

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

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



**Análisis de la capacidad antioxidante y componentes bioactivos
de tortilla elaborada con maíz morado (*Zea mays* L.) UAAAN**

POR

JORGE RODRÍGUEZ NORIEGA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE EN INGENIERÍA EN CIENCIA Y

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Análisis de la capacidad antioxidante y componentes bioactivos
de tortilla elaborada con maíz morado (*Zea mays* L.) UAAAN**

POR:

Jorge Rodríguez Noriega

TESIS

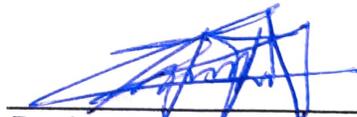
Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

La cual fue revisada y aprobada por:



Dra. Xochitl Ruelas Chacón
Director



Dr. Antonio Flores Naveda
Codirector

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre del 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE EN INGENIERÍA EN CIENCIA Y

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Análisis de la capacidad antioxidante y componentes bioactivos
de tortilla elaborada con maíz morado (*Zea mays* L.) UAAAN**

POR:

Jorge Rodríguez Noriega

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

La cual fue revisada y aprobada por:

COMITÉ ASESOR

Dra. Xochitl Ruelas Chacón
Asesor principal

Dr. Antonio Flores Naveda
Coasesor

M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla
Coasesor

Dr. José Dueñez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre del 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Análisis de la capacidad antioxidante y componentes bioactivos
de tortilla elaborada con maíz morado (*Zea mays* L.) UAAAN**

POR:

Jorge Rodríguez Noriega

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

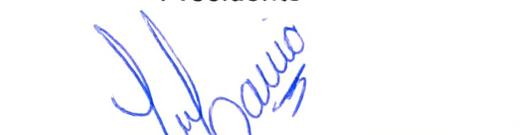
JURADO EXAMINADOR



Dra. Xochitl Ruelas Chacón
Presidente



Dr. Antonio Flores Naveda
Vocal



Q.F.B. María del Carmen Julia García
Vocal



M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla
Vocal

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de formarme como profesionista en esta gran casa de estudios.

A mis padres, Marcelina Noriega Dimas y Jorge Rodríguez Rivera, por creer en mí y ayudarme a llegar a donde estoy, su apoyo incondicional, por su amor y cariño en mis distintas etapas de la vida.

A mis Hermanas, por brindarme su apoyo y compañía, Teresa, Sanjuana y María Herlinda.

A la Dra. Xochitl Ruelas Chacón, por brindarme parte de su tiempo y orientarme en este trabajo de investigación, por tener paciencia, por su confianza en mí y siempre estar dispuesta a ayudar. Muchas gracias

Al Dr. Antonio Flores Naveda por el apoyo y la facilidad de maíz pigmentado para poder realizar este trabajo de investigación.

A todas las personas que me acompañaron durante este periodo de estudio, tanto a los compañeros de carrera como a las personas maravillosas que llegue a conocer dentro y fuera de la universidad.

A el Departamento de Ciencias Básicas, la Q.F.B. María del Carmen Julia García por su confianza en mí y siempre estar dispuesta a ayudar y facilitar diversos equipos para el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de cerrar esta etapa con este proyecto.

A mis papás y a mis hermanas, por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis profesores por guiarme durante todo este trayecto.

A todas las personas involucradas en mi vida que me han inspirado, confían en mí y aportando vibra positiva.

Y a mi Alma Terra Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de culminar mi carrera universitaria.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	X
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo General.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
1.2 Hipótesis.....	3
1.3 Justificación	3
CAPITULO II	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Generalidades del maíz.....	4
2.1.1 El maíz	4
2.1.2 Origen del maíz	4
2.1.3 Morfología y anatomía.....	4
2.1.4 Clasificación taxonómica del maíz.....	5
2.1.5 Raíz.....	5
2.1.6 Tallo.....	5
2.1.7 Hojas	6
2.1.8 Mazorca.....	6
2.1.9 Maíz en México	6
2.1.10 Razas de maíz	7
2.1.10.1 Las razas de maíz de México	8
2.1.10.1.1 Grupo cónico	9

2.1.10.1.2	Grupo Sierra de Chihuahua	10
2.1.10.1.3	Grupo de maíces de ocho hileras	11
2.1.10.1.4	Grupo chapalote	12
2.1.10.1.5	Grupos tropicales precoces	12
2.1.10.1.6	Grupo dentados tropicales.....	13
2.1.10.1.7	Grupo de maduración tardía	14
2.1.11	Compuestos bioactivos en maíz.....	14
2.1.11.1	Polifenoles.....	15
2.1.11.2	Flavonoides	16
2.1.11.3	Antocianinas.....	18
2.1.12	Antioxidantes.....	18
2.1.12.1	Clasificación de los antioxidantes.....	18
2.1.12.2	Radicales libres	18
2.1.12.3	Especies reactivas del oxígeno (EROs)	19
2.1.12.4	Estrés oxidativo	19
2.1.13	Composición fitoquímica en maíz.....	19
2.2	Nixtamalización	20
2.2.1	Antecedentes	20
2.2.2	Proceso de nixtamalización.....	20
2.2.3	Efecto de los nutrientes en la nixtamalización.....	20
2.2.4	Cambios fisicoquímicos.....	20
2.3	Tortilla de maíz.....	21
2.3.1	Componentes de la tortilla.....	21
2.3.2	Importancia económica y sociocultural.....	22
2.3.3	Valor nutrimental	23
2.3.3.1	Composición química de la tortilla de maíz	24
CAPÍTULO III.....		26
3.	MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	26
3.1	Equipo	26
3.2	Materiales y reactivos.....	26

3.3	Materia prima	27
3.3.1	Proceso de nixtamalización.....	27
3.3.2	Molienda.....	29
3.3.3	Hidratación	29
3.3.4	Preparación de la tortilla.....	30
3.4	Análisis bromatológico.....	30
3.4.1	Materia seca total y humedad	30
3.4.2	Cenizas	31
3.4.3	Proteína cruda.....	31
3.4.4	Grasa total.....	32
3.4.5	Fibra cruda	32
3.5	Análisis de componentes bioactivos y capacidad antioxidante	32
3.5.1	Polifenoles hidrolizables por método Folin-Ciocalteu	32
3.5.2	Flavonoides o taninos condensados por la técnica HCL- butanol	33
3.5.3	Acidez Titulable (%).....	33
3.5.4	Vitamina C.....	33
3.5.5	Contenido de antocianinas	33
3.5.6	Capacidad antioxidante	33
3.5.7	Determinación de actividad acuosa.....	33
3.6	Evaluación sensorial.....	34
3.6.1	Preparación de la muestra y materiales	34
3.6.2	Aplicación de encuesta.....	34
3.7	Análisis microbiológico	35
CAPITULO IV		36
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1	Análisis bromatológico.....	37
4.1.1	Materia seca total	37
4.1.2	Humedad.....	37
4.1.3	Cenizas	38
4.1.4	Proteína cruda.....	39

4.1.5	Grasa total.....	40
4.1.6	Fibra cruda	41
4.2	Análisis de componentes bioactivos y capacidad antioxidante	42
4.2.1	Polifenoles hidrolizables por método Folin-Ciocalteu	42
4.2.2	Flavonoides o taninos condensados (TC) por la técnica HCl- butanol.....	43
4.2.3	Acidez titulable (%).....	44
4.2.4	Vitamina C.....	45
4.2.5	Contenido de antocianinas	46
4.2.6	Capacidad antioxidante por método DPPH	47
4.2.7	Actividad acuosa	48
4.3	Evaluación sensorial.....	49
4.3.1	Apariencia global	50
4.3.2	Color.....	50
4.3.3	Olor.....	51
4.3.4	Textura	52
4.3.5	Rollabilidad.....	52
4.3.6	Sabor.....	53
4.3.7	Aceptación global	54
4.4	Análisis microbiológico	54
4.4.1	Bacterias aerobias mesófilos.....	54
4.4.2	Hongos y levaduras.....	55
CAPÍTULO V		57
5.	CONCLUSIONES	57
CAPÍTULO VI		58
BIBLIOGRAFÍA		58
CAPITULO VII		64
ANEXOS		64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Taxonomía de la planta del maíz.....	5
Cuadro 2. Razas de maíz en México.	8
Cuadro 3. Compuestos fitoquímicos en genotipos de maíz blanco y azul.	16
Cuadro 4. Consumo de tortilla en 2020.....	23
Cuadro 5. Composición química general y mineral de la tortilla de maíz nixtamalizado (en g/100 g y porcentaje).....	24
Cuadro 6. Composición aproximada del maíz en bruto y de las tortillas de fabricación casera e industria (en g/100 g y porcentaje).	25
Cuadro 7. Formulación de proceso nixtamalización.....	28
Cuadro 8. Hidratación de harina obtenida.....	29
Cuadro 9. Identificación de los tratamientos.	36
Cuadro 10. Tratamientos sensoriales en muestras de harinas de maíz.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de maíces nativos en México (CONABIO, 2020).....	8
Figura 2. Las razas del grupo Cónico (CONABIO, 2020).....	10
Figura 3. Las razas del grupo Sierra de Chihuahua (CONABIO, 2020).	11
Figura 4. Las razas del grupo de ocho hileras (CONABIO, 2020).....	11
Figura 5. Las razas del grupo chapalote (CONABIO, 2020).	12
Figura 6. Las razas de los grupos tropicales precoces (CONABIO, 2020).....	13
Figura 7. Las razas del grupo dentados tropicales (CONABIO, 2020).	14
Figura 8. Las razas del grupo de maduración tardía (CONABIO, 2020).	14
Figura 9. Estructura básica de los flavonoides (Ccaccya, 2020).....	17
Figura 10. Estructuras básicas de varias clases de flavonoides (Ccaccya, 2020).	17
Figura 11. Reposo de nixtamalización de maíz blanco y morado.	28
Figura 12. Obtención de harina de maíz.	29
Figura 13. Tortilla maíz morado genotipo Buenavista 2019.	30
Figura 14. Actividad acuosa de tortilla blanca.	33
Figura 15. Consumidores evaluando las tortillas.....	34
Figura 16. Contenido de materia seca total.....	37
Figura 17. Contenido de humedad de la tortilla.....	38
Figura 18. Contenido de cenizas.....	39
Figura 19. Contenido de proteína cruda.....	40
Figura 20. Contenido de grasa total.	41
Figura 21. Contenido de fibra cruda.	42
Figura 22. Contenido de polifenoles en mg/100g.....	43
Figura 23. Contenido de taninos condensados en mg EC/100g.	44
Figura 24. Contenido de acidez titulable.	45
Figura 25. Contenido de vitamina C.....	46
Figura 26. Contenido de antocianinas.....	47
Figura 27. Contenido de capacidad antioxidante.	48
Figura 28. Contenido de actividad acuosa.	49
Figura 29. Apariencia global en diferente tortilla de maíz.....	50
Figura 30. Color en diferente tortilla de maíz.	51

Figura 31. Olor en diferente tortilla de maíz.	51
Figura 32. Textura en diferente tortilla de maíz.	52
Figura 33. Rollabilidad en diferente tortilla de maíz.	53
Figura 34. Sabor en diferente tortilla de maíz.	53
Figura 35. Aceptación global en diferente tortilla de maíz.....	54
Figura 36. Conteo de bacterias aerobias mesófilos	55
Figura 37. Conteo de hongos y levaduras.....	56

RESUMEN

En México, el maíz (*Zea mays* L.) de grano azul se destina a la elaboración de diversos alimentos, dentro de los cuales la tortilla es el más común. La tortilla es uno de los alimentos más importantes en México y algunos países de Centroamérica. La gran mayoría de las tortillas consumidas en México se elaboran con masa de maíz procesado por el método tradicional de nixtamalización, el cual incluye las etapas de cocimiento y reposo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los niveles de componentes bioactivos y capacidad antioxidante del maíz morado (*Zea mays* L.) genotipo Buenavista 2019 UAAAN en tortilla. El diseño del experimento fue en bloques completamente al azar, con tres repeticiones. Los resultados obtenidos se analizaron con el paquete estadístico INFOSTAT versión 2020 aplicando un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias entre tratamientos de las variables seleccionadas se aplicó la prueba de Fisher a $p \leq 0.05$. Las muestras fueron las siguientes: maíz blanco centro del comercial HEB®, maíz morado genotipo Buenavista 2019, harina de maíz Maseca Azul® y una muestra adicional (tortilla azul Alsuper®) para las variables sensoriales y microbiológicas.

En cuanto a la determinación de las muestras por medio de los componentes nutricionales se realizó un análisis proximal determinando (materia seca total, humedad, cenizas, proteína cruda, grasa total, fibra cruda), en el cual se encuentra diferencia de valores nutricionales comparados con una tortilla de harina comercial. Se evaluó los componentes bioactivos (polifenoles, taninos, acidez titulable, vitamina C, antocianinas y actividad acuosa). La Capacidad antioxidante por el método DPPH mostró los siguientes resultados 86.48 $\mu\text{M ET/g}$ en tortilla de maíz morado Buenavista 2019, 158.97 $\mu\text{M ET/g}$ en harina comercial Maseca azul y 176.52 $\mu\text{M ET/g}$ en tortilla maíz blanco

HEB®. El análisis sensorial se llevó a cabo mediante la prueba afectiva por medio de una escala hedónica facial de 7 puntos con 30 panelistas (consumidores) para evaluar la aceptación de cada tortilla. Además de lo anterior también se realizó un análisis microbiológico para evaluar bacterias aerobias mesófilos, así como hongos y levaduras.

Palabras clave: tortilla, maíz, compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, evaluación sensorial, análisis microbiológico.

Correo electrónico: tesista: Jorge Rodríguez Noriega jrdzn98@gmail.com
jrdzn98@yahoo.com, Asesora principal Dra. Xochitl Ruelas Chacón
xruelas@uaaan.edu.mx xruelas@yahoo.com

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal que es aprovechado para el consumo humano y animal, lo cual es de mayor importancia a nivel mundial ocupando el tercer lugar como mejor alimento. Sin duda alguna a nivel nacional, el maíz ocupa el primer lugar entre los granos básicos cultivados ha sido un alimento base en la dieta de los mexicanos (Domínguez y González, 2019).

México como el principal centro de origen del maíz, tiene la diversidad más grande de recursos genéticos, través de una selección, la planta se ha diversificado en una multitud de poblaciones con distintas adaptaciones al clima, latitud y tamaño, y se han especificado para una amplia gama de actividades humanas con alrededor de 59 razas identificadas. A estos maíces se le ha otorgado un valor agregado debido a su alto contenido de compuestos fenólicos, antocianinas y capacidad antioxidante de distintas variedades (Nevárez, 2018).

La nixtamalización es el proceso de cocción del maíz con una sustancia alcalina, con el objetivo de cambiar la textura del grano separarlo de la cascara para posteriormente molerlo. Es de importancia acotar que el proceso de nixtamalización influye de manera positiva en el grano, permitiendo que el maíz asimile una mayor cantidad de proteínas y nutrientes (Aguilar y Angulo, 2020).

La norma oficial mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002 define a la tortilla como el producto obtenido de la molienda húmeda de granos de maíz nixtamalizado, harina de trigo, harinas integrales o sus combinaciones y agua. Pudiendo estar mezclada con ingredientes opcionales y aditivos permitidos para alimentos y sometida a cocción.

Las primeras investigaciones sobre la tortilla se efectuaron en México en los años 50's por el Instituto Nacional de Nutrición, posteriormente se estudió la fortificación

de la tortilla con harina de soya, garbanzo, etc. Por lo tanto, en México, las tortillas representan un excelente vehículo para el incremento de la calidad nutricional de la dieta de los consumidores, ya que es considerado uno de los productos más consumidos durante el desayuno, el almuerzo y la comida, gracias al trabajo y desempeño de las tortillerías de toda la población mexicana (Domínguez y González, 2019).

Por lo general, la tortilla consumida en las áreas rurales se elabora con el maíz que se produce en la localidad, que puede ser blanco, amarillo o de colores y de manera general, la preferencia entre los distintos tipos de maíz es por atributos de color, sabor, textura, consistencia de las tortillas y facilidad para trabajar la masa (Barrios, 2017).

En el presente trabajo se elaboró una tortilla de maíz de grano morado genotipo Buenavista 2019 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro se le determinó la composición proximal, contenido de compuestos bioactivos (antocianinas, compuestos fenólicos) y capacidad antioxidante, para así brindar información sobre la composición nutrimental y ventajas nutraceuticas con respecto a la tortilla blanca.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Evaluar los niveles de componentes bioactivos y capacidad antioxidante del maíz morado (*Zea mays* L.) genotipo Buenavista 2019 UAAAN en tortilla.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir formulaciones de la tortilla con maíz morado nixtamalizado.
- Determinar un análisis proximal (materia seca total, humedad, cenizas, proteína cruda, grasa total, fibra cruda) y la actividad de agua.
- Analizar niveles de flavonoides, antocianinas, polifenoles y capacidad antioxidante.
- Evaluar la calidad sensorial de la tortilla bioactiva.
- Analizar la calidad microbiológica de la tortilla morada con muestras comparativas.

1.2 Hipótesis

La tortilla elaborada con el maíz morado (*Zea mays* L.) genotipo Buenavista 2019 de la UAAAN, posee compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de importante aporte nutrimental para el consumidor.

1.3 Justificación

La tortilla de maíz es un alimento básico para los mexicanos, ha sido empleada en su dieta diaria desde épocas remotas, y ha sido muy importante para su gastronomía. México es un excelente productor de diversas variedades de maíz, tamaño y colores, que poseen compuestos bioactivos y capacidad antioxidante que ayudan a prevenir enfermedades crónico degenerativas.

De esta forma se desarrolla una tortilla con una nueva variedad de maíz, siendo importante conocer el aporte nutrimental, el contenido de componentes bioactivos y la capacidad antioxidante de la misma.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del maíz

2.1.1 El maíz

El nombre científico proviene del griego *Zeo*, que significa vivir y de la palabra *mays*, palabra que los nativos del Caribe, utilizaban para nombrar al grano. El maíz es llamado de diferentes maneras, dependiendo del país y de la cultura. En América es conocido como elote, choclo, jojoto, sara o zara. En las diferentes regiones de España es llamado danza, millo, mijo, panizo, borona u oroña (Solano, 2019).

2.1.2 Origen del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es originario del continente americano, las evidencias arqueológicas más antiguas indican que tiene aproximadamente 5000 años de antigüedad. Una teoría muy aceptada es que el maíz tuvo su origen en Mesoamérica, específicamente en el valle de Tehuacán, Puebla y al norte del estado de Oaxaca, México. Las evidencias encontradas también indican que en nuestro país ocurrió su domesticación y después se dispersó a otras regiones del continente, hacia el norte hasta Canadá y hacia el sur hasta Argentina, y a finales del siglo XV tras el inicio de la invasión del continente americano por Cristóbal Colón el grano fue introducido en Europa a través de España (Filomeno, 2018).

Muchos investigadores creen que el centro de origen está en México desde donde se difundió a todo el mundo después del primer viaje de Cristóbal Colón a fines del siglo XV. Su difusión fue más rápida en las zonas templadas en las cuales representa cerca del 40 % del área cosechada y el 60 % de la producción mundial; el promedio del rendimiento en las condiciones templadas tiene un ciclo más largo que la mayoría de los maíces tropicales y el rendimiento diario relativo del maíz tropical se acerca al del maíz en la zona templada (Zamora, 2018).

2.1.3 Morfología y anatomía

La planta de maíz amiláceo desarrolla un aparato vegetativo muy importante. Su sistema radicular es fasciculado y él a diferencia de otros cereales, destaca un tercer

sistema de raíces aéreas o adventicias que nacen por encima del nivel del suelo, cuando la planta alcanza una altura de 60 – 70 cm y que sirven para sujetar la planta al suelo, ya que los otros dos sistemas de raíces, a pesar de ser bastantes desarrollados, no ejercen una buena fijación de la planta al suelo. Los híbridos desarrollan sistemas radiculares más potentes que las variedades locales (Gutiérrez, 2017).

2.1.4 Clasificación taxonómica del maíz

El maíz se encuentra clasificado de acuerdo con el siguiente perfil taxonómico:

Cuadro 1. Taxonomía de la planta del maíz.

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Cyperales
Familia:	Poaceae
Género:	<i>Zea</i>
Especie:	<i>Mays</i>
Nombre científico:	<i>Zea mays</i> L.

Fuente: Doebley, 1993.

2.1.5 Raíz

Presenta dos tipos, las primarias son fibrosas, presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta, sin embargo, por su gran masa de raíces superficiales, es susceptible a la sequía, intolerancia a suelos deficientes en nutrientes, y a caídas de grandes vientos (Torrel, 2020).

2.1.6 Tallo

Además de cumplir la función de soporte de hojas, flores, frutos y semillas, transporta sales minerales y agua desde la raíz hasta la parte aérea de la planta, así como alimentos elaborados. Está compuesto a su vez por tres capas: por una epidermis exterior protectora, impermeable y transparente, una pared de haces vasculares por donde circulan las sustancias alimenticias y una médula de tejido

esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial azúcares (Zamora, 2018).

2.1.7 Hojas

Las hojas, toman una forma alargada íntimamente arrollada al tallo, del cual nacen las espigas o mazorcas. Se dice que las hojas tienen una gran importancia en el desarrollo y evolución de los granos. Dependiendo de cómo se cultiva una planta de maíz puede tener de 12 a 24 hojas (Torrel, 2020).

2.1.8 Mazorca

La mazorca está constituida por un raquis engrosado sobre el que se insertan dos espiguillas bifloras por nudo, de las cuales sólo la superior es fértil. Los estambres de esta flor han abortado y su ovario porta un largo estilo, denominado seda. Estas flores no tienen glumas ni glumillas. La mazorca, de forma alargada y cilíndrica, varía sus dimensiones en función de las variedades y condiciones de alimentación de la planta (Gutiérrez, 2017). El grano de maíz es un fruto pequeño, seco, en Cariópside y contiene un solo cotiledón (Torrel, 2020).

2.1.9 Maíz en México

El maíz en México forma parte de nuestra alimentación diaria, es el cultivo de mayor presencia en el país, constituye un insumo para la ganadería y para la obtención de numerosos productos industriales, por lo que, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social, es el cultivo agrícola más importante (Nevárez, 2018).

El hombre prehispánico comenzó a guardar el grano de cada cosecha para su consumo posterior. Así, transformó el grano duro y seco en una masa con la que debió hacer las primeras tortillas. Hasta la actualidad sigue siendo el alimento más importante para la gran mayoría de la población en México. La tortilla acompaña, envuelve, revuelve y prensa otros alimentos y “es la única cuchara que se puede comer después de usarla” (Santos, 2017).

México posee la mayor diversidad genética de maíz, la cual se manifiesta en la variación de caracteres morfológicos, vegetativos, de espiga, mazorca, grano y composición química del grano y polen. Desde la época de los aztecas se

reconocen muchos tipos de maíz con diferentes aplicaciones. Estos genotipos varían en tamaño de grano, textura, pigmentación o color, y aplicación culinaria (Nevárez, 2018).

En el año 2020 en México según datos del Servicios De Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) registró una superficie sembrada de 7,481,137 de hectáreas con una producción de 21,885,170 millones de toneladas de maíz teniendo un rendimiento de 4.024 de toneladas por hectáreas.

2.1.10 Razas de maíz

El término raza se ha utilizado en el maíz y en las plantas cultivadas para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo. Es de gran utilidad como sistema de referencia rápido para comprender la variación de maíz, para organizar el material en las colecciones de bancos de germoplasma y para su uso en el mejoramiento, así como para describir la diversidad a nivel de paisaje, sin embargo, las razas se nombran a partir de distintas características fenotípicas puede comprender numerosas variantes diferenciadas en formas de mazorca, (Cónico, por la forma de la mazorca), tipo de grano (Reventador, por la capacidad del grano para explotar y producir palomitas), por el lugar o región donde inicialmente fueron colectadas o son relevantes (Tuxpeño de Tuxpan, Veracruz; Chalqueño, típico del Valle de Chalco) o por el nombre con que son conocidas por los grupos indígenas o mestizos que las cultivan (Zapalote Chico en el Istmo de Oaxaca o Apachito en la Sierra Tarahumara) (CONABIO, 2020).

En América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz, de las cuales 64 (29%) se han identificado, y descrito en su mayoría para México como se puede mostrar en la Figura 1, de las cuales 59 se pueden considerar nativas y 5 que fueron descritas inicialmente en otras regiones (Cubano Amarillo, del Caribe, y cuatro razas de Guatemala -Nal Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño), pero que también se han colectado o reportado en el país (CONABIO, 2020).

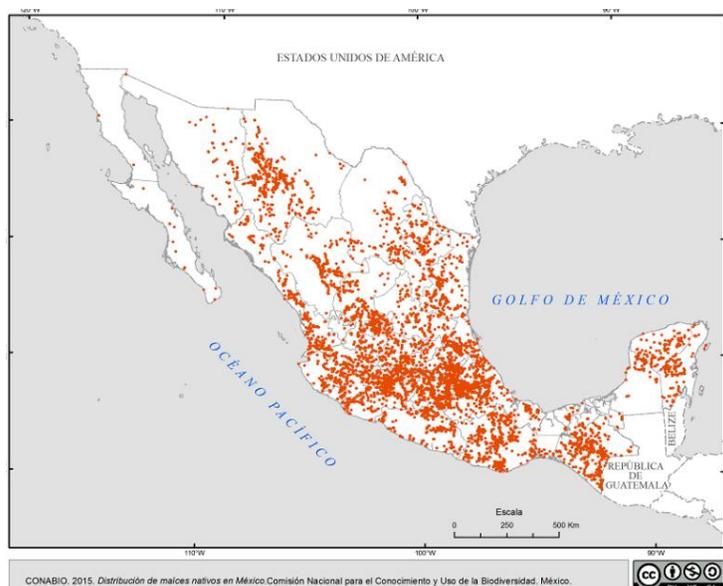


Figura 1. Distribución de maíces nativos en México (CONABIO, 2020).

2.1.10.1 Las razas de maíz de México

Se han agrupado, con base en caracteres morfológicos, de adaptación y genéticos (isoenzimas) en siete grupos o complejos raciales en el Cuadro 2, se reportan las razas de cada grupo (CONABIO, 2020).

Cuadro 2. Razas de maíz en México.

Grupo cónico	Grupo Sierra de Chihuahua	Grupo de maíces de Ocho hileras	Grupo Chapalote	Grupos tropicales precoces	Grupo dentados tropicales	Grupo de maduración tardía
Arrocillo.	Apachito	Ancho	Chapalote	Conejo	Celaya	Dzit-Bacal
Cacahuacintle	Azul	Blando	Dulcillo de Noroeste	Nal-Tel	Chiquito	Comiteco
Chalqueño	Complejo serrano de jalisco	Bofo	Elotero de Sinaloa	Ratón	Choapaneco	Coscomatepec
Cónico	Cristalino de chihuahua	Bolita	Reventador	Zapalote chico	Cubano amarillo	Mixeño
Cónico Norteño	Gordo	Elotes occidentales			Nal-Tel de altura	Motозinteco
Dulce	Mountain Yellow (Amarillo de montaña)	Harinoso de ocho			Pepitilla	Negro de Chimaltenango
Elotes cónicos		Jala			Tepecintle	Olotillo
Mixteco		Onaveño			Tuxpeño	Oloton
Mushito		Tablilla de ocho			Tuxpeño Norteño	Quicheño
Mushito de michoacan		Tabloncillo			Vandeno	Serrano
Negrilo		Tabloncillo perla			Zapalote grande	Serreno Mixe

Fuente: CONABIO, 2020.

2.1.10.1.1 Grupo cónico

Las razas del grupo Cónico o razas de las partes altas del centro de México, se distribuyen predominantemente en las regiones con elevaciones de más de 2,000 m (Sánchez, 2011) y en su mayoría son endémicas a los Valles Altos y Sierras del Centro del País: el Valle de México, el Valle de Toluca, la Sierra Norte de Puebla, la Meseta Purépecha en Michoacán y la Mixteca Alta en Oaxaca. La raza Cónico Norteño, derivada de Cónico del Centro, es básicamente la que da a este grupo una distribución amplia por su cultivo en la zona semiárida templada del Centro Norte del País; y hacia el sur prevalecen las razas Chalqueño, Cónico, Mixteco y Mushito (CONABIO, 2020).

Este grupo, tienen en común mazorcas de forma cónica (Figura 2), números altos de hileras de grano, entre 14 y 20; granos de 4 a 8 mm de ancho con textura variable, desde harinosos hasta palomeros, número reducido de ramas de la espiga, sistema de raíces débiles, hojas caídas y vainas de las hojas fuertemente pubescentes con la presencia de antocianina, también es uno de los más característicos y endémicos de México, son la base de la producción en zonas agrícola del centro del país, y se destinan a diferentes usos alimenticios, como producción de tortilla, tamales, antojitos, pozoles, palomitas, entre otros (CONABIO, 2020).

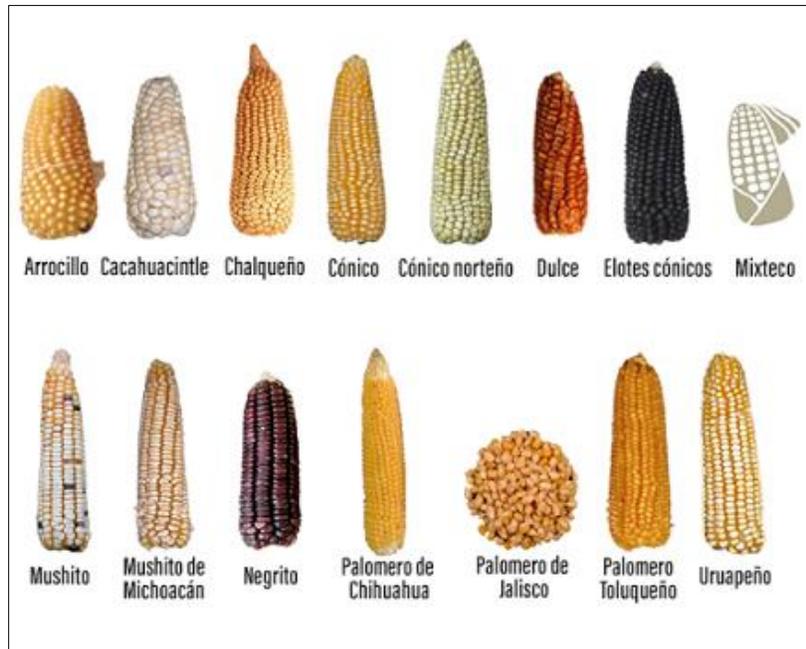


Figura 2. Las razas del grupo Cónico (CONABIO, 2020).

2.1.10.1.2 Grupo Sierra de Chihuahua

Se cultivan en las tierras altas del estado de Chihuahua también son conocidas como razas de las partes altas del norte de México, en pequeños valles a altitudes de 2,000 a 2,600 m, y se extienden hacia el norte de Durango, este de Sonora y norte de Sinaloa. El Complejo Serrano de Jalisco, de cultivo en zonas serranas del occidente, se asocia a este grupo, con base en caracteres morfológicos, genéticos y de adaptación (CONABIO, 2020).

Se caracterizan por presentar plantas pequeñas, de 140 a 200 cm de altura, 12 a 14 hojas por planta, de floración temprana (50 a 55 días), pocas ramas de la espiga (4 a 9), en la Figura 3, se puede observar mazorcas largas (de 14 a 20 cm), delgadas, con granos redondeados de 7 a 9 mm de ancho, 9-11 mm de largo, y 4-6 mm de espesor. La textura del grano de estas razas es muy dura en Apachito y Cristalino de Chihuahua y harinosa en Gordo y Azul (CONABIO, 2020).



Figura 3. Las razas del grupo Sierra de Chihuahua (CONABIO, 2020).

2.1.10.1.3 Grupo de maíces de ocho hileras

Con la excepción de Jala y Zamorano Amarillo, se caracterizan generalmente por plantas de 200 a 250 cm de altura, 16 a 20 hojas por planta, 70 a 80 días a floración, mazorcas con 8 a 12 hileras de granos, granos de 10 a 12 mm de ancho, mazorcas largas de 18 a 22 cm (a excepción de Bolita, con 14 cm) y 12 a 18 ramas de la espiga (CONABIO, 2020).

Este grupo es conocido también como razas del occidente de México, se considera una de las razas antiguas de México. Los elotes Occidentales, Jala, Bofo, Bolita, Ancho, Blando, Harinoso de Ocho, como se ilustra en la Figura 4, se cultivan especialmente para consumo como elotes y para varios usos especiales, Por su parte, Jala, Onaveño, Tabloncillo y Zamorano Amarillo son rendidoras y apreciadas para forraje (CONABIO, 2020).

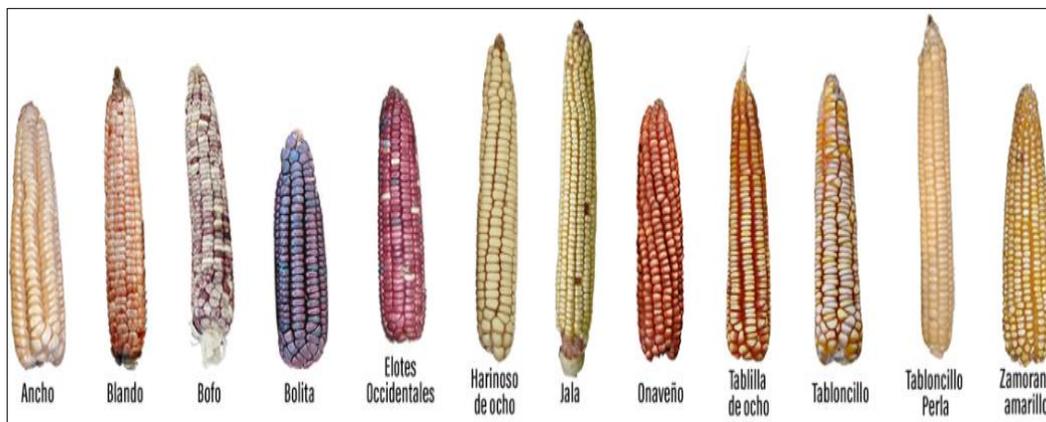


Figura 4. Las razas del grupo de ocho hileras (CONABIO, 2020).

2.1.10.1.4 Grupo chapalote

Se ha reportado predominantemente en elevaciones de 100 a 500 m en la planicie costera del Pacífico de Nayarit a Sonora y en el pie de monte y escarpa de la Sierra Madre Occidental, donde se han obtenido muestras hasta cerca de los 2,000 m de altitud. Se muestra en la Figura 5 las razas de este grupo, tienen mazorcas alargadas con forma de puro y granos con textura que va desde la cristalina, harinosa hasta dulce (textura rugosa por el alto contenido de sacarosa). Se considera que Chapalote y Reventador, mediante la intervención de teocintle, dieron lugar a otras razas con características propias (mazorcas elípticas, coloraciones de grano) a razas similares en el noroeste de México (CONABIO, 2020).



Figura 5. Las razas del grupo chapalote (CONABIO, 2020).

2.1.10.1.5 Grupos tropicales precoces

Se cultivan principalmente en terrenos del trópico seco y regiones semiáridas del país, generalmente en zonas bajas e intermedias (100-1,300 m), adaptadas a limitados regímenes de lluvia lo que les ha conferido un ciclo de maduración corta o temprana con gran adaptabilidad y baja sensibilidad al fotoperíodo. Nal-Tel se cultiva en las tierras cársticas del trópico seco de la península de Yucatán. Zapalote Chico es la raza típica de la zona baja del istmo de Tehuantepec con vertiente al Pacífico. Conejo se extiende en la franja costera y laderas en el trópico seco de los estados de Oaxaca, Guerrero y Michoacán. En la región semiárida de la Altiplanicie Mexicana hasta los estados de Nuevo León y Tamaulipas se cultiva la raza Ratón (CONABIO, 2020).

Las razas de este grupo como se ilustra la Figura 6, presentan características agronómicas útiles para el mejoramiento genético: plantas cortas, resistencia a vientos y por tanto al acame, baja sensibilidad al fotoperiodo, excelentes características de cobertura de mazorca y de grano, entre otras. Destacan en estos caracteres Zapalote Chico y Ratón, colectas de este último se han utilizado ampliamente como material de partida en el desarrollo de materiales mejorados. La adaptabilidad de estas razas a baja precipitación y producción en periodos cortos las hacen importantes candidatos como fuente de genes para desarrollo de materiales y para su cultivo en zonas susceptibles a las variaciones climáticas (CONABIO, 2020).

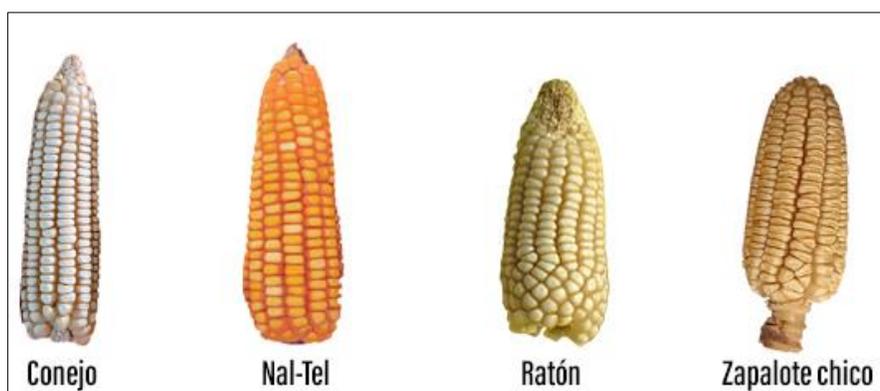


Figura 6. Las razas de los grupos tropicales precoces (CONABIO, 2020).

2.1.10.1.6 Grupo dentados tropicales

Las razas de este grupo (Figura 7) se caracterizan por plantas de altura entre 250 y 320 cm, de 85 a 105 días a floración, 20 a 25 hojas por planta, y muchas ramas de espiga (20 a 35). Las mazorcas son medianas a largas (12 a 20 cm), cilíndricas, con 12 a 16 hileras de granos profundamente dentados y con endospermo que va de suave a medio duro. Las razas de este grupo y sus derivados, son probablemente las más usadas en los programas de mejoramiento genético públicos y privados en el ámbito mundial (CONABIO, 2020).

Tuxpeño también ha sido la base de materiales mejorados en las zonas tropicales del mundo y se ha utilizado para ampliar la base genética de híbridos de la Faja Maicera de los E.E.U.U (CONABIO, 2020).

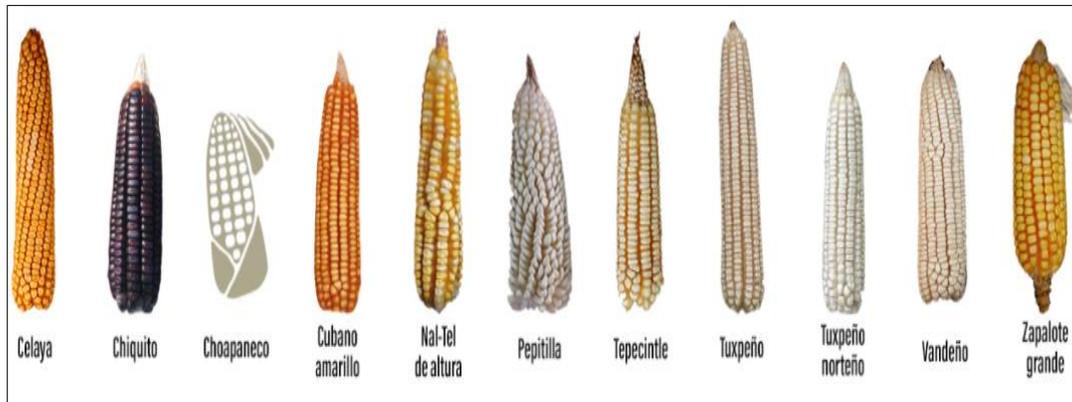


Figura 7. Las razas del grupo de dentados tropicales (CONABIO, 2020).

2.1.10.1.7 Grupo de maduración tardía

Se caracterizan por presentar “plantas muy tardías, 95 a 115 días a floración, con 24 a 28 hojas por planta, y con 320 a 380 cm de altura de la planta. Son muy sensibles al fotoperiodo y la temperatura. La Figura 8 muestra las razas de maduración tardía estas tienen muchas ramas de la espiga (20 a 40), mazorcas largas (de 18 a 22 cm), y 12 a 14 hileras de granos, 8 a 11 mm de ancho, 9 a 13 mm de largo, con la textura del endospermo que va de suave a medio duro” (CONABIO, 2020).

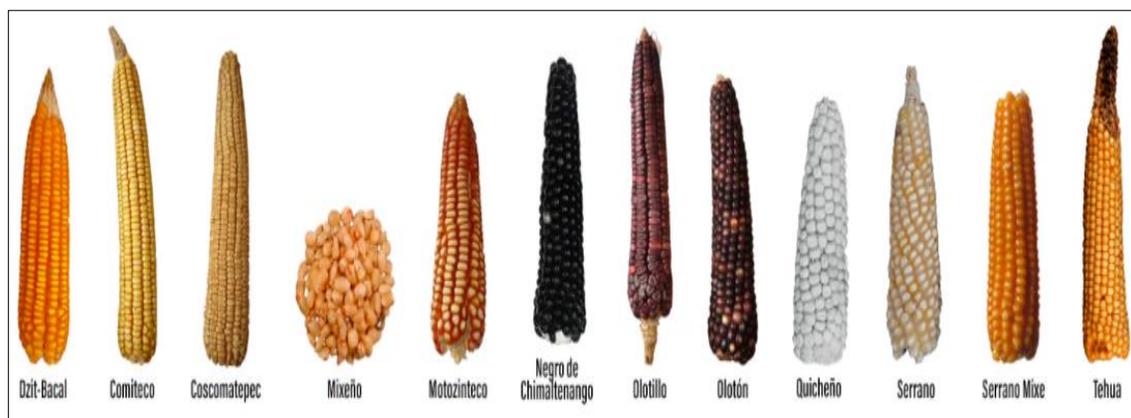


Figura 8. Las razas del grupo de maduración tardía (CONABIO, 2020).

2.1.11 Compuestos bioactivos en maíz

El maíz contiene compuestos bioactivos o fitoquímicos sintetizados en la planta por el metabolismo secundario, estos compuestos no se consideran como nutrientes,

sin embargo, poseen actividad biológica, se acumulan en los tejidos dérmicos del cuerpo de la planta debido a su función protectora contra los rayos UV, y como productos químicos de defensa contra patógenos. Cuando son ingeridos, proveen beneficios a la salud ayudando en la prevención y tratamiento de enfermedades crónico degenerativas (Monzón, 2017).

2.1.11.1 Polifenoles

Los polifenoles pueden ser divididos en varios subgrupos atendiendo a su estructura básica, desde su punto de vista de su actividad biológica muchos polifenoles tienen propiedades captadoras de radicales libres, por lo que le confiere actividad antioxidante, que podría estar enlazada con la prevención de enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (Guerrero y Pico, 2020).

Se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal y son los metabolitos secundarios más abundantes en la naturaleza. Se han identificado más 8,000 y se encuentran en frutas y verduras, así como en las hojas por lo que forman parte importante de la alimentación del ser humano. En las plantas son responsables de la coloración de las flores y participan en los mecanismos de defensa contra los rayos ultravioleta (UV), el ataque de patógenos como bacterias, hongos y virus, así como a los daños físicos, químicos y mecánicos a los que se ven expuestas; funcionan como antibióticos, pesticidas naturales, son los compuestos de la señal para el establecimiento de la simbiosis con rizobios y atrayentes para los polinizadores; son los materiales aislantes para hacer las paredes celulares impermeables al gas y agua, así como la estructura para dar estabilidad a las plantas (Espinosa, García y Gastelum, 2016).

En cereales, los fenoles se encuentran en forma libre, soluble conjugada y en su forma ligada (a materiales de la pared celular) en complejas estructuras como celulosa, lignina, y esterificada a proteínas. En el caso del maíz con sus componentes bioactivos como lo podemos examinar en el Cuadro 3, reporta que el 85% de los compuestos fenólicos se encuentran en forma ligada. En un estudio realizado con maíces criollos mexicanos, observaron que el maíz azul presentó alto contenido de fenoles totales comparado con otros genotipos (Nevárez, 2018).

Cuadro 3. Compuestos fitoquímicos en genotipos de maíz blanco y azul.

Compuestos Bioactivo (mg 100g ⁻¹)	Maíz Blanco	Maíz Azul	Referencia
Fenólicos Fenoles libres	30-40	27-45.5	
Fenoles ligados	110-226	115-221	Aguayo-Rojas y col 2012; Mora-Rochín y col 2010; De la Parra y col 2007; Del Pozo-Insfran y col 2006.
Fenoles totales	170-450	40-343	
Ácidos fenólicos Ácido ferúlico	120-474	130-336	Mora-Rochín y col 2010; De la Parra y col 2007; Del Pozo-Insfran y col 2006
Ácido p-cumárico	0.66	0.13	
Ácido gálico	0.39	No Detectado	
Antocianinas totales	0.27-1.60	27-63	López-Martínez y col 2012; Mora-Rochín y col 2010; De la Parra y col 2007; Del Pozo-Insfran y col 2006
Cianidina-3-glucósido; pelargonidina-3-glucósido, peonidina-3-glucósido	-----	0.23-11.20	Mora-Rochín y col 2016; Jing y col 2008; Abdel-Aal y col 2006
Cianidina-3-(6''- malonil-glucósido); cianidina-3-(6''- succinil-glucósido); pelargonidina-3-(6''-malonil-glucósido)	-----	2.3-5.92	Mora-Rochín y col 2016

Fuente: Nevárez, 2018.

2.1.11.2 Flavonoides

Los flavonoides forman parte de los compuestos fenólicos, tienen una estructura química muy definida denominada como compuestos C6-C3-C6 (Figura 9). Estas sustancias se caracterizan por poseer dos anillos aromáticos bencénicos unidos mediante una cadena de 3 carbonos que pueden formar o no un tercer anillo (Ccaccya, 2020).

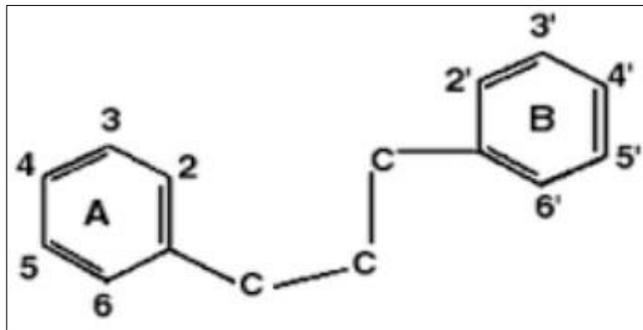


Figura 9. Estructura básica de los flavonoides (Ccaccya, 2020).

La clasificación de los flavonoides depende de las variantes estructurales que presenta la cadena central C3. De acuerdo con esto los flavonoides se clasifican en varios grupos: chalconas, flavonas, flavonoles, flavanonas, flavanonoles, antocianidinas, catequinas, epicatequinas, auronas, isoflavonoides (Figura 10) (Ccaccya, 2020).

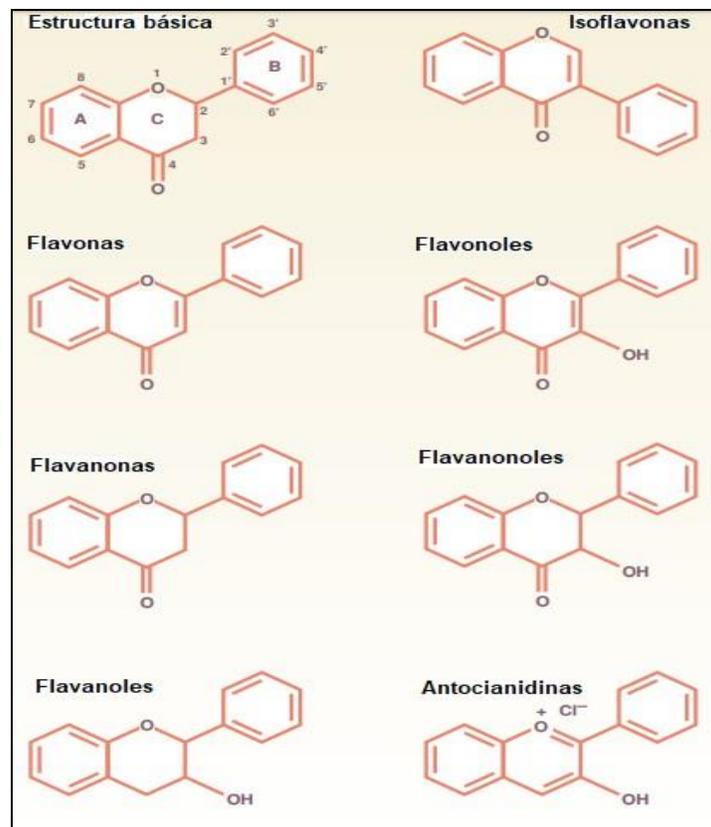


Figura 10. Estructuras básicas de varias clases de flavonoides (Ccaccya, 2020).

2.1.11.3 Antocianinas

Las antocianinas son flavonoides, debido a que poseen el esqueleto característico de C6-C3-C6, además forman parte de la gran familia de los polifenoles. Su estructura básica es el grupo flavilio (2-fenilbenzopirilio). Estos pigmentos son los responsables de dar el color rosa, rojo, azul, malva y violeta de las flores, frutas y verduras, son compuestos polares, que le permite ser soluble en etanol y agua. Las antocianinas son glicósidos que tienen en la posición 3 un azúcar unido mediante el enlace β -glicosídico que cuando se rompe forma la aglicona, conocida como antocianidina, siendo las más comunes: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, malvidina y petunidina (Ccaccya, 2020).

2.1.12 Antioxidantes

Un antioxidante actúa como agente reductor, capaz de retardar e inhibir la oxidación de un sustrato oxidable mediante la donación de sus electrones. El organismo humano puede sintetizarlos y también obtenerlos de diversas fuentes (Ccaccya, 2020).

2.1.12.1 Clasificación de los antioxidantes

Antioxidantes exógenos

Se obtiene mediante el consumo de alimentos como: vitamina E y C, carotenoides, flavonoides y otros (Ccaccya, 2020).

Antioxidantes endógenos

Son biosintetizados por el organismo como las enzimas: catalasa, superóxido dismutasa, glutatión peroxidasa; y también como biomoléculas: glutatión, ácido úrico, bilirrubina, carnosina (Ccaccya, 2020).

2.1.12.2 Radicales libres

Los radicales libres (RL) son especies químicas que poseen electrones desapareados en su capa de valencia, en los sistemas biológicos son muy reactivos capaces de formar otros RL en cadena e inestables con tiempo de vida muy corto.

Los RL se liberan continuamente en el organismo debido a las reacciones bioquímicas de oxido-reducción que ocurren en el metabolismo celular normal,

siendo muy influenciadas por factores ambientales externos como: contaminantes ambientales, radiaciones, pesticidas, alimentación no adecuada, estrés, consumo de alcohol, tabaco y drogas (Ccaccya, 2020).

2.1.12.3 Especies reactivas del oxígeno (EROs)

Dentro de este grupo se incluye a los radicales libres como: radical hidroxilo ($\text{HO}\cdot$) y el anión superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$). Entre las Especies Reactivas del Oxígeno (EROs) no radicales tenemos al peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el ácido hipocloroso (HOCl) (Ccaccya, 2020).

2.1.12.4 Estrés oxidativo

El estrés oxidativo es causado por el desequilibrio entre la producción de radicales libres u otras especies reactivas con los mecanismos antioxidantes (exógeno y endógeno). Este desbalance está vinculada a una serie de patologías como cáncer, hipertensión, diabetes, hipertensión arterial y enfermedades neurodegenerativas (Ccaccya, 2020).

2.1.13 Composición fitoquímica en maíz

Los compuestos bioactivos o fitoquímicos asociados al grano de maíz, no son necesariamente nutrientes tradicionalmente asociados con deficiencias en la dieta, sino compuestos cuyo consumo ayuda a prevenir e inclusive tratar enfermedades crónicas degenerativas. El maíz contiene cantidades significativas de fitoquímicos, los cuales son considerados constituyentes bioactivos no nutricionales de alimentos de origen vegetal, que pueden proveer beneficios a la salud, más allá de la nutrición. Estos compuestos, pueden ser divididos en alcaloides, compuestos nitrogenados, compuestos organosulfurados, carotenoides y fenólicos, siendo estos dos últimos, los fitoquímicos más estudiados. Los fitoquímicos en maíz pueden existir en su forma libre, soluble conjugada e insoluble ligada. La mayoría se encuentra en forma insoluble ligada, unida a los materiales de la pared celular (Monzón, 2017).

2.2 Nixtamalización

2.2.1 Antecedentes

La nixtamalización se originó en la Mesoamérica precolombina, pero el procesamiento del maíz estuvo notoriamente ausente en la América del Sur prehispánica, a pesar de que el maíz era omnipresente en ambas regiones en una fecha muy temprana (Bradley, 2019).

La nixtamalización es un procesamiento alcalino donde los granos de maíz se hierven en agua con cal, ceniza o lejía. La nixtamalización fue empleada por las culturas mesoamericanas para mejorar el perfil nutricional de los alimentos especialmente buscando suministrar el calcio necesario en sus dietas, ya que el maíz es deficiente en algunos nutrientes como vitaminas y proteínas (Ramírez y García, 2021).

2.2.2 Proceso de nixtamalización

Inicia con la selección del grano. Posteriormente, se adicionan dos partes de una solución de cal aproximadamente al 1% a una porción del maíz. Después, los granos de maíz se cuecen en agua con cal (50 a 90 min) y, finalmente, se dejan reposar a temperatura ambiente, paso que generalmente se lleva a cabo durante la noche (14 a 18 h). El objetivo principal es ablandar el pericarpio y el endospermo y facilitando la molienda. Aunque el maíz es el cultivo principal para la nixtamalización, otros cultivos como sorgo, trigo, arroz, avena, cebada, amaranto, también se han procesado frijoles, soya, papa y chía (Ramos *et al.*, 2018).

2.2.3 Efecto de los nutrientes en la nixtamalización

Los procesos de conversión de un alimento crudo a uno listo para su consumo pueden afectar la biodisponibilidad de los nutrientes y en el caso de la nixtamalización del maíz, las condiciones alcalinas, las temperaturas, el tiempo de cocción y la presencia de altos niveles de calcio, podrán interferir con la bioutilización de nutrientes en la tortilla (Gutiérrez, 2016).

2.2.4 Cambios fisicoquímicos

El más importante cambio fisicoquímico ocurrido durante la nixtamalización es la gelatinización del almidón. Este polisacárido comúnmente existe en dos poliformas:

estructuras (redes) cristalinas A y B. su comportamiento durante el proceso ha sido documentado durante la cocción, reposo y molienda. Se ha encontrado que ocurren diversos cambios en los gránulos de almidón durante el procesamiento. Sin embargo, observo que el endospermo del maíz se modifica con cocción alcalina debido a que algunos gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan y una porción de la matriz de la proteína se hidrata (Gómez, 2014).

2.3 Tortilla de maíz

La tortilla es definida como un producto elaborado con masa que puede ser mezclada con ingredientes opcionales, sometida a cocción (NOM-187-SSA1/SCFI-2002). Por lo tanto, en México forma parte de la dieta de todos los consumidores, con un consumo per cápita de 120 kg por año, esto es, 328 g/día de tortilla. Por lo tanto, la tortilla provee 38.8 % de las proteínas, 45.2 % de las calorías y 49.1 % de calcio de la dieta diaria de la población de México y en zonas rurales provee aproximadamente el 70 % del total de calorías y el 50% de las proteínas ingeridas diariamente. La tortilla es uno de los alimentos de mayor consumo en México. En algunos grupos poblacionales este llega a ser mayor de 329 g/día. Por su alto contenido de carbohidrato es considerada como una excelente fuente de calorías, desafortunadamente carece de una buena calidad proteica. Por lo tanto, esto se debe a que el grano de maíz es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano. En México, en el Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán, demostraron la importancia de la tortilla como un alimento mayoritario (65 %) en la dieta de los mexicanos (Cervantes, 2013).

2.3.1 Componentes de la tortilla

Dichos pigmentos que se encuentran en el maíz están constituidos por fenoles, antocianinas y flavonoides, a los cuales, presentes en otros alimentos, se les ha atribuido la propiedad de inducir enzimas de fase 2 como la glutathion-S-transferasa (GST) y quinona oxidoreductasa 1 (QR). Además, la tortilla contiene un contenido significativo de fibra, a la cual se le atribuye la capacidad de reducir los niveles de colesterol y triglicéridos y disminuye la actividad de la enzima llamada β glucuronidasa en el colon. Las enzimas de fase 2 son enzimas quimioprotectoras

que funcionan desintoxicando y eliminando metabolitos carcinógenos en diferentes tejidos corporales, especialmente en el hígado e intestinos, disminuyendo el riesgo de contraer cáncer. De manera similar la disminución de la actividad de la β glucuronidasa en el intestino disminuye el riesgo de contraer cáncer. Por otro lado, existe una relación alta entre los niveles bajos de colesterol y triglicéridos y el riesgo de contraer cáncer. Por lo tanto, el consumo de tortilla podría tener un efecto quimio protector contra el cáncer y enfermedades coronarias (Guerrero y Loarca, 2011).

2.3.2 Importancia económica y sociocultural

La producción de tortilla en México se da por medio de dos insumos, la nixtamalización (masa) y harina de maíz. El primero es un método artesanal que consiste en cocer el grano de maíz en agua con cal para luego desprender el hollejo del grano y molerlo, lo que da la creación de la masa y en relación a la harina de maíz nixtamalizado se produce en plantas industriales y entre sus ventajas están el ahorro de agua, energía y gas. Por lo regular, la industria de la masa y la tortilla se encuentra dispersa por todo el país con 78,852 establecimientos a nivel nacional entre molinos y tortillerías (Retes, 2010).

Por las características de infraestructura y capacidad de producción, la estructura de costos de la producción de tortilla, se muestra que es más eficiente que es producida con harina respecto de la que es producida con masa de nixtamal, sin embargo, el precio al consumidor es, en promedio, un peso por kilogramo más cara la tortilla producida con harina que aquella a base de masa de nixtamal (Retes, 2010).

En México, la tortilla es un alimento que se consume durante todo el año y se considera un alimento básico. Se consume para acompañar platillos o como la base de algunas recetas como los tacos, las enchiladas, los chilaquiles o las quesadillas. Lo anterior refleja la importancia que tiene este producto en la alimentación de la población del país y el efecto que tiene su precio sobre la demanda y sobre el poder de compra de la población mexicana en general y particularmente (Retes, 2010).

El CONEVAL, mostro resultado sobre el consumo de tortilla en zonas rurales y urbanas. En el primer caso el CONEVAL calculo que para el 2020 el consumo diario

por persona de tortilla en las zonas rurales es de 217.9 gramos; por lo tanto, en las zonas urbanas dicho indicador es de 155.4 gramos. El Cuadro 3 muestra el consumo de tortilla en el país en 2020 que fue de 7.7 millones de toneladas y con un valor de 131,494 millones de pesos.

El incremento del precio de la harina de maíz se refleja directamente en el precio de la tortilla vendida en tiendas de autoservicio, debido a que se utiliza como materia prima la harina de maíz. El precio de la tortilla ha demostrado cierta estabilidad, se han presentado aumentos en el precio de este producto básico.

Cuadro 4. Consumo de tortilla en 2020.

	Consumo diario de tortilla por persona (gramos)	Precio promedio 2020 (\$/kg)	Población 2020	Consumo per cápita tortilla por año (kg)	Consumo anual de tortilla (toneladas)	Consumo anual de tortilla (millones de pesos)
Zonas rurales	217.9	16.8	26,983,528	79.5	2,145,190	36,039
Zona urbanas	155.4	17	99,030,496	56.7	5,615,029	95,455
Total			126,014,024		7,760,219	131,494

Nota: Las cifras totales pueden variar por redondeo.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI Y CONEVAL 2020.

2.3.3 Valor nutrimental

En México el Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán, se demostró la importancia de la tortilla como un alimento mayoritario (65%) en la dieta de los mexicanos. En términos de porcentaje, la tortilla aporta el 65% y el frijol el 15% de la dieta rural en el estado de Querétaro, sin embargo, datos semejantes fueron presentados sobre la dieta de niños en Guatemala, que indicaron el consumo de 72 y 8% de maíz y frijol, respectivamente. Por lo tanto, este alimento étnico es el de mayor demanda en el país con un consumo anual aproximado de 12 millones de toneladas de tortillas. Por lo que, en México, la tortilla representa un excelente vehículo para incrementar la calidad nutricional de la dieta ya que es el producto más consumido por la población mexicana (Domínguez y González, 2019).

2.3.3.1 Composición química de la tortilla de maíz

La tortilla de maíz es alimento muy buscado y consumido por gran parte de la población mexicana, y la cual se elabora con masa o harina nixtamalizada de diversas variedades de maíces. El proceso de nixtamalización le aporta características físicas, nutrimentales y sensoriales que el consumidor busca en el alimento. El aporte nutrimental de la tortilla de maíz nixtamalizado se puede observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Composición química general y mineral de la tortilla de maíz nixtamalizado (en g/100 g y porcentaje).

Nutriente	Valor
Energía	206 g
Humedad	14.1 ± 1.7 %
Ceniza	1.32 ± 0.21 %
Proteína	5.6 g
Grasa	1.3 g
Carbohidrato	66.82 g
Fibra dietética	11.25%
Calcio	81 mg
Fosforo	299.6 ± 57.8 mg
Hierro	4.8 ± 1.9 mg
Sodio	59.2 ± 4.1 mg
Potasio	324.8 ± 33.9 mg
Magnesio	107.9 ± 9.9 mg
Zinc	4.6 ± 1.2 mg
Cobre	1.3 ± 0.2 mg
Manganeso	1.0 ± 0 mg
Tiamina	0.12 mg *
Riboflavina	0.05 mg *
Niacina	1.02 mg *
Equivalentes de Retinol	15 mcg *

Nota: Dato referido para tortillas de maíz amarillo con cal.

Fuente: Domínguez y González, 2019.

En el Cuadro 6 se muestra la composición aproximada del maíz en bruto y de las tortillas caseras, así como de las elaboradas industrialmente. Se exponen los cambios en el contenido de grasas y fibras crudas y en algunos casos un aumento del contenido de cenizas.

Cuadro 6. Composición aproximada del maíz en bruto y de las tortillas de fabricación casera e industria (en g/100 g y porcentaje).

Producto	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)	Hidratos de carbono (%)	Calorías (por 100g)
Maíz							
Blanco	15,9	8,1	4,8	1,3	1,1	70,0	356
Amarillo	12,2	8,4	4,5	1,1	1,3	73,9	370
Blanco	13,8	8,3	-	1,2	-	-	-
Tortillas							
Blanco	47,8	5,4	1,0	0,8	0,7	44,5	204
Amarillo	47,8	5,6	1,3	0,8	0,6	44,4	212
Blanco	41,9	5,8	-	0,9	-	-	-
Industrial	40,5	5,8	0,9	1,1	1,4	50,3	226
Industrial	44,0	5,3	3,4	1,2	0,7	42,8	215
Industrial	45,2	5,2	3,1	1,4	1,1	41,1	206

Fuente: Lunven,1993.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en el Laboratorio 1 del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos y en el Laboratorio de Bioquímica del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Saltillo, Coahuila México.

3.1 Equipo

- Balanza analítica modelo AND EJ-410
- Parrilla de calentamiento IKA C-MAG HS 7
- Aparato Kjeldhal Lab Conco
- Balanza analítica, CHAUS
- Equipo Soxhlet
- Estufa model 20 GC Lab Oven
- Mufla Thermo scientific
- Aparato de fibra cruda marca Labconco
- Espectrofotómetro Thermo Spectronic, modelo Heio Epsilon
- Microondas
- Estufa
- Medidor de actividad de agua WA-60A (BYQTEC)
- Tortilladora manual

3.2 Materiales y reactivos

- Matraz Erlenmeyer de 500 mL, KIMAX
- Matraz de afloración de 100 mL, marca PYREX y KIMAX
- Pipeta de 100 mL, 50 mL, marca PYREX
- Papel filtro #, marca AHLSTROM
- Vasos de precipitado de 80 mL, marca PYREX
- Matraz bolo de 500 mL PYREX

- Licuadora marca OSTERIZER
- Hexano
- Ácido sulfúrico 95-98% de pureza
- Ácido bórico al 40%
- Hidróxido de sodio marca JALMEX
- Granalla de zinc
- Mezcla reactiva de selenio
- Ácido sulfúrico al 0.255 N
- Hidróxido de sodio al 0.313N
- Bolsas con cierre
- Comal
- Encuestas
- Etiquetas
- Hojas de respuesta
- Muestras de tortillas
- Popotes de plástico
- Servilletas
- Tornilleros
- Vasos con agua
- Vasos de desecho
- Hidróxido de calcio
- Maíz blanco HEB ®
- Harina de maíz Maseca Azul ®
- Maíz morado genotipo Buenavista 2019
- Tortillas azules Alsuper ®

3.3 Materia prima

3.3.1 Proceso de nixtamalización

El procedimiento de nixtamalización que se utilizó para las dos variedades de razas maíces fue el tradicional utilizando los ingredientes y tiempos descritos en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Formulación de proceso nixtamalización.

Variedad de maíz	Peso del grano (gramos)	Hidróxido de calcio (gramos)	Agua (mililitros)	Tiempo de cocción (minutos)	Reposo (horas)
Maíz Blanco	500	2	1000	30-35	12
Maíz Morado genotipo Buenavista 2019	500	2	1000	30-35	12

En la Figura 11 se muestra la cocción de 500 gramos de maíz con 1 litros de agua y 2 gramos de hidróxido de calcio a su punto de ebullición por 30 a 35 minutos, el nixtamal se dejó en reposo durante 12 horas a temperatura ambiente. Al Finalizar, se lavó para eliminar el líquido de cocción (nejayote).



Figura 11. Reposo de nixtamalización de maíz blanco y morado.

3.3.2 Molienda

El nixtamal se lava con agua purificada para eliminar cualquier residuo, para obtener la harina de maíz es molido manualmente (Figura 12).



Figura 12. Obtención de harina de maíz.

3.3.3 Hidratación

El en Cuadro 8, muestra la harina que se obtuvo de cada variedad de maíz, se mezclaron con agua hasta obtener una masa con las características adecuadas para la elaboración de tortillas.

Cuadro 8. Hidratación de harina obtenida.

Variedad de maíz	Peso después de molienda (gramos)	Agua (mililitros)	Peso masa (gramos)
Maíz blanco HEB®	900	120	1000
Maíz morado genotipo	850	200	1000
Buenavista 2019			
Harina de maíz Maseca Azul®	250	300	500

3.3.4 Preparación de la tortilla

Con la masa obtenida se elaboran piezas de 16 gramos, se colocan en una tortilladora manual, las cuales se cocieron en un comal a una temperatura 150° C por 30 segundos de un lado, 50 segundos por el otro lado y finalmente se voltearon al lado inicial por 25 segundos para lograr el inflado, en la siguiente figura se puede mostrar la obtención de la tortilla.



Figura 13. Tortilla maíz morado genotipo Buenavista 2019.

3.4 Análisis bromatológico

El análisis bromatológico consta en la evaluación química de la materia que compone a los nutrientes. Con este análisis se pretende conocer la composición del alimento el cual puede ayudar a determinar distintos factores como la conservación del mismo (A.O.A.C, 1980).

3.4.1 Materia seca total y humedad

El contenido en agua de las muestras se obtuvo mediante el método gravimétrico (AOAC, 1980), para ello se colocó un peso conocido (1g) de muestra en una estufa a 90 ± 1 °C por 24 horas.

Cálculos:

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

$$\%Humedad = 100 - \%MST$$

3.4.2 Cenizas

La determinación de cenizas se efectuó por calcinación a 500°C (AOAC, 1980) empleando un horno mufla por 24 horas, hasta la obtención cenizas blancas.

Cálculos:

$$\%Ceniza = \frac{(\text{peso de crisol} + \text{ceniza}) - \text{Peso de crisol}}{\text{gramos de muestra}} * 100$$

3.4.3 Proteína cruda

El análisis del contenido de proteínas se realizó según el método de Kjeldahl (AOAC, 1980), que consta de 3 etapas: digestión, destilación y valoración. El método consiste en el análisis del contenido en nitrógeno total y la aproximación al contenido de proteínas multiplicando por un factor de conversión.

Cálculos:

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

Donde:

Normatividad del ácido sulfurico:0.10785.

Equivalente del nitrógeno: 0.014.

$$\%Proteina Cruda = \%N * 6.25$$

3.4.4 Grasa total

La determinación del contenido en grasa se realizó mediante una extracción directa con hexano en un extractor tipo Soxhlet según el protocolo de la A.O.A.C., (1980).

Cálculos:

$$\%GT = \frac{(\text{peso de matras + grasa}) - \text{peso de matraz vacío}}{\text{gramos de muestra}} * 100$$

3.4.5 Fibra cruda

La determinación del contenido en fibra cruda se realizó según el método A.O.A.C., (1975). La muestra desengrasada, se digirió durante 30 min con soluciones sucesivas de ácido sulfúrico al 0.255 N e hidróxido de sodio al 0.313N. El residuo obtenido se separó por filtración empleando un embudo y tela de lino para filtrar, se lavó con agua destilada, se secó en estufa a 90 °C, se pesó y se calcinó en un horno mufla a 600°C durante 2 h. La pérdida de peso debida a la calcinación corresponde a la fibra cruda de la muestra.

Cálculos:

$$\%FC = \frac{(\text{peso de crisol estufa} - \text{peso de crisol mufla})}{\text{gramos de muestra desengrasada}} * 100$$

3.5 Análisis de componentes bioactivos y capacidad antioxidante

3.5.1 Polifenoles hidrolizables por método Folin-Ciocalteu

La determinación del contenido en polifenoles por método Folin-ciocalteu se realizó según la metodología descrita por Medina-Morales *et al.*, (2012) y Fuentes-Lara (2020).

3.5.2 Flavonoides o taninos condensados por la técnica HCL- butanol

La determinación del contenido en flavonoides o taninos condensados por la técnica HCL- butanol se realizó según la metodología descrita por Medina-Morales *et al.*, (2012) y Fuentes-Lara (2020).

3.5.3 Acidez Titulable (%)

La determinación del porcentaje de acidez titulable se realizó según la metodología descrita por Medina-Morales *et al.*, (2012) y Fuentes-Lara (2020).

3.5.4 Vitamina C

La determinación de contenido de vitamina C se realizó según la metodología descrita por Medina-Morales *et al.*, (2012) y Fuentes-Lara (2020).

3.5.5 Contenido de antocianinas

La determinación de contenido de antocianinas C se realizó según la metodología descrita por Medina-Morales *et al.*, (2012) y Fuentes-Lara (2020).

3.5.6 Capacidad antioxidante

La determinación del contenido en la capacidad antioxidante por método DPPH se realizó según la metodología descrita por Medina-Morales *et al.*, (2012) y Fuentes-Lara (2020).

3.5.7 Determinación de actividad acuosa

El análisis de la actividad de agua (*A_w*) se realizó de acuerdo al procedimiento del manual del equipo analizador de actividad de agua (WA-60A), y las lecturas se realizaron por triplicado para cada tortilla o tratamiento.



Figura 14. Actividad acuosa de tortilla blanca.

3.6 Evaluación sensorial

3.6.1 Preparación de la muestra y materiales

Se utilizaron cuatro diferentes marcas de tortillas de maíz (*Zea mays* L.) las cuales fueron (tortilla artesanal maíz morado genotipo Buenavista 2019, tortilla artesanal de Maseca Azul ®, tortilla de maíz azul Alsuper ®, tortilla artesanal elaborada con maíz blanco del centro comercial HEB ®), además de ser parte del acondicionamiento del área evaluación en su mayoría y se realizó una prueba afectiva por medio de una escala hedónica para el análisis de datos.

3.6.2 Aplicación de encuesta

Se realizó a 30 personas mayores de edad entre ellas hombres y mujeres al azar de un rango de 19 a 63 años. Los atributos sensoriales de las tortillas evaluados fueron los siguientes: apariencia global, color, olor, textura, rollabilidad, sabor y aceptación global. Se utilizó metodología de prueba afectiva por medio de una escala hedónica facial de 7 puntos. Las muestras fueron codificadas con números aleatorios de 3 dígitos y se presentaron en platos desechables con las cuatro tortillas. Entre cada análisis se les solicita los panelistas enjuagar la boca con agua (Figura 15).



Figura 15. Consumidores evaluando las tortillas.

3.7 Análisis microbiológico

Análisis microbiológico Los análisis se realizaron de acuerdo a las técnicas descritas por Duan *et al.*, (2005), en la cual se evaluó la carga microbiológica de bacterias mesofílicas totales y bacterias psicrófilas.

1. Se preparó la cantidad necesaria de agua peptonada siguiendo las indicaciones del fabricante.
2. Se prepararon los medios de cultivo, en la cantidad necesaria (agar cuenta estándar, agar papa dextrosa (PDA)) basándose en las indicaciones del fabricante, disolviendo hasta ebullición.
3. Se esterilizaron los medios de cultivo, los frascos y tubos con agua peptonada y las puntillas.
4. Se homogeneizaron 10 g de cada muestra en 90 ml de agua peptonada (dilución 10^{-1}). Se realizaron diluciones decimales consecutivas hasta la concentración de 10^{-5} .
5. Para bacterias mesofílicas aerobias se sembraron en agar cuenta estándar, incubando a 37 °C durante 48 horas, los resultados se expresaron en unidades formadoras de colonias por gramos (UFC/g).
6. Para hongos y levaduras se sembraron en agar papa dextrosa (PDA), incubando a 37°C durante 72 horas, los resultados se expresaron en unidades formadoras de colonias por gramos (UFC/g).

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la etapa experimental se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de medias de Fisher en donde se mostró si existe o no diferencia significativa ($p \leq 0.05$), se analizaron los siguientes parámetros: variables químicas (materia seca total, humedad, cenizas, proteína cruda, grasa total y fibra cruda), además se analizaron componentes bioactivos (polifenoles, flavonoides, acidez titulable, vitamina C y contenido de antocianinas), así como la capacidad antioxidante, también el análisis sensorial de 4 muestras de tortilla de maíz nixtamalizado y variables microbiológicas donde se determinaron bacterias aerobias mesofílicas, hongos y levaduras.

Se realizaron tres tratamientos con tres repeticiones cada uno: maíz blanco centro del comercial HEB ®, maíz morado genotipo Buenavista 2019, harina de maíz Maseca Azul ®.

El paquete estadístico que se utilizó para realizar el análisis fue INFOSTAT versión 2020.

En el siguiente cuadro se muestra la identificación de los tratamientos para los análisis correspondientes a realizar, cabe mencionar que el tratamiento 4 solamente se utilizó para la evaluación sensorial y análisis microbiológico.

Cuadro 9. Identificación de los tratamientos.

Identificación	Tratamiento
Harina de maíz Maseca Azul ®	1
Maíz blanco centro del comercial HEB ®	2
Maíz Morado genotipo Buenavista 2019	3
Tortilla azul Alsuper ®	4

4.1 Análisis bromatológico

4.1.1 Materia seca total

El ANOVA para la materia seca total (Anexo 1), mostro diferencias significativas ($p > 0.05$). Tras la comparación de medias, se observa que las de Maseca Azul ® (T1) y maíz morado genotipo Buenavista 2019 (T3), presentaron los valores más altos y, sin diferencia entre ellas. Por otra parte, la muestra de tortilla elaborada de maíz blanco (T2) obtuvo porcentaje más baja (Figura 16) y es diferente de las muestras T1 y T3. Las pérdidas de materia seca dependen pues de diversas variables, como el tipo de maíz (endospermo duro o blando), la integridad del grano (granos enteros o quebrados), el método de cocción (tradicional, al vapor, bajo presión o comercial), la cantidad de cal empleada, el tiempo de cocción y el tiempo de remojado, así como otras operaciones, como el tratamiento para eliminar la cubierta seminal durante el lavado de los granos (Lubin, 1993).

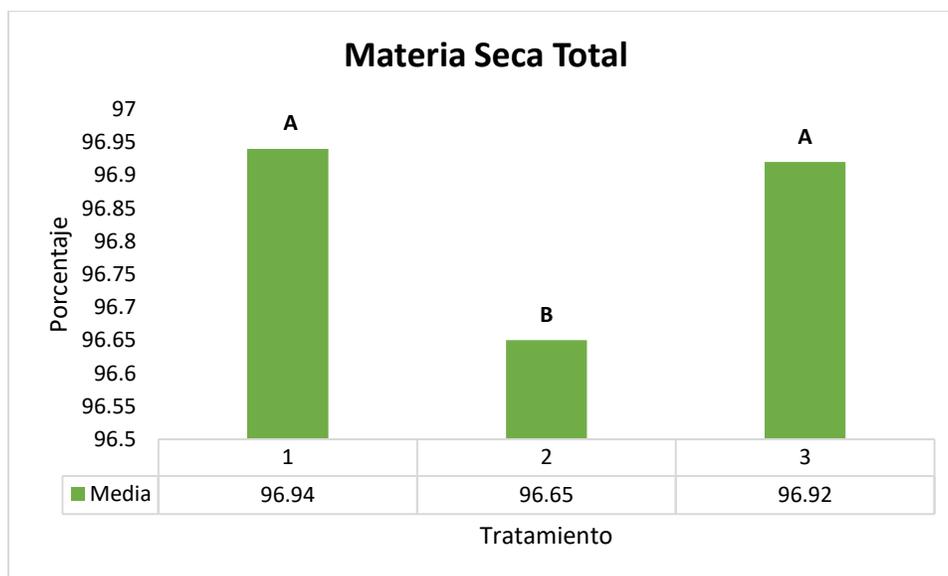


Figura 16. Contenido de materia seca total.

4.1.2 Humedad

Los resultados del análisis en la determinación de humedad con base en el ANOVA (Anexo 2), existen diferencias significativas entre las muestras ($p > 0.05$). Tras la comparación de medias, se observa que la tortilla elaborada de maíz blanco presenta el porcentaje más altos y es diferente a los tratamientos T1 y T3. Por otra

parte, las muestras de tortilla elaboradas de Maseca Azul® y maíz morado genotipo Buenavista 2019, obtuvieron el porcentaje más baja (Figura 17) y es son iguales entre ellos. El contenido de humedad es un parámetro importante relacionado con la estabilidad de los alimentos; grandes cantidades de agua inducen al deterioro de estos, ya que se propicia un ambiente adecuado para el crecimiento microbiano, por lo cual el cumplimiento con la normatividad vigente es de mucha relevancia con respecto al almacenamiento de los productos (Oliva, 2020). Según la NOM-247-SSA1-2008, menciona que la harina de cereales no debe de presentar un límite máximo de 15% de humedad por lo que todas las muestras se encuentran dentro del rango establecido.

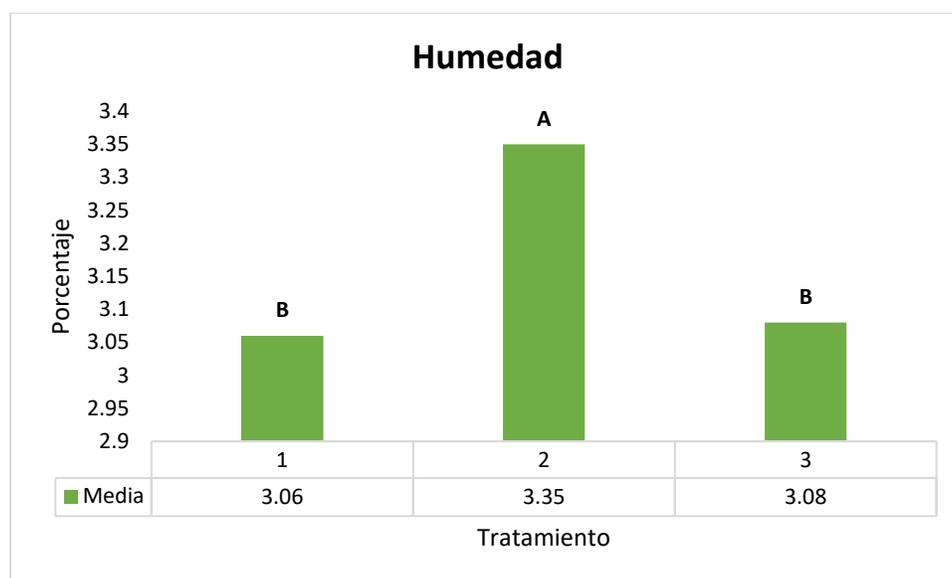


Figura 17. Contenido de humedad de la tortilla.

4.1.3 Cenizas

En el análisis de varianza realizado con cenizas (Anexo 3), existen diferencias significativas entre las diferentes tortillas ($p > 0.05$). Se puede observar que la tortilla elaborada de maíz morado genotipo Buenavista 2019, presenta el porcentaje más altos. Por otra parte, la muestra de tortilla elaboradas de maíz blanco obtuvo el porcentaje más baja (Figura 18). Una fracción importante de las cenizas en la tortilla de maíz corresponde al calcio que es incorporado durante el proceso de

nixtamalización, y que se concentra en el pericarpio y germen del grano nixtamalizado (Salinas *et al.*, 2017).

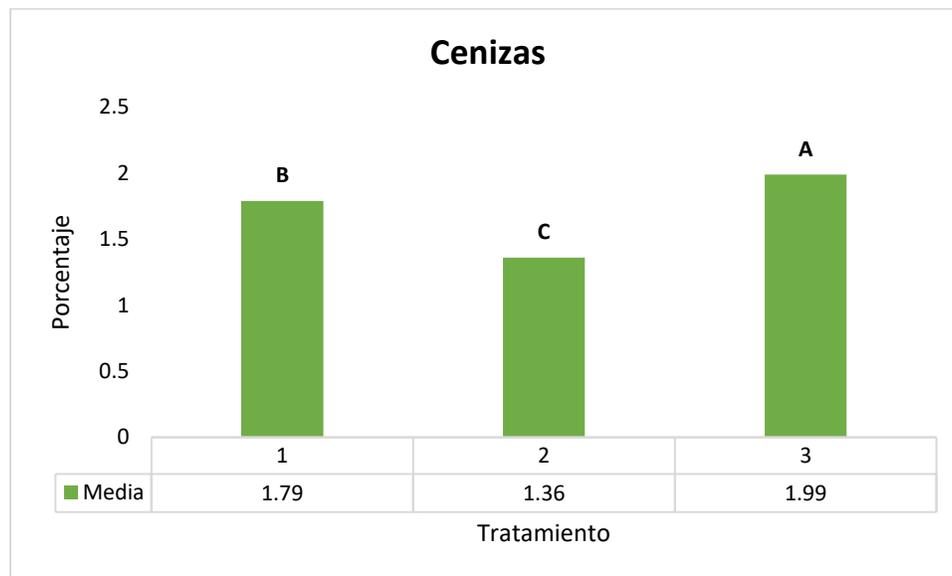


Figura 18. Contenido de cenizas.

4.1.4 Proteína cruda

El contenido que mostro cada tortilla de proteína cruda (Anexo 4), se observa diferencias significativas entre las diferentes tortillas ($p > 0.05$). La muestra elaborada de maíz morado genotipo Buenavista 2019, presenta el porcentaje más altos. Por otra parte, la muestra de tortilla elaboradas de maíz blanco obtuvo el porcentaje más baja (Figura 19). Los resultados que arroja Salinas *et al.*, (2017), son similares ya que reporto en las tortillas de grano maíz blanco 8.8% y maíz azul 10% también menciona que existe una relación directa entre el contenido de proteína en el grano de maíz y su relación con a la dureza del grano.

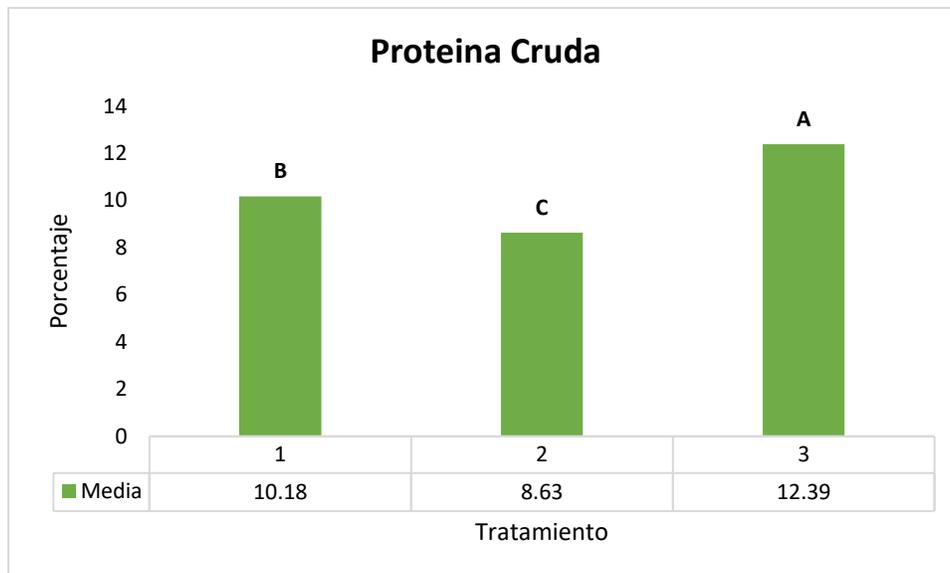


Figura 19. Contenido de proteína cruda.

4.1.5 Grasa total

Los valores encontrados en el estudio para la grasa total (Anexo 5), muestran diferencias significativas entre las diferentes tortillas ($p > 0.05$). De acuerdo a los resultados la tortilla elaborada de maíz blanco presenta el porcentaje más alto. Por otra parte, la muestra de tortilla elaboradas de Maseca azul® obtuvo el porcentaje más bajo (Figura 20). El contenido de aceite en la tortilla va a estar influenciado por el contenido en el grano y las pérdidas que ocurran durante el proceso de nixtamalización. Encontraron pérdidas de 10.3% de aceite al transformar en tortilla, por el método tradicional, un maíz comercial. Las pérdidas se deben a la saponificación de los aceites del grano por el álcali de la nixtamalización (Salinas *et al.*, 2017).

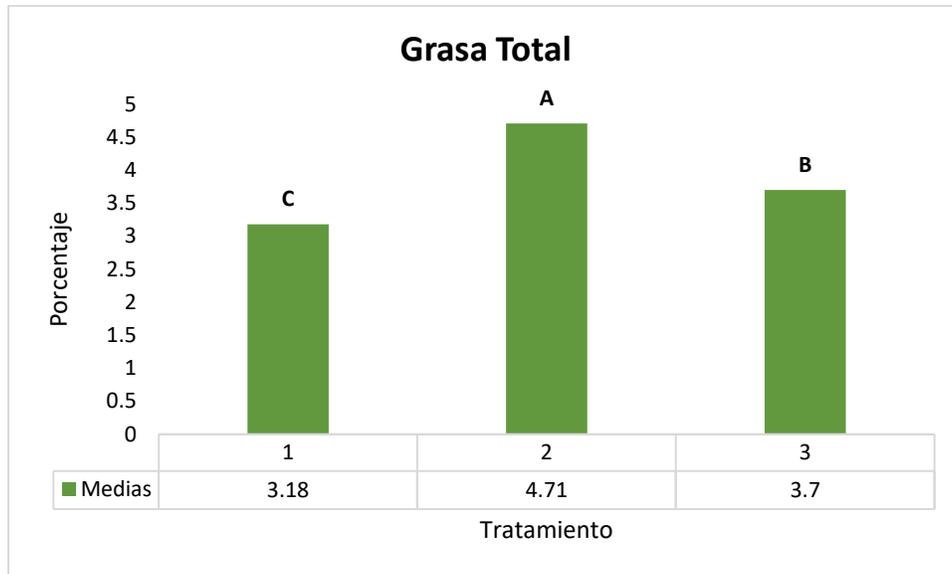


Figura 20. Contenido de grasa total.

4.1.6 Fibra cruda

El Anexo 6 muestra la composición de fibra cruda respecto al ANOVA, hubo diferencias significativas entre las muestras ($p > 0.05$). Se observa que las muestras de tortilla de maíz elaborada de Maseca Azul® y maíz blanco son iguales y sin diferencia entre ellas, pero la muestra de tortilla elaboradas de maíz morado genotipo Buenavista 2019, obtuvo el porcentaje más alto (Figura 21) y es diferente a los tratamientos T1 y T3. Según Lubin (1993), en el tratamiento de nixtamalización hidroliza el pericarpio, que se elimina durante el lavado, arrastrando con él la piloriza, a lo que cabe atribuir en gran medida las pérdidas de fibra.

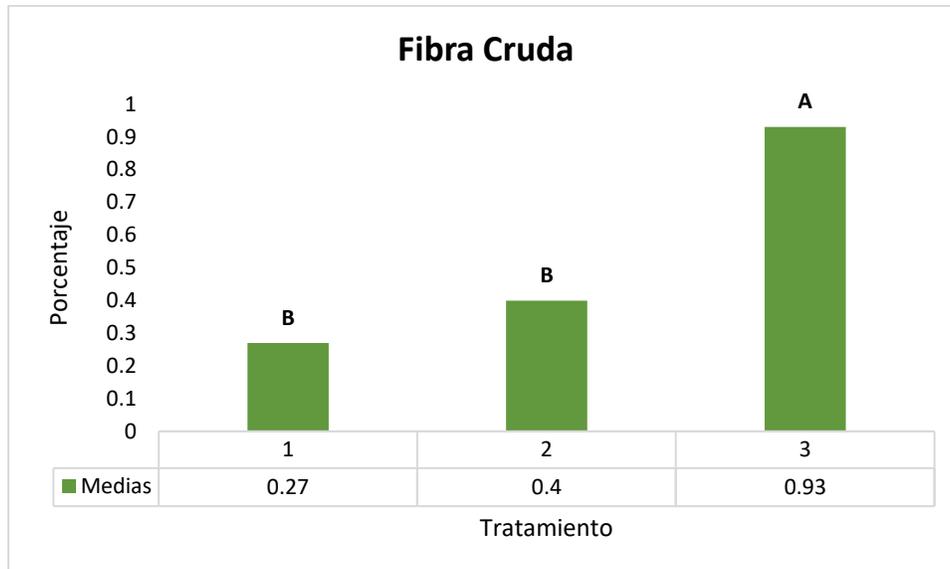


Figura 21. Contenido de fibra cruda.

4.2 Análisis de componentes bioactivos y capacidad antioxidante

4.2.1 Polifenoles hidrolizables por método Folin-Ciocalteu

Los resultados de polifenoles (Anexo 7), existen diferencias significativas entre las muestras ($p > 0.05$). El tratamiento tres tiene la mayor cantidad de polifenoles que corresponde a el maíz morado genotipo Buenavista 2019, como se muestra en la Figura 22. En el estudio realizado por López (2011), reporta compuestos fenólicos totales en tortilla de maíz blanco $109,1 \pm 3,4$, tortilla de maíz azul $201,4 \pm 5,8$ y la tortilla de maíz rojo $240,7 \pm 5,4$, el contenido de polifenoles en el maíz es variado y depende de factores tanto genéticos como agrícolas Olivia (2020). Según Del Pozo *et al.*, (2006) durante la nixtamalización, así como la lixiviación en la solución de cocción, hay una pérdida de polifenoles totales.

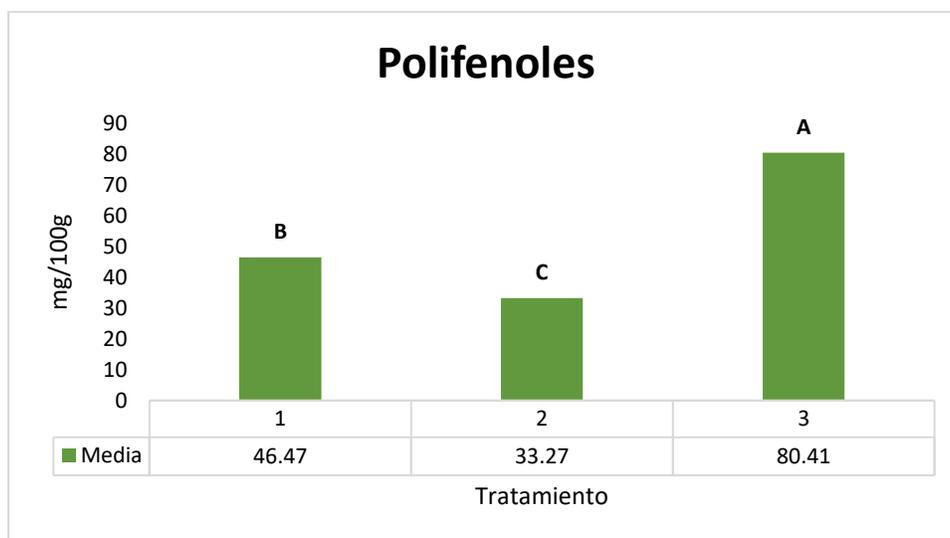


Figura 22. Contenido de polifenoles en mg/100g.

4.2.2 Flavonoides o taninos condensados (TC) por la técnica HCl- butanol

De acuerdo a los resultados (Anexo 8), no observa diferencias significativas entre las diferentes tortillas ($p > 0.05$). Se puede observar en la Figura 23 que la muestra que aporta mayor cantidad de taninos condensados es la tres que corresponde a la tortilla elaborada con el maíz morado genotipo Buenavista 2019. En la investigación realizada por Rodríguez (2019), muestra diferentes variedades de maíz obteniendo los taninos condensados en los maíces. En los maíces morados los valores fueron de 39.00 a 158.55 mg EC/100g en libres, en los maíces pintos de 33.70 a 37.67 mg EC/100g en libres, en el rojo 67.67 mg EC/100g, en el maíz pinto, amarillo y blanco, así como en los extractos ligados de todas las variedades los TC no fueron identificados. También mencionaron que debido a la naturaleza química de los taninos condensados, estos pueden ser extraídos por disolventes orgánicos como: agua, metanol, etanol, acetona, etc., sin necesidad de realizar una hidrólisis alcalina y por tanto se obtiene su presencia solo en los extractos libres y ausencia en los extractos ligados.

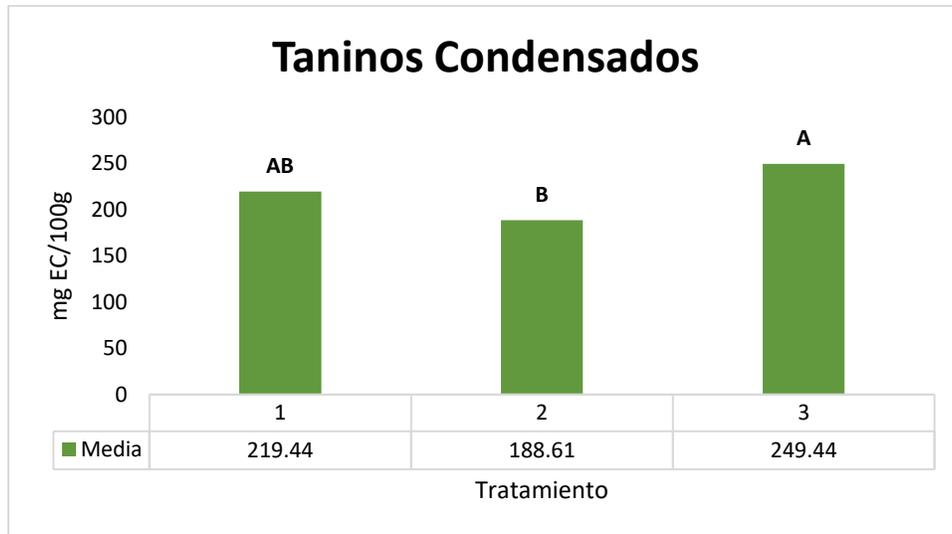


Figura 23. Contenido de taninos condensados en mg EC/100g.

4.2.3 Acidez titulable (%)

El parámetro de acidez titulable que arrojó el ANOVA (Anexo 8) en el porcentaje de equivalentes de ácido málico, hubo observadas diferencias significativas entre las diferentes tortillas ($p > 0.05$). En la Figura 24 las muestras T1 y T2 son iguales y contienen menos porcentaje de acidez que la muestra T3 que corresponde a la tortilla elaborada con maíz morado genotipo Buenavista 2019, es diferente a las muestras T1 y T2. En una investigación realizada por Rodríguez, (2019) en bebidas de maíz blanco y morado mostraron en todos los casos valores de 0.033 %.

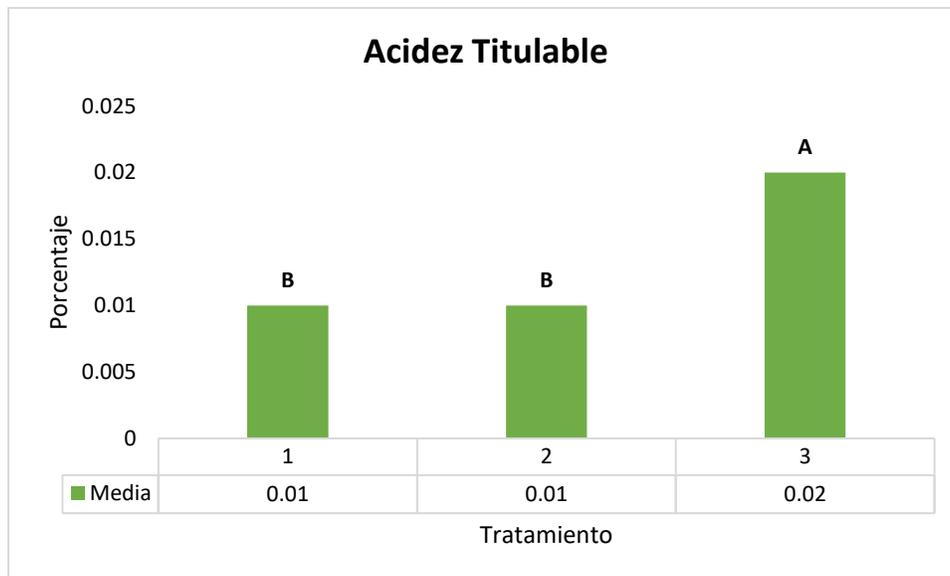


Figura 24. Contenido de acidez titulable.

4.2.4 Vitamina C

Respecto a el contenido de vitamina C (Anexo 12), existe diferencias significativas ($p > 0.05$), más sin embargo en la Figura 25, se puede observar que la que contiene mayor cantidad de vitamina C es la muestra tres que corresponde a la tortilla elaborada de maíz morado genotipo Buenavista 2019 y esta es diferente a las muestras T1 y T2. En el libro *el poder medicinal de los alimentos de Pamplona*, (2004) menciona que el maíz dulce aporta 6.80 mg/100 g de vitamina C, en otra investigación Naqvi *et al.*, (2009) reportaron una concentración promedio de 1.7 mg/100g de vitamina C en el maíz. Según Latham (2002), los granos de cereales carecen completamente de vitamina C y excepto en el caso del maíz amarillo, no contienen caroteno (provitamina A). Para obtener una dieta balanceada, los cereales deben suplementarse con alimentos ricos en proteína, minerales y vitaminas A y C.

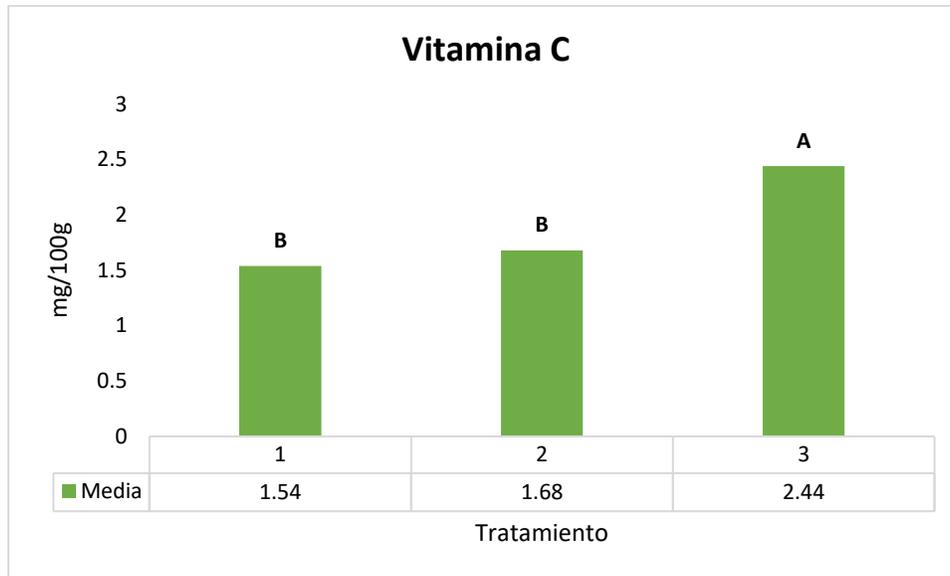


Figura 25. Contenido de vitamina C

4.2.5 Contenido de antocianinas

Los resultados de contenido de antocianinas (Anexo 13), se observa diferencias significativas entre las diferentes tortillas ($p > 0.05$). En la Figura 26 se identifica que la muestra uno contiene poco contenido de antocianinas. Rodríguez (2019), obtiene antocianinas en diferentes variedades de maíz de color variaron de 1.38 a 74.52 mg EC3G / 100 g. En los maíces morados variaron de 22.01 a 74.52, los maíces pintos variaron de 8.21 a 31.18, en el maíz de color rojo 24.69, en el amarillo 2.94 y en el maíz de color blanco 1.38 mg EC3G/100 g. Según Parra (2006), menciona que las antocianinas en el grano de maíz se encuentran mayormente localizadas en la aleurona y el pericarpio. Durante la nixtamalización la mayoría de las antocianinas fueron degradadas. El efecto sinérgico del pH alcalino y la temperatura causan una transformación o modificación importante en la estructura. También menciona Nevárez (2018), que el contenido de antocianinas totales varía de acuerdo con las técnicas de extracción y del germoplasma utilizado.

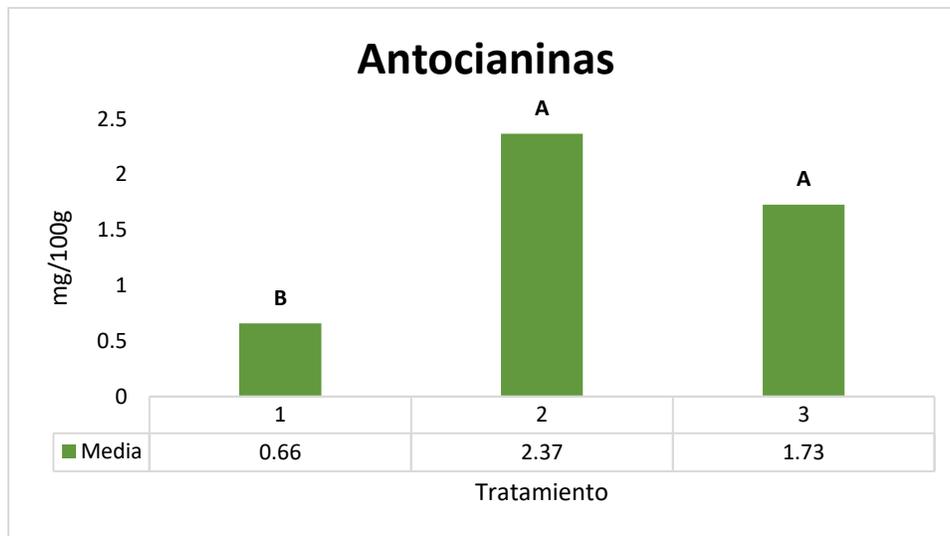


Figura 26. Contenido de antocianinas.

4.2.6 Capacidad antioxidante por método DPPH

En el análisis de varianza de la capacidad antioxidante se encontraron diferencias entre muestras (Anexo 14). En la Figura 27 se observa que la muestra uno y dos tuvieron cantidades muy similares y que la muestra tres que corresponde a la tortilla elaborada con maíz morado genotipo Buenavista 2019 presenta muy poca cantidad. En la investigación de Colin *et al.*, (2020) reporta que en tortilla de maíz blanco 43.6 y en tortilla de maíz azul 78.6 por el método DPPH también hace mención que los productos elaborados a partir de los genotipos azules contenían una mayor actividad antioxidante que sus homólogos producidos a partir del maíz blanco. Salinas *et al.*, (2017) sus resultados son los siguientes en tortillas elaboradas en dos variedades de maíz morado 44.8 y 35.09, en tortilla de maíz azul 29.6 y tortilla de maíz blanco 19.24 expresó como porcentaje de DPPH reducido. De acuerdo con Nevárez (2018), menciona que la capacidad antioxidante puede estar directamente relacionada con la concentración de compuestos bioactivos, tales como, antocianinas y fenólicos, ya que estos son considerados potentes antioxidantes. Los métodos de ABTS y DPPH se basan en diferentes mecanismos. Por lo tanto, los resultados obtenidos por diferentes métodos pueden ser sesgados.

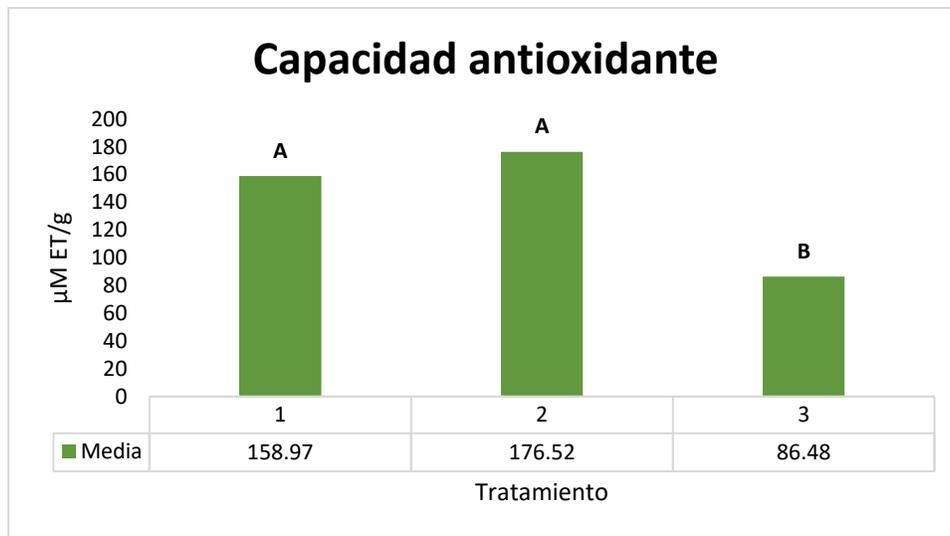


Figura 27. Contenido de capacidad antioxidante.

4.2.7 Actividad acuosa

La actividad acuosa con base al ANOVA (Anexo 13), mostro diferencias significativas ($p > 0.05$), en Figura 28, se puede observar la que contiene mayor porcentaje es la muestra T3 que corresponde a la tortilla artesanal elaborada de maíz morado genotipo Buenavista 2019. Según Badui (2006), mientras más alta sea la A_w y más se acerque a 1.0, que es de agua pura, mayor será su inestabilidad. Por el contrario, los alimentos estables a temperatura ambiente (excepto los tratados térmicamente y comercialmente estériles, como los enlatados), tienen A_w baja. Se ha demostrado que la A_w es un factor clave para el crecimiento microbiano, producción de toxinas y resistencia al calor de los microorganismos. Generalmente la tortilla de maíz es consumida el mismo día de su compra debido al alto contenido de A_w que presenta (0.94 a 0.98), convirtiéndolo así en un producto susceptible a daños por microbios (García y Tantaleán, 2008). Cabe mencionar que según Salinas y Aguilar (2010), en su investigación mencionan que los granos harinosos (suaves) absorben más agua que los cristalinos (duros).

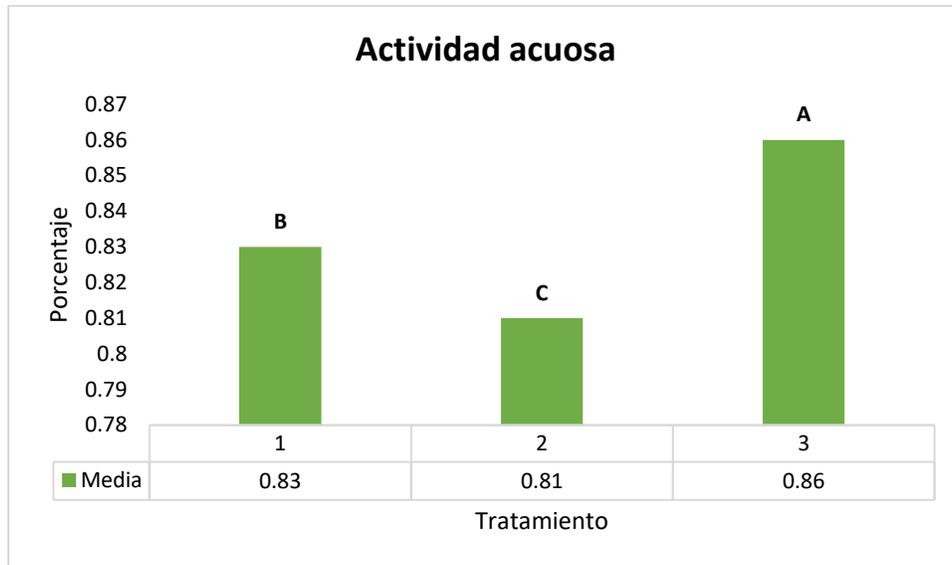


Figura 28. Contenido de actividad acuosa.

4.3 Evaluación sensorial

Para los resultados obtenidos de la prueba hedónica realizada en el análisis sensorial. Se determinaron las diferencias estadísticamente comparación de Fisher a un nivel de significancia de $P=0.05$ con el programa INFOSTAT versión 2020. Donde se evaluó apariencia global, color, olor, texturas, rollabilidad, sabor y aceptación global, de acuerdo a las respuestas de los consumidores (30 consumidores).

El siguiente cuadro se muestra la identificación de cada tortilla elaborada con diferentes harinas:

Cuadro 10. Tratamientos sensoriales en muestras de harinas de maíz.

Muestra	Tratamiento
T1	Harina de maíz Maseca Azul ®
T2	Maíz blanco centro del comercial HEB ®
T3	Maíz Morado genotipo Buenavista 2019
T4	Tortilla azul Alsuper ®

4.3.1 Apariencia global

En la Figura 29, observamos la comparación de medias, las muestras T1, T2 y T4 el ANOVA arroja que son iguales para la aceptación en apariencia global del consumidor que corresponden a las tortillas artesanales elaboradas de Maseca Azul ®, maíz blanco y las tortillas Alsuper ®. El nivel de agrado de los consumidores para las tortillas elaboradas de maíz morado genotipo Buenavista 2019 fue una media de 4.5 (ligeramente agradable).

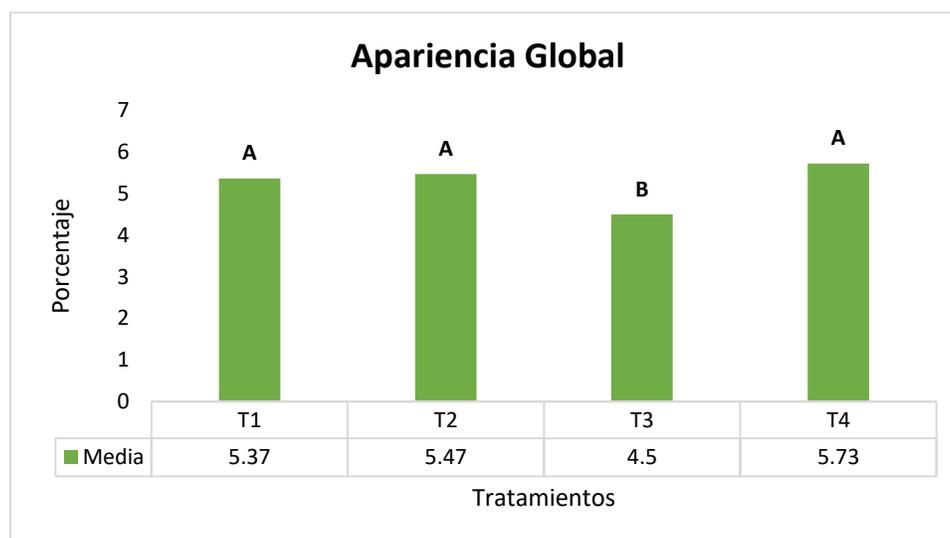


Figura 29. Apariencia global en diferente tortilla de maíz.

4.3.2 Color

El color es un factor importante que afecta la aceptación del producto de tortilla. En general, los consumidores latinoamericanos prefieren el color blanco (Corredor 2010). Con base al ANOVA indica que los consumidores tienen mayor agrado por las muestras T2 y T4 que corresponden a la tortilla artesanal elaborada con maíz blanco y la tortilla de Alsuper ®. La muestra T3 fue la que obtuvo menor nivel de agrado en color que corresponde la tortilla artesanal elaborada con maíz morado genotipo Buenavista 2019.

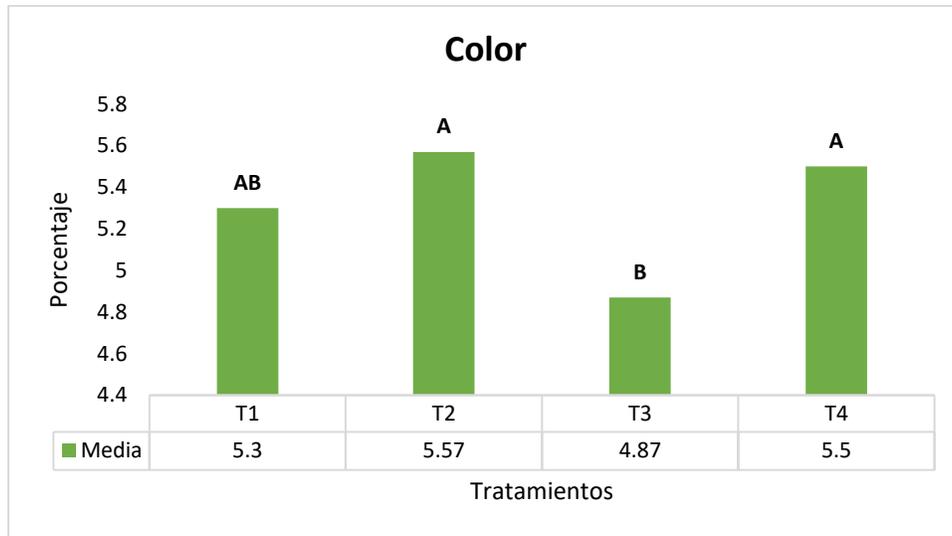


Figura 30. Color en diferente tortilla de maíz.

4.3.3 Olor

Con base en el ANOVA, no existen diferencias significativas entre las muestras evaluadas ($p > 0.05$), para el atributo olor. Sin embargo, se observó la tortilla artesanal elaborada con maíz morado genotipo Buenavista 2019 tiene el mayor nivel de agrado por el consumidor (Figura 31). Synnott (2003), menciona que el olor representa muchas cosas, marca límites, es un símbolo de estatus, algo que mantiene distancias, una técnica para dejar una buena impresión, y una señal de peligro. Los olores avivan recuerdos y despiertan el apetito.

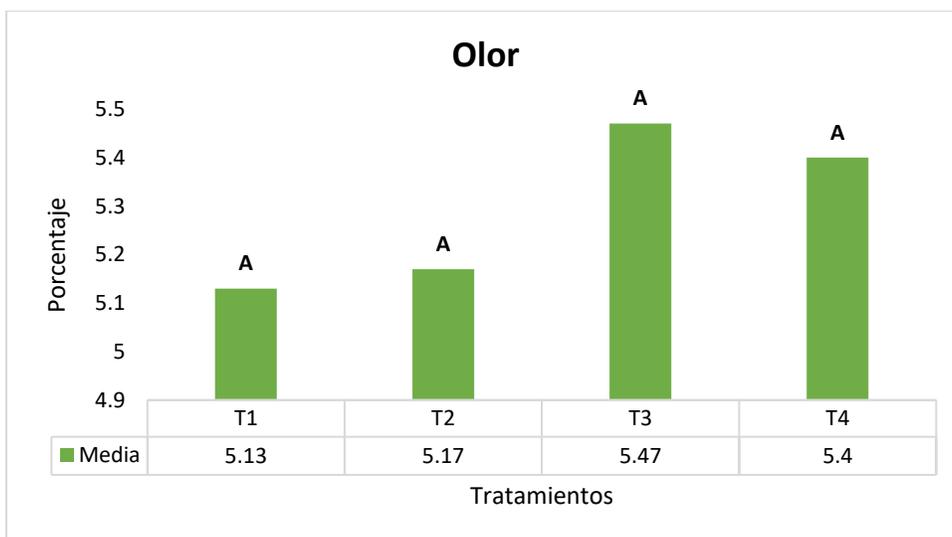


Figura 31. Olor en diferente tortilla de maíz.

4.3.4 Textura

En la siguiente figura se puede observar que la muestra T4 fue la que más agrado en cuanto a textura con una escala de ligeramente suave, correspondiente a la tortilla Alsuper ®, mientras que la muestra con menor agrado en textura fue la T3 que correspondiente a la a la tortilla elaborada con maíz morado Buenavista 2019, Cabe mencionar que los consumidores mencionaron que la muestra T2 y T3 está muy crujiente y que le faltó molienda al grano nixtamalizado.

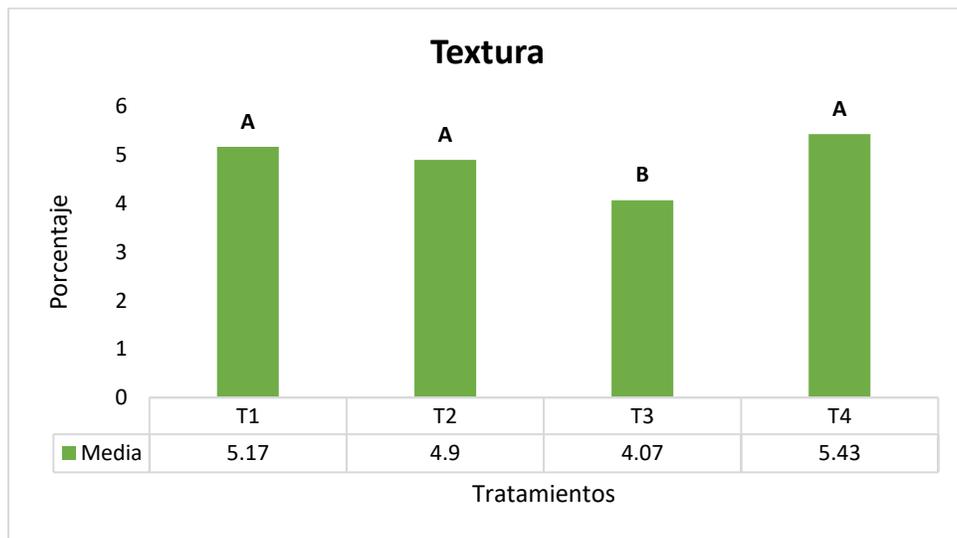


Figura 32. Textura en diferente tortilla de maíz.

4.3.5 Rollabilidad

Para el atributo de rollabilidad podemos observar que la muestra T3 obtuvo una media muy baja (Figura 33), ya que los consumidores mencionan que no tiene una textura suave para poder enrollar la tortilla también hacen mención que el tamaño es importante para este atributo. Las muestras T1 y T4 fueron de mayor agrado para el consumidor que corresponden a las tortillas elaboradas de harina Maseca Azul ® y las tortillas de Alsuper ®.

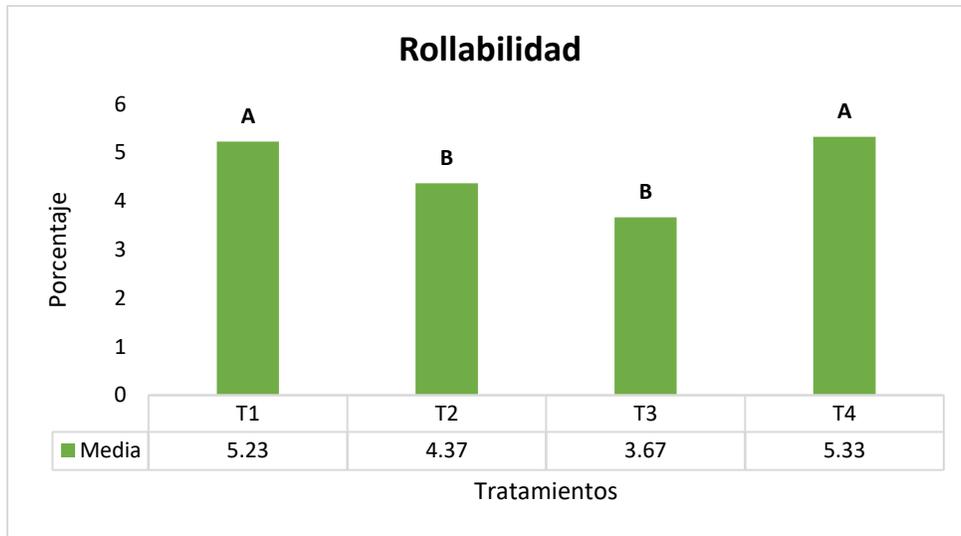


Figura 33. Rollabilidad en diferente tortilla de maíz.

4.3.6 Sabor

Para el atributo de sabor se observaron diferencias significativas entre las muestras evaluadas (Anexo 10). En la comparación de medias, se observa que la muestras T4 que corresponde la tortilla Alsuper® presentaron los valores más altos de dicho atributo, y las muestras T2 y T3 son iguales (Figura 34). Por otra parte, los consumidores redactan que todas las muestras tienen un buen sabor.

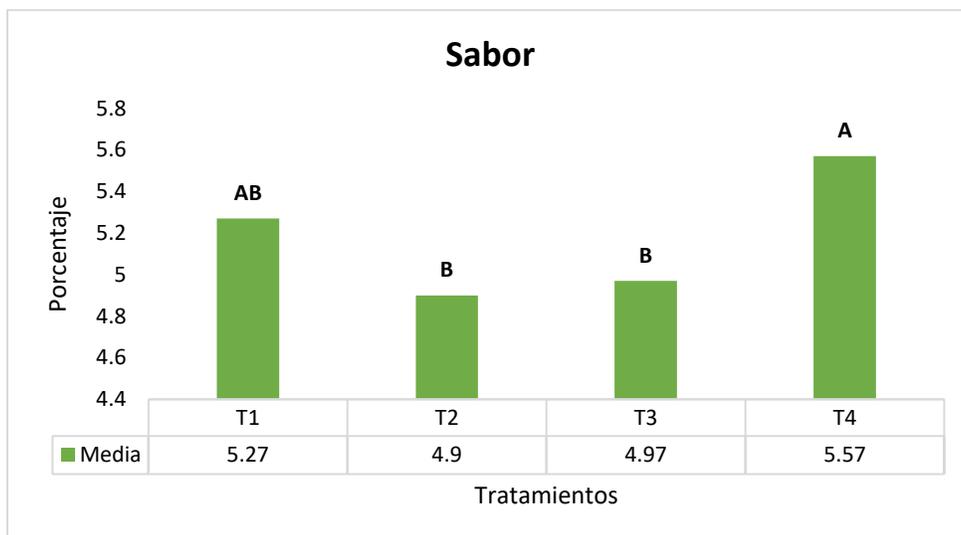


Figura 34. Sabor en diferente tortilla de maíz.

4.3.7 Aceptación global

De acuerdo a los resultados del ANOVA para el parámetro de aceptación global observaron diferencias entre los tratamientos ($p > 0.05$). Al realizar la prueba de comparación de medias, se obtuvieron tres bloques (Figura 35) con diferencia estadística significativa, la muestra T4 es la que más agrada al consumidor que corresponde a la tortilla Alsuper ®. Los consumidores mencionan que todas las muestras tienen buen sabor.

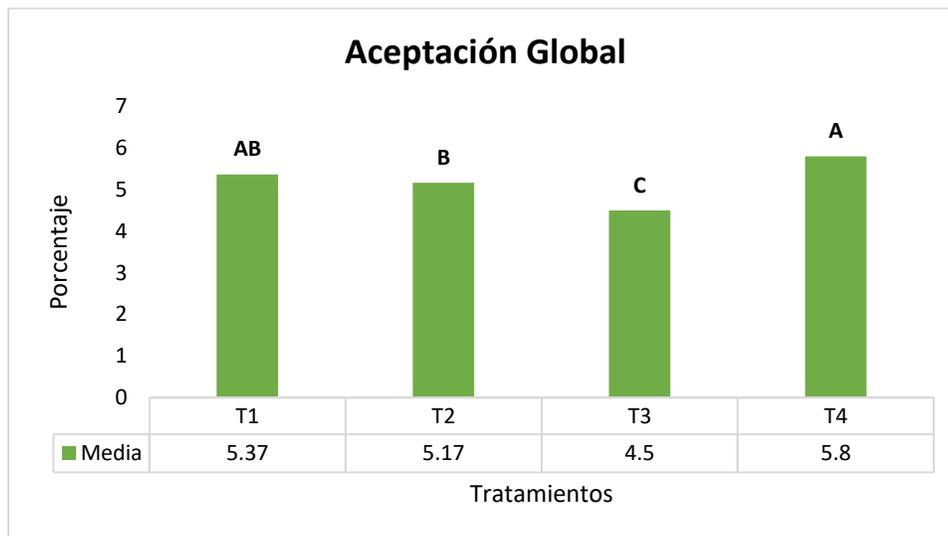


Figura 35. Aceptación global en diferente tortilla de maíz

4.4 Análisis microbiológico

4.4.1 Bacterias aerobias mesófilas

En base a los resultados obtenidos para bacterias aeróbicas mesofílicas se observa en la Figura 36 que en las muestras T1⁻³ y T4⁻³ tuvo poca presencia de bacterias mientras que para las muestras T2⁻³ y T3⁻³ que corresponden a tortillas artesanales elaboradas con grano de maíz blanco y morado tuvieron un crecimiento muy similar. Según la NOM-247-SSA1-2008 menciona que la harina de maíz nixtamalizada no debe de presentar un máximo de 10,000 UFC/g por lo que la única que se encuentra dentro del rango establecido es la muestra T1⁻³ que presenta 2333.33 UFC/ml que corresponde a la harina de Maseca Azul ®, podemos identificar que las tortillas hechas con maíz nixtamalizado tuvieron más contaminación.

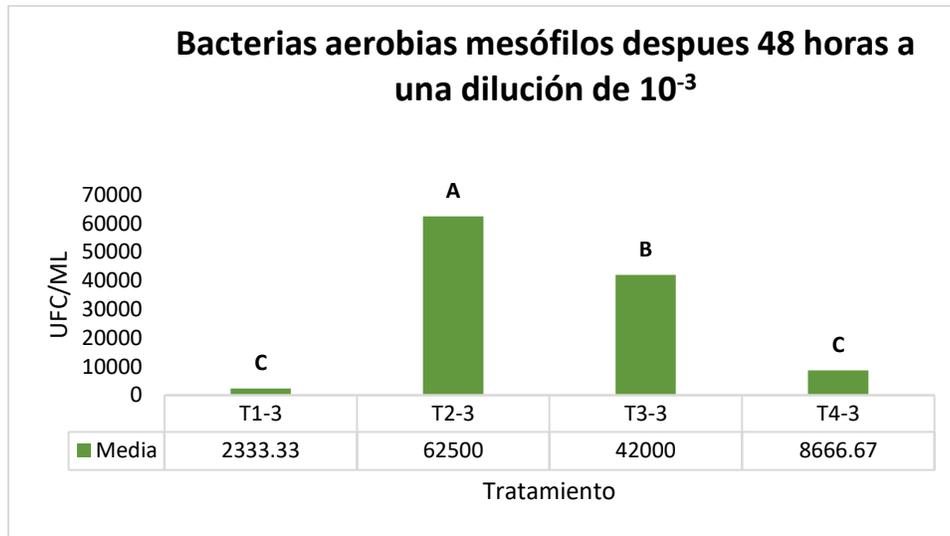


Figura 36. Conteo de bacterias aerobias mesófilos

4.4.2 Hongos y levaduras

Como podemos ver en la Figura 37 correspondiente a la muestra T1⁻³ (harina de Maseca Azul ®), el crecimiento de hongos y levadura no fue tan notable. También podemos ver que la tortilla artesanal elaborada con maíz morado tiene mayor UFC/ML que la tortilla blanca. La NOM-247-SSA1-2008 menciona que las harinas de maíz nixtamalizadas deben de presentar como límite permisible de 300 UFC/g ningún tratamiento está por debajo del límite establecido en esta norma, Urgiles (2019), menciona que en el proceso de cocción en agua de cal disminuye los niveles de hongos y levaduras por lo que se deduce en las tortillas de maíz realizadas hubo un mal manejo en la preparación (hidratación, cocción) o en la realización del análisis tuvimos alguna contaminación.

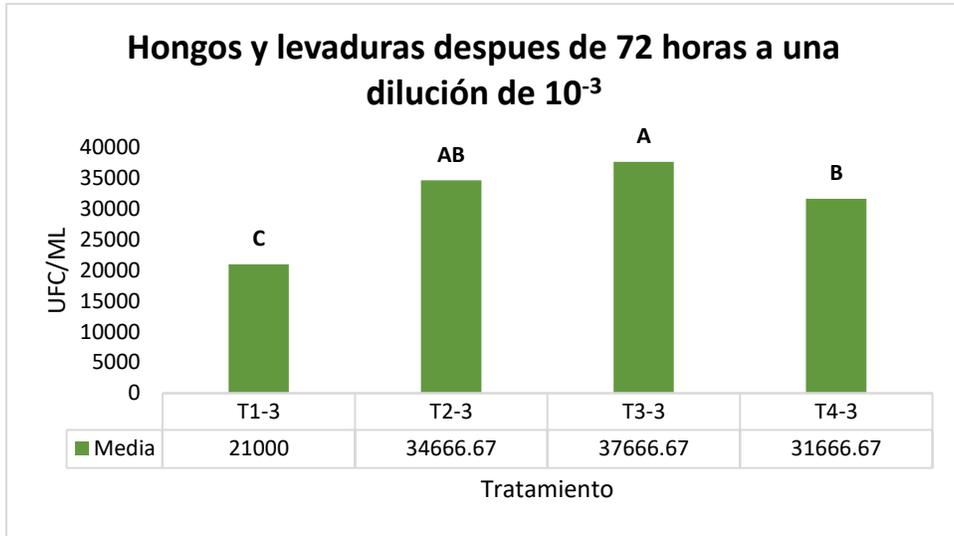


Figura 37. Conteo de hongos y levaduras

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

En el presente proyecto definimos y estandarizamos la formulación de la tortilla artesanal con maíz morado genotipo Buenavista 2019 nixtamalizado, evaluamos análisis proximal (materia seca total, humedad, cenizas, proteína cruda, grasa total, fibra cruda), la actividad de agua, los niveles de componentes bioactivos y la capacidad antioxidante.

Realizamos un análisis proximal y lo comparamos con tortillas elaboradas de maíz blanco y una harina de maíz comercial (MASECA ®). La tortilla con el genotipo de maíz morado tiene alto nivel en cenizas, proteína y fibra cruda.

Los resultados de compuestos bioactivos nos indica que la tortilla de maíz aporta beneficios a la salud, y la tortilla con el genotipo de maíz morado es rica en taninos condensados, fenoles, vitamina C y antocianinas. El mayor contenido de capacidad antioxidante la obtuvo la tortilla de maíz blanco.

En la evaluación sensorial se pudo observar que en el parámetro de textura y rollabilidad de la tortilla con un genotipo de maíz morado, no fue aceptada por los consumidores, ya que algunos comentaban que estaba muy áspera y era mejor desarrollar una tostada.

En el análisis microbiológico se puede concluir respecto a la NOM-247-SSA1-2008 que los resultados no fueron favorables, respecto a las bacterias aerobias mesófilos, hongos y levaduras porque es producto para consumo inmediato (sin conservadores) tendrá una vida de anaquel de no máximo de dos días.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar García, G., & Angulo Carvallo, M. A. (2020). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta procesadora de harina de maíz nixtamalizada bajo el régimen Zofra Tacna para atención al mercado nacional (Tesis), repositorio digital, Escuela de Postgrado Neumann.

Association of Official Analytical Chemist Official Methods of Analytical Chemist. (1980). Manual de técnicas de laboratorio. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. P.2-50.

Badui, S. 2006. Química de los alimentos. 4a ed. Pearson Educación. México.

Barrios, K. B. (2017). Desarrollo de un prototipo de tortilla funcional de maíz (*Zea mays* L.) y harina de grillo (*Acheta domestica*) como fuente de proteína para dieta humana.

Bradley, R. (21 de octubre de 2019). Innovative use of alkalis in the ancient Americas. Open Edition Journals. Recuperado de: <https://journals.openedition.org/aof/10377#tocto1n3>.

Ccaccya Ccaccya, A. M., Soberón Lozano, M., & Arnao Salas, I. (2019). Estudio comparativo del contenido de compuestos bioactivos y cianidina-3-glucósido del maíz morado (*Zea mays* L.) de tres regiones del Perú. Revista de la Sociedad Química del Perú, 85(2), 206-215.

Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Tellez, M. A., & Astier, M. (2020). Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. Current Research in Food Science. P.191-193

CONABIO (2020). Razas de maíz de México <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). Consultado en <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx>, 16-11-2021.

Corredor, J. A. H., Prinyawiwatkul, W., No, H. K., Chompreeda, P., Garcia, K., Saidu, J. E., & Khachatryan, A. (2010). Influence of education/profession of Mexican consumers on acceptance and purchase intent of corn tortilla. *Journal of sensory studies*, 25(1), 108-126.

Del Pozo-Insfran, D., Brenes, C. H., Saldivar, S. O. S., & Talcott, S. T. (2006). Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Research International*, 39(6), 696-703.

Domínguez Vázquez, Á. D. J., y González Pérez, Y. A. (2019). Caracterización de tortilla de maíz enriquecida con semilla de mojú (Tesis), repositorio digital, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos.

Espinosa Andrews, H., Garcia Márquez, E., y Gastelum Hernández, E. (2016). Los compuestos Bioactivos y Tecnologías de Extracción (1.a ed., Vol. 1) [Libro electrónico]. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. <http://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/39>. P.59

Filomeno Marcelino, E. (2018). Evaluación de tres especies de plantas para el control de gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY) en condiciones de laboratorio (Bachelor's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).

Fuentes-Lara, L.O. 2020. Manual de Prácticas de Laboratorio del Curso de Alimentos Funcionales. Departamento de Nutrición Animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. P.18.

Guerrero Acosta, M. M., & Pico Badillo, K. J. (2020). Polifenoles totales y actividad antioxidante en extracto acuoso y etanólico de la raíz del churco (*Arthrostemma*

ciliatum Pav. ex D. Don) (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas).

Guerrero Villanueva M, Loarca-Piña M, Mendoza Díaz S, Ramos Gómez M, Reinoso Camacho R y Figueroa Cardenas J (2011). "Efecto del consumo de tortilla de maíz pigmentado (*Zea mays* L.) en indicadores de riesgo de cáncer de colon." Revista de la Universidad del Sabes, 02, 1-2.

Gutiérrez Peña, E. B. (2017). Control biológico de cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y mazorquero (*Heliothis zea*) en el cultivo de maíz amiláceo (*Zea mays* L.), en la localidad de maucacalle Abancay–Apurímac.

Gutiérrez Peña, F. E. (2016). Efecto de la nixtamalización en los compuestos fenólicos totales y antocianinas y su actividad antioxidante en distintas variedades de maíz (*Zea mays* L.) Mexicano (Tesis), repositorio digital, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química.

Hellin, J., & Keleman, A. (2013). Las variedades criollas del maíz, los mercados especializados y las estrategias de vida de los productores. LEISA revista de agroecología, volumen 29 n° 2, junio de 2013. P.7-9

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censos y Conteos de Población y Vivienda. Series históricas. Tabulados predefinidos, consultado en <https://www.inegi.org.mx/datos/?ps=Programas>, 16-11-2021.

J. Doebley, A. Stec (1993). Inheritance of the Morphological Differences Between Maize and Teosinte: Comparison of Results for Two F2 Populations. Genetics Society of America, Número 134.

Latham, M. C. (2002). Nutrición humana: en el mundo en desarrollo (Vol. 29) [Libro electrónico]. Roma, Italia: FAO. Disponible en <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s00.htm#Contents>

Lopez-Martínez, L. X., Parkin, K. L. & Garcia, H. S. (2011). Phase II-Inducing, Polyphenols Content and Antioxidant Capacity of Corn (*Zea mays* L.) from

Phenotypes of White, Blue, Red and Purple Colors Processed into Masa and Tortillas. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66:, P.41–47.

Lunven, P. (1993). *El maíz en la nutrición humana*. FAO, Roma (Italia).

Medina-Morales, M.A., Rojas-Molina, R., Rodríguez-Herrera, R. & Aguilar, C.N. 2012. *Manual de Métodos de Laboratorio del Departamento de Investigación en Alimentos de la Universidad Autónoma de Coahuila*. DIA-UAdeC. Vol 1. Saltillo, Coahuila, México. P.73.

Monzón, Á. R. R. (2017). *Actividad Antibacteriana y Antioxidante de Tortillas de Maíz (Zea mays L.) Criollo Azul Obtenidas por el Proceso de Nixtamalización* (Tesis), repositorio digital, (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Sinaloa).

Nevárez, Y. B. J. (2018). *Extractos Purificados de Tortilla de Maíz (Zea mays L.) Criollo Azul y su Potencial Efecto Antioxidante y Citotóxico* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Sinaloa).

Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.

Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.

Oliva Ramos, G. (2020). *Modificación física de la microestructura de masa de maíz azul: Efecto sobre el procesamiento y almacenamiento de tortillas*. (Tesis). Repositorio digital, Universidad Veracruzana, Centro de Investigación y Desarrollo en Alimentos.

Pamplona, J. 2004. *El poder medicinal de los alimentos*, 1a ed. Editorial Safeliz. Argentina. P.224

Parra Simental, C. D. L. (2006). Efecto de la nixtamalización de cinco tipos de maíces coloreados sobre el perfil fitoquímico, capacidad antioxidante y absorción de Carotenoides en Células Caco 2. Repositorio digital. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. P.31

Ramírez, S. M., & García, D. T. (2021). Tortillas. RD-ICUAP, 7(19), 47-63.

Retes, Rogel (2010). Demanda de tortilla de maíz en México, 1996-2008 (Tesis). Repositorio digital, Colegio de Postgraduados, Doctorado en Ciencias, especialista en Economía.

Rodríguez Salinas, P. A. (2019). Caracterización del contenido nutricional, compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de maíces pigmentados (*Zea mays* L.) nativos del sur de Nuevo León (Tesis). Repositorio digital (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León). P.115

Salinas Moreno, Y., Hernández Martínez, V., Trejo Téllez, L. I., Ramírez Díaz, J. L., y Iñiguez Gómez, O. (2017). Composición nutricional y de compuestos bioactivos en tortillas de poblaciones nativas de maíz con grano azul/morado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1483-1496.

Salinas-Moreno, Y., & Aguilar-Modesto, L. (2010). Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(1), 5-11.

Sánchez Ibarra, C. (2012). Comparación de la composición química y la capacidad antioxidante de harinas comerciales de maíz nixtamalizadas y evaluación de su potencial quimioprotector sobre el estadio temprano de cáncer de colon (Tesis). Repositorio digital, Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química.

Santiago-Ramos, D., de Dios Figueroa-Cárdenas, J., Mariscal-Moreno, R. M., Escalante-Aburto, A., Ponce-García, N. y Véles-Medina, J. J. (2018). Physical and chemical changes undergone by pericarp and endosperm during corn nixtamalization—A review. *Journal of Cereal Science*, 81, 108-11.

Santos Lara, M. E. (2017). Desarrollo de un método analítico para la cuantificación de acrilamida en tostadas de tortillas de maíz procedentes de Monterrey (México) y estimación de la exposición dietética.

Servicios De Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Consultado en <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx>, 16-11-2021.

Solano Muñoz, R. J. (2019). Insectos primarios que atacan al grano de maíz (*Zea mays* L.) en silos de almacenamiento (Bachelor's thesis, BABAHOYO; UTB, 2019).

Synnott, A. (2003). Sociología del olor. *Revista mexicana de sociología*, 65(2), 431-464.

Torrel Sevilla, R. M. (2020). Evaluación de la bioacumulación de plomo en tallo, hojas y coronta de maíz (*Zea mays* L.) en muestras sintéticas.

Urgiles, K. P. B. (2019). Determinación de magnesio y factores de riesgo en depresión postparto en pacientes de la Clínica Humanitaria Pablo Jaramillo Crespo de la ciudad de Cuenca. (Tesis) Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Bioquímica y Farmacia (Doctoral dissertation, Universidad de Cuenca).

Zamora Albán, C. I. (2018). Determinación del efecto de la densidad de siembra y estructura del dosel de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en el nivel de productividad, época lluviosa (Bachelor's thesis, Quevedo-UTEQ).

CAPITULO VII

ANEXOS

Anexo 1. ANOVA para %Materia seca total

Anexo 2. ANOVA para %Humedad

‡ MST

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
‡ MST	27	0.52	0.48	0.14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.46	2	0.23	12.84	0.0002
Tratamientos	0.46	2	0.23	12.84	0.0002
Error	0.43	24	0.02		
Total	0.90	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.13064

Error: 0.0180 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Tratamiento 1 (Maseca)	96.94	9	0.04 A
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	96.92	9	0.04 A
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..	96.65	9	0.04 B

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

‡ Humedad

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
‡ Humedad	27	0.52	0.48	4.24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.46	2	0.23	12.84	0.0002
Tratamientos	0.46	2	0.23	12.84	0.0002
Error	0.43	24	0.02		
Total	0.90	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.13064

Error: 0.0180 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..	3.35	9	0.04 A
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	3.08	9	0.04 B
Tratamiento 1 (Maseca)	3.06	9	0.04 B

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

Anexo 3. ANOVA para %Cenizas

Anexo 4. ANOVA para %Proteína

‡ Ceniza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
‡ Ceniza	27	0.99	0.99	1.66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.86	2	0.93	1152.93	<0.0001
Tratamientos	1.86	2	0.93	1152.93	<0.0001
Error	0.02	24	8.1E-04		
Total	1.88	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.02763

Error: 0.0008 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	1.99	9	0.01 A
Tratamiento 1 (Maseca)	1.79	9	0.01 B
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..	1.36	9	0.01 C

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

‡ Proteína

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
‡ Proteína	27	0.82	0.81	7.28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	64.28	2	32.14	56.05	<0.0001
Tratamientos	64.28	2	32.14	56.05	<0.0001
Error	13.76	24	0.57		
Total	78.05	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.73678

Error: 0.5735 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	12.39	9	0.25 A
Tratamiento 1 (Maseca)	10.18	9	0.25 B
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..	8.63	9	0.25 C

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

Anexo 5. ANOVA para %Grasa

Anexo 6. ANOVA para %Fibra Cruda

‡ Fibra cruda

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
‡ Fibra cruda	27	0.42	0.39	66.83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.23	2	1.12	8.81	0.0014
Tratamientos	2.23	2	1.12	8.81	0.0014
Error	3.04	24	0.13		
Total	5.27	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.34630

Error: 0.1267 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	0.93	9	0.12 A
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..	0.40	9	0.12 B
Tratamiento 1 (Maseca)	0.27	9	0.12 B

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

‡ Grasa

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
‡ Grasa	27	0.62	0.59	13.64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10.86	2	5.43	19.57	<0.0001
Tratamientos	10.86	2	5.43	19.57	<0.0001
Error	6.66	24	0.28		
Total	17.51	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.51241

Error: 0.2774 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..	4.71	9	0.18 A
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	3.70	9	0.18 B
Tratamiento 1 (Maseca)	3.18	9	0.18 C

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

Anexo 7.ANOVA para polifenoles

Polifenoles

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Polifenoles	27	0.91	0.90	12.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10646.76	2	5323.38	121.71	<0.0001
Tratamiento	10646.76	2	5323.38	121.71	<0.0001
Error	1049.73	24	43.74		
Total	11696.49	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=6.43450
Error: 43.7387 gl: 24

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	80.41	9	2.20 A
Tratamiento 1 (Maseca)	46.47	9	2.20 B
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..)	33.27	9	2.20 C

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

Anexo 8.ANOVA para flavonoides

Flavonoides

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Flavonoides	27	0.31	0.26	17.82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16654.17	2	8327.08	5.46	0.0111
Tratamiento	16654.17	2	8327.08	5.46	0.0111
Error	36595.83	24	1524.83		
Total	53250.00	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=37.99201
Error: 1524.8264 gl: 24

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	249.44	9	13.02 A
Tratamiento 1 (Maseca)	219.44	9	13.02 A B
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..)	188.61	9	13.02 B

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

Anexo 9.ANOVA para %Acides Titulable

% AT

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% AT	27	0.68	0.66	26.24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.9E-04	2	1.9E-04	26.00	<0.0001
Tratamientos	3.9E-04	2	1.9E-04	26.00	<0.0001
Error	1.8E-04	24	7.5E-06		
Total	5.7E-04	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.00266
Error: 0.0000 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	0.02	9	9.1E-04 A
Tratamiento 1 (Maseca)	0.01	9	9.1E-04 B
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..)	0.01	9	9.1E-04 B

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

Anexo 10.ANOVA para vitamina C

Vit C

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Vit C	27	0.77	0.75	12.17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.23	2	2.12	40.19	<0.0001
Tratamientos	4.23	2	2.12	40.19	<0.0001
Error	1.26	24	0.05		
Total	5.50	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.22332
Error: 0.0527 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	2.44	9	0.08 A
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..)	1.68	9	0.08 B
Tratamiento 1 (Maseca)	1.54	9	0.08 B

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

Anexo 11.ANOVA para Antocianinas

Antocianinas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Antocianinas	27	0.43	0.38	54.55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13.46	2	6.73	9.00	0.0012
Tratamiento	13.46	2	6.73	9.00	0.0012
Error	17.96	24	0.75		
Total	31.42	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.84161
Error: 0.7483 gl: 24

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..)	2.37	9	0.29 A
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	1.73	9	0.29 A
Tratamiento 1 (Maseca)	0.66	9	0.29 B

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

Anexo 12.ANOVA para Act. Antioxidante

C.Antioxidante

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C.Antioxidante	27	0.62	0.59	22.97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	41012.63	2	20506.31	19.64	<0.0001
Tratamiento	41012.63	2	20506.31	19.64	<0.0001
Error	25054.10	24	1043.92		
Total	66066.73	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=31.43517
Error: 1043.9209 gl: 24

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..)	176.52	9	10.77 A
Tratamiento 1 (Maseca)	158.97	9	10.77 A
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	86.48	9	10.77 B

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

Anexo 13.ANOVA para Act. Acuosa

Aw

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Aw	27	0.80	0.78	1.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	2	0.01	48.25	<0.0001
Tratamientos	0.01	2	0.01	48.25	<0.0001
Error	3.2E-03	24	1.3E-04		
Total	0.02	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.01123

Error: 0.0001 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Tratamiento 3 (Maiz Narro) ..	0.86	9	3.8E-03 A
Tratamiento 1 (Maseca)	0.83	9	3.8E-03 B
Tratamiento 2 (Maiz Blanco) ..	0.81	9	3.8E-03 C

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

Anexo 14.ANOVA para apariencia global

Apariencia Global

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Apariencia Global	120	0.16	0.13	20.84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25.67	3	8.56	7.10	0.0002
Muestra	25.67	3	8.56	7.10	0.0002
Error	139.80	116	1.21		
Total	165.47	119			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.56141

Error: 1.2052 gl: 116

Muestra	Medias	n	E.E.
326	5.73	30	0.20 A
517	5.47	30	0.20 A
902	5.37	30	0.20 A
840	4.50	30	0.20 B

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

Anexo 15.ANOVA para color

Color

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Color	120	0.07	0.04	19.84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.96	3	2.99	2.69	0.0494
Muestra	8.96	3	2.99	2.69	0.0494
Error	128.63	116	1.11		
Total	137.59	119			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.53852

Error: 1.1089 gl: 116

Muestra	Medias	n	E.E.
517	5.57	30	0.19 A
326	5.50	30	0.19 A
902	5.30	30	0.19 A B
840	4.87	30	0.19 B

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

Anexo 16.ANOVA para olor

Olor

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Olor	120	0.02	0.00	19.56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.49	3	0.83	0.78	0.5102
Muestra	2.49	3	0.83	0.78	0.5102
Error	124.30	116	1.07		
Total	126.79	119			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.52937

Error: 1.0716 gl: 116

Muestra	Medias	n	E.E.
840	5.47	30	0.19 A
326	5.40	30	0.19 A
517	5.17	30	0.19 A
902	5.13	30	0.19 A

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

Anexo 17.ANOVA para Textura

Textura

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Textura	120	0.16	0.14	24.31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31.49	3	10.50	7.42	0.0001
Muestra	31.49	3	10.50	7.42	0.0001
Error	164.10	116	1.41		
Total	195.59	119			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.60825

Error: 1.4147 gl: 116

Muestra	Medias	n	E.E.
326	5.43	30	0.22 A
902	5.17	30	0.22 A
517	4.90	30	0.22 A
840	4.07	30	0.22 B

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

Anexo 18.ANOVA para Rollabilidad

Rollabilidad

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rollabilidad	120	0.19	0.17	30.26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	55.63	3	18.54	9.37	<0.0001
Muestra	55.63	3	18.54	9.37	<0.0001
Error	229.67	116	1.98		
Total	285.30	119			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.71958

Error: 1.9799 gl: 116

Muestra	Medias	n	E.E.
326	5.33	30	0.26 A
902	5.23	30	0.26 A
517	4.37	30	0.26 B
840	3.67	30	0.26 B

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

Anexo 19.ANOVA para sabor

Sabor

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Sabor	120	0.06	0.04	20.68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.43	3	2.81	2.45	0.0670
Muestra	8.43	3	2.81	2.45	0.0670
Error	132.90	116	1.15		
Total	141.33	119			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.54738

Error: 1.1457 gl: 116

Muestra	Medias	n	E.E.
326	5.57	30	0.20 A
902	5.27	30	0.20 A B
840	4.97	30	0.20 B
517	4.90	30	0.20 B

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

Anexo 20.ANOVA para Aceptación Global

Aceptacion Global

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Aceptacion Global	120	0.17	0.15	20.44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	26.36	3	8.79	7.75	0.0001
Muestra	26.36	3	8.79	7.75	0.0001
Error	131.43	116	1.13		
Total	157.79	119			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.54435

Error: 1.1330 gl: 116

Muestra	Medias	n	E.E.
326	5.80	30	0.19 A
902	5.37	30	0.19 A B
517	5.17	30	0.19 B
840	4.50	30	0.19 C

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

Anexo 21.ANOVA para Bacterias

10⁻³ (UFC/ML)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10 ⁻³ (UFC/ML)	36	0.93	0.92	25.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	21741687500.00	3	7247229166.67	139.08	<0.0001
Tratamiento	21741687500.00	3	7247229166.67	139.08	<0.0001
Error	1667500000.00	32	52109375.00		
Total	23409187500.00	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=6931.52005

Error: 52109375.0000 gl: 32

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..)	62500.00	9	2406.23 A
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	42000.00	9	2406.23 B
Tratamiento 4 (AlsUPER)	8666.67	9	2406.23 C
Tratamiento 1 (Maseca)	2333.33	9	2406.23 C

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

Anexo 22.ANOVA Para hongos y levaduras

10⁻³ (UFC/ML)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10 ⁻³ (UFC/ML)	36	0.57	0.53	18.64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1422750000.00	3	474250000.00	13.97	<0.0001
Tratamiento	1422750000.00	3	474250000.00	13.97	<0.0001
Error	1086000000.00	32	33937500.00		
Total	2508750000.00	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=5593.84561

Error: 33937500.0000 gl: 32

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Tratamiento 3 (Maiz Narro)..	37666.67	9	1941.86 A
Tratamiento 2 (Maiz Blanco..)	34666.67	9	1941.86 A B
Tratamiento 4 (AlsUPER)	31666.67	9	1941.86 B
Tratamiento 1 (Maseca)	21000.00	9	1941.86 C

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