mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría. *Revista especializada en ciencias quimicobiologicas*.

Amador, R. K., Perez, C. L., Guevara, L. F., & Martinez, B. F. (2019). Propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas de harinas y masas de maíz azul nixtamalizadas adicionadas con pasta de huitlacoche (Ustilago maydis). *Quimica de los alimentos*, 601- 608.

Amaya, S. W., & Lasluisa, M. J. (2018). *Obtencion, caracterizacion e incorporacion del mucilago de malva y su efecto en la clarificacion del agua miel del agave ( agave americana L.) para la produccion de miel.* Latacunga, Ecuador.

Avalos, A. P. (2021). *Fibra dietetica de la avena (Avena sativa L) y sus beneficios a la salud.* Riobamba, Ecuador: Escuela superior politecnica de chimbora.

Aviles, R. Y., Valdez, T. J., Campos, S. J., Heredia, J., & Muy, R. M. (2024). Diseño de un snack moldeado de avena- mango con propiedades nutricionales y nutraceuticas factibles. *Foods*, 13-21.

B.M, W., G.L., Y., & L.E., J. (1992). *Metodos sensoriales basicos para la evaluacion de alimentos.* Otlawa, Canada.

Barakal, H., & Alfneeaid, H. (2023). La fruta de la palmera datilera (Phoenix dactylifera) y sus prometedoras Potencial en el desarrollo funcional barritas energeticas: Revision de productos quimicos, nutricional, funcional y sensorial. *nutrients*, 2777.

Barras de cereal. (2019). *Revista del consumo*.

Basse, C., & Steinberg, G. (2014). Ustilago maydis, sistema modelo para el análisis de las bases moleculares de la patogenicidad fúngica. *Patologia molecular de las plantas*, 83-92.

Bolivar, M. R., & Parco, M. (2019). *Analisis de la comercializacion de barras nutricionales de amaranto en la ciudad de Guayaquil.* Guayaquil: Observatorio de la economia latinoamericana.

Bourekoua, H., Djehim, F., Ayad, R., Benabdelkader, A., Bouakkaz, A., Dzihki, D., & Rozyl, R. (2023). Desarrollo de energias ricas y barras ricas en fibra a base de cereales inflados y no inflados. *porcesses*.

Bustos, S. M., & Ferreyra, L. M. (2017). Evaluación de la calidad tecnológica, nutricional y sensorial de barras de cereal con quinoa. *Agriscientia*.

Campostrini, F. G., & Sosa, N. (2018). *Optimización del uso de arándanos, nueces, amaranto y miel en la elaboración de un bocadillo con compuestos bioactivos.* Cuyo, Argentina.

Cappella, A. N. (2016). *Desarrollo de barra de cereal con ingredientes regionales, saludable nutricionalmente.* Bogota, Colombia: UNC.

Cárdenas, M. N., Cevallos, H. C., Salazar, Y. J., R Romero, E., Machado, R., Patricia, G. M., & Cáceres, M. M. (2018). Uso de pruebas afectivas, discriminatorias y descriptivas de evaluación sensorial en el campo gastronómico. *Revista cientifica del campo de las ciencias* , 253-263.

Carrillo, G. C., Gutierrez, C. M., Muro, V. M., & Torres, B. O. (2017). La chia como super alimento y beneficios en la salud y en la piel. *El residente*.

Castañeda, M. J., & Prieto, M. A. (2019). Guía metodológica para la elaboración de un estudio de factibilidad. Estudio de caso: Fabricación y venta de barras de cereal. *Agriculture*.

Chen, G. l., Chen, S. g., Ying, Z., Luo, C., Li, J., & Gao, Y. (2016). Contenido total de fenolicos de frutas y sus capacidades antioxidantes . *Cultivos y productos industriales*, 150-157.

Cisternas, C., Farias, C., Muñoz, L., & Gladys, M. (2022). Composición química, características nutricionales y beneficios asociados al consumo de chía (Salvia hispanica L.). *Revista Chil Nutrition*, 625-636.

Comaposada, J., Ferrani, F., Boukid, F., Climent, E., Clare, A., & Luis, G. (2023). Potenciar las barritas energéticas con microalgas: Un estudio sobre las propiedades nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales. *Revista de alimentos funcionales*, 57-68.

Cortes, S. I., Buendia, G. M., Palacios Rojas, N., & Santa, R. H. (2016). Evaluación de la calidad de tortilla de maíz adicionada con harina de avena (Avena Sativa L.) nixtamalizada. *Revista mexicana de ciencias agricolas*.

Croll, D., Kretschmer, M., & Kronstad, J. (2018). Las funciones metabólicas asociadas a los cloroplastos influyen en la susceptibilidad del maíz a Ustilago maydis. *Patologia molecular de las plantas*, 1210-1221.

Dominguez, J. V., Fahey, G., & Valverde, M. E. (2010). Efecto de la etapa de desarrollo del genotipo del maiz y del proceso de coccion sobre el potencial nutraceutico de los hongos comestibles. *Journal de agricultura y quimica de los alimentos*, 3781- 3788.

Escobar A., B., Esterez A., A. M., Tepper L., A., & Aguayo R., M. (1998). Caracteristicas nutricionales de barras de cerelaes y mani. *Arch.Lationam.nutr*, 48-2.

Espinoza, S. E., Torres, R. N., Juarez, M. M., Rios, C. E., Ramirez, R. D., Ortiz, H. R., . . . Lourdes. (s.f.). La infección de la planta de maíz por Ustilago maydis está regulada por el Metabolismo Fúngico del Azufre. *bioriv*, 2024.

Garcilazo, R. O., Tello, S. I., Mata, G., & Parraguirre, L. C. (2020). Evaluacion de ocho genotipos de maiz para el cultivo comercial de huitlacoche en Napalucan, Puebla, Mexico. *Agricultura*.

Golukcu, M. (2017). Valor nutricional del huitlacoche, hongo de maíz causado por Ustilago maydis. *Food and Technology*, 124-165.

Guidi, S., Gomez, A., & Lopez, M. (2019). *Desarrollo de barra de nuez pecan con cereales.* Cayo, Argentina.

Hernandez, T., Montiel, A. E., Tello, I., & Martinez, C. D. (2024). A New Method to Obtain Infective Ustilago maydis Binucleate. *Agriculture*, 34-54.

Huma, N. S., & Anjum, M. (2021). Formulacion y caracterizacion de barritas proteico-energeticas elaboradas a partir de datiles, albaricoques, queso y aislado de proteina de suero. *Food Science Techonol*, 41-46. Obtenido de https://doi.org/10.1590/fst.12220

Jensen, M., & B, S. M. (2021). Las tendencias de consumo de comida chatarra apuntan a la necesidad de políticas de venta al por menor. *Revista Americana de nutricion clinica*, 87-88.

Juarez, M. M., Rubiola de Leon, S., & Villa, T. L. (2021). Huitlacoche (tizón del maíz), causado por el hongo fitopatógeno Ustilago maydis, como alimento funcional. *Revista Iberamericana de micologia*, 69-72.

Kader, A. A. (2010). Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the science of food and agriculture*, 186-1868.

Klerks, M., Roman, S., Ruud, V., & Sanchez, S. L. (2022). ¿Son las barras de cereales significativamente más saludables y naturales que las barras de chocolate? Una evaluación preliminar en el mercado alemán. *Revista de alimentos funcionales*, 104940.

Kretschmer, M., Croll, D., & Kronstad, J. W. (2017). La susceptibilidad del maíz a Ustilago maydis está influenciada por la perturbación genética y química de la asignación de carbohidratos. *Patologia molecular de las plantas*, 1222-1237.

Kronstad, J. W. (2017). La susceptibilidad del maíz a Ustilago maydis está influenciada por la perturbación genética y química de la asignación de carbohidratos. *Patologia molecular de las plantas*, 1222-1237.

Leon, V. J. (2021). *Simulacion y modelamiento para la obtencion de una bebida carbonatada endulzada con miel de agave ( Agave americano).* Riobamba, Ecuador.

Lizarraga, G. R., & G.Lopez, M. (1998). Contenido de monosacaridos y alditol del huitlacoche. *Revista de composicion y analisis de alimentos*, 333-339.

Lopez- Martinez, A. A.-H.-F. (2022). Ingredientes bioactivos del huitlacoche (Ustilago maydis), potencial materia prima. *Quimica de los alimentos: Ciencias moleculares*.

Marquez, V. L., & Pretell, V. C. (2018). Evaluación de características de calidad en barras de cereales con alto contenido de fibra y proteína. *unicauca*.

Martinez, M. G., Chavez, G. M., & Kumar, V. D. (2021). Componentes biofuncionales en hongos, una oportunidad para la salud: Ergotionina y huitlacohe como tendencias recientes. *Revista de Alimentos Funcionales*, 104326.

Mendez, N. L., & Sanchez, C. M. (2025). Huitlacoche no siempre de la vista nace el amor. 10-13.

Mendoza, Q. (2024). *efecto del pirofosfato liposormal, Vitamina C y Betacarotenos en la calidad nutricional y aceptabilidad en kekitos fortificados.* Sn Cristobal de huamanga.

Mercado, G. (2023). Obesidad infantil en México: Una lucha constante y reflexión para su prevención sobre la influencia de los hábitos familiares y sociales. *Medicina para la obesidad*, 100521.

Michalaki, A., & C.Karantonis, H. (2024). Formulacion y evaluacion de estabilidad de snacks de panaderia enriquecidos con compuestos fenolicos encapsulados de tomates lemnios y calabaza (cucurbita moschata). *applied sciences*, 13-14.

Mildner, S., Zawirska, W., & Gorecka, D. (2013). Galletas elaboradas con harina de orujo de uva. *Journal de la ciencia de los alimentos y agricultura*, 389-395.

Molina, C. S., Espinoza, O. A., & Thomé, O. S.-P. (2023). Diversidad gastronomica de hongos silvestres comestibles en la cocina mexicana. *Revista Internacional de Gastronomía y Ciencia de los Alimentos*, 100652.

Momanyi, D., Owino, W., & Makokha, A. (2020). Formulación, evaluación nutricional y sensorial de barras de aperitivos de mezcla de sorgo y caupí listas para comer a base de baobab. *Cientifico Africano*.

Ortega, R. M., Arribas, L. N., Salas Gonzalez, ,. M., Aparicio, A., Gonzales, R., Liliana, G., . . . Loria, K. V. (2024). Alimentos procesados con alto contenido de proteínas: Impacto en la dieta, el estado nutricional y posibles efectos en la salud. *nutrients*.

Otavalo, L. J. (2023). *Elaboración de una bebida fermentada a base de miel de agave y su aplicación en la Coctelería Moderna.* Cuenca, Ecuador.

Pacheco, S. (2014). Barras de cereales energeticas y enriquecidas con otras fuentes vegetales. *Revista de investigacion universitaria*.

Paredes, L. O., Pataky, j., Guevara, L. F., & Valverde, M. E. (2019). Huitlacoche (ustilago maydis) como fuente de alimento: biología, composición y producción. *Ciencia de los alimentos y nutricion*, 191-299.

Pataky, J., & Chandler, M. (2017). Producción de huitlacoche, Ustilago maydis: momento de inoculación y control de polinización. *Micologia*, 1261-1270.

Patel, S. (2016). Nutrición, seguridad, evaluación del statu quo del mercado de alimentos funcionales emergentes carbón de maíz (huitlacoche). *Tendencias en Ciencia y tecnologia de los alimentos*, 93-102.

Peralta, S. H., Luna, R. M., & Sanchez, P. L. (2018). Los beneficios de las semillas de chia. *Dialnet*, 236.

Perez Jimenez, G. (18 de Diciembre de 2023). *SADER*. Obtenido de https://www.gob.mx/inifap/articulos/huitlacoche-para-una-alimentacion-saludable

Perez, C. (mayo de 2013). *Estudios de la reaccion del maiz al huitlacoche con fines de planificacion de la cosecha.* Mexico.

Quispe, P. D. (2022). *Efecto del malteado en las características sensoriales y composición quimica proximal de hojuelas de avena ( Avena Sativa).* Huancavelica, Peru: Universidad Nacional de Huancavelica.

Rabeta, M. S., & Tee, L. Y. (2015). Desarrollo de barra de fruta utilizando sapodilla. *Procesamiento y conservacion de alimentos*.

Rabia, S., Sjid, B., & Kashif, K. (2009). Unica entre los cereales. *Journal de Nutricion*, 68-79.

Reyna, N., Moreno, R. R., Mendoza, L., Parra, K., Linares, S., Reyna, E., & Camara, F. (2022). Formulacion de barras nutricionales con proteinas lacteas: indice glucemico y efecto de saciedad. *Nutricion hospitalaria*, 385-400.

Rodriguez, P. N., Diaz, C. C., & Rodriguez, L. E. (2015). Efecto hipocolesterolémico del consumo de avena (Avena sativa) en un grupo de adultos. *Revista Cientifica de ciencias de la salud*.

Roma. (2023). *fao*. Obtenido de FAO: https://www.fao.org/4/t0395s/T0395S02.htm

Ronda, A. F., & Gomez, M. (2013). Efecto de la fibra dietetica en la reologia de la masa y la calidad del pan. *Investigacion y tecnologia Europea de alimentos*, 51-56.

Rutles, A., Smiderle, F., & Marcello, L. (2016). Heteropolisacáridos de hongos: una revisión sobre sus fuentes, estructura y efectos biológicos. *Polimrros de catbohidratos*, 358-375.

SADER. (01 de octubre de 2016). Obtenido de https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/algo-raro-y-suculento-es-el-huitlacoche

SADER. (19 de noviembre de 2023). Obtenido de https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/huitlacoche-el-diamante-negro-de-la-gastronomia-mexicana

Salazar, T. J., Mendez, L. A., Alvarez, H. R., & Sanchez, V. M. (2021). *El huitlacoche alimento prehispanico vigente en Mexico.* Estado de Mexico.

Servin, G. I. (2023). Aplicacion hasta el principio 2 del sistema de haccp en la linea de produccion de avena instantanea. *Revista tecnologica Cea*.

Shaista, J., Ahmad, W., Ahmed, D., & Mansurud, A. (2021). Desarrollo de cupcakes sin gluten enriquecidos con harinas de almendra, linaza y garbanzas. *Journal of food quality*.

Silva, E., Viviane dos, S., & Marney, P. C. (2015). Estabilidad de las barras alimenticias a base de harina de yuca.

Sipos, L., Csaba, A. K., Biro, P., Bozoki, S., & Laszlo, C. (2025). ¿Como medir la inconsistencia del consumidor en las pruebas sensoriales? *Investigacion actual en ciencia de los alimentos*, 100982.

Stnetselaar, K., & Pataky, J. (2009). Carbón común del maíz (sin. carbón hervido, carbón ampollado. *Plant Health Instructor*, 250-267.

Suastegui, C. S., Martinez, C. D., Sanchez, M., Bonilla, M., Castillo, I., & Morales, A. (2024). Integración de la Producción Controlada de Huitlacoche (Ustilago maydis + Zea mays) en el Sistema Tradicional de Milpa de Guerrero, México. *Sostenibilidad*, 162-178.

Sudha, M., Vetrimani, R., & Leelavathi, K. (2017). Influencia de la fibra de diferentes cereales en las acaracteristicas reologicas de la masa de harina de trigo y en la calidad de las galletas. *Quimica alimentaria*, 1365-1370.

Suphaphil, B. W. ( 2016). Actividades antioxidantes de extractos de cinco hongos comestibles utilizando diferentes extractantes. *Agricultura y Recursos Naturales*, 89-97.

Svetlana, A., Inese, S., & Rinkule, S. (2017). Composition of Cereal Bars. *DAVID PUBLISHINS*, 139-145.

Szydlowska, A., Zielinska, D., Lepecka, A., & Trzaskowska, M. (2020). Desarrollo de barras organicas funcionales ricas en proteinas con concentrado de porteina de suero e ingredientes bioactivos. *agriculture* .

Tello, S. I., Hernandez, C. D., Montiel, A. E., Nava, G. E., & Martinez, C. D. (2024). Un nuevo metodo para obtener conidios binucleados infecciosos de ustilago maydis para la produccion de carbon de maiz. *agriculture*, 5-14.

Valverde, M., & Paredes, L. O. (2013). Produccion y evaluacion de algunas propiedades del huitlacoche (ustilago maydis). *Food Biotechnology*, 245-251.

Velasquez, G. V. (2023). Aporte nutricional y perfil sensorial del panettone enriquecido con almendras, pasas y arandanos deshidratados. *Agronomia Mesoamericana*.

Venegas, P. E., Valverde, M. E., Paredes, L. O., & Pataky, J. K. (2014). Produccion del hongo comestible huitlacoche (Ustilago maydis) del genotipo de maiz sobre la composicion quimica. *Revista de fermentacion y bioingenieria*, 104-106.

Vera, C. (2023). *Aprovechamiento de residuos del cacao con fines agroalimentarios.* El Carmen, Manabi Ecuador: Gesicap 05 pp.

Villagran, Z., Martinez, R. M., Gomez, R. H., & Rios, G. U. (2023). Huitlacoche (Ustilago maydis), un recurso fungico iconico de Mexico: importancia biocultural, contenido nutricional, compuestos bioactivos y posibles aplicaciones biotecnologicas. *molecules*, 11-28.

Yu, C., Qi, J., Han, H., Pengchao, W., & Liu, C. (2023). Avances en la investigación de la patogénesis de Ustilago maydis y los metabolitos implicados junto con su biosíntesis. *BSPP*, 495-509.

Zoubeida, S., Nesrine, Z., Imed, C., & Mouhamed, H. (2022). Características nutricionales, físicas, microbianas y sensoriales de la barra de cereales sin gluten y azúcar enriquecida con espirulina y aromatizada con aceite esencial de neroli. *LWT*, 113955.

# CAPÍTULO VIII. ANEXOS

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| L | 27 | 0.82 | 0.80 | 13.62 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 1828.98 | 2 | 914.49 | 53.96 | <0.0001 |
| Tratamientos | 1828.98 | 2 | 914.49 | 53.96 | <0.0001 |
| Error | 406.77 | 24 | 16.95 | | |
| Total | 2235.75 | 26 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=4.00546**

*Error: 16.9489 gl: 24*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Control | 40.92 | 9 | 1.37 | A | |
| 50%HA-50%HH | 28.85 | 9 | 1.37 | | B |
| 100%HH | 20.90 | 9 | 1.37 | | C |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| a | 27 | 0.92 | 0.91 | 21.02 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 50.05 | 2 | 25.02 | 131.48 | <0.0001 |
| Tratamientos | 50.05 | 2 | 25.02 | 131.48 | <0.0001 |
| Error | 4.57 | 24 | 0.19 | | |
| Total | 54.61 | 26 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.42445**

*Error: 0.1903 gl: 24*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Control | 3.98 | 9 | 0.15 | A | |
| 50%HA-50%HH | 1.35 | 9 | 0.15 | | B |
| 100%HH | 0.90 | 9 | 0.15 | | C |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| b | 27 | 0.82 | 0.81 | 28.00 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 382.22 | 2 | 191.11 | 54.71 | <0.0001 |
| Tratamientos | 382.22 | 2 | 191.11 | 54.71 | <0.0001 |
| Error | 83.83 | 24 | 3.49 | | |
| Total | 466.06 | 26 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.81838**

*Error: 3.4930 gl: 24*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | |
|---|---|---|---|---|
| Control | 11.71 | 9 | 0.62 | A |
| 50%HA-50%HH | 5.64 | 9 | 0.62 | B |
| 100%HH | 2.67 | 9 | 0.62 | C |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| MST, % | 17 | 0.76 | 0.72 | 0.77 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 21.59 | 2 | 10.80 | 21.94 | <0.0001 |
| Tratamientos | 21.59 | 2 | 10.80 | 21.94 | <0.0001 |
| Error | 6.89 | 14 | 0.49 | | |
| Total | 28.48 | 16 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.89706**

*Error: 0.4920 gl: 14*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | |
|---|---|---|---|---|
| 50%HA-50%HH | 91.80 | 6 | 0.29 | A |
| 100%HH | 90.90 | 6 | 0.29 | B |
| Control | 89.02 | 5 | 0.31 | C |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Humedad, % | 18 | 0.77 | 0.74 | 7.21 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 23.59 | 2 | 11.80 | 25.59 | <0.0001 |
| Tratamientos | 23.59 | 2 | 11.80 | 25.59 | <0.0001 |
| Error | 6.91 | 15 | 0.46 | | |
| Total | 30.51 | 17 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.83554**

*Error: 0.4610 gl: 15*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | |
|---|---|---|---|---|
| Control | 10.95 | 6 | 0.28 | A |
| 100%HH | 9.10 | 6 | 0.28 | B |
| 50%HA-50%HH | 8.20 | 6 | 0.28 | C |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Grosor, cm | 27 | 0.00 | 0.00 | 8.10 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 0.00 | 2 | 0.00 | 0.00 | >0.9999 |
| Tratamientos | 0.00 | 2 | 0.00 | 0.00 | >0.9999 |
| Error | 0.42 | 24 | 0.02 | | |
| Total | 0.42 | 26 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.12871**

*Error: 0.0175 gl: 24*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | |
|---|---|---|---|---|
| Control | 1.63 | 9 | 0.04 | A |
| 50%HA-50%HH | 1.63 | 9 | 0.04 | A |
| 100%HH | 1.63 | 9 | 0.04 | A |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Firmeza, N | 27 | 0.99 | 0.99 | 3.54 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 439.74 | 2 | 219.87 | 1549.74 | <0.0001 |
| Tratamientos | 439.74 | 2 | 219.87 | 1549.74 | <0.0001 |
| Error | 3.40 | 24 | 0.14 | | |
| Total | 443.15 | 26 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.36647**

*Error: 0.1419 gl: 24*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 100%HH | 16.05 | 9 | 0.13 | A | |
| 50%HA-50%HH | 9.55 | 9 | 0.13 | | B |
| Control | 6.35 | 9 | 0.13 | | C |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Cenizas, % | 18 | 0.64 | 0.60 | 14.29 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 1.08 | 2 | 0.54 | 13.50 | 0.0004 |
| Tratamientos | 1.08 | 2 | 0.54 | 13.50 | 0.0004 |
| Error | 0.60 | 15 | 0.04 | | |
| Total | 1.68 | 17 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.24612**

*Error: 0.0400 gl: 15*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 50%HA-50%HH | 1.70 | 6 | 0.08 | A | |
| 100%HH | 1.40 | 6 | 0.08 | | B |
| Control | 1.10 | 6 | 0.08 | | C |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Fibra, % | 18 | 0.95 | 0.94 | 12.27 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 2.75 | 2 | 1.38 | 134.27 | <0.0001 |
| Tratamientos | 2.75 | 2 | 1.38 | 134.27 | <0.0001 |
| Error | 0.15 | 15 | 0.01 | | |
| Total | 2.91 | 17 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.12459**

*Error: 0.0103 gl: 15*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | |
|---|---|---|---|---|
| 50%HA-50%HH | 1.15 | 6 | 0.04 | A |
| 100%HH | 1.05 | 6 | 0.04 | A |
| Control | 0.28 | 6 | 0.04 | B |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Grasa, % | 18 | 0.99 | 0.99 | 1.35 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 318.05 | 2 | 159.02 | 786.51 | <0.0001 |
| Tratamientos | 318.05 | 2 | 159.02 | 786.51 | <0.0001 |
| Error | 3.03 | 15 | 0.20 | | |
| Total | 321.08 | 17 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.55334**

*Error: 0.2022 gl: 15*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 100%HH | 36.78 | 6 | 0.18 | A | |
| 50%HA-50%HH | 35.98 | 6 | 0.18 | | B |
| Control | 27.49 | 6 | 0.18 | | C |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Proteína, % | 18 | 0.97 | 0.96 | 2.37 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 0.71 | 2 | 0.35 | 219.82 | <0.0001 |
| Tratamientos | 0.71 | 2 | 0.35 | 219.82 | <0.0001 |
| Error | 0.02 | 15 | 1.6E-03 | | |
| Total | 0.73 | 17 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.04929**

*Error: 0.0016 gl: 15*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 50%HA-50%HH | 1.94 | 6 | 0.02 | A | |
| 100%HH | 1.68 | 6 | 0.02 | | B |
| Control | 1.46 | 6 | 0.02 | | C |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis de la varianza**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Vit C, mg/100g | 18 | 1.00 | 1.00 | 1.73 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 6.10 | 2 | 3.05 | 2034.35 | <0.0001 |
| Tratamientos | 6.10 | 2 | 3.05 | 2034.35 | <0.0001 |
| Error | 0.02 | 15 | 1.5E-03 | | |
| Total | 6.12 | 17 | | | |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.04765**

*Error: 0.0015 gl: 15*

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 100%HH | 3.06 | 6 | 0.02 | A | |
| 50%HA-%0%HH | 1.91 | 6 | 0.02 | | B |
| Control | 1.75 | 6 | 0.02 | | C |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Análisis sensorial con consumidores Prueba de Kruskal Wallis**

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | H | p |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Apariencia global | 100% HH | 60 | 4.00 | 0.00 | 4.00 | 93.00 | 152.76 | 0.0001 |
| Apariencia global | 50%HA-50%HH | 60 | 4.92 | 0.28 | 5.00 | 148.00 | | |
| Apariencia global | Control | 60 | 3.00 | 0.00 | 3.00 | 30.50 | | |

| Trat. | Medias | Ranks | | |
|---|---|---|---|---|
| Control | 3.00 | 30.50 | C | |
| 100% HH | 4.00 | 93.00 | | B |
| 50%HA-50%HH | 4.92 | 148.00 | | A |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | H | p |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Color | 100% HH | 60 | 4.93 | 0.25 | 5.00 | 146.50 | 149.22 | <0.0001 |
| Color | 50%HA-50%HH | 60 | 4.07 | 0.25 | 4.00 | 94.50 | | |
| Color | Control | 60 | 3.00 | 0.00 | 3.00 | 30.50 | | |

| Trat. | Medias | Ranks | | |
|---|---|---|---|---|
| Control | 3.00 | 30.50 | C | |
| 50%HA-50%HH | 4.07 | 94.50 | | B |
| 100% HH | 4.93 | 146.50 | | A |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | H | p |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Olor | 100% HH | 60 | 4.90 | 0.30 | 5.00 | 144.50 | 144.80 | <0.0001 |
| Olor | 50%HA-50%HH | 60 | 4.10 | 0.30 | 4.00 | 96.50 | | |
| Olor | Control | 60 | 3.00 | 0.00 | 3.00 | 30.50 | | |

| Trat. | Medias | Ranks | |
|---|---|---|---|
| Control | 3.00 | 30.50 | C |
| 50%HA-50%HH | 4.10 | 96.50 | B |
| 100% HH | 4.90 | 144.50 | A |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | H | p |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Textura | 100% HH | 60 | 3.60 | 0.49 | 4.00 | 35.30 | 105.79 | <0.0001 |
| Textura | 50%HA-50%HH | 60 | 5.00 | 0.00 | 5.00 | 128.50 | | |
| Textura | Control | 60 | 4.73 | 0.45 | 5.00 | 107.70 | | |

| Trat. | Medias | Ranks | |
|---|---|---|---|
| 100% HH | 3.60 | 35.30 | C |
| Control | 4.73 | 107.70 | B |
| 50%HA-50%HH | 5.00 | 128.50 | A |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | H | p |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sabor | 100% HH | 60 | 4.93 | 0.25 | 5.00 | 144.50 | 144.80 | <0.0001 |
| Sabor | 50%HA-50%HH | 60 | 4.13 | 0.34 | 4.00 | 96.50 | | |
| Sabor | Control | 60 | 3.00 | 0.00 | 3.00 | 30.50 | | |

| Trat. | Medias | Ranks | |
|---|---|---|---|
| Control | 3.00 | 30.50 | C |
| 50%HA-50%HH | 4.13 | 96.50 | B |
| 100% HH | 4.93 | 144.50 | A |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | Promedio rangos | H | p |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aceptación global | 100% HH | 60 | 4.25 | 0.44 | 4.00 | 100.25 | 133.35 | <0.0001 |
| Aceptación global | 50%HA-50%HH | 60 | 4.90 | 0.30 | 5.00 | 139.90 | | |
| Aceptación global | Control | 60 | 3.03 | 0.18 | 3.00 | 31.35 | | |

| Trat. | Medias | Ranks | |
|---|---|---|---|
| Control | 3.03 | 31.35 | C |
| 100% HH | 4.25 | 100.25 | B |
| 50%HA-50%HH | 4.90 | 139.90 | A |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*