



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

**PROYECTO TERMINAL**

**“Caracterización Físicoquímica, Microbiológica y Sensorial de un Pan Tipo Campesino Elaborado con Masa Madre Tipo I de Harina de Semillas de Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* ssp. *Nuttalliae*)”**

Para obtener el grado de  
Maestra en Ciencia de los Alimentos

PRESENTA:

L.G. Eva María Osorio Licona

Director:

Dr. Javier Piloni Martini

Codirectora:

Dra. Aurora Quintero Lira

Asesores:

Dr. Sergio Soto Simental

Dr. Cesar Uriel López Palestina

Tulancingo de Bravo, Hgo., marzo de 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
Instituto de Ciencias Agropecuarias  
School of Forestry and Environmental Studies  
Maestría en Ciencia de los Alimentos

COORDINACION DE INVESTIGACION Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos  
Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "Caracterización Físicoquímica, Microbiológica y Sensorial de un Pan Tipo Campesino Elaborado con Masa Madre Tipo I de Harina de Semillas de Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* ssp. *Nuttalliae*)", que desarrolla la estudiante Eva María Osorio Licona

Asistentes:

Dr. Javier Piloni Martini  
Dra. Aurora Quintero Lira  
Dr. Sergio Soto Simental  
Dr. Cesar Uriel López Palestina

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a la estudiante, Eva María Osorio Licona, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. La estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que la estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE  
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"  
Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 01 de abril de 2024

Dr. Javier Piloni Martini  
Dra. Aurora Quintero Lira  
Dr. Sergio Soto Simental  
Dr. Cesar Uriel López Palestina



Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa,  
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México, C.P. 43600  
Teléfono +52 (771) 71 72000 ext. 2425  
[maestria\\_alimentos@uaeh.edu.mx](mailto:maestria_alimentos@uaeh.edu.mx)



## Agradecimientos Especiales

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado la beca que me permitió la realización de los estudios de Maestría.

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por el respaldo académico y estructural que me fue ofrecido para la elaboración del presente trabajo.

## Agradecimientos

Esta tesis es la culminación de una etapa de mi vida, y doy gracias a la energía vital, también conocida como Dios, que me ha dado fuerza, y entereza para lograr este objetivo, que en algún momento se veía muy lejano.

Doy gracias a las personas que me apoyaron emocionalmente para su realización: a mi madre y padre, sin ellos no sería la persona que ahora soy.

Amada madre, que Dios me permita seguir escuchando tus sabios consejos y pueda yo seguir tu ejemplo de perseverancia, profesionalismo, inteligencia, trabajo arduo y resiliencia que te han llevado tan lejos, gracias por tu apoyo.

Querido padre, Dios te tiene ya a su lado, pero sé que estuviste orgulloso de mí en cada parte del camino, gracias por permitirme e impulsarme a elegir mi sendero de vida, el que me permitiría ser feliz, aunque eso significara que estuviéramos lejos, o no me dedicara a lo mismo que tú y mamá. Gracias por cuidarme, aunque no sabía que lo hacías, gracias por ser un gran padre. Mantendré a Dios en mi vida y a tu memoria con amor tal como me decías.

También agradezco a mi mamá Imelda, a mis hermanas, Claudia y María de Jesús, por ser apoyo y compañeras de desahogo cuando más lo necesité, por amarme e impulsarme en los momentos difíciles. A mi sobrina Isis, fuente infinita de energía, amor y sonrisas. A mi nueva luz, mi ahijada María de Jesús, que siempre sepas que estaré contigo. Soy una mejor persona gracias a ustedes.

Al amor de mi vida, esposo, gracias por llegar, y por quedarte, por siempre estar, por tu compañía, por tus comidas, por tu apoyo, eres mi refugio.

Muchas Gracias especialmente a los Doctores que supervisaron con tanta pericia este proyecto, a mi director de tesis, Dr. Piloni por su motivación y experiencias aportadas. De manera particular, agradezco a mis asesores, a

la Dra. Aurora y al Dr. Sergio, por sus enseñanzas y acompañamiento en este proceso, muchas gracias por su apoyo, paciencia y dedicación. Su tiempo es invaluable y el conocimiento que me compartieron lo guardo con mucho cariño.

Quiero agradecer a los profesionales que me guiaron en parte del camino, ustedes con su paciencia y ayuda desinteresada apoyaron para que tuviera un mejor desarrollo académico.

Muchas gracias a mis colegas, amigos y amigas, que con el paso del tiempo y a pesar de las tareas que cada uno tenía, tuvieron una palabra de aliento y genuino interés en apoyarnos mutuamente: Ara, Vic, Chío, Gera, Abi, Iza, Isi, Dari, Nora, Eli, Jean, y Denise fue un verdadero orgullo haber compartido con ustedes.

Con una enorme gratitud,  
Eva

“El éxito consiste en ir de fracaso en fracaso sin perder el entusiasmo”. -  
Winston Churchill

“Apunta a la Luna y, si fallas, al menos estarás entre las estrellas”. -  
Cecilia Ahern

## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| Índice General  | I    |
| Índice de Figuras   | IV   |
| Índice de Tablas  | V    |
| Resumen   | VI   |
| Abstract  | VIII |
| <br>  |      |
| 1. Introducción   | 1    |
| 2. Marco Teórico  | 3    |
| 2.1 Pseudocereales  | 3    |
| 2.2 Huauzontle ( <i>Chenopodium berlandieri</i> ssp. <i>Nuttalliae</i> )                              | 4    |
| 2.2.1 Descripción Taxonómica del Huauzontle ( <i>Chenopodium berlandieri</i> ssp. <i>Nuttalliae</i> ) | 5    |
| 2.2.2 Semillas de Huauzontle ( <i>Chenopodium berlandieri</i> ssp. <i>Nuttalliae</i> )                | 6    |
| 2.3 Masa Madre (Sourdough)  | 7    |
| 2.3.1 Descripción   | 7    |
| 2.4 Productos de panificación   | 12   |
| 2.4.1 Pan Campesino   | 13   |
| 2.4.1.1 Harina de trigo   | 13   |
| 2.4.1.2 Sal   | 14   |
| 2.4.1.3 Agua  | 15   |
| 2.4.1.4 Importancia de la fermentación  | 16   |
| 2.4.1.5 Efectos del uso de masa madre como método de fermentación en la elaboración de un pan         | 18   |
| 3 Justificación   | 22   |
| 4 Hipótesis   | 22   |
| 5 Objetivos   | 23   |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 5.1    | Objetivo General   | 23 |
| 5.2    | Objetivos Específicos  | 23 |
| 6.     | Materiales y métodos   | 24 |
| 6.1.   | Obtención de semilla de <i>Chenopodium berlandieri</i> ssp. <i>nuttalliae</i> y elaboración de harina  | 24 |
| 6.2.   | Determinación del análisis químico proximal de la harina de semilla de huauzontle  | 24 |
| 6.2.1  | Humedad  | 25 |
| 6.2.2  | Cenizas  | 25 |
| 6.2.3  | Grasa  | 26 |
| 6.2.4  | Fibra  | 26 |
| 6.2.5  | Proteína   | 27 |
| 6.3.   | Azúcares reductores de la harina de semilla de huauzontle  | 29 |
| 6.4    | Flavonoides de la harina de semilla de huauzontle  | 31 |
| 6.5    | Obtención de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle  | 32 |
| 6.6    | Determinación de pH y acidez titulable (ATT) de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle (MMT1HSH)                       | 32 |
| 6.7    | Análisis microbiológico de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle  | 33 |
| 6.8    | Análisis reológico (extensibilidad uniaxial) de las masas suplementadas con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle        | 34 |
| 6.9    | Elaboración de un pan campesino elaborado con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle y diseño de tratamientos para el pan | 35 |
| 6.10   | Análisis al pan hecho con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle  | 37 |
| 6.10.1 | Análisis sensorial de los panes elaborados con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle                                     | 37 |
| 6.11   | Análisis estadístico   | 40 |
| 7.     | Resultados y discusión   | 41 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 7.1     | Obtención de harina de semilla de huauzontle   | 41 |
| 7.2     | Determinación del análisis químico proximal de la harina de semilla de huauzontle  | 42 |
| 7.3     | Cuantificación de flavonoides  | 44 |
| 7.4     | Determinación de azúcares reductores en la harina de semilla de huauzontle   | 45 |
| 7.5     | Propagación de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle  | 46 |
| 6.2.2.1 | Determinación de pH y Acidez Titulable de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle                 | 47 |
| 7.6     | Análisis microbiológico de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle (MM1HSH)                       | 48 |
| 7.7     | Análisis de elasticidad uniaxial a la masa adicionada con madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle (MMT1H) | 50 |
| 7.7.1   | Resistencia a la extensión   | 50 |
| 7.7.2   | Extensibilidad   | 50 |
| 7.8     | Análisis sensorial del pan elaborado con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle                     | 51 |
| 8.      | Conclusiones   | 53 |
| 9.      | Bibliografía   | 54 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Semilla madura sin el pericarpio y sin la cubierta   | 6  |
| Figura 2. Formato para la evaluación sensorial versión 1       | 38 |
| Figura 3. Formato para la evaluación sensorial versión 2       | 39 |
| Figura 4. Crecimiento a través del tiempo de masa madre tipo I | 46 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Taxonomía del Huauzontle  | 5  |
| Tabla 2. Tipos de masas ácidas y sus principales características<br>Catzeddu (2019)  | 10 |
| Tabla 3. Efectos de la masa madre en propiedades de las masas y panes<br>Belsguemia (2014)   | 11 |
| Tabla 4. Porcentaje de MMT1HSH con relación a la harina de trigo (HT) para la<br>suplementación de masas   | 34 |
| Tabla 5. Ingredientes para la elaboración del prefermento del pan campesino con<br>MMT1HSH por tratamientos                                      | 36 |
| Tabla 6. Cantidad de ingredientes para los diferentes tratamientos en la<br>elaboración de la masa del pan campesino                             | 36 |
| Tabla 7. Rendimiento de harina de semilla de huazontle.  | 41 |
| Tabla 8. Resultados obtenidos de los análisis químico proximales efectuados a la<br>harina de semilla de huazontle.                              | 43 |
| Tabla 9. Resultados obtenidos de la cuantificación de flavonoides en la harina de<br>huazontle.  | 44 |
| Tabla 10. Azúcares reductores en la harina de huauzontle   | 45 |
| Tabla 11. Resultados obtenidos del análisis de pH y ATT realizados en la masa<br>madre de harina de huauzontle durante su propagación            | 47 |
| Tabla 12. Conteo microbiológico (log UFC/g) durante la incubación de la masa<br>madre elaborada con MM1HSH                                       | 49 |
| Tabla 13. Resultados obtenidos del análisis de elasticidad Uniaxial realizados en la<br>masa suplementada con masa madre de harina de huauzontle | 51 |
| Tabla 14. Resultados obtenidos del análisis sensorial del pan elaborado con masa<br>madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle   | 52 |

## RESUMEN

Los pseudocereales han sido parte de la dieta del ser humano en el pasado, y actualmente se consideran como una materia prima para la obtención de harinas alternativa al trigo. Entre los pseudocereales más utilizados encontramos el amaranto, y la quinoa, está última perteneciente a la familia *Chenopodiaceae* en la que también se ubica el huauzontle (*Chenopodium berlandieri subsp. nuttalliae*), que se encuentra ampliamente distribuido en la zona central de México. Contiene un alto nivel nutricional, en general se consume en verde, sin embargo, una vez seco de él se obtienen semillas ricas en carbohidratos. Los usos de las harinas pueden ser como ingrediente principal para la elaboración de un pan, o como agente leudante tradicional, en forma de masa madre, la cual es ampliamente beneficiosa para las características organolépticas, y optimiza el aprovechamiento de los nutrientes disponibles, y éstas mejoras varían dependiendo de la microbiota presente en cada masa madre. El objetivo del presente trabajo fue obtener y estudiar las propiedades de la harina de semilla de huauzontle (HSH) y su viabilidad para utilizarla en la preparación de una masa madre tipo I, además de caracterizar sus efectos como agente fermentativo de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle (MM1HSH) en un pan campesino. Se determinó la caracterización físico-química del HSH, y para obtener una masa madre tipo I, se sometió a fermentación espontánea en recipientes herméticos. Durante el proceso de fermentación de dicha masa, fue objeto de análisis microbiológico y de acidez titulable, con la finalidad de verificar la evolución de la masa (día 0) hasta convertirse en masa madre (día 7), se le realizó análisis de elasticidad uniaxial y biaxial a masas suplementadas con MM1HSH, y se realizaron panes campesinos con la misma, para poder hacer un análisis sensorial. Se obtuvieron semillas comerciales de huauzontle, las cuales se utilizaron para la elaboración de

harina; el análisis de la HSH dio como resultado en cuanto a cenizas 7.25%, grasa 6.54%, fibra 3.51%, proteína 5.4% y proteína 5.4 %. La incorporación de masa madre tipo I HSH a una masa de trigo en porcentajes del 10% (T1), 20% (T2) y 30% (T3), presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos, durante el análisis biaxial ya que el T3 requirió la menor cantidad de trabajo con 57.08 J. Se procedió a utilizar el T3 en la realización de panes y se obtuvo un porcentaje mayor de aceptación en cuanto a sabor y textura, siendo prácticamente imperceptible la diferencia con el tratamiento control en cuanto a características de color. Se puede concluir que la masa madre elaborada con HSH desarrolla características propias de una masa madre y puede conducir al aislamiento de cepas específicas con potencial aplicación tecnológica para poder producir un pan campesino con propiedades reológicas y sensoriales más agradables para los consumidores, por lo que se requiere más estudios.

*Palabras claves:* Harina de semilla de huauzontle, masa madre, fermentación de masa madre, textura, pan campesino

## ABSTRACT

Pseudocereals have been part of the human diet in the past, and are currently considered as a raw material for obtaining flour as an alternative to wheat. Among the most widely used pseudocereals are amaranth and quinoa, the latter belonging to the *Chenopodiaceae* family, which also includes the huauzontle (*Chenopodium berlandieri subsp. nuttalliae*), widely distributed in central Mexico. It contains a high nutritional level and is generally consumed green; however, once dried, seeds rich in carbohydrates are obtained from it. The uses of flours can be as a main ingredient for the elaboration of bread, or as a traditional leavening agent, in the form of sourdough, which is widely beneficial for the organoleptic characteristics, and optimizes the use of available nutrients, and these improvements vary depending on the microbiota present in each sourdough. The objective of the present work was to obtain and study the properties of huauzontle seed flour (HSH) and its viability for use in the preparation of a type I sourdough, as well as to characterize its effects as a fermenting agent of type I sourdough made with huauzontle seed flour (MM1HSH) in a peasant bread. The physical-chemical characterization of the MSM was determined, and to obtain a type I sourdough, it was subjected to spontaneous fermentation in hermetically sealed containers. During the fermentation process of this dough, it was subjected to microbiological and titratable acidity analysis, in order to verify the evolution of the dough (day 0) until it became sourdough (day 7), uniaxial and biaxial elasticity analysis was performed to doughs supplemented with MM1HSH, and peasant breads were made with it, in order to make a sensory analysis. Commercial huauzontle seeds were obtained, which were used to make flour; the analysis of the HSH gave results for ash 7.25%, fat 6.54%, fiber 3.51%, protein 5.4% and protein 5.4%. The incorporation of sourdough type I HSH to a wheat dough in percentages of 10% (T1), 20% (T2) and 30% (T3), presented significant differences ( $p < 0.05$ )

among treatments, during the biaxial analysis since T3 required the least amount of work with 57.08 J. It was proceeded to use T3 in the realization of breads and a higher percentage of acceptance was obtained as for flavor and texture, being practically imperceptible the difference with the control treatment as for color characteristics. It can be concluded that sourdough made with MSM develops characteristics of a sourdough and can lead to the isolation of specific strains with potential technological application to produce a peasant bread with rheological and sensory properties more pleasant for consumers, so further studies are required.

Key words: huauzontle seed flour, sourdough, sourdough fermentation, texture, peasant bread.

## 1. Introducción

La mayoría de los alimentos destinados para la humanidad, proviene de las plantas, de sus raíces, tallos, hojas, flores, semillas y frutos (Fletcher, 2016). Los pseudocereales (*Chenopodium* y *Amaranthus*) se denominan así porque sus semillas como las de los cereales, son harinosas y aptas para la panificación, pertenecen a las dicotiledóneas (Mateo, 2005). Entre estos se encuentra el huauzontle, el cual es una planta erecta e inodora de hojas anchas, cuyas flores están agrupadas en panículas ovoides de glomérulos, su nombre científico es *Chenopodium Berlianderi* ssp. *Nuttalliae* y su nombre coloquial proviene del náhuatl *huauhtzontli*, donde *huauhtli* es bledo, y *tzontli*, cabello; esto es, cabello o maleza del bledo, nombre que deriva de su forma ramificada. Su consumo principal era hervido (SIAP, 2017). Dentro de la contribución nutricional de las semillas de huauzontle, destaca su valor proteico (17,8 %) (De La Cruz et al., 2006). Esta planta se produce principalmente en: Guerrero, Tlaxcala y Puebla. En estado maduro produce semillas las cuales tienen un peso de alrededor de 2 mg, son redondas y planas (Carrillo et al., 2007). En países como Italia, se han realizado análisis de productos de panificación, sustituyendo harinas refinadas y agentes leudantes comerciales por harinas de pseudocereales y agentes leudantes naturales tales como la masa madre (Dingeo et al., 2021), que es una mezcla de harina y agua que se fermenta con bacterias ácido lácticas (BAL) predominantemente heterofermentativas, que producen ácido láctico y acético en la mezcla, lo que concede un sabor agrio al producto final. Las masas madre son un producto intermedio que contienen levaduras metabólicamente activas y BAL (De Vuyst et al., 2014). Estudios de masas madre usando pseudocereales, permitirán la aplicación de sus beneficiosas propiedades en la elaboración de panes enriquecidos. El producto así obtenido se adiciona como ingrediente en formulaciones para panificación, en proporciones que van del 5 al 50 % del total de la masa, con diferentes efectos en las propiedades de masas y panes de acuerdo a la harina, tipo de

masa ácida y nivel de adición (Alaunyte, et al., 2012). En México y Latinoamérica, las personas han incrementado su consumo de productos ultra procesados, grasas animales, proteínas, azúcar, alimentos ricos en calorías y productos con poco o ningún valor nutricional, lo que genera problemas de desnutrición, sobrepeso, obesidad, diabetes y otras enfermedades crónico-degenerativas (Jones, 2017). Debido a los factores contemporáneos que se enfrentan, además del esfuerzo colaborativo entre gobierno y sociedad, la ciencia a través de minuciosos estudios y la mejora continua de procesos de producción ofrece como resultado alimentos altamente nutritivos, con buenas cualidades organolépticas y accesibles a la población (Pirzadah et al., 2020). Actualmente no se encontró literatura científica que aborde la elaboración de una masa madre con harina de semillas de huauzontle. Es por esto que se propone el utilizar pseudocereales de los que no se ha aprovechado todo su potencial como el *Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttalliae*, para utilizar la harina de su semilla dentro de una masa madre y de qué forma modifica el producto realizando una evaluación de las características fisicoquímicas de un pan campesino.



## 2. Marco Teórico

### 2.1 Pseudocereales

Los carbohidratos básicos autóctonos de la región andina no eran cereales, sino pseudocereales y cultivos de "raíces" de almacenamiento subterráneo (Pickersgill, 2007). La palabra combina "cereal" y el prefijo "pseudo" que significa "falso o parecido" (Fletcher, 2016), y se definen como "Frutos o semillas de plantas no gramíneas o no cereales que se consumen del mismo modo que los granos de cereales. Normalmente no contienen gluten y son ricos en proteínas y nutrientes" (USDA, 2020). De igual forma son plantas dicotiledóneas productoras de semillas que se consumen como granos y están presentes en las familias *Amaranthaceae* (amaranto y cañihua), *Chenopodiaceae* (quinoa) y *Polygoniaceae* (trigo sarraceno) (Codex Alimentarius, 2016; Sindhu y Khatkar, 2019). Los pseudocereales, por ejemplo, el trigo sarraceno o la quinoa son plantas de hoja ancha que se utilizan de la misma manera que los cereales y sus semillas se pueden moler para hacer harina y utilizarlas como cereales (Jancurová et al., 2009; Haros y Schönlechner, 2017). De acuerdo con Pirzadah & Malik (2020) éstos han ganado importancia mundial en la industria nutracéutica debido al rico perfil nutricional en comparación con los cereales y la variedad de aplicaciones que se le pueden dar. Nuevos estudios han proyectado la atención hacia el uso de pseudocereales en diversos y novedosos usos. Gracias a sus atributos proteicos abundantes en aminoácidos esenciales, fibra dietética, vitaminas como C, E y B y su composición química como es su contenido de almidón y proteínas, así como la inexistencia de gluten, que de forma natural no se encuentra en ellos (Rollán et al., 2019). Precisamente, aquellos que tienen como principal aplicación la panadería son los pseudocereales: Trigo sarraceno (*Polygonaceae*), el amaranto (*Amaranthaceae*), la quinoa (*Chenopodiaceae*) y la chía (*Lamiaceae*) (Petrova & Petrov, 2020; Fletcher, 2016). Entre los pseudocereales más importantes

también se encuentra el huauzontle (*Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttalliae*), el cual fue una aportación de México al mundo y que, junto al maíz (*Zea mays*), el frijol (*Phaseolus vulgaris*), el chile (*capsicumnannuum*) y la calabaza (*cucurbita pepo*), sirvieron como base de los hábitos alimenticios de las culturas precolombinas de Mesoamérica (Hunziker, 1952).

## 2.2 Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* ssp. *Nuttalliae*)

Todavía no existe un registro arqueobotánico de *C. berlandieri* domesticado en Mesoamérica, pero se ha cultivado durante el tiempo suficiente en México como para haber evolucionado hasta convertirse en un cultivo multipropósito, con diferentes formas cultivadas como un vegetal de hoja, parecido al brócoli (Wilson y Heiser, 1979). Desde tiempos prehispánicos, algunas especies vegetales como huauzontles (*Chenopodium* spp.), quelites (*Chenopodium* spp.), quintoniles (*Amaranthus* spp.), romeritos (*Suaeda* spp.) y verdolagas (*Portulaca oleracea*) han sido recursos importantes para la alimentación de diversas comunidades indígenas; actualmente, su consumo forma parte de las costumbres y tradiciones de la población de diversas regiones del país (Mera et al., 2013). Es de particular interés el huauzontle (*Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttalliae*) un pseudocereal nativo de México, que ha sido tradicionalmente identificado como verdura comestible en la cocina mexicana desde la época prehispánica (Mera et al., 2013). “Huautli”, “huauzontle”, es una planta mexicana, domesticada desde épocas remotas; antiguamente tenía gran importancia, especialmente el fruto, tanto desde el punto de vista alimenticio como religioso (Rzedowski & Rzedowski, 2001). *Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttalliae* fue domesticada a partir de *C. berlandieri* silvestre mexicana (Wilson y Heiser, 1979), probablemente de la domesticación de *C. berlandieri* en el este de América del Norte (Smith, 2006). Hoy en día se le cultiva en el Valle de México y en otras regiones del país, siendo apreciada por sus inflorescencias comestibles. Aunque

ocasionalmente se le puede encontrar cultivada en la Ciudad de México a una altura de 2,250 msnm. El huauzontle es sumamente conocido en el centro de México (Rzedowski & Rzedowski, 2001).

### 2.2.1 Descripción Taxonómica del Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* ssp. *Nuttalliae*)

El huauzontle es un pseudocereal anual, erecto e inodoro. Sus flores, se agrupan en panículas (Inflorescencia compuesta formada por un racimo cuyos ejes laterales se ramifican de nuevo en forma de racimo) ovoides de glomérulos (Carrillo-Ocampo et al., 2017). Como se puede observar en la tabla 1 se muestra a la familia *Amaranthaceae* lo que la emparenta con el Amaranto y la Quinoa.

**Tabla 1. Taxonomía del Huauzontle**

---

|          |                                    |
|----------|------------------------------------|
| Reino:   | <u>Plantae</u>                     |
| Filo:    | <u>Tracheophyta</u>                |
| Clase:   | <u>Magnoliopsida</u>               |
| Orden:   | <u>Caryophyllales</u>              |
| Familia: | <u>Amaranthaceae</u>               |
| Género:  | <u>Chenopodium L.</u>              |
| Especie: | <u>Chenopodium berlandieri Moq</u> |

|              |   |
|--------------|---|
| Subespecies: | <i>Chenopodium berlandieri</i> ssp. <i>nuttalliae</i> (Saff.) |
|--------------|---|

---

Es una herbácea anual, mide de 30 cm a 2 m de alto y posee un peciolo hasta de 13.5 cm de largo, una lámina foliar hasta de 15 cm de largo y 8.5 cm de ancho y cuyas semillas poseen tonalidades anaranjadas a rojas. El huauzontle, es muy resistente a los climas fríos y secos, e incluso crece en suelos pobres (SAGARPA, 2019). Además, tiene un alto nivel nutricional, y lo hace una excelente alternativa para regiones con dificultades para la siembra

de otros tipos de cereales (SAGARPA, 2019). Gracias a estas características fue considerado como una fuente potencial de genes para mejorar el cultivo de la quinoa (*Chenopodium quinoa*) (Cepeda-Cornejo et al., 2015). Actualmente, el huauzontle se produce únicamente en los estados de Puebla, Guerrero y Tlaxcala, con una producción anual de 3 mil 206 toneladas en aproximadamente una superficie de 291 hectáreas. La distribución de este pseudocereal se realiza mayormente en mercados regionales (SAGARPA, 2019).

### 2.2.2 Semillas de Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* ssp. *Nuttalliae*)

Las semillas de huauzontle se producen en la parte central de México, pero su uso se limita al proceso de plántulas, el color de la semilla es amarillo claro (Assad-Bustillos et al., 2014). De acuerdo a los estudios realizados por Ocampo y Engleman (2017), describen que cuando el tegumento externo se eleva alrededor del óvulo joven, en lugar de cubrir al interno y la nucela, crece en sentido inverso y rodea parcialmente al funículo. Cuando el pericarpio se retira, se puede observar su radícula y algunas partes en específico ilustradas en la Figura 1, la semilla del huauzontle se encuentra adherida al pericarpio.

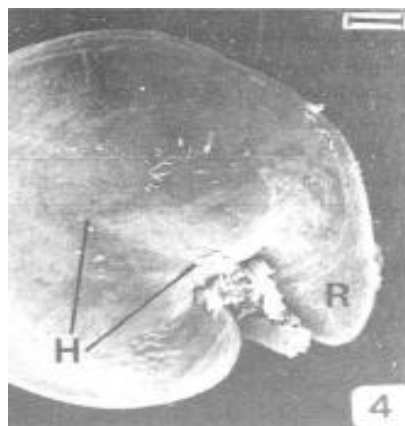


Figura 1. Semilla madura sin el pericarpio y sin la cubierta. Se observa la radícula (R) muy prominente, y la formación de dos lóbulos del perispermo debido a la huella de funículo (H) sobre la superficie de la semilla. (MEB) Barra: 200  $\mu$ m

## 2.3 Masa Madre (Sourdough)

### 2.3.1 Descripción

La masa madre es un iniciador tradicional que se utiliza para producir pan horneado o al vapor, cuyas características contribuyen en gran medida las bacterias ácido lácticas (BAL). Se adicionan como ingrediente en formulaciones para panificación, en proporciones que van del 5 al 50 % del total de la masa, con diferentes efectos en sus propiedades. Por definición el cultivo iniciador es una mezcla de agua y harina que alberga una relación simbiótica entre las levaduras silvestres (*Saccharomyces*) y varias especies de bacterias lácticas (*Lactobacillus*) (Catzzedu et al., 2019). En las masas madre las BAL dominan, en cantidades mayores a  $10^8$  UFC/g mientras que la cantidad de levaduras es de una magnitud menor en proporción de 100:1 (Banu & Aprodu, 2012). La composición de la microbiota es determinada por dos factores, endógenos y exógenos. Los endógenos involucran las interacciones entre microorganismos, la composición química y enzimática de la harina, y los exógenos dependen de la temperatura, potencial redox, rendimiento de la masa (hidratación), número de pasos de propagación y tiempo de la fermentación (Banu & Aprodu, 2012). Sin embargo, las BAL pueden provenir de un contaminante natural de la harina, un producto lácteo fermentado o de un cultivo iniciador comercial que contenga cepas caracterizadas de BAL obtenidas por fermentación. Esta variedad contribuye a la diversidad de BAL en este agente leudante tradicional (Banu & Aprodu, 2012) han revelado que la masa madre con BAL utilizada para producir pan genera compuestos aromáticos más abundantes, exhibe mayores actividades antifúngicas y reductoras de acrilamida, y tiene valores nutricionales más altos en comparación con los alimentos fermentados solo con levadura. De igual forma desempeña un papel importante en la preparación de la masa del pan para la mejora de algunas de sus propiedades tecnológicas, por

ejemplo, la mecanización de la masa, propiedades nutricionales mediante la hidrólisis de fitato, propiedades organolépticas como el volumen del pan, textura de la miga y sabor, así como para la conservación de propiedades de vida útil (De Vuyst y Neysens, 2005). Dependiendo de las poblaciones de microorganismos que se desarrollen, de la harina empleada y de la hidratación de la masa, entre otros factores, se obtendrán ciertas modificaciones en la masa que generarán compuestos que van a incidir tanto en la calidad sensorial como en la calidad nutricional del producto final. En cuanto a microorganismos existen dos especies representativas de BAL, *Pediococcus pentosaceus* y *Fructilactobacillus sanfranciscensis*, se discuten con respecto a su desempeño cuando se usan individualmente o en combinación con otras cepas para la fermentación, teniendo estas una función importante en una comunidad microbiana compleja (De Vuyst y Neysens, 2005). La diversidad de especies microbianas ha sido bien descrita en todo el mundo en masas madres elaboradas de forma casera (Landis et al., 2020) y en panaderías (Arora et al., 2021; Carbonetto et al., 2018; De Vuyst et al., 2014). Las comunidades microbianas de la masa madre se componen de una o dos especies de levadura dominantes y hasta tres bacterias lácticas. La mayoría de las especies de levadura de masa madre son miembros de la familia *Saccharomycetaceae* y pertenecen a los géneros *Saccharomyces* y *Kazachstania*. Entre las bacterias lácticas (BAL) más frecuentes se encuentran las especies de los géneros *Lactobacillus*, *Fructobacillus*, *Weissella*, *Leuconostoc* y *Pediococcus* (De Vuyst et al., 2014). La proporción de especies de levaduras con respecto a las especies de BAL es generalmente de 1:100 con una densidad de población media de  $1.10^7$  -  $1.10^9$  UFC/g de masa madre (Arora et al., 2021; Carbonetto et al., 2018; De Vuyst et al., 2014). La acidez de una masa madre madura, lista para ser utilizada como agente leudante, oscila entre un pH de 3,7 y 4,2 (De Vuyst et al., 2014). Las cepas de masa madre de *S. cerevisiae* han demostrado que son generalmente diferentes de las cepas comerciales de *S. cerevisiae* tanto desde el punto de vista genético como fenotípicamente cuando se analizan en condiciones de laboratorio (Bigey et al., 2020). Autores como Gobbetti &

Gänzle, (2013) reportan que masas madres elaboradas con amaranto, tienen bacterias acidófilas que disminuyen el contenido en fitatos, aumentan la biodisponibilidad de diversos oligoelementos y son capaces de sintetizar vitamina B<sub>2</sub> y B<sub>9</sub>; de igual forma se han demostrado que sus principales efectos positivos sobre la calidad del pan se conservan cuando se aplica la fermentación de masa madre aun cuando no se utilice en panes con gluten. Fue comprobado que la proteólisis y la producción de polisacáridos extracelulares que se producen durante la fermentación de masa madre de sustratos como los pseudocereales, mejoran las propiedades reológicas de la masa y la calidad final del pan. Además, la adición de masa madre tiene el potencial de retrasar el proceso de envejecimiento a través de la hidrólisis del almidón. Desde un punto de vista nutricional, la aplicación de tecnología de masa madre conduce tanto a un aumento de ciertos compuestos bioactivos como a una disminución del contenido de factores anti-nutricionales. No todas las masas madres poseen las mismas aplicaciones o propiedades como se puede observar en la Tabla 2 y 3. Los beneficios que aportan al pan a través de ciertos métodos de acción específicos, resaltando las masas madre tradicionales, también llamadas de tipo I se obtienen mediante la mezcla de harina y agua, dentro de la cual se desarrollan comunidades microbianas compuestas por levaduras y especies de bacterias lácticas (BAL). El atractivo de los panes preparados tradicionalmente se ve respaldado por investigaciones que demuestran los beneficios nutricionales del pan de masa madre en condiciones de laboratorio (Mietton et al., 2022).

**Tabla 2. Tipos de masas ácidas y sus principales características Catzeddu (2019)**

| Tipo       | Uso  | Método de obtención  | Temperatura de mantenimiento | Método de propagación   |
|------------|--|--|------------------------------|---|
| <b>I</b>   | Tradicional  | Por fermentación espontánea  |                              | Se refresca, utilizando la masa anterior como inóculo.                                      |
| <b>II</b>  | Procesos Industriales  | Se inoculan cepas microbianas a altas concentraciones para iniciar la fermentación |                              | En biorreactores, dentro de los cuales todos los parámetros están estrictamente controlados |
| <b>III</b> | Para panaderías industriales y para comercialización                         | Similar a la II  | (<30°C)                      | Se seca o estabiliza con pasteurización. Tiene una larga vida útil.                         |
| <b>IV</b>  | Panaderías artesanales y es el tipo de elección para estudios de laboratorio | Se inicia inoculando un iniciador microbiano en una masa                           |                              | Por retroceso diario  |



**Tabla 3. Efectos de la masa madre en propiedades de las masas y panes Belsguemia (2014)**

| Propiedad     | Efectos   | Mecanismos de acción   |
|---------------|---|--|
| Textura       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del volumen del pan</li> <li>• Decrecimiento de la resistencia a la extensión</li> <li>• Aumento de la extensibilidad y suavizamiento</li> <li>• Mejoramiento de la retención de gas</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidificación láctica</li> <li>• Hidrólisis de almidón</li> <li>• Hidrólisis de proteína</li> <li>• Producción de exopolisacáridos</li> </ul>   |
| Sabor y Aroma | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la síntesis de compuestos de sabor (ésteres, alcoholes, ácidos, aldehídos)</li> <li>• Liberación de aminoácidos libres y sus derivados</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rutas energéticas Embden-Meyerhof-Parnas y fosfogluconato</li> <li>• Uso de aceptores de electrones externos</li> <li>• Reciclaje de cofactores de NADH</li> <li>• Uso jerárquico y simultáneo de varias fuentes de energía</li> <li>• Interacción con enzimas endógenas y exógenas</li> <li>• Proteólisis secundaria</li> <li>• Catabolismo general de aminoácidos libres</li> <li>• Ruta de arginina deiminasa</li> </ul> |
| Nutrición     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejoramiento de la textura y palatabilidad del pan enriquecido con fibra y grano entero.</li> <li>• Estabilización o aumento de los niveles de varios compuestos bioactivos.</li> <li>• Mejoramiento de la biodisponibilidad de minerales.</li> <li>• Aumento de almidón resistente y decrecimiento del índice glicémico.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidificación láctica</li> <li>• Producción de exopolisacáridos</li> <li>• Degradación de fitatos</li> </ul>  |
| Vida útil     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Decrecimiento de la tasa de enranciamiento y endurecimiento</li> <li>• Actividad anti-endurecimiento</li> <li>• Actividad antibacteriana</li> <li>• Actividad antifúngica</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidificación láctica</li> <li>• Hidrólisis de almidón</li> <li>• Síntesis de sustancias inhibidoras tipo bacteriocina</li> <li>• Síntesis de reuteriicina de bajo peso molecular antibiótica</li> <li>• Síntesis de metabolitos antifúngicos como ácido acético, caproico, feniláctico y 4-hidroxifeniláctico</li> </ul>   |

## **2.4 Productos de panificación**

El pan es uno de los alimentos más antiguos del mundo (Orth y Shellenberger, 1988) y suele producirse mezclando harina, agua, levadura y sal, seguido de la fermentación y la cocción (Lynch et al., 2009). Con base en datos de la Asociación Nacional de Proveedores Profesionales de la Industria del Pan Repostería y Similares (Anpropan), el consumo per cápita de pan en México es de 32.5 kg al año y el pan dulce que es el favorito de los mexicanos, seguido por el bolillo y la telera. De acuerdo con la NOM-247-SSA1-2008 el pan blanco es el producto que resulta de hornear una masa obtenida de harina fermentada, agua y sal, acondicionadores y mejoradores de masa, adicionado o no de aceites y grasas comestibles, leche, otros ingredientes y aditivos para alimentos. La costumbre de comer pan es tradicional en México. Aunque su elaboración y origen es principalmente de descendencia española y francesa, su llegada a nuestro país lo transformó en uno de los convites más accesibles y de mayor variedad, lo que hace frecuente su consumo (SEGOB, 2017).

## **2.4.1 Pan Campesino**

Se trata de un pan redondo, originalmente de trigo candeal puro, que puede pesar de 500 g hasta 3 kg por hogaza. En un inicio era exclusivo de los ciudadanos acaudalados, pero fue convertido poco a poco en el pan usual de las personas del campo (Jeuge-Maynard, 2014). En un inicio, era de tamaño pequeño pero sus dimensiones aumentaron junto con su peso al convertirse en una pieza de pan clásica para el consumo familiar. En algunos países se llama miche o pan blanco, por lo general oblongo que pesa 1 kg. Se denomina michette al pan de 500 g (Jeuge-Maynard, 2014). Una hogaza de buen pan campesino, “pain de campagne” o “pan de campo”, es un pan rústico hecho con cuatro ingredientes (harina, agua, levadura y sal), lo caracteriza una miga grande y abierta con un marcado sabor a trigo, una corteza crujiente pero masticable y un dulzor natural procedente de la fermentación (Wilson, 2011). Para su preparación se puede utilizar levadura instantánea pero lo más recomendable es levadura y un periodo de autólisis, seguido de un amasado que puede durar 7 minutos (Wilson, 2011). En seguida se enlistan y describen los ingredientes utilizados para su elaboración.

### **2.4.1.1 Harina de trigo**

El trigo es por mucho el cereal más importante en la elaboración de pan, aunque en algunas partes del mundo el uso de centeno es bastante considerable, otros cereales son usados en menor medida (Goesaert et al., 2005). La harina de trigo se compone de almidón (70-75 %), agua (14 %), proteínas (10-12 %), polisacáridos no amiláceos (2-3 %), lípidos (2 %) y carbohidratos solubles como maltosa, sacarosa y glucosa (1,55-1,85 %) (Goesaert, et al., 2005). Dentro de los ingredientes para la elaboración del pan se encuentra la harina de trigo la cual se obtiene por medio de la molturación gradual de granos de trigo mediante la separación del salvado y el germen del endospermo. El grano de trigo ingresa a un proceso

mecanizado, donde el endospermo se reduce a harina, este producto obtenido es la principal materia prima en la industria de la panificación ya que con la harina de trigo se producen los productos mayormente consumidos por la población como son: pan, galletas y pastas (Barrera et al., 2012). El estándar de calidad mayormente reconocido de acuerdo con Villanueva (2014) es la cantidad de proteína contenida, ya que el gluten, el cual es la proteína principal del trigo, es capaz de otorgarle propiedades específicas a la masa desde el punto de vista reológico y viscoelástico. Por lo tanto, la evaluación de la calidad se realiza a través de parámetros fisicoquímicos y de propiedades reológicas (Banu et al., 2010).

#### 2.4.1.2 Sal

El cloruro de sodio (NaCl), comúnmente conocido como sal o sal de mesa, se utiliza ampliamente en la producción de alimentos (Man, 2007). Es una combinación iónica de sodio y cloro y cada 2.54 g de sal consumida, produce 1 g de sodio. En su estado puro es una sustancia transparente, incolora, higroscópica y cristalina con una gravedad específica de 2.165 (Man, 2007). Durante miles de años, se utilizó de forma omnipresente para conservar los alimentos (Belz et al., 2012). Desempeña un papel en la fisiología, la nutrición y la salud humana, también desempeña un papel multifuncional en los alimentos y bebidas procesados, influyendo en el sabor, la vida útil y varias características tecnológicas. Dado que es un producto relativamente barato con efectos versátiles, se utiliza ampliamente en la elaboración de alimentos (MacGregor et al., 1998). En el sector de la panificación, aunque esté presente en bajas cantidades, tiene un impacto bastante elevado en las características de calidad del pan. Actualmente, la cantidad media de sal en el pan es del 1.2 % (Lynch et al., 2009).

En general, las funciones de la sal en el pan de acuerdo con Man (2007) se resumen en:

- Efecto sensorial al impartir sabor

- Control del crecimiento de la levadura y de la tasa de fermentación
- Mejora de la textura del producto
- Reducción del deterioro, especialmente del moho.

Aunque su uso excesivo es problemático desde el punto de vista nutricional, se ha demostrado que influye positivamente en el proceso tecnológico de todas las etapas de la producción de pan, incluyendo: (I) el mezclado, (II) la fermentación, (III) la cocción, y (IV) las características de calidad del pan final (Belz, 2012). Los cuatro principales efectos tecnológicos de la sal en el proceso de cocción del pan se resumen en:

1. Se promueve el desarrollo de las estructuras de gluten en el amasado de la masa.
2. Se inhibe la actividad de la levadura durante la etapa de fermentación, lo que se traduce en una menor liberación de gases.
3. Se controla la actividad del agua en los productos horneados.
4. La formación de una miga fina y elástica durante la cocción.  
(Cauvain, 2007; Sluimer, 2005).

### **2.4.1.3 Agua**

La masa de harina se forma en el proceso de mezcla de sus componentes. En el proceso de formación de la masa, la harina y el agua son los componentes básicos. Sin agua, la formación de la masa no sería posible, es la responsable de la hidratación y la formación del gluten de la harina (Ana et al., 2009; Codinař, 2010). Se sabe que para la fabricación de pan se debe utilizar agua potable. La calidad de la misma afecta a todo el proceso de panificación, la calidad y el periodo de retención de los productos de panadería (porosidad de la miga, corteza suave, brillante y estética) (Zhou & Hui, 2014). Así, el agua afecta a la consistencia y la temperatura de la masa; disuelve la sal y el azúcar; en el proceso de fermentación, ayuda a estimular la actividad de la levadura (debido a su contenido en minerales); si en la formación de la masa se utiliza agua alcalina ( $\text{pH} > 7.5$ ), el tiempo de cocción

será mayor (Sinani et al., 2014). El agua alcalina tiene un efecto negativo en la formación del gluten (no presenta propiedad elástica). La levadura es más activa cuando se utiliza agua con valores de pH comprendidos entre 4 y 5 (Sinani et al., 2014). La dureza del agua viene dada por el contenido de calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Ştefan et al., 2010), se expresa en grados alemanes (1°D es 1 mg de CaO ó 0,719 mg de MgO) disuelto en 100 mL de agua o también se puede expresar en ppm, y en la elaboración del pan, desempeña un papel importante (Ana et al., 2009; Codinaş, 2010) ya que en la panificación se prefieren las aguas con una dureza de 5-10 °D y, a veces, de 10-20 °D de dureza, dependiendo de las características del gluten (Serna-Saldivar, 2010; Zhou & Hui, 2014).

#### **2.4.1.4 Importancia de la fermentación**

La fermentación de la masa es un proceso muy similar a la expansión de una espuma pseudoplástica, en la que los gérmenes iniciales (levadura) están distribuidos de forma casi homo-genética (Romano & Massi 2007). Además del proceso de cocción, que influye principalmente en el aroma típico de la corteza del pan, el paso más importante en el desarrollo del aroma de la miga es la fermentación de la masa y, entre las diferentes variaciones del proceso (Hansen et al., 2005), el tipo de agente leudante utilizado puede tener un impacto significativo (Clement et al., 2020). La conversión enzimática y microbiana de los componentes de la masa determina la calidad organoléptica del pan (Gänzle et al., 2014) y varía en función de los diferentes metabolismos de las levaduras y bacterias de BAL.

La masa es un sistema multifásico y multicomponente compuesto principalmente por proteínas, lípidos, carbohidratos, agua y aire. Los ingredientes de la masa, así como las condiciones de procesamiento, determinan la estructura macroscópica de los productos horneados que, a su vez, es responsable de su aspecto, textura, sabor y estabilidad. Para crear esta estructura, los ingredientes se mezclan y amasan, la masa se fermenta

y se hornea. Durante las operaciones de elaboración del pan se producen grandes cambios estructurales (Autio y Laurikainen, 1997). Durante el mezclado, los ingredientes se transforman en un material viscoelástico como consecuencia de la formación de una red proteica tridimensional, en la que se encuentran gránulos de almidón uniformemente dispersos (Romano & Massi, 2007).

En el amasado, se incluyen burbujas de aire en la masa y se supone que son los núcleos iniciales de la burbuja de gas, que se desarrollará durante las etapas subsiguientes (Romano & Massi 2007). El leudado, el metabolismo de las levaduras transforma químicamente los hidratos de carbono asimilables en dióxido de carbono y alcohol etílico como principales productos finales (Romano & Massi 2007).

Al formarse una cantidad relevante de alcohol, que es miscible en agua, influye en la naturaleza coloidal de las proteínas del trigo y altera la tensión interfacial dentro de la masa. Además, el dióxido de carbono, que se disuelve parcialmente en la fase acuosa de la masa, migra hacia los núcleos iniciales de las burbujas de aire formadas durante el amasado, provocando su crecimiento. Se sabe que ciertos ingredientes ejercen una influencia estabilizadora y retrasan la coalescencia (Gan et al., 1995). Es importante distinguir entre la producción y retención de gas en las masas fermentadas (Cauvain, 2001).

El primer factor está controlado por el rendimiento de la levadura y el último depende de las características de las burbujas. El volumen de pan deseable de los productos fermentados con levadura sólo se consigue si la masa proporciona un entorno favorable para el crecimiento de la levadura y la generación de gas y, al mismo tiempo, posee una matriz de gluten capaz de retener el máximo de gas (Sahlström, et al., 2004).

#### 2.4.1.5 Efectos del uso de masa madre como método de fermentación en la elaboración de un pan

El pan como se ha mencionado anteriormente es un producto fermentado antiguo que es un alimento básico en muchos países. Puede elaborarse con una gran variedad de cereales y agentes fermentadores.

Una forma muy extendida y común de hacer pan es utilizar *Saccharomyces cerevisiae* y la harina de trigo. Mietton et al., (2022) encontraron diferencias significativas de calidad nutricional y organoléptica entre los panes de masa madre. Estos resultados destacan el valor del pan y el papel de la diversidad microbiana de la masa madre en la calidad nutricional y organoléptica. Shewry et al. (2021) compararon pan elaborado con de trigo, emmer y espelta, una masa madre y levadura comercial. Demostraron que la masa madre aumenta los ácidos orgánicos y el manitol. También demostraron que los contenidos de fructanos y rafinosas disminuían con la fermentación, siendo la levadura la que tenía el mayor efecto. Este efecto cambiaba en función del tipo de harina, y el tipo de cereal influía en el contenido total de fibra.

El almidón de la harina se degrada en glucosa y maltosa por  $\alpha$ -amilasa,  $\beta$ -amilasa y glucoamilasa de la harina y por la  $\alpha$ -amilasa y glucoamilasa de algunas BAL de masa madre (Tomasik et al., 2012). La maltosa se degrada en glucosa por la maltosa fosforilasa de las BAL (Ehrmann et al., 1998), y por la maltasa ( $\alpha$ -D-glucosidasa) en las levaduras *Saccharomyces*. En la masa, la fuente de carbono más fácilmente disponible es, la maltosa, seguida de la sacarosa, la glucosa y la fructosa, junto con algunos trisacáridos como la maltotriosa y la rafinosa. Las levaduras transforman las hexosas en etanol y CO<sub>2</sub> mientras que las BAL de la masa madre transforman las hexosas en ácido láctico. En muchos casos, las BAL de la masa madre son heterofermentativas (*F. sanfransicensis*, *L. brevis*, *L. rossiae*) o facultativamente heterofermentativas (*L. paralimentaius*, *L. plantarum*, *L.*



*curvatus*) y producen ácido láctico, pero también producen ácido acético, etanol y CO<sub>2</sub> de las hexosas y pentosas como los arabinosilanos. Las BAL homofermentativas de la masa madre (*L. delbrueckii*) sólo producen ácido láctico a partir de hexosas. Además, las BAL también producen exopolisacáridos que mejoran el contenido de polisacáridos del pan (Corsetti et al., 2007).

Después del almidón, las proteínas son el segundo componente principal de la harina con un 8-18 % de materia seca en trigo (Feillet et al., 2000). En la masa, las proteínas de la harina forman con el agua una red de gluten, que es una asociación de gliadinas (25-80 kDa) y polímeros de glutenina (>100 kDa) unidos por enlaces covalentes de disulfuro intra e intermoleculares, así como por enlaces de hidrógeno, y también se forman mediante interacciones hidrofóbicas (Feillet et al., 2000).

Las proteínas  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -gliadinas, clasificadas según su movilidad decreciente movilidad en la electroforesis en gel de poliacrilamida ácida (Rumbo et al., 1999), son proteínas de bajo peso molecular que son similares en su estructura y composición de aminoácidos. Las  $\omega$ -gliadinas se diferencian por su composición de aminoácidos y su mayor peso molecular (60-80 kDa). En el grano de trigo las gluteninas están presentes en la forma de un polímero compuesto por gluteninas de alto peso molecular (entre 67 y 88 kDa) y subunidades de gluteninas de bajo peso molecular (36 y 44 kDa), que representan entre el 60 y el 80 % de las gluteninas. Durante la fermentación, las proteasas de las BAL y las de las levaduras cortan los enlaces disulfuro del gluten en presencia de un agente reductor, con una actividad máxima a pH = 3,8 (Feillet et al., 2000).

En la masa, los precursores aromáticos, en su mayoría aminoácidos, se generan coincidentemente por las enzimas y los microorganismos (Hansen et al., 2005).

Los compuestos volátiles del pan incluyen alcoholes superiores, aldehídos, terpenos, ácidos orgánicos y ésteres (Cho et al., 2010; Gassenmeier et al., 1995; Pétel et al., 2017; Siepmann, et al., 2017).

El pan con levadura puede elaborarse con diferentes variedades de trigo y agentes leudantes. En la actualidad, varios estudios han demostrado que cada uno de estos factores puede influir en la calidad del pan (Mietton et al., 2022). Las BAL heterofermentativas influyen en el sabor de los panes de masa madre, que puede medirse con el cociente de fermentación Q (es decir, la relación molar entre ácido láctico y ácido acético) (De Vuyst et al., 2005). La interacción entre las BAL y la levadura también puede afectar el metabolismo de producción del aroma (Boudaoud et al., 2021; Winters et al., 2019).

En la masa, los minerales inicialmente presentes en la harina, como el potasio (K), el magnesio (Mg), el hierro (Fe) y el zinc (Zn), se encuentran principalmente quelados con fitato, lo que reduce su biodisponibilidad (Lioger et al., 2007).

La masa madre es más eficiente que la fermentación de la levadura para reducir el contenido de fitato en el pan (Fekri et al., 2019). Además de la actividad de la fitasa de las BAL y de la levadura, la acidificación por parte de las BAL ayuda a estimular la fitasa propia de harina. Hasta cierto punto, algunas cepas de BAL, incluyendo *L. brevis* y *L. plantarum* también producen fitasa (Yildirim et al., 2019). La transformación de los metabolitos de la harina y, por lo tanto, la calidad del pan puede cambiar según la variedad de trigo y el agente fermentador (Graça et al., 2021). Por lo tanto, la búsqueda de BAL presentes en nichos inexplorados puede conducir al aislamiento de cepas únicas con potenciales propiedades tecnológicas para elaborar panes con propiedades sensoriales y nutricionales deseables (Xiang et al., 2019; Torres et al., 2020).

Katsi et al. (2021) compararon las propiedades organolépticas de los panes elaborados con una sola masa madre y con una sola levadura utilizando tres tasas de extracción diferentes para la harina de trigo. Los resultados

mostraron que el pan de masa madre tenía menos alcohol y más aldehído y ácido orgánico que el pan de levadura, junto con una mayor vida útil. mientras, Xu et al. (2019) compararon el pan hecho con una combinación de levadura el cual tenía un perfil más complejo, especialmente por tener más ésteres. Durante la fermentación de la masa, las enzimas de la harina, junto con los microorganismos leudantes, transforman los componentes de la harina en metabolitos que pueden afectar a la calidad del pan (Corsetti et al., 2007; Gänzle et al., 2007; Giobbetti et al., 2018).

### **3 Justificación**

El huauzontle es un pseudocereal funcional, que está limitado a su uso en guisos dentro de la gastronomía mexicana, sus semillas son ricas en proteínas que al ser molidas se convierten en una alternativa saludable para sustituir a las harinas refinadas. A la harina de huazontle se le pueden dar usos tales como incorporarla en una masa madre tipo I, un fermento natural que mejora la biodisponibilidad de nutrientes por ejemplo reduciendo los fitatos presentes de forma natural en cereales para que se puedan aprovechar mejor los minerales, de igual forma las semillas de huauzontle no han sido utilizadas como materia prima para la elaboración de un agente leudante por lo que la utilización del mismo podría conducir a la obtención de propiedades tecnológicas nuevas, debido a su microbiota endógena; es por esto que se pretende realizar una masa madre tipo I con harina de semillas de huauzontle y analizarla a nivel microbiológico el subproducto obtenido; incorporarla en un producto de panificación y así estudiar la calidad sensorial del mismo.

### **4 Hipótesis**

La harina de huauzontle se puede utilizar como materia prima para elaborar una masa madre tipo I, que aporte propiedades deseables a un pan campesino.

## 5 Objetivos

### 5.1 Objetivo

General

Caracterizar Físicoquímica, Microbiológica y Sensorialmente un Pan Tipo Campesino Elaborado con Masa Madre Tipo I de Harina de Semillas de Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* ssp. *Nuttalliae*).

### 5.2 Objetivos Específicos

1. Obtener y caracterizar harina de semillas de huauzontle por medio de análisis químico-proximal, flavonoides y azúcares reductores (directos y totales) para verificar su viabilidad en la producción de una masa madre.
2. Determinar la concentración de microorganismos y acidez en la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huazontle para utilizarla como agente leudante para la elaboración de un pan campesino.
3. Evaluar las propiedades mecánicas de extensibilidad de las masas suplementadas con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle, para seleccionar el mejor tratamiento para la elaboración de un pan tipo campesino.
4. Evaluar las propiedades sensoriales de un pan campesino elaborado con una masa madre tipo I de harina de semilla de huazontle con la finalidad de compararlo con un pan elaborado con masa madre tipo I de harina de trigo.

## **6. Materiales y métodos**

### **6.1. Obtención de semilla de *Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttalliae* y elaboración de harina**

Se adquirió y utilizó semilla de huauzontle (*Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttalliae*) de los lotes ZS06-2021, SPT06-2021, ET07-2021 y JT07-2021; obtenida de un proveedor ubicado en Tlaxcala, cuya razón social es Axolotl Red Mexicana de Plantas Medicinales y Aromáticas (REDMEXPLAM).

Para la obtención de harina, las semillas se colocaron en bandejas en una estufa de secado (Biomédica, BOV-T70C, China) a temperatura constante a 50 °C por 12 h. Una vez seca la semilla, fue molida en un molino pulverizador de hierbas eléctrico (Grindmix de 2000 g) y la harina obtenida se pasó por un tamiz de malla (Tyler No. 40-425), el residuo se procesó en un molino para especias (Krupps, GX4100, Alemania), se pasó una vez más por el mismo tamiz (Tyler No. 40-425), se mezcló con la harina anterior y se almacenó en bolsas de aluminio herméticas resellables a temperatura ambiente para proteger a la harina de humedad y luz hasta su posterior uso.

### **6.2. Determinación del análisis químico proximal de la harina de semilla de huauzontle**

El análisis químico proximal (AQP), es un método analítico indispensable, llevado a cabo para determinar la calidad de un producto alimenticio y comprende el porcentaje de humedad, cenizas, grasa (extracto etéreo), proteína (nitrógeno orgánico), fibra e hidratos de carbono (Greenfield & Southgate, 2007). Toda la metodología se realizó en el laboratorio multidisciplinar en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, siguiendo la metodología propuesta por la AOAC, 2000, las determinaciones se realizaron por triplicado.

### 6.2.1 Humedad

Se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por la AOAC (1992): sobre una charola, a peso constante, se agregaron 10 g de harina de semilla de huauzontle, y se regresó a la estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 h, el análisis fue realizado por triplicado. Al término de este tiempo se extrajo la charola y se dejó reposar en un desecador a temperatura ambiente y se pesó. Se calculó el contenido de humedad a partir de la pérdida de peso de la muestra utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

Donde:

Peso del crisol más harina de semilla de huauzontle húmeda ( $W_1$ ) g

Peso del crisol más harina de semilla de huauzontle seca ( $W_2$ ) g

Peso de la harina de semilla de huauzontle ( $W$ ) g

### 6.2.2 Cenizas

Sobre un crisol a peso constante, fueron colocados 5 g de harina de semilla de huauzontle, los cuales se carbonizaron sobre un mechero de bunsen, evitando su ignición, posteriormente se colocaron en una mufla (Thermolyne, Thermo scientific), a 500 °C, por 4 h, terminado el tiempo, el crisol se dejó enfriar y finalmente el cálculo pudo ser realizado comparando el peso inicial y final de la muestra, de acuerdo a la metodología propuesta por la AOAC (1992): Se realizó el cálculo comparando el peso inicial y final de la muestra usando la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100$$

Donde:

|   |   |
|---|---|
| Peso del crisol con harina de semilla de huauzontle calcinada ( $W_1$ ) | g |
| Peso del crisol solo ( $W_2$ )  | g |
| Peso de la harina de semilla de huauzontle ( $W$ )                      | g |

### 6.2.3 Grasa

Se determinó por el método de extracción semicontinua de Soxhlet. Dentro de un cartucho de celulosa se agregaron 3 g de la harina de semilla de huauzontle previamente seca. La muestra se colocó en el extractor Soxhlet por 5 h. Después se evaporó el éter, se secó en la estufa a 100 °C durante 30 min. AOAC (1992) Para los cálculos se consideró la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de grasa cruda} = \frac{[W_1 - W_2]}{W} 100$$

Donde:

|  |   |
|--|---|
| Peso de matraz con grasa ( $W_1$ )                 | g |
| Peso del matraz sólo ( $W_2$ )                     | g |
| Peso de la harina de semilla de huauzontle ( $W$ ) | g |

### 6.2.4 Fibra

Este análisis consistió en el uso del método gravimétrico (AOAC,1992) y el equipo condensador marca Labconco modelo LAC300001-00. La harina de semilla de huauzontle desgrasada en el cartucho de celulosa fue transferida en un vaso Bezelius junto con 200 mL de ácido sulfúrico 0.255 N caliente, el vaso se colocó en el equipo condensador para dejarlo hervir por 30 min. Posteriormente el vaso Berzelius fue removido del condensador y la muestra fue filtrada con un paño español, procediendo a realizar lavados con agua destilada caliente hasta obtener un pH neutro. Una vez que la muestra estuvo



sin líquido se raspó con una espátula y colocó nuevamente en el vaso Berzelius añadiendo 200 mL de hidróxido de sodio 0.313 N caliente y por segunda ocasión colocado en el equipo condensador para dejarlo hervir por 30 min. Transcurrido el tiempo la muestra se filtró con paño español junto con 25 mL de ácido sulfúrico 0.255 N, 150 mL de agua destilada y 25 mL de etanol. Una vez sin líquido la muestra se raspó con la espátula y se colocó dentro de un crisol que estuvo previamente a peso constante. El crisol con la muestra estuvo dentro de la estufa a 105 °C por 2 h, se puso en un desecador y cuando adquirió temperatura ambiente fue pesada y anotado el peso. A continuación, la muestra se colocó dentro de la mufla (Thermolyne, Thermo scientific) a 600 °C por 30 min, se enfrió y se registró el peso. Los cálculos se obtuvieron de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Fibra cruda} = \frac{(\text{peso crisol con muestra seca} - \text{peso crisol con muestra calcinada}) \times 100}{\text{Peso real de la muestra}}$$

#### 6.2.5 Proteína

Se determinó por el método de Kjeldahl, el cual está basado en la combustión húmeda de la muestra, calentándola con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos y de otro tipo para efectuar la reducción del nitrógeno orgánico de la muestra a amoníaco, el cual es retenido en solución como sulfato de amonio (AOAC,1992). Se trabajó con 0.2 g de harina de semilla de huauzontle. La solución de la digestión se hace alcalina y se destila o se arrastra con vapor para liberar el amoníaco que es atrapado y titulado. Se llevó a cabo en dos etapas: la digestión y la destilación. La mezcla digestora se preparó de la siguiente manera: 200 g de sulfato de potasio, 20 g de sulfato cúprico pentahidratado, 5 g de dióxido de selenio sublimado para síntesis, y se usó 1 g de harina de semilla de huauzontle por 5 g de mezcla digestora y 15 mL de ácido sulfúrico concentrado. La digestión tuvo lugar en las parrillas de calentamiento las cuales estaban conectadas en una campana de extracción de humos. A partir

de que el líquido cambió de coloración de negro a verde por una hora estuvo en calentamiento. Después destilado con hidróxido de sodio, y el destilado fue captado en ácido bórico al 2% y se tituló con ácido sulfúrico 0.1 N para así obtener la concentración total de nitrógeno. Finalmente, para la titulación del líquido destilado se realizó con ácido sulfúrico 0.1 N. La cual se realizó al vire, es decir al momento que al agregar una gota más de ácido sulfúrico hubo un cambio de color amarillo a rosa. Se realizaron los cálculos considerando la siguiente fórmula:

$$\% N = \frac{(\text{mL problema} - \text{mL blanco}) (\text{meq N}) (\text{Normalidad del ácido sulfúrico})}{\text{Peso real de la muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Proteína} = (\% N) (6.25)$$

El factor de conversión utilizado fue 6.25

|   |    |
|---|----|
| Volumen gastado por la muestra problema | mL |
| Volumen gastado por el blanco           | mL |
| Normalidad del ácido                    | N  |
| Peso de la muestra                      | g  |

### 6.3. Azúcares reductores de la harina de semilla de huauzontle

Se determinó por medio del método colorimétrico (DNS), que permite determinar la concentración de monosacáridos reductores libres (Azúcares Reductores Directos, ARD) o los monosacáridos reductores obtenidos de la hidrólisis ácida (Azúcares Reductores Totales, ART). (Miller, 1958). El procedimiento se basa en una reacción redox, que ocurre en la utilización de ácido 3,5 dinitrosalicílico para provocar la oxidación de los azúcares. La cantidad de azúcares reductores en la muestra se puede determinar aplicando la ley de Beer-Lambert, que establece que la absorbancia se relaciona con las propiedades del analito, su concentración y la longitud del haz de radiación al atravesar la muestra (Swinehart, 1962). Con el fin de hallar la absorbancia de la luz en la muestra a una longitud de onda de 540 nm mediante espectrofotometría, se debe realizar una curva de calibración del patrón de glucosa que cuantifica la concentración de azúcares y reemplaza los valores de las absorbancias. Así se logra obtener la concentración de azúcares reductores. Al principio del método lo rige la ecuación:

$$x = \frac{y + 0.035}{0.6007}$$

El reactivo de DNS se preparó de la siguiente manera: se prepararon 100 mL de una solución NaOH 2 N en un matraz aforado, y en un vaso de precipitado de 1000 mL se diluyeron 5 g de ácido 3,5-dinitrosalicílico y 150 g de tartrato de sodio y potasio, se colocaron en agitación para disolver perfectamente. Posteriormente ambas soluciones preparadas previamente se mezclaron y se aforaron a 500 mL, el reactivo se guardó en un envase color ámbar y se forró con papel aluminio ya que el reactivo es muy sensible a la luz. (Miller, 1958). La función del ácido 3,5-dinitrosalicílico es reaccionar con los monosacáridos la cual es colorimétrica que va de amarillo a naranja. Para hacer el cálculo de los azúcares se realizó una curva patrón a partir de

glucosa al 0.2 % (2g en 1000 mL de agua destilada). Se prepararon 200 mL de la solución de glucosa al 0.2 % y se realizaron las diluciones a una concentración conocida que fueron de 0.2 g/L hasta 2.0 g/L. De cada concentración se tomaron 500  $\mu$ L y se colocaron en un tubo de ensaye al cual se le agregaron más 500  $\mu$ L del reactivo DNS. Los tubos con las diferentes concentraciones de glucosa fueron calentados en baño maría (Water Bath BM100, Yamato) a ebullición por 5 min., y posteriormente se enfriaron en agua con hielo y se les agregaron 5 mL de agua destilada, se homogenizaron perfectamente y se realizó la lectura de los tubos en un espectrofotómetro marca Hewlett Packard modelo G1103A a una longitud de onda de 540 nm. Este parámetro es proporcional a la concentración de glucosa, fructosa o una concentración equimolar de ambos en un rango de 0 a 2 g/L.

Para los azúcares reductores totales (ART) se tomaron 0.05 g de harina de semilla de huauzontle y se le agregaron 10 mL de agua destilada más hidróxido de potasio y se tomaron 500  $\mu$ L de sobrenadante, se agregaron 2.6 mL de agua destilada más 300  $\mu$ L de HCl a una concentración del 5 %, se agitaron en un vortex (Vortex-Genie 2) y se calentaron en baño maría a 60 °C por 30 min., se enfriaron en agua con hielo y se ajustó el pH entre 6 a 8 con una solución de KOH 3N, se aforaron a 15 mL. De esta muestra hidrolizada se tomaron 500  $\mu$ L y se colocaron en un tubo de ensaye y se les agregó 500  $\mu$ L de DNS y se calentaron a ebullición por 5 min y se enfriaron rápidamente en agua con hielo, se les agrego 5 mL de agua destilada y se homogenizaron, las lecturas se realizaron en el espectrofotómetro a  $\lambda$  540 nm., este ensayo se realizó por triplicado (Krastanov, 1997). Para los azúcares reductores directos (ARD), se pesaron 0.05 g en un vaso de precipitado y se le agregaron 5 mL de agua destilada se ajustó pH entre 6 a 8 con una solución de KOH al 3N y después se aforó a 10 mL con agua destilada, de esta muestra se tomaron 500  $\mu$ L y se colocaron en un tubo de ensayo y se le agregaron 500  $\mu$ L de DNS y se calentaron a ebullición por 5min, se enfriaron rápidamente y se le agregaron 5 mL de agua destilada, se homogenizaron y se realizó la lectura a  $\lambda$  540 nm.

#### 6.4 Flavonoides de la harina de semilla de huauzontle

Los flavonoides totales presentes en la harina de semilla de huauzontle se determinaron por el método colorimétrico del cloruro de aluminio. Se preparó una solución de quercetina donde se colocaron 5 mg de quercetina en un matraz de 100 mL se aforó con agua destilada. Se preparó una solución de tricloruro de aluminio al 2 %, en un matraz aforado de 100 mL se colocaron 2 g de cloruro de aluminio y se aforó con metanol. La curva estándar se preparó utilizando 0-11 mL de la solución de quercetina y 11-0 mL de metanol respectivamente en cada tubo de ensayo. Se utilizaron 500  $\mu$ L de cada una de las concentraciones de quercetina y se le adicionaron 1500  $\mu$ L de metanol al 80 %, 100  $\mu$ L de  $\text{AlCl}_3$  al 10 %, 100  $\mu$ L de acetato de potasio 1 M y 2800  $\mu$ L de agua. Una vez realizado el procedimiento anterior se dejaron transcurrir 30 min y se leyeron en el espectrofotómetro cuya máxima absorbancia se determinó a 415 nm (Angelo et al., 2009). Para el análisis, de la harina de semilla de huauzontle se tomaron 0.7 g y se aforaron a 10 mL con metanol, se centrifugaron y se tomaron 2 mL, a los que se les agregó 2 mL de cloruro de aluminio al 2 %, posteriormente se dejaron reposar a temperatura ambiente fuera de la luz durante 20 minutos, con la finalidad de que se llevara a cabo la reacción de los flavonoides con las sales metálicas del cloruro de aluminio ya que actuó como un excelente catalizador para que ocurriera la coloración amarillo pálido y por último se leyó en el espectrofotómetro a 415 nm (Angelo et al., 2009). Los resultados se dieron en mg equivalentes de quercetina (QE) por g (base seca). Cada ensayo fue realizado por triplicado.

### **6.5 Obtención de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle**

Dentro de un tarro hermético (Torrey, México) se agregaron 50 g de harina de huauzontle y agua destilada esterilizada (75 g) se mezclaron perfectamente por 3 min con una varilla de vidrio, el control con harina de trigo se realizó con las mismas proporciones (Owens, 2014). La incubación se realizó por 24 h a 33 °C. A partir de la primera incubación, a la masa madre del día anterior se le agregó harina de huauzontle (50 g) y agua destilada esterilizada (75 g). Se propagaron tres lotes de masa madre, más el control. Cada lote se propagó durante 10 días. Todo esto en una zona estéril. (Owens, 2014)

### **6.6 Determinación de pH y acidez titulable (ATT) de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle (MMT1HSH)**

Los valores de pH fueron determinados con un potenciómetro (portable LATRE pH-b12 0.00 - 14.00 pH) por medio de inserción de sonda en una muestra de 20 g de MMT1HSH. La ATT fue determinada en 1 g de MMT1HSH homogeneizada con 9 mL de agua destilada y se utilizó como solución de valoración NaOH 0.1 M expresada como la cantidad (mL) de 0.1 M NaOH para alcanzar un pH de 8.3 (Dingeo et al., 2020). El procedimiento se realizó con un equipo de titulación que consiste en una bureta, un vaso de precipitado, un soporte universal y un anillo metálico. Se adicionan tres o cuatro gotas de fenolftaleína y se comienza a titular (dejar caer gota a gota del agente titulante sobre el titulado) hasta obtener un ligero vire a rosa que dure 15 segundos. Se mide la cantidad de agente titulante gastado y se utiliza la normalidad de la sustancia. La fórmula determina la cantidad de gramos del

ácido determinado por litro de muestra (g/L). Para la obtención de la acidez el  $P_{eq}$  se divide entre 100.

Se emplea la siguiente fórmula:

$$\%Acidez = \frac{(GB)(N)(P_{eq})}{A} * 100$$

Donde

GB = mL utilizados

N = Normalidad del agente titulante.

$P_{eq}$  = u.m.a. del ácido de muestra

A = Alicuota en mL de muestra titulada

### **6.7 Análisis microbiológico de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle**

De acuerdo a lo descrito en la NOM-210-SSA1-2014 se tomaron muestras a los días 0, 5 y 10 de fermentación de la masa madre tipo I, 1 g de dicha masa fue colocado en 9 mL de agua peptonada, la mezcla fue homogenizada y usada para realizar diluciones seriadas en base 10 usando las diluciones -6, -7, -8 y -9 para el conteo de UFC/g de masa. Los medios de cultivo que se usaron fueron: Agar Sabouraud Dextrosa (AD) para el conteo de Levaduras AGAR MRS o Agar Man Rogosa Sharpe (MRS) para bacterias ácido lácticas, Mc Conkey (MC) enterobacterias y Agar Papa Dextrosa (PDA) para hongos y mohos. Para el medio MRS la inoculación fue efectuada por medio de la técnica de vertido en placa con 1 mL de las diluciones, mientras que para, PDA, MC y AD se utilizaron 200  $\mu$ L con la técnica de barrido en placa con asa Drigalski en forma de L, las placas fueron llevadas a una incubadora (ThermoScientific) a 28 °C y los conteos de colonias fueron realizados a las 24, 48 y 72 h.

## 6.8 Análisis reológico (extensibilidad uniaxial) de las masas suplementadas con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle

La reología es la ciencia que estudia el flujo y la deformación de la materia cuando se somete a la acción de una fuerza externa. Es una herramienta importante ya que brinda información sobre la estructura del alimento y sobre las interacciones entre los diversos componentes (Steffe, 1996). Tres pruebas de textura fueron realizadas para las distintas masas: análisis de perfil de textura (TPA), adhesividad y extensibilidad, estos atributos de textura se midieron en un Texturómetro Brookfield Texture Analyzer. Para ello se tuvieron que preparar lotes de masa de 100 g por cada tratamiento los cuales se dividieron en porciones correspondientes a la cantidad necesaria para cada ensayo. De acuerdo a lo descrito por Owens (2014) como la cantidad de masa madre utilizada regularmente dentro de un pan campesino que es entre 20 al 40 %, se variaron los porcentajes de la siguiente forma: Se agregó el porcentaje señalado de masa madre de harina de semilla de huauzontle como se muestra en la tabla 4:

**Tabla 4. Porcentaje de MMT1HSH con relación a la harina de trigo (HT) para la suplementación de masas**

| Tratamientos | % de MMT1HSH | % de harina de trigo |
|--------------|--------------|----------------------|
| Control      | 0            | 100                  |
| T1           | 10           | 100                  |
| T2           | 20           | 100                  |
| T3           | 30           | 100                  |
| T4           | 40           | 100                  |

Este porcentaje fue calculado en proporción a la cantidad total de harina de la formulación.

MMT1HSH: Masa madre tipo 1 de harina de semilla de huauzontle

HT: Harina de Trigo



**Extensibilidad uniaxial:** para esta prueba una tira de masas suplementadas con masa madre tipo I fue colocada en el utensilio “SMS/Kieffer”, el cual fue previamente untado con una pequeña cantidad de aceite para evitar la adherencia de la masa, posteriormente es prensado durante 45 min, para la formación y compactación de tiras, una vez transcurrido este tiempo las tiras son retiradas con una espátula, evitando así la extensión y rompimiento de las mismas (Güemes *et al.*, 2012). A continuación, la muestra fue colocada en el aditamento “Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig” del texturómetro, para realizar la prueba de extensibilidad de masas. Una vez que el gancho sujeta la masa, inicia la extensión hasta que la masa alcanza su límite elástico.

#### **6.9 Elaboración de un pan campesino elaborado con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle y diseño de tratamientos para el pan**

Para la elaboración del pan se siguió la metodología descrita por Owens (2014). Se elaboraron los tratamientos 5 %, 10 %, 20 % y 30 % y un control con masa madre de trigo 5 %. Se pesaron los ingredientes en una báscula (Torrey, México) como se describe en las tablas 5 y 6.

##### **Prefermento:**

Se preparó con la masa madre de huauzontle. Mezclándola con harina de trigo y agua (las cantidades utilizadas se muestran en la tabla 5). Se cubrió con plástico film y se dejó fermentar por 8h.

**Tabla 5. Ingredientes para la elaboración del prefermento del pan campesino con MMT1HSH por tratamientos**

| Ingredientes                                      | Formulaciones del prefermento |    |    |    |
|---|-------------------------------|----|----|----|
|   | Control                       | T1 | T2 | T3 |
| Masa madre de harina de trigo (g)                 | 4                             | 0  | 0  | 0  |
| Masa madre de harina de semilla de huauzontle (g) | 0                             | 8  | 15 | 23 |
| Harina de Trigo (g)                               | 7                             | 7  | 7  | 7  |
| Agua (g)  | 5                             | 5  | 5  | 5  |

Control (5 % de masa madre de trigo), T1 (10 % de MMT1HSH), T2 (20 % de MMT1HSH) y T3 (30 % de MMT1HSH).

Este porcentaje fue calculado en proporción a la cantidad total de harina de la formulación.

MMT1HSH: Masa madre tipo 1 de harina de semilla de huauzontle

HT: Harina de Trigo

### **Preparación de la masa y amasado:**

Una vez activa la levadura con burbujas visibles. Se añadió agua y se agitó, y agregó la harina restante, (las cantidades se indican en la Tabla 6) se cubrió y se procedió a autólisis durante 20 min, después se añadió la sal y se amasó. La masa incrementó el volumen durante 4 h, y se volteó y plegó cada 30 min.

**Tabla 6. Cantidad de ingredientes para los diferentes tratamientos en la elaboración de la masa del pan campesino**

| Ingredientes    | Cantidad |    |    |    |
|-----------------|----------|----|----|----|
|                 | Control  | T1 | T2 | T3 |
| Prefermento (g) | 16       | 20 | 27 | 35 |
| Harina (g)      | 75       | 75 | 75 | 75 |
| Agua (g)        | 52       | 52 | 52 | 52 |
| Sal (g)         | 2        | 2  | 2  | 2  |

### **Formado y horneado:**

Una vez adquirido su volumen, se porcionó de 15 g y boleó, y se colocó dentro de moldes antiadherentes para cupcakes (Vasconia, México) con divisiones de 15 g. Se dejó leudar 12 h. Se precalentó el horno a 250 °C y se hornearon con vapor en un horno de convección (Kitchen Aid, USA) durante 12 min. Se sacaron y se dejaron reposar hasta enfriarse. Cada prueba fue realizada por triplicado.

## **6.10 Análisis al pan hecho con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle**

Para la evaluación sensorial, fueron elaborados panes con las formulaciones control y la mejor sustitución determinada en las pruebas reológicas la cual corresponde al T1 (10 %), los panes se hornearon en moldes antiadherentes (Vasconia, México) y cada uno fue elaborado con un peso de 15 g de masa.

### **6.10.1 Análisis sensorial de los panes elaborados con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle**

El análisis sensorial descriptivo es una de las herramientas más usadas, sofisticadas y utilizadas en la ciencia sensorial, que proporciona una descripción completa de las características sensoriales de los productos alimentarios (Varela, 2012). El pan campesino elaborado con masa madre de trigo y el tratamiento elegido en las pruebas pasadas de acuerdo a los ensayos reológicos de: extensibilidad uniaxial, biaxial y análisis de perfil de textura; fueron evaluados mediante dos formatos. (Figura 3 y 4). Por medio de la aplicación de una prueba de nivel de grado de satisfacción con una escala hedónica de 5 puntos utilizando un grupo de 130 jueces consumidores, las muestras fueron presentadas de manera aleatoria y codificadas con números de 3 dígitos (Anzaldúa, 2005).

Edad: \_\_\_\_\_ años

Sexo: F  M

Frente a usted se encuentran dos panes, pruebe uno de ellas de izquierda a derecha e indique con una X la opción que mejor describa su opinión sobre cada una de las características mencionadas en el siguiente cuadro.

NOTA: Por favor tome agua antes de analizar cada muestra

Muestra: 2343

| Características            | Color | Textura | Sabor |
|----------------------------|-------|---------|-------|
| Me gusta mucho             |       |         |       |
| Me gusta moderadamente     |       |         |       |
| No me gusta ni me disgusta |       |         |       |
| Me disgusta moderadamente  |       |         |       |
| Me disgusta mucho          |       |         |       |

Muestra: 4878

| Características            | Color | Textura | Sabor |
|----------------------------|-------|---------|-------|
| Me gusta mucho             |       |         |       |
| Me gusta moderadamente     |       |         |       |
| No me gusta ni me disgusta |       |         |       |
| Me disgusta moderadamente  |       |         |       |
| Me disgusta mucho          |       |         |       |

¡Gracias por su colaboración a este proyecto!

Figura 2. Formato para la evaluación sensorial versión 1

Edad: \_\_\_\_\_ años

Sexo: F  M

Frente a usted se encuentran dos panes, pruebe uno de ellas de izquierda a derecha e indique con una X la opción que mejor describa su opinión sobre cada una de las características mencionadas en el siguiente cuadro.

NOTA: Por favor tome agua antes de analizar cada muestra

**Muestra: 4354**

| Características            | Color | Textura | Sabor |
|----------------------------|-------|---------|-------|
| Me gusta mucho             |       |         |       |
| Me gusta moderadamente     |       |         |       |
| No me gusta ni me disgusta |       |         |       |
| Me disgusta moderadamente  |       |         |       |
| Me disgusta mucho          |       |         |       |

**Muestra: 7890**

| Características            | Color | Textura | Sabor |
|----------------------------|-------|---------|-------|
| Me gusta mucho             |       |         |       |
| Me gusta moderadamente     |       |         |       |
| No me gusta ni me disgusta |       |         |       |
| Me disgusta moderadamente  |       |         |       |
| Me disgusta mucho          |       |         |       |

**¡Gracias por su colaboración a este proyecto!**

Figura 3. Formato para la evaluación sensorial versión 2

## 6.11 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar y los datos recopilados se sometieron a una evaluación utilizando un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias de TUKEY, utilizando el paquete estadístico SPSS, las diferencias se consideraron significativas si  $p < 0.05$ , los gráficos se realizaron utilizando el software Sigma Plot.

## 7. Resultados y discusión

### 7.1 Obtención de harina de semilla de huauzontle

Se obtuvo un rendimiento del 94.15 % después de los diversos procesos que se realizaron con ella como se puede visualizar en la tabla 7, por pérdidas durante la molienda y al momento de tamizar. De 5.12 Kg de semilla adquiridos se obtuvo 4.82 Kg de harina y 0.29 Kg de residuo. El procedimiento fue realizado de manera similar a Sánchez et al., en el año 2020, quienes, aunque no reportaron el rendimiento, si usaron la harina de semilla de huauzontle resultante como ingrediente de suplementación en una tortilla.

**Tabla 7. Rendimiento de harina de semilla de huazontle.**

| Semilla                | g        | %     |
|------------------------|----------|-------|
| Antes de deshidratar   | 50,125   | 100   |
| Después de deshidratar | 4,862.6  | 94.88 |
| Después de moler       | 4,845.17 | 94.54 |
| Después de tamizar     | 4,825.18 | 94.15 |

## **7.2 Determinación del análisis químico proximal de la harina de semilla de huauzontle**

Los resultados obtenidos de este análisis para humedad fueron del 6.12 %, en ceniza del 7.22 %, en cuanto al análisis de extracto etéreo fue del 6.55 %, en fibra cruda se obtuvo el 3.51 %, de proteína el 5.41 %, de carbohidratos se obtuvo el 71.19 %, estos resultados se muestran en la Tabla 8. Los valores coinciden con los reportados por Lopez-Monterrubio et al. (2020), que obtuvieron 5.7 % de ceniza, 10 % de grasa cruda, 3.6 % de fibra cruda, 60.4 % de carbohidratos en base seca, excepto en el valor de proteína en la cual se obtuvo un valor menor (5.41%) al reportado por López-Monterrubio et al. (2020). Las diferencias mostradas en los valores pueden tener como explicación la diferencia de las condiciones ambientales al momento del crecimiento del cultivo, tales como la temperatura, humedad, localización geográfica y características del terreno tal como lo menciona Da Silva et al. (2017). De acuerdo a lo reportado por Chaires et al., (2013) quienes obtuvieron 5.32 % de humedad, 1.09 % de ceniza, 0.08 % de grasa, 6.59 % de fibra cruda, 11.4 % de proteína y 75.52 % de carbohidratos se concluye que las diferencias de proteína y fibra se pueden deber a la época de recolección, ya que durante una época de menor lluvia los compuestos tienden a concentrarse en las plantas. La presencia de proteína en el almidón de la semilla de huauzontle podría atribuirse a la proteína que no se separa de la matriz, donde el almidón está incrustado dentro del grano (Ruales y Nair, 1994; Assad-Bustillos, 2014).



**Tabla 8. Resultados obtenidos de los análisis químico proximales efectuados a la harina de semilla de huazontle.**

| Parámetro       | %           |
|-----------------|-------------|
| Humedad         | 6.12 ± 0.3  |
| Ceniza          | 7.22 ± 0.1  |
| Extracto etéreo | 6.55 ± 0.3  |
| Fibra Cruda     | 3.51 ± 0.4  |
| Proteína        | 5.41 ± 0.6  |
| Carbohidratos   | 71.19 ± 0.2 |

n=3; ± representa desviación estándar

### 7.3 Cuantificación de flavonoides

Los flavonoides en los extractos realizados en comparación con 470 mg EQ/g reportados por Chaires et al., son bajos comparados con los que se presentan en la tabla 9, lo cual se debe a que la semilla se adquirió seca y se desconocen los tratamientos térmicos a los cuales se vio sometida. De acuerdo a lo mencionado por Miranda-Granados en 2018, la actividad antifúngica está directamente relacionada con el contenido fenólico, por lo que la baja presencia de flavonoides en la harina de semilla de huauzontle obtenida, la hace propicio para el desarrollo de levaduras y mohos al momento de utilizarla como ingrediente para realizar una masa madre.

***Tabla 9. Resultados obtenidos de la cuantificación de flavonoides en la harina de huazontle.***

---

|             | mg EQ/g muestra seca |
|-------------|----------------------|
| Flavonoides | 194.35 ± 8.33        |

---

n=3; ± representa desviación estándar

---

#### 7.4 Determinación de azúcares reductores en la harina de semilla de huauzontle

La cantidad de azúcares reductores totales y directos, que se presentan en la tabla 10, es similar a lo reportado por Ruales et al., 1994 y Assad-Bustillos 2014, quienes mencionan que la semilla de huauzontle tiene un alto contenido de almidón. Sin embargo, los carbohidratos que se utilizan para el almacenamiento de energía no son azúcares reductores ya que son polímeros que carecen de aldehídos libres, y las levaduras y BAL son capaces de producir enzimas que degradan estos polisacáridos convirtiéndolos en mono y disacáridos que pueden utilizar en sus procesos metabólicos. (Yahia y Carrillo-Lopez, 2019) (Stolz, Böcker, Hammes, & Vogel, 1995; Stolz, Böcker, Vogel, & Hammes, 1995; Stolz et al., 1996) (Ma et al., 2021).

**Tabla 10. Azúcares reductores en la harina de huauzontle**

|                              | mg glucosa/mL |
|------------------------------|---------------|
| Azúcares Reductores Totales  | 1.149 ± 0.008 |
| Azúcares Reductores Directos | 0.023 ± 0.002 |

n=3; ± representa desviación estándar

## 7.5 Propagación de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle

De acuerdo a lo reportado por Dingeo et al., en 2021 quienes trabajaron con semilla de teff, un pseudocereal similar al utilizado en este experimento, utilizando el mismo método elaboración; las masas madres presentan muy pocos alveolos al día cero. La presencia de los alvéolos incrementa al día 5 y al día 10 lo cual se debe a que se desarrolló una biota estable que permite a la masa madre duplicar su tamaño debido al crecimiento que se origina gracias a la producción de CO<sup>2</sup> (Ma et al., 2021). Estas características se observaron y se ilustran a continuación en la figura 5, por lo que se puede concluir que la masa madre elaborada con harina de huauzontle tiene características propias de una masa madre tipo I elaborada con pseudocereales.

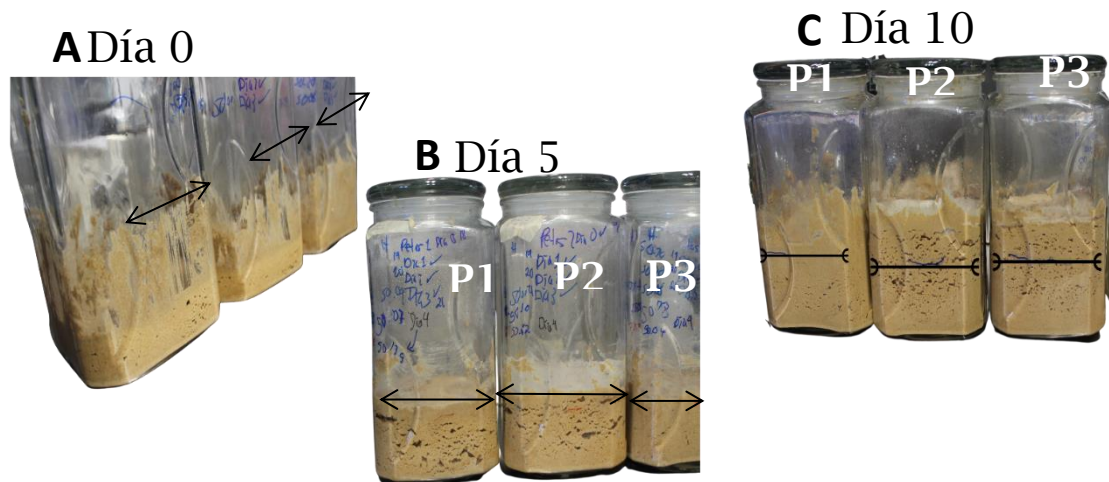


Figura 4. Crecimiento a través del tiempo de masa madre tipo I A: Día 0, inicio de la propagación; B: Día 5, ciclo medio de la propagación; C: Día 10 final de la propagación; P1, P2, P3: Masa madre tipo I elaborada con harina de huauzontle.

### 6.2.2.1 Determinación de pH y Acidez Titulable de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle

En la tabla 11 podemos observar la evolución de pH como de Acidez Titulable a través de los días de fermentación (0,5 y 10), durante el día cero se tuvo un valor de pH 6.5, con una acidez titulable (ATT) de 1.7 g/L de ácido láctico, al día cinco hubo una disminución a 4.8 con una ATT de 3.6 g/L, y al día 10 alcanzó un pH de 4.01 con una ATT de 5.4. Observando estos resultados la tendencia de pH durante la fermentación disminuye a través del tiempo, mientras que el ATT. Observando resultados similares a lo obtenido por Dingo et al. (2020), quienes también trabajaron con pseudocereales para la elaboración de masa madre.

**Tabla 11. Resultados obtenidos del análisis de pH y ATT realizados en la masa madre de harina de huauzontle durante su propagación**

| Tiempo | Parámetros             |                      |
|--------|------------------------|----------------------|
|        | pH                     | ATT(g/L)             |
| D0     | 6.5±0.07 <sup>a</sup>  | 1.7±4.0 <sup>a</sup> |
| D5     | 4.8±1.3 <sup>b</sup>   | 3.6±3.5 <sup>a</sup> |
| D10    | 4.01±0.08 <sup>b</sup> | 5.4±2.0 <sup>a</sup> |

n=3; ± representa desviación estándar

D0, inicio de la propagación; D5, ciclo medio de la propagación; D10 final de la propagación

Los valores en la misma columna con diferentes letras en superíndice difieren significativamente (p<0,05).

ATT = acidez titulable

## **7.6 Análisis microbiológico de la masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle (MM1HSH)**

Los valores obtenidos en los análisis microbiológicos realizados se exponen en la tabla 12, reflejando la evolución de las BAL, enterobacterias, mohos y levaduras durante los diez días que duró la propagación y en los tres días que se tomaron muestras. Al día 0, esta masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle albergaba 2.30 log<sub>10</sub> ufc/g BAL, 4.80 log<sub>10</sub> ufc/g. De acuerdo a lo reportado por Dingeo et al., (2020) una masa madre de teff albergó aprox. 2.50 y 4.6 log<sub>10</sub> ufc/g de enterobacterias, levaduras y presuntas BAL, respectivamente al día 0 de propagación. Después de 24 h de fermentación (Día 1) el número de presuntas BAL y enterobacterias aumentó significativamente alcanzando valores de 8 log<sub>10</sub> ufc/g. Desde el primer (Día 2) hasta el tercer (Día 3) refresco, la densidad celular de las presuntas BAL aumentó constantemente y luego se mantuvo estable hasta el final de la propagación (Día 12). Por el contrario, el número de enterobacterias disminuyó a través de la propagación hasta desaparecer. Como resultado del backslopping, o alimentación de la masa, durante el proceso de propagación tradicional de una masa madre, la microbiota presente comienza a fermentar; dominando lactobacilos homofermentativos y heterofermentativos. Estas BAL proliferan gracias su metabolismo de hidratos de carbono, el cual está adaptado a las principales fuentes de energía presentes en la masa que son la maltosa y la fructosa. El aprovechamiento de la maltosa se da a través de la maltosa fosforilasa y la derivación de la pentosa fosfato junto con la fructosa como co-sustrato optimiza el rendimiento energético. (Stolz, Böcker, Hammes, & Vogel, 1995; Stolz, Böcker, Vogel, & Hammes, 1995; Stolz et al., 1996) (DeVuyst et al., 2005).

**Tabla 12. Conteo microbiológico (log UFC/g) durante la incubación de la masa madre elaborada con MM1HSH**

| Microorganismo    | Días         |           |                     |
|-------------------|--------------|-----------|---------------------|
|                   | Día 0 (Masa) | Día 5     | Día 10 (Masa Madre) |
| BAL               | 2.30±0.71    | 4.70±2.82 | 8.90 ±0.35          |
| log UFC/g         |              |           |                     |
| Enterobacterias   | 4.80±2.14    | 6.10±1.40 | 0.00±0.00           |
| log UFC/g         |              |           |                     |
| Mohos y Levaduras | 3.10±6.50    | 5.60±4.94 | 7.00±5.70           |
| log UFC/g         |              |           |                     |
| Levaduras         | 2.80±3.53    | 5.47±1.24 | 6.50±3.10           |
| log UFC/g         |              |           |                     |

n=2; ± representa desviación estándar  
Día 0, inicio de la propagación; Día 5, ciclo medio de la propagación; Día 10 final de la propagación  
BAL: Bacterias ácido lácticas, ND= No se determinó  
MMT1HSH: Masa madre tipo 1 de harina de semilla de huauzontle  
HT: Harina de Trigo

## **7.7 Análisis de elasticidad uniaxial a la masa adicionada con madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle (MMT1H)**

La información mostrada en la Tabla 13 contiene los datos obtenidos al realizar un análisis de elasticidad uniaxial en masas suplementadas con masa madre para 5 diferentes tratamientos comparados con una muestra testigo.

### **7.7.1 Resistencia a la extensión**

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos T3, T4 y T5 con respecto al testigo, siendo el T4 (0.16N) el que mostró menor resistencia a la extensión, sin embargo, el T5 muestra un aumento (0.28N), este comportamiento es parecido a lo encontrado por Castillo y Paucar (2021), quienes utilizaron harina de quinoa, y concluyeron que el aumento de la resistencia a la extensión se ve afectado de forma directa por el porcentaje de sustitución para productos de panificación.

### **7.7.2 Extensibilidad**

En cuanto a este parámetro no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, pero si con respecto al control. La presencia de MMT1HSH optimizó la extensibilidad en la mayoría de los tratamientos, el mismo comportamiento fue observado por Gocmen et al. (2007) quienes utilizaron masa madre en porcentajes similares y concluyeron que en general, el uso de masa madre conduce a una disminución de la resistencia a la extensión. Cuánto más se aumentó el nivel de masa madre agregado, la resistencia disminuyó. De igual forma resultados similares fueron obtenidos por Di Cagno et al. (2002). En el T5 en el valor obtenido disminuyó



drásticamente hasta alcanzar únicamente 15.66 mM, lo cual es similar a lo observado por Castillo y Paucar (2021), quienes utilizaron harina de quinoa, y concluyeron que la disminución de extensibilidad, así como los demás parámetros reológicos son influenciados de forma proporcional por el porcentaje de sustitución para productos de panificación. De igual manera se realizó otro estudio donde se pudo demostrar que el agregar harina de *Dioscorea alata* mejor conocida como ñame disminuyó la extensibilidad de la masa (Po-Hsien et al., 2012).

**Tabla 13. Resultados obtenidos del análisis de elasticidad Uniaxial realizados en la masa suplementada con masa madre de harina de huauzontle**

| Tratamiento | Resistencia a la extensión (N) | Extensibilidad (mM)      |
|-------------|--------------------------------|--------------------------|
| Testigo     | 0.22±0.03 <sup>c</sup>         | 46.09±8.87 <sup>b</sup>  |
| T1          | 0.18 ±.01 <sup>abc</sup>       | 52.50±8.77 <sup>a</sup>  |
| T2          | 0.21±0.06 <sup>cd</sup>        | 52.80±10.02 <sup>a</sup> |
| T3          | 0.17± 0.02 <sup>ab</sup>       | 55.17±6.65 <sup>a</sup>  |
| T4          | 0.16±0.03 <sup>a</sup>         | 51.24±7.55 <sup>a</sup>  |
| T5          | 0.28±0.01 <sup>e</sup>         | 15.66±1.58 <sup>c</sup>  |

n=3; ± representa desviación estándar

Testigo (0 %), T1 (10 %), T2 (20 %), T3 (30 %), T4 (40 %), T5 (100 %)

Los valores en la misma fila con diferentes letras en superíndice difieren significativamente (p<0,05).

### **7.8 Análisis sensorial del pan elaborado con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle**

Los resultados de la evaluación sensorial en la mejor formulación determinadas por los estudios reológicos aplicados en esta investigación, establecieron a la formulación utilizada en la muestra enriquecida con MMT1HSH, como control se utilizó un pan elaborado con harina de trigo y masa madre de trigo hidratada al 100 %, ambas se evaluaron sensorialmente por 130 panelistas con edades entre 19 y 25 años de edad. Se observan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) en las dos muestras en el criterio de textura y sabor,

siendo la muestra elaborada con masa madre tipo 1 elaborada con harina de semilla de Huauzontle la de mayor agrado en los consumidores (50%) indicada por la frase “me gusta mucho”. Villamizar et al. (2016) evaluaron sensorialmente con prueba hedónica galletas con sustitución de harina de trigo por harina de semilla de huauontle, reportando que la muestra con mayor agrado por los consumidores, fue la que contenía sustitución concluyendo que es aceptable la inclusión de harina de semilla de huauzontle para lograr la aceptación del consumidor por la textura y apariencia característica que este genera en los productos de panificación, debido a que la elección de los consumidores está orientada por sus gustos y requisitos de aceptabilidad (Ramírez-Navas, 2012), es usual que un pan blanco campesino sea suave, esponjoso, de fácil masticabilidad, adhesivo y con resiliencia, por lo que, al presentar un pan con características diferentes a las convencionales, no es tan preferido como el tradicional, sin embargo, se debe considerar el beneficio a la salud que este puede otorgar a los consumidores. Por lo que se sugiere para futuras investigaciones la utilización de mejoradores como: masa madre, levaduras, enzimas (lipasa, amilasa y proteasa), gomas (xantana y guar), ácido ascórbico y bromato de potasio, que generan una mejor miga, debido a que permite una mayor retención de gas y mejoran las propiedades mecánicas de la masa (Bisio, 2016).

**Tabla 14. Resultados obtenidos del análisis sensorial del pan elaborado con masa madre tipo I elaborada con harina de semilla de huauzontle**

| Atributos | Tratamientos           |                        |
|-----------|------------------------|------------------------|
|           | MM1                    | MM2                    |
| Color     | 1.69±0.71 <sup>a</sup> | 1.72±0.84 <sup>a</sup> |
| Textura   | 2.74±1.19 <sup>a</sup> | 2.44±1.10 <sup>b</sup> |
| Sabor     | 2.60±1.08 <sup>a</sup> | 1.97±1.04 <sup>b</sup> |

n=130; ± representa desviación estándar

MM1: Masa madre Tipo 1 elaborada con harina de semilla de Huauzontle; MM2: Masa Madre de Harina de Trigo

<sup>ab</sup> Diferentes variables indican diferencias significativas

## 8. Conclusiones

En este trabajo de investigación se demuestra que la harina obtenida de la semilla del huauzontle presenta un alto rendimiento, y un contenido importante de carbohidratos, lo que la hace apta como fuente de alimentación para microorganismos que se desarrollan dentro de una masa madre como son las BAL.

La masa madre elaborada con harina de semilla de huauzontle a través de los estudios microbiológicos mostró características de una masa madre tipo I y los valores de proliferación de microorganismos obtenidos coinciden, de acuerdo a lo reportado en la literatura, con los de una masa madre siendo ésta viable para utilizarse dentro de un pan campesino tradicional.

Los estudios de extensibilidad mostraron que la incorporación de una masa madre de harina de semilla de huauzontle, dentro de una masa para elaborar pan aumenta los valores de extensibilidad uniaxial y biaxial cuando está presente hasta en un 30% del total de la formulación.

Por lo que al elaborar un pan en el que se incluye una masa madre de harina de semilla de huauzontle como agente leudante se obtiene un producto con un color que, al momento de hacer un análisis sensorial, no muestra diferencias significativas con un pan elaborado con masa madre de harina de trigo. Sin embargo, el pan tipo campesino con masa madre de harina de semilla de huauzontle fue de mayor agrado en los rangos de textura y sabor.

Al analizar los resultados previos, se concluye que el análisis de BAL presentes en materias primas inexploradas, como es el caso de la harina de semilla de huauzontle, puede conducir al aislamiento de cepas específicas con potencial aplicación tecnológica para poder producir un pan campesino con propiedades reológicas y sensoriales más agradables para los consumidores.

## 9. Bibliografía

1. A.A.C.C. (1995). American Association of Cereal Chemist (8th ed. ed.). St.Paul: The Association.
2. Alaunyte, I., Stojceska, V., Plunkett, A., Ainsworth, P., & Derbyshire, E. (2012). *Improving the quality of nutrient-rich Teff (Eragrostis tef) breads by combination of enzymes in straight dough and sourdough bread making. Journal of Cereal Science, 55(1), 22-30.*
3. Ana A. C. Banu C. P. & Bîrsan Iulian Gabriel. (2009). *Tratat de industrie alimentară. vol. 2 tehnologii alimentare. ASAB.*
4. Anzaldúa, M. (2005). *La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica.* Zaragoza, España: Editorial Acribia.
5. AOAC. (2000). *Official methods of analysis.* Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists.
6. Arora, K., Ameer, H., Polo, A., Di Cagno, R., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2021). Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology, 108, 71-83.* doi:10.1016/j.tifs.2020.12.008
7. Assad-Bustillos, Melissa, Ramírez-Gilly, Mariana, Tecante, Alberto y Chaires-Martínez, Leandro. (2014). *Caracterización fisicoquímica, funcional, térmica y reológica del almidón de semillas de huauzontle (Chenopodium berlandieri spp. Nuttalliae).* *Agrociencia, 48 (8), 789-803.* Recuperado en 17 de noviembre de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952014000800003&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000800003&lng=es&tlng=en).

8. Autio K. & Laurikainen T. (1997). Relationships between flour/dough microstructure and dough handling and baking properties. *Trends in Food Science & Technology* 181-185. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01039-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01039-X)
9. Barrera, G., Bassi, R., Reyes, A., León, A., & Ribotta, P. (2012). Efectos de diferentes fracciones de harinas de trigo pan obtenidas con molino industrial sobre la calidad de galletitas dulces. *Revista Agriscientia*, 29(2), 69-79. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1668-298X2012000200002](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2012000200002)
10. Banu I. & Aprodu I. (2012). "*Studies concerning the use of Lactobacillus helveticus and Kluyveromyces marxianus for rye sourdough fermentation.*" *European Food Research and Technology* 234 (5): 769-777.
11. Banu, L., Stoenescu, G., Ionescu, V., & Aprodu, I. (2010). Physicochemical and rheological analysis of flour mill streams. *Cereal Chemistry*, 87(2), 112-117. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-87-2-0112>
12. Banu C. P. Bulancea M. & Ianițchi Daniela. (2013). Industria alimentară între adevăr și fraudă. ASAB.
13. Belguesmia, Y., Rabesona, H., Mounier, J., Pawtowsky, A., Le Blay, G., Barbier, G., ... Chobert, J.-M. (2014). *Characterization of antifungal organic acids produced by Lactobacillus harbinensis K.V9.3.1Np*

*immobilized in gellan-xanthan beads during batch fermentation. Food Control, 36(1), 205-211. doi:10.1016/j.foodcont.2013.08.02*

14. Belz, M. C. E., Ryan, L. A. M., & Arendt, E. K. (2012). The Impact of Salt Reduction in Bread: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 52(6), 514-524. doi:10.1080/10408398.2010.502265*
15. Bigey, F.; Segond, D.; Friedrich, A.; Guezenec, S.; Bourgeois, A.; Huyghe, L.; Agier, N.; Nidelet, T.; Sicard, D. (2020) Evidence for Two Main Domestication Trajectories in *Saccharomyces cerevisiae* Linked to Distinct Bread-Making Processes. *Curr. Biol., 31, 722-732.e5*
16. Boudaoud, S.; Aouf, C.; Devillers, H.; Sicard, D.; Segond, D. (2021) Sourdough yeast-bacteria interactions can change ferulic acid metabolism during fermentation. *Food Microbiol., 98, 103790.*
17. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. L. W. T. (1995). *Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity.* LWT-Food science and Technology, 28(1), 25-30.
18. Calvert, M.D.; Madden, A.A.; Nichols, L.M.; Haddad, N.M.; Lahne, J.; Dunn, R.R.; McKenney, E.A. (2021) A review of sourdough starters: Ecology, practices, and sensory quality with applications for baking and recommendations for future research. *PeerJ, 9, e11389.*
19. Carbonetto, B., Ramsayer, J., Nidelet, T., Legrand, J., & Sicard, D. (2018). Bakery yeasts, a new model for studies in ecology and evolution. *Yeast, 35(11), 591-603. doi:10.1002/yea.3350*

20. Carrillo A y Mark E (1994). Anatomía de la semilla de *Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttalliae* (Chenopodiaceae) “huauzontle”. Boletín de la Sociedad Botánica de México 54:17-34.
21. Carrizo, S. L., Montes de Oca, C. E., Hébert, M. E., Saavedra, L., Vignolo, G., LeBlanc, J. G., & Rollán, G. C. (2017). *Lactic Acid Bacteria from Andean Grain Amaranth: A Source of Vitamins and Functional Value Enzymes. Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology, 27(5), 289-298.*
22. Castillo Martínez, W. E., & Paucar Menacho, L. M.. (2021). Comportamiento reológico de masas de panificación de harina de trigo sustituidas con harinas de quinua y cañihua germinadas . *INGnosis, 7(1), 25-33.* <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v7i1.2102>
23. Catzeddu, P. (January 01, 2019). Sourdough Breads. 177-188
24. Cauvain, S.P. and Young, L.S. (2007). *Technology of Breadmaking.* Springer Sciences, New York.
25. Cauvain, S. P. (2001). Breadmaking. In Gavin Owens (Ed.), *Cereals processing technology.* Cambridge England: CRC Press (chap. 10).
26. Cepeda-Cornejo, V., Brown, D. C., Palomino, G., de la Cruz, E., Fogarty, M., Maughan, P. J., & Jellen, E. N. (2015). *Genetic variation of the granule-bound starch synthase I (GBSSI) genes in waxy and non-waxy accessions of Chenopodium berlandieri ssp. nuttalliae from Central Mexico. Plant Genetic Resources, 14(01), 57-66.*
27. Chaires M., L & Perez, M.A., Bermudez, F. & Jimenez A., H. (2013). Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Germinated, Popped,

and Cooked Huauzontle ( *Chenopodium berlandieri* spp. *nuttalliae* )  
Seeds. *Cereal Chemistry*. 90. 263-268. 10.1094/CCHEM-03-12-0022-R.

28. Chang, C., Yang, M., Wen, H., and Chem, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *J. Food Drug Anal.* 10:178-182.
29. Cho, I.H.; Peterson, D.G. (2010) Chemistry of bread aroma: A review. *Food Sci. Biotechnol.* 19, 575-582.
30. Clement, H.; Prost, C.; Rannou, C.; Chiron, H.; Bonnand-Ducasse, M.; Courcoux, P.; Onno, B. (2020) Can instrumental characterization help predicting sour taste perception of wheat sourdough bread? *Food Res.*
31. Codex Alimentarius. (2016). *Anteproyecto de Revisión de la Clasificación de Alimentos y Piensos: Grupos de Productos Seleccionados Grupo 020 - Gramíneas De Cereales En Grano*. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/meetings-reports/es/>.
32. Codina Georgiana Gabriela. (2010). Proprietățile reologice ale aluatului din făina de grâu. AGIR.
33. Corsetti, A.; Settanni, L. (2007) Lactobacilli in sourdough fermentation. *Food Res. Int.*, 40, 539-558.
34. Da Ros, A.; Polo, A.; Rizzello, C.G.; Acin-Albiac, M.; Montemurro, M.; Di Cagno, R.; Gobbetti, M. (2021) Feeding with Sustainably Sourdough Bread Has the Potential to Promote the Healthy Microbiota Metabolism at the Colon Level. *Microbiol. Spectr.*, 9, e00494-21.



35. Delegación SADER Puebla (2016) *Huauzontle, de hortaliza a pseudo cereal*
36. De Vuyst, L.; Neysens, P. (2005) The sourdough microflora: Biodiversity and metabolic interactions. *Trends Food Sci. Technol.*, 16, 43-56.
37. De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., Harth, H., Huys, G., Daniel, H.-M., & Weckx, S. (2014). Microbial ecology of sourdough fermentations: Diverse or uniform? *Food Microbiology*, 37, 11-29. doi:10.1016/j.fm.2013.06.002
38. Di Cagno R, De Angelis M, Lavermicocca P, De Vincenzi M, Giovannini C, Faccia M, Gobbetti M (2002) *Appl Environ Microbiol* 68(2):623-633
39. Dingo, C., Difonzo, G., Paradiso, V. M., Rizzello, C. G., & Pontonio, E. (2020). *Teff Type-I Sourdough to Produce Gluten-Free Muffin. Microorganisms*, 8(8), 1149. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081149>
40. Dobraszczyk B. J. & Morgenstern M. P. (2003). "Rheology and the breadmaking process." *Journal of Cereal Science* (3): 229-245.
41. Ehrmann, M.A.; Vogel, R.F. (1998) Maltose metabolism of *Lactobacillus sanfranciscensis*: Cloning and heterologous expression of the key enzymes, maltose phosphorylase and phosphoglucomutase. *FEMS Microbiol. Lett.* 169, 81-86.

42. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2019: Safeguarding against Economic Slowdowns and Downturns*; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy, 2019; p. 212
43. Feillet, P. (2000) *Le Grain de Blé: Composition et Utilisation*; INRA Editions: Paris, France
44. Fekri, A.; Torbati, M.; Khosrowshahi, A.Y.; Shamloo, H.B.; Azadmard-Damirchi, S. (2019) Functional effects of phytate-degrading, probiotic lactic acid bacteria and yeast strains isolated from Iranian traditional sourdough on the technological and nutritional properties of whole wheat bread. *Food Chem.*, 306, 125620.
45. Fletcher, R. J. (2016). Pseudocereals: Overview. En C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman, & J. Faubion (Eds.), *Encyclopedia of food grains Vol 1: the world of food grains* (2.a ed., Vol. 1, pp. 274-279). Academic Press. [https://books.google.es/books?id=ce7tBgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Encyclopedia+of+Food+Grains&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwja1O77pfLpAhUEYxoKHQlbA3oQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Encyclopedia of Food Grains&f=false](https://books.google.es/books?id=ce7tBgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Encyclopedia+of+Food+Grains&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwja1O77pfLpAhUEYxoKHQlbA3oQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Encyclopedia%20of%20Food%20Grains&f=false)
46. Fletcher, R. J. (2016). Pseudocereals: Overview. *Encyclopedia of Food Grains*, 274-279. doi:10.1016/b978-0-12-394437-5.00039-5
47. Gan, Z., Ellis, P. R., & Schofield, J. D. (1995). Mini review: gas cellstabilisation and gas retention in wheat bread dough. *Journal of Cereal Science*, 21, 215-230.
48. Gänzle, M.G. (2014) Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation. *Food Microbiol.*, 37, 2-10

49. Gänzle, M.G.; Vermeulen, N.; Vogel, R.F. (2007) Carbohydrate, peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough. *Food Microbiol.*, 24, 128-138.
50. Gassenmeier, K.; Schieberle, P. (1995) Potent aromatic compounds in the crumb of wheat bread (French-type)? influence of pre-ferments and studies on the formation of key odorants during dough processing. *Z. Für Lebensm.-Unters.-Forsch.*, 201, 241-248.
51. Gobbetti, M., & Gänzle, M. (2013). *Handbook on sourdough biotechnology*.
52. Gocmen, D., Gurbuz, O., Kumral, A. Y., Dagdelen, A. F., & Sahin, I. (2006). *The effects of wheat sourdough on glutenin patterns, dough rheology and bread properties*. *European Food Research and Technology*, 225(5-6), 821-830. doi:10.1007/s00217-006-0487-6
53. Goesaert H. Brijs K. Veraverbeke W. S. Courtin C. M. Gebruers K. & Delcour J. A. (n.d.). Wheat flour constituents: how they impact bread quality and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology* 12-30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.011>
54. Graça, C.; Lima, A.; Raymundo, A.; Sousa, I. (2021) Sourdough Fermentation as a Tool to Improve the Nutritional and Health-Promoting Properties of Its Derived-Products. *Fermentation*, 7, 246.

55. Greenfield, H., Southgate, D. A. T., FAO., & International Network of Food Data Systems. (2007). *Données sur la composition des aliments : Production, gestion et utilisation*. Rome: FAO.
56. Güemes-Vera, N., González-Victoriano, L., Soto-Simental, S., Hernández-Chávez, J.F., Reyes-Santamaria, M.I. (2012). Mechanical properties of cottage cheese-fortified wheat dough and loaf bread. *J Food Sci Technol*, 1-6.
57. Hager A.S., Wolter A., Jacob F., Zannini E. & Arendt E. K. (2012). "Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared to wheat flours." *Journal of Cereal Science* (2): 239-247.
58. Hansen, Å.S., Schieberle, P. (2005) Generation of aroma compounds during sourdough fermentation : Applied and fundamental aspects. *Trends Food Sci. Technol.*, 16, 85-94.
59. Haros, Claudia Monika & Schonlechner, R. (2016). *Pseudocereals: Chemistry and Technology*. 10.1002/9781118938256.
60. Hunziker TA (1952). Los pseudocereales de la agricultura indígena de América. ACMÉ Agency Soco Resp. Ltd. 101 p
61. Jancurová, M., Minarovičová, L., & ; Dandár, A. (2009). *Rheological properties of doughs with Buckwheat and quinoa additives*. *Chemical Papers*, 63(6). <https://doi.org/10.2478/s11696-009-0073-z>

62. Jeuge-Maynard, I., Romero Ramírez, G. and Rico Mar, V., 2014. *El pequeño Larousse gastronomique en español*. México: Larousse.
63. Jones, A.D. *Critical review of the emerging research evidence on agricultural biodiversity, diet diversity, and nutritional status in low- and middle-income countries*. *Nutr. Rev.* 2017, 75, 769–782.
64. Katsi, P.; Kosma, I.; Michailidou, S.; Argiriou, A.; Badeka, A.; Kontominas, M. (2021) Characterization of Artisanal Spontaneous Sourdough Wheat Bread from Central Greece: Evaluation of Physico-Chemical, Microbiological, and Sensory Properties in Relation to Conventional Yeast Leavened Wheat Bread. *Foods*, 10, 635.
65. Landis, A.E.; Oliverio, A.M.; McKenney, A.E.; Nichols, L.M.; Kfoury, N.; Biango-Daniels, M.; Shell, L.K.; Madden, A.A.; Shapiro, L.; Sakunala, S.; et al. (2021) The diversity and function of sourdough starter microbiomes. *eLife*, 10, e61644.
66. Lioger, D.; Leenhardt, F.; Demigne, C.; Remesy, C. (2007) Sourdough fermentation of wheat fractions rich in fibres before their use in processed food. *J. Sci. Food Agric.*, 87, 1368–1373.
67. Liu, J., Bredie, W. L. P., Sherman, E., Harbertson, J. F., & Heymann, H. (2018). Comparison of rapid descriptive sensory methodologies: *Free-Choice Profiling, Flash Profile and modified Flash Profile*. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 106, 892–900.
68. López-Monterrubio, D. I., Lobato-Calleros, C., Alvarez-Ramirez, J., & Vernon-Carter, E. J. (2020). Huauzontle (*Chenopodium nuttalliae* Saff.)

protein: Composition, structure, physicochemical and functional properties. Food Hydrocolloids, 106043. doi:10.1016/j.foodhyd.2020.106043

69. Lynch, E.J., Dal Bello, F., Sheehan, E.M., Cashman, K.D., and Arendt, E.K. (2009). Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics. *Food Res.Int.* 42(7): 885-891
70. MacGregor, G.A. and Wardener, H.E.D. (1998). Salt, Diet and Health. Neptunes poisoned Chalice: The Origins of High Blood Pressure. 1st Ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK.
71. Ma S., Wang Z., Guo X., Wang F., Huang J., Sun B. & Wang X. (2021). Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: mechanisms and challenges—a review. Food Chemistry. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>
72. Man, C.M.D. (2007). Technological functions of salt in food products. In: Reducing salt in foods, pp. 157-173. Kilcast, D. and Angus, F., Eds., Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
73. Marie, T., Lanio, J., & Mitailé, P. (2017). *Le grand livre de la boulangerie* (1st ed., pp. 164,208,211). ALAIN DUCASSE
74. Mateo JM (2005). *Prontuario de agricultura, Cultivos agrícolas.* Mundiprensa. México. 146-148.
75. Mateos-Maces, L., Chávez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., Aquino-Bolaños, E. N., Alba-Jiménez, J. E., & Villagómez-González, B. B. (2020). *Edible Leafy Plants from Mexico as Sources of Antioxidant Compounds, and Their Nutritional, Nutraceutical and Antimicrobial Potential: A*

Review. *Antioxidants* (Basel, Switzerland), 9(6), 541.  
<https://doi.org/10.3390/antiox9060541>

76. Mera O. L. M., R. Bye B., C. Villanueva V., D. Castro L. y F. Basurto P. (2013) *El cultivo de la verdolaga (Portulaca oleraceae L.) ejemplo en la promoción, producción y el comercio de alimentos sanos y de calidad. In: Especies Vegetales, Poco Valoradas: Una Alternativa para la Seguridad Alimentaria.* L. M. Mera O., D. Castro L. y R. A. Bye B. (eds.). Instituto de Biología, UNAM. México, D.F. pp:140-155.
77. Mietton, L., Samson, M., Marlin, T., Godet, T., Nolleau, V., Guezenec, S., . . . Sicard, D. (2022). Impact of leavening agent and wheat variety on bread organoleptic and nutritional quality. *Microorganisms*, 10(7), 1416. doi:10.3390/microorganisms10071416
78. Miller G., 1959. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Anal. Chem.* 31: 426-428.
79. Orth, R.A. and Shellenberger, J.A. (1988). Origin, production, and utilization of wheat. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
80. Owens, S. (2014) Los Secretos de la masa madre
81. Pétel, C.; Onno, B.; Prost (2017) C. Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review. *Trends Food Sci. Technol.*, 59, 105-123.

82. Petrova, P., & Petrov, K. (2020). Lactic acid fermentation of cereals and pseudocereals: Ancient nutritional biotechnologies with modern applications. *Nutrients*, 12(4), 1118. doi:10.3390/nu12041118
83. Pickersgill B. Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics. *Ann Bot.* 2007 Nov;100(5):925-40. doi: 10.1093/aob/mcm193. Epub 2007 Aug 31. PMID: 17766847; PMCID: PMC2759216.
84. Pirzadah, T. B., & Malik, B. (2020). Pseudocereals as super foods of 21st century: Recent technological interventions. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2(100052), 100052.
85. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). *Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay*. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
86. Rizzello, C.G.; Portincasa, P.; Montemurro, M.; Di Palo, D.M.; Lorusso, M.P.; De Angelis, M.; Bonfrate, L.; Genot, B.; Gobbetti, M. (2019) Sourdough Fermented Breads are More Digestible than Those Started with Baker's Yeast Alone: An In Vivo Challenge Dissecting Distinct Gastrointestinal Responses. *Nutrients*, 11, 2954.
87. Rollán, G. C., Gerez, C. L., & LeBlanc, J. G. (2019). Lactic fermentation as a strategy to improve the nutritional and functional values of pseudocereals. *Frontiers in Nutrition*, 6. doi:10.3389/fnut.2019.00098



88. Román-Cortés, N.R.; García-Mateos, R.M.; Castillo-González, A.M.; Sahagún-Castellanos, J.; Jiménez-Arellanes, M.A. *Características nutricionales y nutraceuticas de hortalizas de uso ancestral en México*. Rev. Fitotec. Mex. 2018, 41, 245–253
89. Romano, A., Toraldo, G., Cavella, S., & Masi, P. (2007). Description of leavening of bread dough with mathematical modelling. *Journal of Food Engineering*, 83(2), 142–148. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2007.02.014>
90. Rumbo, M.; Giorgieri, A.S. (1999) Comparative studies of the relative mobility of gliadin at low pH by capillary electrophoresis and conventional electrophoretic techniques. *J. Capill. Electrophor.*, 5, 39–44.
91. Rzedowski, G. C. D., & Rzedowski, J. (2001). Flora fanerogámica del Valle de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
92. Sahlström, Stefan & Shelton, David. (2004). Factors Influencing Yeast Fermentation and the Effect of LMW Sugars and Yeast Fermentation on Hearth Bread Quality. *Cereal Chemistry - CEREAL CHEM.* 81. 328-335. 10.1094/CCHEM.2004.81.3.328.
93. Santiago-Sáenz, YO; Hernández-Fuentes, AD; Monroy-Torres, R.; Cariño-Cortés, R.; Jiménez-Alvarado, R. Caracterización fisicoquímica, nutricional y antioxidante de tres vegetales (*Amaranthus hybridus* L., *Chenopodium berlandieri* L., *Portulaca oleracea* L.) como posibles fuentes de fitoquímicos y compuestos bioactivos. *J. Food Meas. Charact.* 2018, 12, 2855–2864.

94. Sauer J.D. *Los amarantos en grano: un estudio de su historia y clasificación*. Anales del Jardín Botánico de Missouri. 1950; 37 :561-636.
95. SEGOB, (2016). *Huauzontle, de hortaliza a pseudo cereal*. Puebla, p.1.
96. SEGOB, (2017). *Conoce más sobre la industria panificadora en México*. P.1
97. Serna Saldívar Sergio R. Othón. (2010). *Cereal grains : properties processing and nutritional attributes*. CRC Press/Taylor & Francis.
98. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2017). *El huauzontle*.
99. Shewry, P.R.; America, A.H.; Lovegrove, A.; Wood, A.J.; Plummer, A.; Evans, J.; Broeck, H.C.V.D.; Gilissen, L.; Mumm, R.; Ward, J.L.; et al. (2021) Comparative compositions of metabolites and dietary fibre components in doughs and breads produced from bread wheat, emmer and spelt and using yeast and sourdough processes. *Food Chem.*, 374, 131710.
100. Siepmann, F.B.; Ripari, V.; Waszczynskyj, N.; Spier, M.R. (2017) Overview of Sourdough Technology: From Production to Marketing. *Food Bioprocess Technol.*, 11, 242-270.
101. Sinani, V., Sana, M., Seferi, E., & Sinani, A. (2014). The Impact of Natural Water Quality on Baking Products in Albania. *Journal of Water Resource and Protection*, 06(18), 1659-1665. <https://doi.org/10.4236/JWARP.2014.618149>

102. Sluimer, P. (2005). *Principles of Breadmaking: Functionality of Raw Materials and Process Steps*, 1st Ed. AACC, St. Paul, Minnesota.
103. Steffe JF. (1996). *Rheological methods in food processing engineering*. 2° ed. Freeman Press, MI.
104. ŞTEFAN, E., VOICU, G., CONSTANTIN, G., FERDEŞ, M., & MUSCALU, G. (2016). The effect of water hardness on rheological behavior of dough. *Journal of Engineering Studies and Research*, 21(1). doi:10.29081/jesr.v21i1.46
105. Suo B, Chen X, Wang Y, Recent research advances of lactic acid bacteria in sourdough: Origin, diversity, and function, *Current Opinion in Food Science* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.09.007>
106. Tomasik, P.; Horton, D. (2012) Enzymatic Conversions of Starch. In *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands; Volume 68, pp. 59-436. ISBN 978-0-12-396523-3.
107. Torres S, Contreras F, Verón H, Isla MI. Prospects of dairy and vegetables based food products in human health: current status and future directions. In: *Research and technological advances in food science*. Ed.: Bhanu Prakash. Chapter 10, pp 243-268. Academic Press - Elsevier. ISBN: 978-0-12-824369-5. 2022. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824369-5.00009-9>
108. USDA. (2019). *Food Data Central*. Agricultural Research Service. <https://fdc.nal.usda.gov/index.html>

109. Varela, P., & Ares, G. (2012). Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. *Food Research International*, 48(2), 893-908. doi:10.1016/j.foodres.2012.06.037
110. Villanueva, R. (2014). El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. *Ingeniería Industrial*, 32, 231-246. <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337432679010.pdf>
111. Wilson HD, Heiser CB. *El origen y las relaciones evolutivas del 'huauzontle' (Chenopodium nuttalliae Safford), quenópodo domesticado de México*. *Revista americana de botánica*. 1979; 66 :198-206
112. Winters, M.; Panayotides, D.; Bayrak, M.; Rémont, G.; Viejo, C.G.; Liu, D.; Le, B.; Liu, Y.; Luo, J.; Zhang, P.; et al. (2019) Defined co-cultures of yeast and bacteria modify the aroma, crumb and sensory properties of bread. *J. Appl. Microbiol.*, 127, 778-793.
113. H. Xiang, D. Sun-Waterhouse, G.I. Waterhouse, C. Cui, Z. Ruan Fermentation-enabled wellness foods: A fresh perspective *Food Sci. Hum. Wellness*, 8 (3) (2019), pp. 203-243
114. Xu, D.; Zhang, Y.; Tang, K.; Hu, Y.; Xu, X.; Gänzle, M. (2019) Effect of Mixed Cultures of Yeast and Lactobacilli on the Quality of Wheat Sourdough Bread. *Front. Microbiol.*, 10, 2113.
115. Yahia E. M. & Carrillo-Lopez A. (2019). Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables. Woodhead Publishing an imprint of Elsevier. Retrieved June 26 2023 from <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=>

nlebk&db=nlabk&AN=1789655.

116. Yildirim, R.M.; Arici, M. (2019) Effect of the fermentation temperature on the degradation of phytic acid in whole-wheat sourdough bread. *LWT*, 112, 108224.
117. Zhou W. & Hui Y. H. (2014). Bakery products science and technology (Second). John Wiley & Sons. Retrieved November 12 2022 from <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=795082>.
118. Zhu, F., Sakulnak, R., Wang, S. (2016). *Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread*. Food chemistry, 194, 1217-1223.